

Suivi par télédétection de la déforestation due à la croissance urbaine de la ville de Ouessou dans la période de 2000-2016, République du Congo

[Follow-up by remote sensing of deforestation due to the urban growth of the town of Ouessou during the period of 2000-2016, Republic of Congo]

Stoffenne Binsangou¹, Suspense Averti Ifo¹, Félix Koubouana², Lisa Louvouandou¹, Stevanche Nzingoula¹, and Lucien Mansisse¹

¹Ecole Normale Supérieure, Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie
Tropicale Appliquée,
Université Marien N'GOUABI, BP 69,
Brazzaville, Republic of the Congo

²ENSAF, Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée,
Université Marien N'GOUABI, BP 69,
Brazzaville, Republic of the Congo

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: A study on the urban growth during the time between 2000 to 2016 was undertaken in a forest locality of the republic of Congo, the town of Ouessou. Landsat images covering this period had been selected and treated thanks to the software ENVI 4.6.1 and ArcGis 10.2. Supervised classification was used and applied to the zone of study. The results of this study indicate that the surface of the city passed from 608.375 ha in 2000 to 1527 ha in 2016. The losses of the forests due to the urban growth passed from 261.63 ha during the time of 2000-2014 to 657.03 ha during the time of 2014 to 2016. The demographic growth, poverty, agriculture, residential spreading out and the accelerated municipalization which took place in this locality would explain the losses of the forest surfaces observed in this locality. The anarchistic urban growth in wet tropical zone could be the source of significant flows of GES following the changes of use of the grounds.

KEYWORDS: Forest, Deforestation, remote sensing, urban Growth, Ouessou.

RESUME: Une étude sur la croissance urbaine dans la période entre 2000 à 2016 a été menée dans une localité forestière de la République du Congo, la ville de Ouessou. Des images Landsat couvrant cette période avaient été sélectionnées et traitées grâce au logiciel ENVI 4.6.1 et ArcGis 10.2. La classification supervisée a été utilisée et appliquée à la zone d'étude. Les résultats de cette étude indiquent que la superficie de la ville est passée de 608,375 ha en 2000 à 1527 ha en 2016. Les pertes des forêts dues à la croissance urbaine sont passées de 261,63 ha dans la période de 2000-2014 à 657,03 ha dans la période de 2014 à 2016. La croissance démographique, l'aménagement du territoire, l'étalement résidentiel et la municipalisation accélérée expliqueraient la croissance urbaine observée dans cette localité. Cette croissance urbaine anarchique en zone tropicale humide pourrait être la source d'importants flux de GES suite aux changements d'utilisation des terres.

MOTS-CLEFS: Forêts, Déforestation, télédétection, Croissance urbaine, Ouessou, République du Congo.

1 INTRODUCTION

La situation du couvert forestier en République du Congo n'est pas uniforme sur l'ensemble du territoire national et varie en fonction de la densité de la population, de la qualité des infrastructures de base, du transport, de la richesse des forêts, de l'historique de leur exploitation enfin de l'existence de zones urbaines (NERF, 2016).

Ces forêts subissent plusieurs changements et conversions de terres. Ces conversions peuvent avoir des impacts importants non seulement sur les flux et les stocks de carbone, mais aussi sur la biocénose ainsi que sur les services écosystémiques de la forêt. Elles entraînent des émissions et absorptions des GES (GIEC, 2006).

A l'échelle mondiale, les émissions de GES liées au secteur de l'utilisation de terres, du changement d'utilisation de terres et de la foresterie représentent 17,4% des émissions globales. C'est le troisième secteur contributeur après le secteur de l'énergie et de l'industrie (Chenost *et al.*, 2010). Le GIEC estime que 1,7 milliards de tonnes de CO₂ sont rejetées dans l'atmosphère chaque année, du fait des changements du couvert terrestre, et en grande partie de la déforestation tropicale (Nasi *et al.*, 2008). Cette grande quantité des émissions a poussé la CCNUCC à déclencher un processus qui permet d'étudier les problèmes liés à la réduction des émissions occasionnées par la déforestation dans les pays en voie de développement.

C'est dans ce contexte que le processus REDD+ a été mis en place au niveau mondiale par la banque mondiale et l'ONU REDD, et la république du Congo s'est lancée dans ce processus REDD+ depuis 2010 (NERF, 2016).

Le changement d'utilisation de terre a contribué aux émissions anthropiques globale de CO₂ (Denman *et al.*, 2007), celles résultant de la déforestation étaient la plus élevée (Nabuurs *et al.*, 2007).

Parmi les causes qui expliqueraient cette déforestation nous pouvons citer : l'agriculture ; l'exploitation forestière ; le développement des infrastructures ; la croissance urbaine, etc.

La croissance urbaine est un phénomène universel qui a connu une accélération particulière en Afrique ces dernières décennies. Cette croissance est le fait de divers paramètres : l'augmentation de la superficie des terres urbaines, la densité de l'habitat urbain, la densité de la population urbaine et la perte de terres naturelles (Zhang *et al.*, 2012). Elle affecte l'écosystème de productivité par la perte d'habitat et de biomasse ; menace la biodiversité et conduit au changement environnemental (Seto *et al.*, 2012).

Considérée comme une sous-catégorie des Etablissements suivant les types des conversions des terres définis par les lignes directrices du GIEC, la croissance urbaine est une source importante des émissions des GES (GIEC, 2003). De ce fait, elle contribue ainsi au changement climatique à l'échelle globale (Ojima *et al.*, 2005 ; Labin *et al.*, 2006).

Tchatchou *et al.*, (2015) affirment que " l'expansion urbaine est essentiellement motivée par l'explosion démographique dans les grandes cités". En république du Congo le rapport taux de croissance démographique est de 3,6% (RPP Congo, 2010) alors que le taux annuel de croissance urbaine est passé de 6,6% dans la période de 1960 - 1974 à 6,8% dans celle de 1974-1984, soit une hausse de près de 3% (Tati, 1987).

A la limite de notre connaissance, aucune donnée disponible ne permet de suivre la croissance urbaine en général et dans les zones forestières en particulier et d'en évaluer les impacts sur les écosystèmes forestiers. Aussi en République du Congo, aucune donnée d'activité de la croissance urbaine n'existe pour calculer les émissions dues par la conversion des terres forestières vers les terres non forestières, ici la croissance urbaine.

Le présent travail se propose d'une manière générale de créer une base de données nationale sur la croissance urbaine des principales villes forestières et leur impact sur la durabilité des écosystèmes. De manière spécifique elle se propose de : Déterminer les pertes des superficies forestières de la ville de Ouesso ; Vérifier le lien qu'il y a entre la croissance urbaine et la croissance démographique ; Identifier les causes de l'élargissement de cette ville.

2 MATERIELS ET METHODES

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Ouesso est une ville du nord de la République du Congo, chef-lieu du département de la Sangha (figure 1). Elle est située entre 1° 37' 03" N et 16° 03' 04" E Elle est située sur la rive droite de la rivière Sangha, un affluent du Fleuve Congo et entourée par la forêt équatoriale. La zone est influencée par un climat équatorial congolais caractérisé par une pluviométrie, une température et une humidité peu variable (Samba-Kimbata, 1991). Il tombe plus de 50 mm de pluie tous les mois avec deux minima en janvier-décembre et juillet (57 à 64 mm) et deux maxima en mai et septembre-octobre (200 à 240 mm). La température moyenne annuelle oscille faiblement avec un minimum en juillet-août (22°) et maximum en avril (24°).

PRESENTATION DES FORMATIONS FORESTIERES

Autour de la ville de Ouessou, on trouve des formations forestières denses pluri strates avec la strate supérieure généralement composée des grands arbres aux cimes jointives formant une couverture continue. Les arbres dominants de ces formations appartiennent à la famille des Fabaceae (*Millettia laurentii* ou Wengé, *Erythrophloeum ivorense*, ou Tali, *Pterocarpus soyauxii* ou Padouk, *Swartzia fistuloides* ou Pao rosa, *Pericopsis elata* ou Afrormosia, etc.) des Sapotaceae (*Baillonella toxisperma* ou Moabi, *Chrysophyllum spp* ou Longhi, *Autranella congolense* ou Mukulungu), Moraceae (*Antiaristoxi caria* ou Ako, *Milicia excelsa* ou Iroko) des Meliaceae (*Entandrophragma cylindricum* ou Sapelli, *Entandrophragma utile* ou Sipo et *Guarea cedrata* ou Bossé), etc.

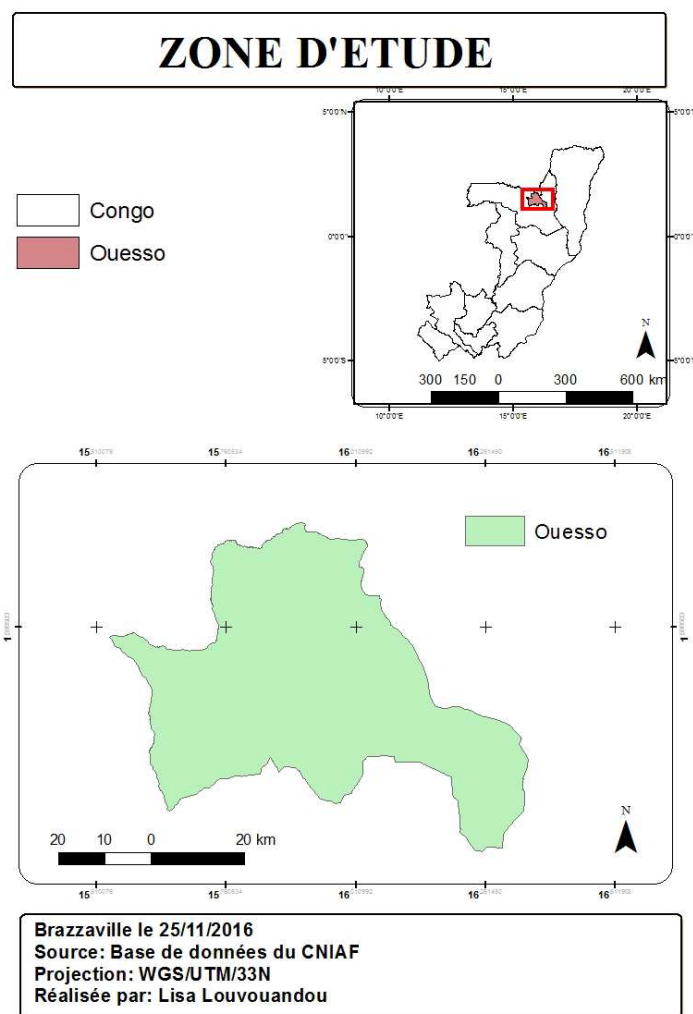


Figure 1 : Localisation du site d'étude

METHODE

Les différentes images Landsat utilisées dans le cadre de cette étude ont été obtenues d'une part par téléchargement sur le site USGS (Earth explorer) et d'autre part à l'OSFAC. Le tableau 1 présente les différentes caractéristiques de ces images, la résolution, les dates de capture de ces images ainsi que les différentes compositions colorées utilisées.

Tableau 1 : Logiciel de télédétection et type d'image utilisée pour ce travail

| Localités | Types d'images | N° de la scène | Date de capture | Résolution |
|-----------|----------------|----------------|-----------------|------------|
| Ouesso | Landsat7 | 182-059 | 18/09/2000 | 30m |
| | Landsat8 | 182-059 | Avril 2014 | 30m |
| | Landsat8 | 182-059 | Aout 2016 | 30m |

Avant de passer à la classification des images, et avant toutes autres choses, nous avons procédé au layer stack qui consiste à superposer les différentes bandes des images, suivi du subset qui nous a permis de découper la zone d'intérêt et d'extraire les informations utiles au suivi de la croissance urbaine. Ici les bandes qui mettent en valeur le sol, les bâtis qui sont preuves de l'étalement urbain. Toutes les images ci-dessus présentées ont suivi toutes les étapes de prétraitement des images : La correction géométrique, la correction radiométrique, la correction atmosphérique. Après quoi nous avons appliqué différentes compositions colorées. Cette composition est très efficace pour analyser les éléments sur l'image selon les études. A partir de l'examen de la composition colorée de la zone d'étude, nous avons identifié le nombre de signature spectrale possible correspondant à chaque élément de la légende. Nous avons par la suite défini des zones d'entraînement (Rois) correspondant à différents type d'occupation du sol.

LA CLASSIFICATION SUPERVISEE

La classification supervisée a été utilisée pour faire cette étude sur la croissance urbaine et la déforestation. Pour ce faire, les étapes ci-après ont été suivies : Définir et renseigner les ROI c'est-à-dire la région d'intérêt, sélectionner des échantillons représentatifs de chaque classe de la région d'intérêt, Renseigner les différentes classes. Nous avons appliqué l'algorithme "Maximum Likelihood" (maximum de vraisemblance) qui a été choisi afin de regrouper en une seule couleur les pixels de même nature pour la localité de Ouesso. Cette carte d'occupation du sol obtenue a fait l'objet d'une descente sur le terrain afin dans le but d'améliorer la précision de la carte finale, voir si les classes identifiées au laboratoire correspondent aux différentes occupations du sol sur le terrain.

La classification actualisée de la ville de Ouesso a porté sur la dernière image Landsat de 2016.

RECLASSIFICATION, VALIDATION DES CARTES, EVALUATION DE LA PRECISION

Partant des informations collectées sur le terrain, une reclassification a été faite tout en tenant compte des différentes classes d'occupation du sol rencontrées sur le terrain.

Ces superficies déterminées grâce à cette méthodologie de télédétection contiennent des erreurs commises et omises qui doivent normalement être recalculées afin d'obtenir les vraies superficies.

Pour évaluer la précision de notre carte, une matrice de confusion a été construite, suivi du calcul de la précision totale ainsi que du coefficient de Kappa. Il permet d'évaluer le degré d'efficacité d'une classification dans sa façon de classer un ensemble d'objet dans un certain nombre de classes définissant les modalités d'une variable nominale. C'est un indice statistique variant entre 0 et 1.

3 RESULTATS

CARTE D'OCCUPATION DU SOL AVANT LA VERITE TERRAIN DE LA VILLE DE OUESSO EN 2000 ET 2016

Les figures 2 et 3 présentent les cartes d'occupation du sol de la localité de Ouesso pour les années 2000 et 2016. Ces cartes présentent de grandes différences qui soulignent de la conversion des terres forestières vers les terres non forestières, surtout autour de la zone de l'aéroport de Ouesso.

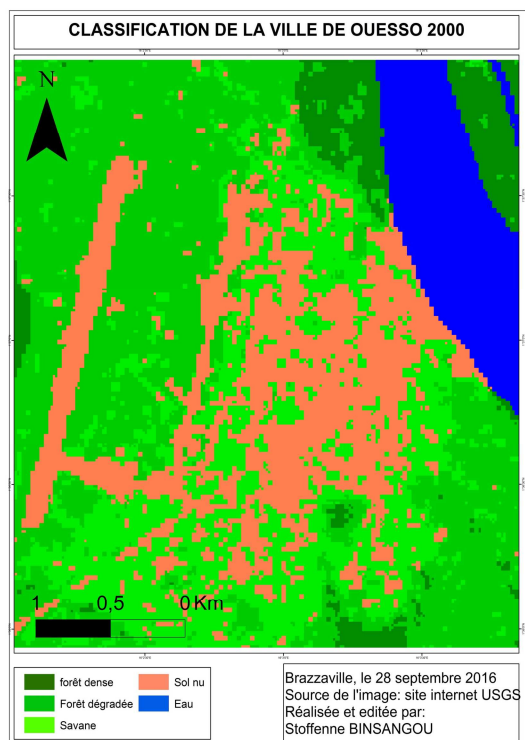


Figure 2 : Occupation du sol de Ouessou en 2000

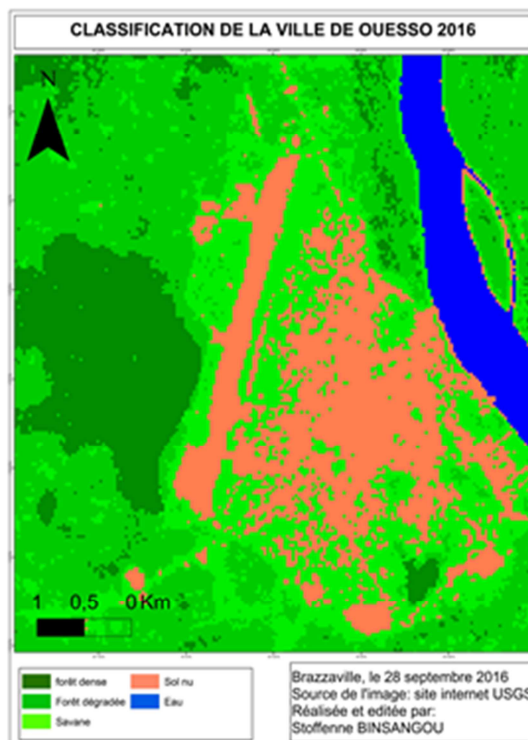


Figure 3 : Occupation du sol de Ouessou en 2016

CARTE D'OCCUPATION DU SOL APRES LA VALIDATION TERRAIN DE LA VILLE DE OUESSO EN 2000 ET 2016

Tout produit cartographique nécessite une validation du point de vue qualitative et quantitative (matrice de confusion, coefficient de kappa, etc...). La validation des cartes est importante car toute carte produite à l'aide des méthodes de télédétection contient des erreurs.

Un total de 289 points repartis en quatre classes d'occupation du sol ont été choisis au laboratoire en vue de la validation terrain soit 51 points qui représentaient la classe forêt dégradée ; 15 points représentaient la classe forêt dense ; 123 points représentaient la classe savane et 100 points représentaient le sol nu (tableau 2). La validation terrain nous a permis de repartir ces 289 points dans 7 classes comme suit : 23 points de la classe champ de culture ; 35 points de la classe forêt dégradée ; 11 points de la classe forêt inondée ; 4 points de la classe forêt marécageuse ; 33 points de la classe jachère ; 83 points de la classe savane et 100 points de la classe sol nu (tableau 3).

Tableau 2 : Points de vérification

| Types d'occupation de sols | Nombre de points |
|----------------------------|------------------|
| Forêt dégradée | 51 |
| Forêt dense | 15 |
| Savane | 123 |
| sol nu | 100 |
| Total | 289 |

Tableau 3 : Points de validation

| Types d'occupation de sols | Nombre de points |
|----------------------------|------------------|
| champ de culture | 23 |
| Forêt dégradée | 35 |
| Forêt inondée | 11 |
| Forêt marécageuse | 4 |
| Jachère | 33 |
| Savane | 83 |
| Sol nu | 100 |
| Total | 289 |

Nous avons procédé à une reclassification supervisée partant de la connaissance du terrain. La figure 4 présente la carte d'occupation spatiale du sol de la ville de Ouesso et de ces environs.

PRECISION DE LA CARTE ISSUE DE LA RECLASSIFICATION DE 2016

LE COEFFICIENT DE KAPPA

D'après Pontus (2000), dans une étude d'occupation de sols, si l'indice de Kappa évaluer pour les classifications est compris entre 50 et 75%, la classification adoptée est valable et les résultats peuvent êtres judicieusement utilisés. Dans le cas de notre étude, le coefficient de Kappa est égal à 0,81 soit 81%.

PRECISION GLOBALE

Nous remarquons que 83,65% de pixels ont été correctement classés. Les résultats de chaque classe se répercutent dans les tableaux 4, 5, et 6 qui suivent.

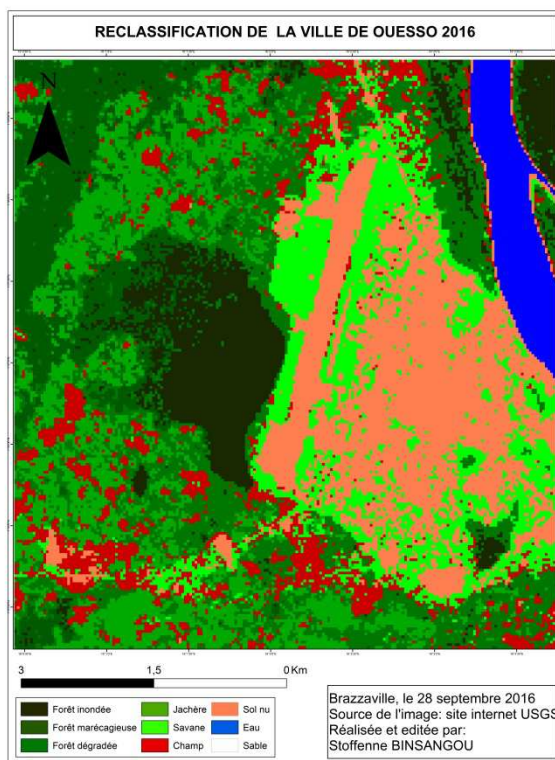


Figure 4 : Occupation de sol de la ville de Ouesso en 2016

Le **tableau 4** nous présente la matrice de confusion de certaines classes définies lors de ce travail. Il ressort de ce tableau qu'un total général de 7502 pixels a été classifié pour l'ensemble de ces 4 classes définies. Sur un total de 1683 pixels considéré comme pixels de la classe sol nu, 1676 appartiennent réellement à la classe sol nu, 3 pixels appartiennent à la classe savane, et 4 appartiennent à la classe champ. pour ce qui est de la classe savane, sur un total de 744 pixels classifiés, 684 appartiennent réellement a la classe savane, 30 appartiennent à la classe sol nu, 8 à la classe champ, 13 à la classe forêt dégradée et 9 à la classe jachère. Sur un total de 1758 pixels classifiés comme classe forêt inondée, 1618 appartiennent réellement a la classe forêt inondée, 106 à la classe forêt marécageuse, 8 à la classe champ, 25 à la classe forêt dégradée et 1 à la classe jachère. En ce qui concerne la classe eau, sur un total de 1641 pixels classifiés, 1639 pixels sont réellement de la classe eau et 2 sont de la classe sol nu. Enfin sur un total de 1676 pixels classifiés comme classe forêt marécageuse, 1544 appartiennent réellement à la classe forêt marécageuse, 53 appartiennent à la classe forêt inondée, 17 à la classe champ, 47 à la classe forêt dégradée et 15 à la classe jachère.

Tableau 4 : Matrice de confusion

| Class | Sol nu | Savane | Forêt inondée | Eau | Forêt marécageuse | Total |
|-------------------|--------|--------|---------------|------|-------------------|-------|
| Sol nu | 1676 | 30 | 0 | 2 | 0 | 1708 |
| Savane | 3 | 684 | 0 | 0 | 0 | 687 |
| Forêt inondée | 0 | 0 | 1618 | 0 | 53 | 1671 |
| Eau | 0 | 0 | 0 | 1639 | 0 | 1639 |
| Forêt marécageuse | 0 | 0 | 106 | 0 | 1544 | 1650 |
| Champ | 4 | 8 | 8 | 0 | 17 | 37 |
| Forêt dégradé | 0 | 13 | 25 | 0 | 47 | 85 |
| Jachère | 0 | 9 | 1 | 0 | 15 | 25 |
| Total | 1683 | 744 | 1758 | 1641 | 1676 | 7502 |

ERREURS OMISES ET COMMISES

Le **tableau 5** montre les erreurs omises et commises lors de cette classification pour les différentes classes définies dans ce travail. Ce dernier nous permet de dire que sur 1720 pixels de la classe sol nu, 44 pixels sont considérés comme erreurs commises soit 2,56% et sur 1683 pixels, 7 sont considérés comme erreurs omises. Sur 766 pixel de la classe savane, 82 pixels sont des erreurs commises soit 10,70% et sur 744 pixels, 60 sont des erreurs omises soit 8,06%. Pour ce qui est de la classe forêt inondée, sur 1695 pixels, 77 sont des erreurs commises soit 4,54% et sur 1758 pixels, 140 sont des erreurs omises soit 7,96%. Pour la classe eau sur 1639 pixels, tous les pixels sont bien classifiés, il n'y a pas d'erreurs commises ; cette classe n'a subi aucune erreur d'excédent ; mais sur 1641 pixels, 2 sont des erreurs omises soit 0,12%. En ce qui concerne la classe forêt marécageuse, sur 1969 pixels, 425 pixels sont des erreurs commises soit 21,58% et sur 1676 pixels, 132 sont des erreurs omises soit 7,88%. Pour la classe champ, sur 825 pixels 280 sont des erreurs commises soit 33,94% et sur 601 pixels, 56 sont des erreurs omises soit 9,32%. Pour la classe forêt dégradée, sur 1743 pixels, 714 pixels sont des erreurs commises soit 40,96% et sur 1642 pixels, 613 pixels sont des erreurs omises soit 37,33%. Enfin pour la classe jachère, sur 1846 pixels, 372 sont des erreurs commises soit 20,15% et sur 2458 pixels, 984 sont des erreurs omises soit 40,03%.

Tableau 5 : Erreurs d'omission et de commission

| Class | Commission (Percent) | Omission (Percent) | Commission (Pixels) | Omission (Pixels) |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Sol nu | 2.56 | 0.42 | 44/1720 | 7/1683 |
| Savane | 10.70 | 8.06 | 82/766 | 60/744 |
| Forêt inondée | 4.54 | 7.96 | 77/1695 | 140/1758 |
| Eau | 0.00 | 0.12 | 0/1639 | 2/1641 |
| Forêt marécageuse | 21.58 | 7.88 | 425/1969 | 132/1676 |
| Champ | 33.94 | 9.32 | 280/825 | 56/601 |
| Forêt dégradée | 40.96 | 37.33 | 714/1743 | 613/1642 |
| Jachère | 20.15 | 40.03 | 372/1846 | 984/2458 |

PRECISION D'UTILISATION ET DE PRODUCTION

Le tableau 6 nous présente la précision de production et d'utilisation de chacune des classes définies. Pour la classe sol nu, la précision de production est de 1676 pixels sur 1720 soit 99,58%. Par contre la précision de l'utilisateur est de 1676 sur 1720 pixels soit 97,44%. Pour la classe savane la précision de production est de 684 sur 744 pixels soit 91,94% et la précision de l'utilisation est de 684 sur 766 pixels soit 89,30%. En ce qui concerne la forêt inondée, la précision de production est de 1618 sur 1758 soit 96,12% et la précision d'utilisation est de 1618 sur 1695 pixels soit 95,46%. S'agissant de la classe Eau, la précision de production est de 1639 sur 1641 pixels soit 99,88% et la précision de l'utilisation est de 1639 sur 1639 pixels soit 100%. Pour ce qui est de la classe forêt marécageuse, la précision de production est de 1544 sur 1676 pixels soit 92,12% et la précision de l'utilisation est de 1544 sur 1969 pixels soit 78,42%. Pour la classe champ, la précision de production est de 545 sur 601 pixels soit 90,68% et la précision de l'utilisation est de 545 sur 825 pixels soit 66,06%. Pour la forêt dégradée, la précision de production est de 1029 sur 1642 pixels soit 62,67% et la précision de l'utilisation est de 1029 sur 1743 pixels soit 59,04%. Enfin pour la classe jachère, la précision de production est de 1474 sur 2458 pixels soit 59,97% et la précision de l'utilisation est de 1474 sur 1846 pixels soit 79,85%.

Tableau 6 : précision d'utilisation et de production

| Class | prod. Acc. (Percent) | User Acc. (Percent) | Prod. Acc. (Pixels) | User Acc. (Pixels) |
|-------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Sol nu | 99.58 | 97.44 | 1676/1683 | 1676/1720 |
| Savane | 91.94 | 89.30 | 684/744 | 684/766 |
| Forêt inondée | 92.04 | 95.46 | 1618/1758 | 1618/1695 |
| Eau | 99.88 | 100.00 | 1639/1641 | 1639/1639 |
| Forêt marécageuse | 92.12 | 78.42 | 1544/1676 | 1544/1969 |
| Champ | 90.68 | 66.06 | 545/601 | 545/825 |
| Forêt dégradée | 62.67 | 59.04 | 1029/1642 | 1029/1743 |
| Jachère | 59.97 | 79.85 | 1474/2458 | 1474/1846 |

TYPES D'OCCUPATION DE SOLS

En termes de changement d'utilisation de terres, nous avons constaté sur le terrain que la ville de Ouesso s'est développée dans une zone totalement forestière. Ces terres forestières ont été converties en trois types d'occupation du sol : les terres forestières ; les terres cultivées et les établissements (infrastructures, les arbres des établissements et les zones urbaines).

CROISSANCE URBAINE ET PERTE DES FORETS DANS LES DEUX ZONES D'ETUDES

La figure 5 présente les résultats de la croissance urbaine dans la période allant de 2000 à 2016. Cette superficie passe de 608,375 ha en 2000 à 1527 ha en 2016. Ouesso étant une ville forestière, nous avons estimé les pertes des forêts dues à la croissance urbaine, elle passe de 261,63 ha dans la période de 2000-2014 à 657,03 ha dans la période de 2014 à 2016 (figure 6).

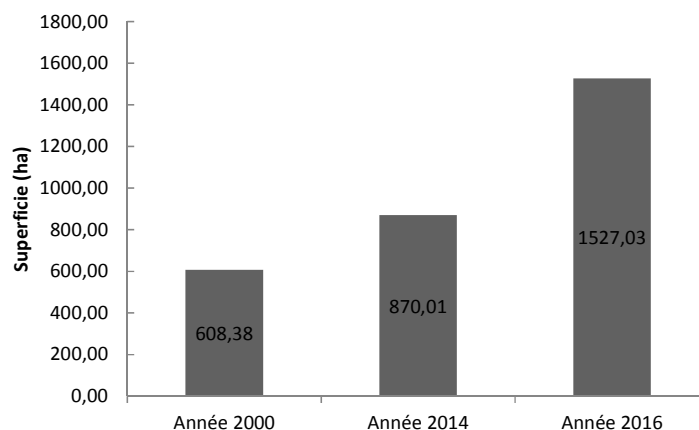


Figure 5 : pertes de forêts de la ville de Ouesso

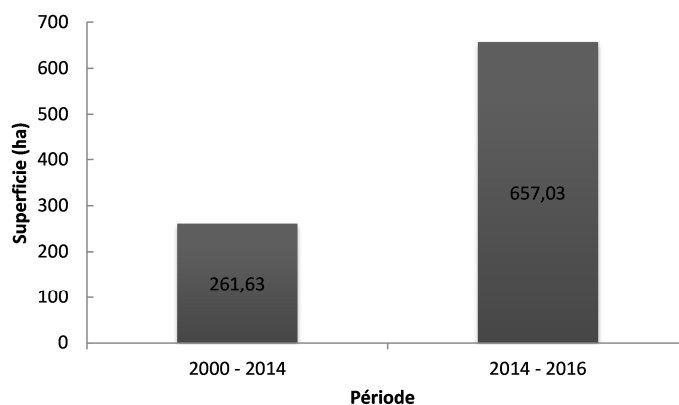


Figure 6 : Evolution des pertes de forêts

4 DISCUSSION

IMPORTANCE DE LA VERITE TERRAIN

La vérité terrain est très importante pour les études de classification par télédétection. Cela a été démontré par plusieurs auteurs dans la littérature (Regrain 1981 ; Lawandi 2006);

Cette étape permet de corriger les erreurs dues au traitement des images et d'améliorer la précision du produit cartographique final. La vérité terrain est une étape importante dans la validation des cartes (Regrain 1981). Dans le cas de notre étude, la vérité terrain nous a permis de discriminer pour la zone de Ouesso la forêt dense en deux classes : la forêt inondée et la forêt marécageuse. Dans la zone d'Impfondo, la mission de terrain nous a permis de discriminer les classes que nous n'avons pu identifier directement par la visualisation de l'image Landsat acquise en Février 2016. Nous avons discriminé la classe plantation palmier à huile, la classe champ de culture et les classes jachères, savane et forêt dégradée. En effet, de l'image il y a une confusion de pixels entre toutes ces classes lors de la définition des zones d'intérêt.

La mission de la vérité terrain permet ainsi de corriger les caractéristiques des classes (Sidi Tanko, 2012). La caractéristique complète des différentes unités n'est possible qu'avec l'observation sur le terrain. Dans le cas de notre étude, elle nous a révélée pour la ville de Ouesso que sur les cinq classes (forêt dense ; forêt dégradée ; savane, sol nu, Eau) définies au laboratoire, nous avons découvert sur le terrain que deux autres étaient incluses à l'intérieur de ces cinq classes soit un total général de sept classes après la vérité terrain. La classe forêt dense que nous avons définie au laboratoire ne reflétait pas la réalité sur le terrain. La photo interprétation faite lors de la définition de ces classes était totalement fautive. Pour ce qui est des points de ces différentes classes retenues au bureau, il y a eu plusieurs erreurs de commission et d'omission à l'exception de quelques classes telles ; que le sol nu et l'eau qui ont un pourcentage de taux de commission et d'omission

très faible, voire nul ; cela pourraient s'expliquer par le bon choix des Roi d'une part et par une bonne composition colorée des différentes bandes d'autres part. Ce qui nous a poussés a procédé à une reclassification partant de la connaissance du terrain. La correction des erreurs de la classification révélée lors de la mission sur le terrain a permis de regrouper certaines classes ou unités d'occupation des sols et de modifier certaines classes. L'intégration de ces erreurs nous a conduits à obtenir des cartes définitives d'occupation de sols de la zone dans laquelle nous avons mené cette étude sur la croissance urbaine (Sidi Tanko, 2012).

La matrice de confusion présentée dans le chapitre résultats est ainsi le produit de la combinaison des données de terrain et de la classification faite au laboratoire à Brazzaville.

CROISSANCE URBAINE

Les résultats obtenus lors de cette étude dans la période de temps défini montrent pour la zone d'étude une croissance urbaine avérée. Mais cette augmentation ne s'est pas faite de la même manière selon la période d'étude. Nous avons noté deux périodes, la période de 2000 à 2014 soit 14 ans avec une augmentation de 261,63 ha et la seconde période entre 2014 et 2016 avec une augmentation de 657,03 ha.

La croissance urbaine étant l'une des causes directes de la déforestation, l'enquête menée sur le terrain associé aux résultats obtenus révèle que plusieurs facteurs pourraient expliquer cette croissance. Les différentes causes de cette croissance sont les suivantes : la croissance démographique, L'aménagement du territoire par les populations locales ; La municipalisation accélérée ; l'étalement résidentiel, Le développement des zones d'activités associées à différentes activités.

LA CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE

Dans la localité d'étude, la collecte des données sur la croissance démographique montre bien un accroissement annuel important. Nous avons noté un accroissement de 6557 habitants de la population locale entre 2007 et 2012 Cette tendance est confirmée dans la littérature avec les travaux de Tati (1987) qui confirmait déjà le lien qui existait entre la croissance urbaine et l'explosion démographique. En effet l'expansion urbaine est essentiellement motivée par l'explosion démographique dans les grandes cités. Le rapport RPP Congo avance le taux de croissance démographique de 3,6 %. Le taux annuel de croissance urbaine est passé de 6,6 % dans la période allant de 1960 à 1974 à 6,8 % dans celle de 1974-1984, soit une hausse de près de 3 % (Tati ; 1987).

L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE PAR LES POPULATIONS LOCALES ET L'ETALEMENT RESIDENTIEL

L'idée d'avoir sa propre parcelle (parcelle individuelle) est de plus en plus une priorité dans cette ville. Cette dernière a poussé les populations locales de la ville d'occuper des terrains, et ceci a contribué à l'élargissement de cette ville. L'enquête menée sur le terrain dans la localité de Ouessou a révélé que la municipalisation accélérée a favorisée la construction des voiries urbaines tant à l'intérieur de la cité urbaine que dans la périphérie. Cet aménagement a conduit les populations à acquérir des terrains le long de ces routes aménagées : Cas de la route qui part de la ville de Ouessou vers Maboko, frontière Congo-Cameroun. Le long de cette route, des particuliers construisent des bâtiments modernes, qui conduiront certainement à l'élargissement de la ville de Ouessou dans quelques années.

Cette ville étant considérée comme un lieu de récréation suite à la qualité de son cadre de vie et la qualité du réseau routier qui permet un accès facile et une circulation libre, plusieurs grandes personnalités ont occupé des terrains et construit des maisons. Aussi plusieurs sociétés forestières sont implantées dans cette ville. Profitant de cela, les populations locales construisent des maisons en location pour faciliter l'installation ou l'hébergement de ces travailleurs, ceci entraîne également l'étalement de la ville.

Ce même constat a été aussi observé par Bornicha et Dao (2004), dans la région transfrontalière Genevoise.

IMPACT DE LA CROISSANCE URBAINE SUR L'ENVIRONNEMENT PERI URBAIN

La croissance urbaine est un vrai défi au développement durable dans les localités forestières. Elle touche essentiellement les terres forestières, menace la biodiversité ; provoque de nombreux impacts sur l'environnement et affecte les écosystèmes de productivité par consommation d'espaces fragiles, perte de biomasse et de stockage de carbone ; perte de ressources naturelles: la diminution et la fragmentation des forêts et des terres agricoles en raison essentiellement du développement des réseaux routiers et des infrastructures qui créent des effets barrières pour les espèces et dégradent les fonctions écologiques des habitats naturels. (Aguejedad, 2009 ; Seto *et al.*, 2012).

Cette diminution des forêts entraîne des effets potentiels sur l'érosion, l'écoulement accru et la concentration en CO₂ dans l'atmosphère et entraîne l'augmentation des changements climatologiques (Myers, 1988 ; Fontan, 1994 ; Goma *et al.*, 2013 et Nzoussi, 2014). La croissance urbaine modifie l'occupation des sols (Gallice-matti, 2005) ; entraîne aussi l'augmentation de la consommation d'énergie liée aux transports conduit à une augmentation des émissions de CO₂ dans l'atmosphère (Aguéjedad, 2009).

Cette croissance qui est une sorte d'artificialisation des sols, empêche la pérennité de la biodiversité (Clergeau, 2007) ; induit un changement de la nature des sols qui entraîne des conséquences environnementales (Alberti, 1999) ; d'une part l'imperméabilisation des sols, associée à des manques de prévention des risques et qui peuvent produire d'importantes inondations en période de crues. D'autre part, les sols artificialisés ne permettent pas de stocker le carbone, à l'inverse des sols agricoles, en particulier des prairies permanentes.

L'extension importante des surfaces artificialisées autour des villes forestières entraîne aussi une dégradation importante de la qualité de l'eau (Aichele, 2005 ; Tu *et al.*, 2007) suite à la modification du cycle de l'eau.

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude sur le suivi par télédétection de la déforestation due à la croissance urbaine de la ville de Ouessou; nous pouvons affirmer qu'il est donc possible de faire une étude sur la déforestation due à la croissance urbaine par télédétection. Les différentes missions de terrains que nous avons effectuées nous ont permis de connaître l'importance de la vérité terrain, d'une part pour saisir les différentes formes d'occupation de sols et d'autre part dans l'amélioration de l'estimation de la précision globale. Pour ce qui est de la croissance urbaine, plusieurs causes ont été identifiées lors de cette étude et qui expliquerait l'accroissement urbain de cette localité : la croissance démographique de la population locale, la municipalisation accélérée et l'aménagement du territoire. L'agriculture itinérante, et l'extraction du bois dans cette localité ont été identifiées comme des causes qui justifient l'écrémage des forêts.

Il ressort de cette étude que l'impact de la croissance en zone forestière est grand au regard des superficies forestières converties pour d'autres types d'utilisation de terres.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous voulons très sincèrement remercier toutes les autorités administratives de la ville de Ouessou pour les facilitations lors de la collecte des données sur le terrain.

REFERENCES

- [1] R. Aguejedad, "Étalement urbain et évaluation de son impact sur la biodiversité de la reconstitution des trajectoires à la modélisation prospective. Application à une agglomération de taille moyenne : Rennes métropole. Thèse pour obtenir le titre de docteur de l'université européenne de Bretagne. Ecole doctorale sciences humaine et sociales. Université renne 2 haute bretagne sous le sceau de l'université européenne de Bretagne, 378p. 2009.
- [2] S. S. Aichele, *Effect of urban land use change on stream flow and water quality in Oakland County, Michigan, 1970–2003, as inferred from urban gradient and temporal analysis*. US Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5016. US Geological Survey: <http://infotrek.er.usgs.gov/pubs/>.2005
- [3] M. Alberti, "Modeling the urban ecosystem: A conceptual framework". *Environment and planning B*, 26 (4), pp: 605-630, 1999.
- [4] F. Bornichia et H. Dao, "Les apports des SIG et de la télédétection dans la compréhension des mutations du système territorial de la région transfrontalière Genevoise". Art. pp : 1-11, 2004.
- [5] C. Chenost, Y-M. Gardette, J. Demenois, N. Grondard, M. Perrier, et Wemaere, Les marchés du carbone forestier, 167p, 2010.
- [6] P. Clergeau, Une écologie du paysage urbain. Edition Apogée, 137p, 2007.
- [7] K.L. Denman, G. Brasseur, A. Chidthaisong, P. Ciais, P.M. Cox, R.E. Dickinson, D. Hauglustaine, C. Heinze, E. Holland, D. Jacob, U. Lohmann, S Ramachandran, P.L. da Silva Dias, S.C. Wofsy and X. Zhang, "Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry." In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge and New York: Cambridge University Press. 2007.

- [8] J Fontan, "Changement globaux et développement", *Nature – Sciences – Société*, 2, p : 143–152, 1994.
- [9] C, Gallice-Matti, "La télédétection pour l'analyse spatiale : application aux espaces périurbains de la région urbaine de Lyon. Thèse pour l'obtention du diplôme de Docteur en Géographie et Aménagement de l'université Jean mouli Lyon 3 (France) et pour l'obtention du titre de Doctor rerumnaturalium de la faculté des sciences de l'Université de Fribourg (Suisse), 275p, 2005.
- [10] GIEC, Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie. Publié par l'Institut for Global Environmental strategies (IGES), pp : 22-222, 2003
- [11] GIEC, Lignes directrices pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, 85p, 2006.
- [12] H. Goma, "Dégradation du couvert végétal urbain Brazzavillois et mesure d'adaptabilité aux changements climatique, enjeux socio-économiques et défis technologiques dans les pays du Bassin du Congo". *Acte du colloque international de Brazzaville du 1-3 décembre 2009*. L'harmattan. 2013.
- [13] E. Lambin, B. Turner, H. Geist, S. Agbola, A. Angelsen, J. Bruce, O. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer et C. Folke. "The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths". *Global Env. Change*, 11(4): 261–269, 2001.
- [14] Lawandi Kanembou, "Etude de la dynamique des aires pastorales dans le département de Gouré : apport de la télédétection et SIG". Université de Niamey, Niger-DEA de Géographie physique. 2006.
- [15] N. Myers, "Tropical forest: much more than stocks of wood". *Journal of Tropical Ecology*, 4, pp: 209 – 221, 1988.
- [16] G.J. Nabuurs, O. Masera, K. Andrasko, P. Benitez-Ponce, R. Boer, M. Dutschke, E. Elsidig, J. Ford-Robertson, P. Frumhoff, T. Karjalainen, O. Krankina, W.A. Kurz, M. Matsumoto, W. Oyhantcabal, N.H. Ravindranath, M.J. Sanz Sanchez, X. Zhang, "Forestry." In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, and L.A. Meyer (eds.)], Cambridge and New York: Cambridge University Press. 2007.
- [17] R. Nasi Mayaux, P. Devers, D. Bayol, N. Eba'aAtyi, R. Munier, A. Cassagne, B. A. Billand, Sonwa D, "Un aperçu de stock de carbone et leurs variations dans les forêts du Bassin du Congo", pp : 199–2016, 2008.
- [18] Niveau des Emissions de Références pour les Forêts(NERF) en République du Congo, 2016.
- [19] H. Nzoussi, "La gestion de l'environnement urbain à Brazzaville. Problème et perspectives". *European Scientific Journal* October 2014 edition vol. 10, n° 29. pp 209-216, 2014.
- [20] Ojima D., Moran E., Connel W., Stafford Smith M., Laumann G., Morais J. et Young B., 2005. "Global Land Project" – *Science Plan and Implementation Strategy*. Stockholm, IGBH-IHDP, 64p.
- [21] Jr. R. G Pontus, "Quantification error versus location error in comparison of categorical maps". *Photogrammetric Engineering and remote Sensing*, vol. 66, n°8, (2000), pp: 1011-1016, 2000.
- [22] R. Regrain, Données de télédétection et données de référence. « Télédétection et Réalité de terrain ». *Annales de Géographie*, année 1981. Vol 90. Numéro 499. Pp 260-283, 1981.
- [23] RPP, République du Congo.
Disponible sur le site <http://www.Forestcarbonpartnership.org/sites/forestcarbonpartnership.pdf>. 2010.
- [24] M.J. Samba Kimbata, "Précipitations et bilans de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges". Thèse, Université de Bourgogne, Tome 1, 242p. 1991.
- [25] K. C. Seto Burak, B. Güneralp, et L. R. Hutya, "Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools". *PNAS*, vol. 109, n° 40, 16083 – 16088, 6p. 2012.
- [26] T. K. Sidi, "Dynamique de la végétation en zone minière dans la commune urbaine d'Arlit". Université Abou Moumouni de Niamey-Niger- Maitrise de Géographie. 2012.
- [27] G. Tati, "La croissance urbaine au Congo (1960-1984)". Institut de Formation et de Recherche Démographiques (EFORD), Yaoundé (Cameroun), pp : 177-187, 1987.
- [28] B. Tchatchou, D.J. Sonwa, S. IFO et A. M. Tiani., "Déforestation et dégradation des forêts dans le bassin du Congo : Etat des lieux, causes actuelles et perspectives". *Papier occasionnel 120. Bogor, Indonésie* : CIFOR, 47p, 2015.
- [29] J. Tu, Z-G. Xia, K. C. Clarke, et A. Frei, "Impact of Urban Sprawl on Water Quality in Eastern Massachusetts, USA". *Environ Manage*, 40, pp: 183 – 200, 2007.
- [30] Y. Zhang, B. Guindon, K. Sun et L. Sun, "La télédétection pour améliorer la compréhension de l'urbanisation au Canada. Ressources naturelles Canada", *Centre Canadien de télédétection*, pp : 1-2, 2012.