



Research Paper

Apport de la télédétection dans l'analyse de l'occupation et d'usage des terres dans la Préfecture d'Amou au Sud-Ouest du Togo

Issa Abdou-Kérim BINDAOUDOU^(1*), Koffi Fernand KOUAME⁽¹⁾, Isaac Zakariya KONE⁽¹⁾

(1) Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), Abidjan, Côte d'Ivoire
Corresponding Author: Issa Abdou-Kérim BINDAOUDOU

ABSTRACT: Les mauvaises pratiques observées dans l'occupation du sol et d'usage des terres, en particulier la déforestation et l'expansion de l'agriculture, dégradent les ressources naturelles du Togo. Cette étude vise à analyser l'évolution de l'occupation et usage des terres dans la Préfecture d'Amou au Sud-Ouest du Togo de 1975 à 2020, à travers une cartographie actualisée. Cette cartographie a permis d'analyser les vecteurs de changement pour une gestion durable des ressources naturelles. L'approche méthodologique est basée dans un premier temps sur la classification supervisée des images satellitaires Landsat avec l'utilisation de l'algorithme « Maximum de vraisemblance ». Dans un deuxième temps, sur l'outil SIG qui a permis de réaliser des analyses spatiales et de produire les résultats. L'étude montre que l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la Préfecture d'Amou est marquée par une baisse de la superficie de la forêt dense sur toute la période de l'étude, soit 3,79% entre 1975-2000, 1,4% entre 2000-2020 et 2,77% entre 1975-2020 annuellement, au profit des zones de culture et sols nus/laboure/habitation. L'équilibre écologique des massifs forestiers a fortement été perturbé par l'augmentation de la population combinée aux activités anthropiques.

KEYWORDS: Préfecture d'Amou, occupation du sol, utilisation des terres, déforestation, SIG, imagerie satellitaire

Received 01 November, 2021; Revised: 12 November, 2021; Accepted 14 November, 2021 © The author(s) 2021. Published with open access at www.questjournals.org

I. INTRODUCTION

Depuis le début du XIX siècle, les forêts tropicales connaissent une décroissance graduelle de leurs superficies sous diverses pressions anthropiques [21]. Cette dynamique est, en général, liée à la conjugaison des impacts de la variabilité climatique, de l'accroissement de la population mondiale et des changements des habitudes sociales [6]. Pour la période 1976-1980, le taux de dégradation annuelle des forêts tropicales humides se chiffrait à environ 6,113 millions d'hectares [20]. Dans ce contexte, divers acteurs ont cherché à mettre en œuvre une gestion durable des forêts tropicales [15]. Ce souhait de gestion durable a été répercuté de manière retentissante au niveau mondial depuis le sommet que les Nations unies ont organisé en 1992 à Rio de Janeiro pour amener la communauté internationale à s'engager dans le développement durable [31]. Ainsi, la Réduction des Emissions de gaz à effet de serre (GES) dues à la Déforestation et à la Dégradation forestière (REDD) qui est un mécanisme volontaire, a pour vocation d'inciter les pays en développement à adopter des mesures pour réduire la déforestation.

A l'instar des pays en voie de développement, le Togo se trouve confronté aux problèmes de gestion des ressources naturelles et de dégradation des terres. Entre 1990 et 1995, le Togo a perdu près de 93 000 ha de forêts soit un taux de déboisement annuel de 1,4% [19]. En effet, la surface forestière productive totale est estimée à 287 000 ha soit 5% de la superficie nationale, avec un taux moyen de déforestation annuel évalué à 5,1% (FAO, 2011). Les causes de cette dégradation sont principalement la production et la vente du bois de feu et du charbon sur tout le long des grandes routes, les feux de brousse au cours de la saison sèche et les défrichements à buts divers [9]. Cette dégradation accélérée des forêts représente également une menace pour les animaux qui en dépendent.

Pour limiter la pression sur les ressources forestières, des mesures ont été prises. Sur le plan national, le Togo a élaboré en 1998 son Plan National d'Action pour l'Environnement (PNAE) et le Programme National d'Actions Décentralisées de Gestion de l'Environnement (PNADE). Tous ces programmes visent à promouvoir une gestion globale et rationnelle de l'environnement en vue d'améliorer le cadre et les conditions de vie des populations. Malgré ces actions, on constate que dans certaines parties du Togo, à l'instar de la Préfecture d'Amou, le phénomène de dégradation des ressources naturelles s'observe avec acuité. Cette zone jadis forestière et appartenant à la zone écofloristique IV (correspondant à la partie méridionale des monts du Togo encore appelés unité de l'Atakora) a connu un déboisement très accéléré de son couvert végétal. A la faveur du climat d'instabilité politique qu'a connu le Togo dans les années 1990 avec l'avènement de la démocratie, les populations avaient exercé une forte pression sur les ressources faunistiques et floristiques. Le but de cette pression était soit la collecte de bois d'œuvre ou d'énergie, soit l'installation des parcelles agricoles, surtout que la terre est riche et propice à l'agriculture [4].

La Préfecture d'Amou, l'une des parties du pays jadis forestière connaît une déforestation sans précédent de son couvert forestier. Cette étude vise à analyser l'évolution de l'occupation et usage des terres dans la Préfecture d'Amou au Sud-Ouest du Togo de 1975 à 2020, à travers une cartographie actualisée.

Dans cet article, l'approche méthodologique est basée dans un premier temps sur la classification supervisée des images satellitaires de la série Landsat MSS 1975, ETM+ 2000 et OLI 2020 avec l'utilisation de l'algorithme « Maximum de vraisemblance » couplé aux investigations de terrain. Dans un deuxième temps, l'utilisation de l'outil SIG qui a permis de faire les analyses spatio-temporelles (1975-2020) et la production des différents résultats. Les principaux résultats portent sur l'identification des trajectoires des changements opérés au sein des unités d'occupations des terres surtout dans cette partie du pays où le changement d'occupation et usage des terres a pris une ampleur sans précédent au cours des récentes décennies.

II. MATERIELS ET METHODES

- Cadre de l'étude

La Préfecture d'Amou est située entre $7^{\circ}12'11''$ et $7^{\circ}52'57''$ de latitude Nord et entre $1^{\circ}0'6''$ et $1^{\circ}2'20''$ de longitude Est. Située au Sud-Ouest de la Région des Plateaux, elle est limitée au Sud par la Préfecture de Kpélé et de Haho, à l'Est par la Préfecture de l'Ogou, au Nord par la Préfecture de l'Anié et à l'Ouest par la Préfecture de Wawa et de Danyi (Figure 1).

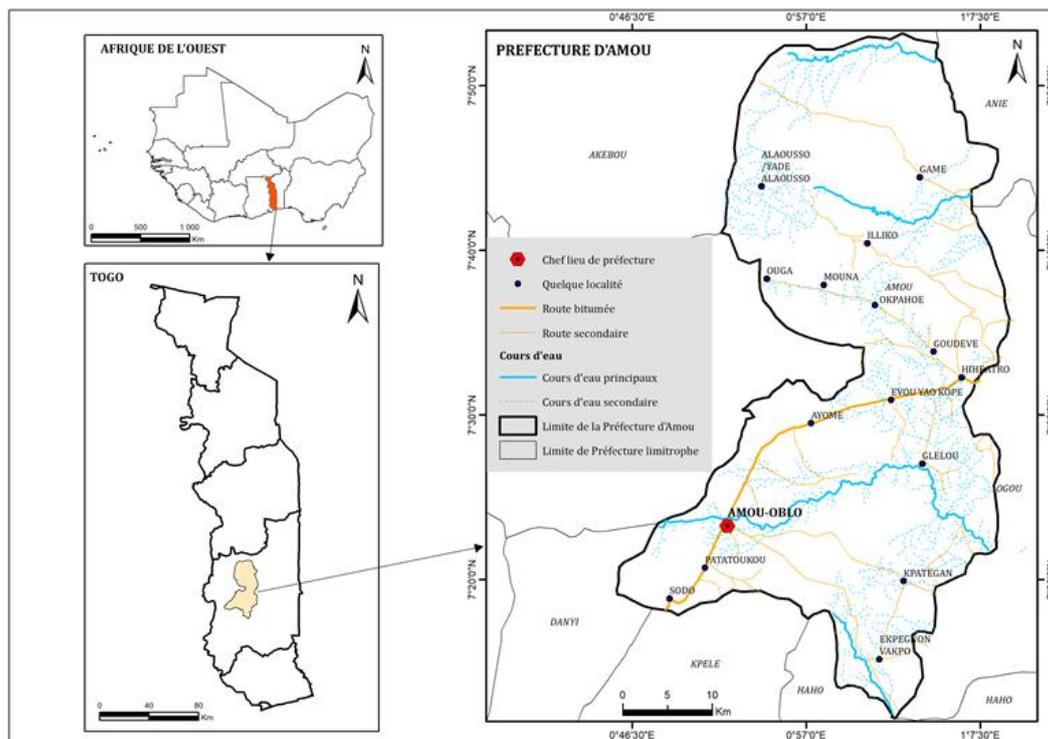


Figure 1. Situation géographique et administrative de la zone d'étude

Cette zone appartient au climat guinéen. C'est l'une des régions les plus pluvieuses du pays avec une normale de 1500 mm [3]. Le régime pluviométrique est marqué par deux saisons de pluie et deux saisons sèches. La première saison de pluie qui est la grande, dure quatre mois et s'étend de mars à juin et la petite qui ne dure que deux mois s'étend de septembre à octobre.

Il faut souligner que l'abondance des précipitations dans cette partie du pays favorise le développement de l'agriculture. C'est aussi l'un des poumons de l'économie du pays grâce à sa production du café, du cacao. Les sols sont ferrallitiques, épais et non indurés. Ces terres sont propices aux cultures vivrières et de rente. Les plaines servent aux cultures céréalières et les montagnes aux cultures de rente et aux fruits.

- **Matériels**

Dans le cadre de cette étude, le matériel utilisé est organisé en matériels de terrain et de bureau.

Le matériel de terrain est composé d'un récepteur GPS Garmin (Etrex 30) pour la prise de coordonnées de points d'observations au sein des différentes thématiques d'occupation du sol, de fiches de relevé pour la description de l'occupation et la notation des informations utiles (lieu, coordonnées géographiques, type de végétation, structure) et d'un appareil photographique numérique pour les prises de vue des différents sites visités. Pour ce qui est du matériel de bureau, nous avons utilisé un ordinateur, le logiciel MS Excel pour les calculs statistiques, la conception des tableaux et les graphiques, les logiciels ENVI 4.8 pour les traitements d'images satellitaires et ARCGIS 10.6 pour les tâches SIG.

- **Données**

Les données satellitaires et cartographiques collectées sont constituées d'images Landsat MSS 1975, ETM+ 2000 et OLI 2020 (Tableau I). Elles sont en téléchargement libre et gratuit sur le site <http://earthexplorer.gov> de l'USGS. Les données cartographiques, démographiques ont été obtenues auprès de l'Institut national de la statistique et des études économiques et démographiques (INSEED) et les données pluviométriques de 1980 à 2019 qui sont fournies par la Direction Générale de Météorologie Nationale (DGMN).

Tableau I : Date d'acquisition des images Landsat

Image	Scène (Path/Row)	Résolution spatiale	Date d'acquisition
MSS 1975	193-55	60 m	30/10/1975
ETM+2000	193-55	30 m	04/02/2000
OLI 2020	193-55	30 m	15/12/2020

- **Méthodes**

La démarche méthodologique adoptée se repose sur les prétraitements, les traitements des images satellitaires et les missions de collectes de données sur le terrain pour la validation des résultats.

- **Prétraitement**

Les prétraitements ont débuté par la réalisation de la correction radiométrique pour réduire les effets perturbateurs de l'atmosphère, qui est particulièrement chargée de nuage de poussière en période d'harmattan, car nous voulons effectuer une comparaison d'information à différentes dates. Pour ce faire, nous avons utilisé l'outil « Dark Object Subtraction » du logiciel ENVI 4.8. Selon [29], l'algorithme « Dark Object Subtraction » suppose l'existence d'« objets sombres », qui sont des pixels ayant des nombres de réflectance de zéro à très petits, dans une scène Landsat. Par conséquent, la valeur minimale du DN (nombre numérique) dans l'histogramme est considérée comme l'effet de la diffusion atmosphérique et est soustraite de tous les pixels de la scène, créant ainsi des « objets sombres » avec une valeur DN de zéro. Pour passer de valeur de pixel en compte numérique en valeur de réflectance, nous avons utilisé l'outil « Landsat Calibration » du logiciel ENVI 4.8. Pour s'assurer de l'homogénéité des traitements sur la période d'analyse, nous avons ramené toutes les classifications à une résolution de 30 m. Ainsi, la classification de 1975 obtenue avec l'image Landsat MSS4 à 60 m de résolution est rééchantillonné à 30 m. Cette conversion est indispensable pour des analyses spatiales et le calcul des surfaces sur les différentes périodes de l'étude car une étude comparative des données a été faite. Pour l'image MSS 1975, nous avons opté pour un rééchantillonnage par la méthode du plus proche voisin qui conserve les valeurs radiométriques originales de l'image ([29]).

- **Calcul des indices de végétation**

La caractérisation et l'identification des types d'occupation du sol dans la zone d'étude ont été faites par le calcul de quelques indices de végétation. Ces indices ont pour but de produire des images dans lesquelles la valeur d'un pixel donné prédit et mesure les caractéristiques physiques et biologiques de la végétation ([30]. Ces indices ont, à des degrés divers, permis d'identifier sur l'image satellitaire, les grandes formations végétales (forêts, savanes, sol nu/labouree) et les surfaces parcourues par le feu avant la mission de terrain. Il s'agit de :

- le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ou Indice de Végétation Normalisé (Rouse et al., 1974) est l'indice le plus connu en télédétection (Zammit, 2008). Une fois les images corrigées radiométriquement, l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) a été calculé pour chacune des images utilisées dans le but de suivre l'évolution de la végétation. Le NDVI illustre la différence entre ces deux bandes : $(PIR-R)/(PIR+R)$. Ainsi, il est sensible à la densité et à l'état de la végétation quand l'activité chlorophyllienne augmente, la réflectance dans la bande du rouge diminue alors que la réflectance dans la bande du proche infrarouge augmente. Plus la végétation est dense, plus les valeurs de NDVI seront proches de 1. Le NDVI est très utile pour la surveillance de la végétation à grande échelle puisqu'il est normalisé. Ainsi, il subit moins l'influence des changements de conditions d'illumination, de pentes de terrain et d'angle d'incidence de la visée satellitaire. Il est ainsi largement utilisé pour détecter les variations de biomasse et les zones brûlées (Zammit, 2008) ;
- le Brightness Index (BI) ou indice de Brilliance des sols permet principalement de mettre en évidence les éléments stériles (non chlorophylliens) comme l'urbain. L'indice de brillance a été construit à partir des canaux rouge (R) et proche infrarouge (PIR) suivant un calcul $IB = \sqrt{R^2+PIR^2}$;
- le Wetness Index (WI) ou indice d'humidité, représente l'humidité couplée du sol et de la végétation et identifie donc les surfaces submergées ou saturées. $WI = 0,2626 \text{ Band1} + 0,2141 \text{ Band2} + 0,0923 \text{ Band3} + 0,0656 \text{ Band4} - 0,7629 \text{ Band5} - 0,5388 \text{ Band7}$.

Par la suite nous avons effectué la composition colorée qui est une combinaison linéaire de trois canaux de l'image (Rouge/Vert/Bleu), ce qui a permis d'obtenir une image synthétique tout en bénéficiant de l'apport en termes de spécificités spectrales de chacune des bandes.

Au terme de plusieurs combinaisons, les compositions colorées des bandes 4-5-3 des images MSS, ETM+ et 5-4-3 des bandes d'image OLI ont été choisies, car elles présentent les meilleures discriminations des types d'occupation du sol [21]. Ainsi, divers types de forêts, de savanes, de jachères, de cultures pérennes et sols nus ont été discriminés.

- **Traitement**

Après la phase de prétraitement, nous avons procédé aux traitements numériques proprement dit, par la production de classes d'occupation du sol devant servir de base aux missions de visites de terrain. Le choix des sites d'entraînement a consisté à identifier et délimiter une centaine de parcelles représentant tous les types d'occupation du sol sur les compositions colorées OLI des bandes 5-4-3. Ces sites sont choisis en fonction de l'accessibilité (les localités, les pistes, le réseau hydrographique) et de leur répartition spatiale. Aussi, faut-il souligner que les connaissances théoriques du terrain (carte d'occupations du sol pré existantes réalisées au Togo dans le cadre de l'inventaire forestier national et du projet land use land cover) permettent de faciliter l'interprétation visuelle. Pour apprécier l'altitude des différents sites, un Model Numérique de Terrain (MNT) réalisé à partir des images ASTER GDEM a été utilisé.

- **Mission de terrain et collecte de données**

La carte d'occupation du sol de l'année 1975 est réalisée à partir de l'image du MSS4. Compte tenu du fait que nous ne disposons pas de vérités terrain à cette période, nous avons utilisé les images d'archives de la plateforme GoogleEarth Pro et d'autres sources de données comme la carte d'occupation du sol réalisée par le Centre AGRHYMET en 2018, la carte de l'Inventaire Forestier National pour l'année 2020 pour faire la vérification et l'interprétation de certaines zones. Ainsi, la validation de la classification est faite à partir des données historiques disponibles sur la plateforme. Compte tenu de la taille et de l'accessibilité de la zone d'étude, un total 100 points ont été utilisés pour la validation de la carte. Il s'agit de points issus de l'échantillonnage aléatoire de point ayant servi pour la classification. Cette même approche a été utilisée pour les autres dates. Pour être reconnu facilement sur le terrain, les parcelles ainsi sélectionnées sont caractérisées par leur homogénéité et leur taille suffisamment grande. Ainsi, trois missions de campagne de collecte de

donnée terrain dans les mois de décembre 2016, septembre 2017 et février 2018 ont été réalisées. Prenant en compte la période de prise de vue de l'image, la date de la première mission a coïncidé avec celle-ci afin d'avoir une réalité de terrain qui corresponde aux réponses spectrales sur l'image satellitaire Landsat 8 OLI de 2020. Cette mission s'est faite avant et après le traitement des images.

Ces missions ont permis de reconnaître et de décrire visuellement sur la base des parcelles sélectionnées sur l'image, les éléments paysagers entre autres la forêt dense, la forêt dégradée/culture, les savanes et le sol nu/labouren dans les parties accessibles de la Préfecture d'Amou. Les coordonnées GPS représentatives de chaque unité d'occupation du sol préalablement définies ont été relevées. Les données ainsi obtenues ont permis d'interpréter les données satellitaires, et les points de contrôle collectés pour la validation de la classification la plus récente (année 2020). Le traitement par la classification des trois séries images a été également fait. La bonne connaissance de la zone d'étude a permis d'opter pour une classification supervisée pour les images de 1975, 2000 et 2020 à partir de la composition colorée choisie à cet effet. Par ailleurs, c'est l'algorithme Maximum de vraisemblance qui a été utilisé. Enfin, la précision des classifications obtenues a été évaluée à travers l'utilisation d'une matrice de confusion ou tableau de contingence. Elle est calculée avec les valeurs exprimées en pixels et en pourcentage.

- ***Classification, évaluation et validation***

Deux indices de validation de classification ont été calculés :

- la précision globale qui caractérise la proportion de pixels bien classés, calculé en pourcentage ;
- l'indice de Kappa qui caractérise le rapport entre les pixels bien classés et le total des pixels sondés ;
- les précisions de l'utilisateur et du producteur ont été également utilisées

En plus des indices et les précisions de l'utilisateur et du producteur, les données de terrain ont également servi à la validation.

- ***Détection du changement par imagerie satellitaire***

La détection du changement saisonnier est un processus qui analyse une paire d'images acquises sur la même zone géographique à des instants différents dans le but d'identifier les changements saisonniers qui ont pu survenir entre les dates d'acquisition. En détection de changement, plusieurs approches pour cartographier les changements par imagerie satellitaires sont fréquemment rencontrées (Talab ou ali et al., 2017).

• ***Analyse de la dynamique de l'occupation du sol***

Afin de caractériser au mieux la dynamique de l'occupation du sol et les modalités de transitions entre les différentes classes d'une année à l'autre, nous avons effectué une analyse qualitative et quantitative. L'analyse qualitative a consisté en l'identification des différentes classes d'occupation et d'utilisation du sol. A travers une comparaison post-classification, l'analyse quantitative des changements survenus sur toute la période d'étude a été faite. Elle produit une matrice de détection des changements issue de la comparaison entre les pixels des classifications entre deux dates (Girard et Girard, 1999). Cette analyse se fait par le calcul du taux moyen annuel d'expansion spatiale (Tc) couramment utilisé dans les études sur le changement d'occupation du sol [11], [12].

Ce taux de changement s'évalue à partir de la formule suivante :

$$Tc = [(S2 / S1)^{1/t} - 1] \times 100$$

où :

Tc = taux de changement (%)

S1 = superficie de la classe à la date t1

S2 = superficie de la classe à la date t2 (t2 > t1)

t = nombre d'années entre les deux dates.

L'analyse des valeurs du taux de changement montre que les valeurs positives indiquent une "progression" et les valeurs négatives, une "régression". Les valeurs proches de zéro indiquent que la classe est relativement "stable".

La carte d'occupation du sol de la Préfecture d'Amou pour l'année 2020 produite par la classification dirigée a permis d'identifier les classes suivantes :

- la classe forêt dense est la fusion des forêts denses semi-décidues, des forêts denses sèches et des galeries forestières ;

- la classe forêt dégradée/cultures pérennes est formée de forêts claires ou semi-décidues modifiées par les activités anthropiques ou non et des champs (plantations forestières, plantations industrielles et pérennes, etc.) ;
- la classe savane est un regroupement des savanes arbustives denses, des savanes arbustives peu denses et des brûlis, qui sont les savanes parcourues par les feux avant la prise de vue ;
- la classe sol nu/labouree est composée des savanes herbeuses, pâturages, cultures vivrières, brûlis, coupes forestières récentes et surfaces artificielles (habitation, route, piste, etc.).

- **Evaluation de la couverture forestière dans la préfecture d'Amou**

La déforestation annuelle résulte du rapport entre la surface défrichée sur une période, divisée par la surface forestière initiale et par le nombre d'années de la période ([30]. Plusieurs études ont récemment démontré que l'évolution de la perte forestière ne peut pas être obtenue avec ce simple rapport [25]. La formule ci-dessous proposée par [25] et qui est utilisée dans plusieurs études comme le Niveau de référence des forêts au Togo [24] a été adoptée dans cette étude pour calculer le taux de déforestation annuelle dans la préfecture de l'Amou.

$$\Theta = -1/(t2-t1) \ln A2/A1 \times 100$$

Où :

t1 = date d'acquisition des images pour l'année initiale ;

t2 = date d'acquisition des images pour l'année finale ;

A1= Surface forestière de l'année initiale ;

A2 = Surface forestière de l'année finale.

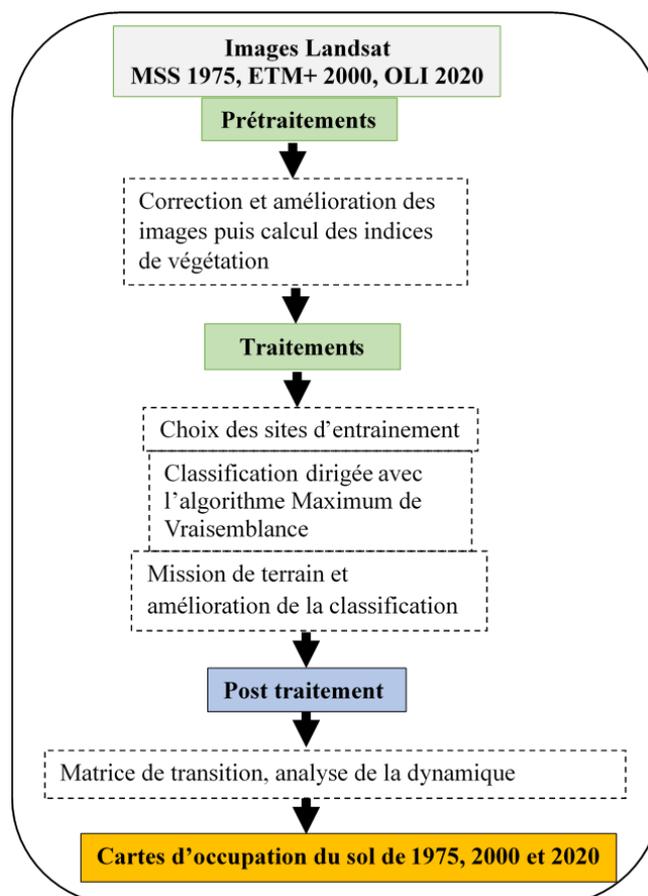


Figure 2. Synthèse de l'approche méthodologique adoptée

III. RESULTATS

- Composition colorée et discrimination des classes thématiques

Les compositions colorées des bandes OLI 5/OLI 4/OLI 3 ont servi à la description des types d'occupation du sol. A travers une gamme variée de coloration, ces compositions ont permis d'apprécier et de différencier la répartition spatiale des différents types de classes d'occupation du sol. Aussi, faut-il souligner qu'elles ont servi de base aux différentes missions de terrains pour la description des formations végétales (figure 3).

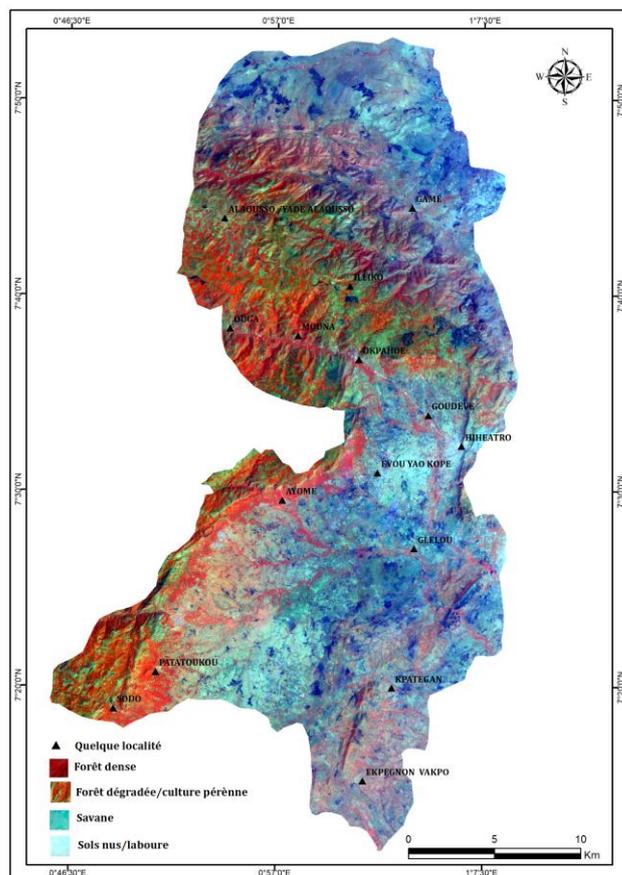


Figure 3 : Composition colorée OLI 5/OLI 4/OLI 3 sur l'image Landsat 8 OLI de 2020

D'après l'analyse de la composition **OLI 5/OLI 4/OLI 3** (Figure 3), la forêt dense est globalement caractérisée par la coloration rouge, les savanes par le bleu, les forêts dégradées mélangées de cultures pérennes par la couleur orange et les sols nus/laboure en bleu clair. Quant aux zones parcourues par les feux (brûlis), elles ont été identifiées sur cette composition par du bleu foncé.

- Classification supervisée d'images satellitaires et évaluation

Les différentes classifications ont été évaluées par les matrices de confusion représentées par les tableaux II, III et IV à travers le calcul de la précision globale de classification, du coefficient de Kappa et des données terrain. Ces tableaux indiquent que les précisions globales des classifications sont de 95,02%, 96,60% et 98,31% respectivement pour les images de 2020, 2000 et 1975.

Les tableaux II, III et IV affichent dans la diagonale, le pourcentage de pixels bien classés et hors diagonale, le pourcentage de pixels mal classés.

Tableau II : Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat 8 OLI de la Préfecture d'Amou de 2020 en pourcentage

Classes d'occupation	Forêt dense	Forêt dégradée/ Cultures pérennes	Savanes	Sols nus/laboure
Forêt dense	97,63	10,09	0,00	0,00
Forêt dégradée/ Cultures pérennes	2,25	89,81	2,26	0,00
Savanes	0,12	0,10	87,81	1,23
Sols nus/laboure	0,00	0,00	9,93	98,77
TOTAL	100	100	100	100

Précision globale : 95,02% ; Coefficient Kappa : 0,93

L'analyse des données du tableau montre que la classe forêt dense présente quelques confusions avec la classe forêt dégradée/Cultures pérennes d'une part et d'autre part, les classes sols nus/laboure et savanes. En effet, 10,09% des pixels de forêt dégradée/Cultures pérennes se retrouvent classés dans la forêt dense créant une confusion avec celle-ci. Quant aux autres classes d'occupation, 9,93% de la savane se retrouve confondu aux sols nus.

Tableau III : Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat ETM+ de la Préfecture d'Amou de 2000 en pourcentage

Classes d'occupation	Forêt dense	Forêt dégradée/ Cultures pérennes	Savanes	Sols nus/laboure
Forêt dense	92,72	2,19	0,12	0,00
Forêt dégradée/ Cultures pérennes	7,28	97,81	0,57	0,31
Savanes	0,00	0,00	97,27	0,31
Sols nus/laboure	0,00	0,00	2,05	99,38
TOTAL	100	100	100	100

Précision globale: 96,60%; Coefficient Kappa: 0,94

L'analyse des données du tableau III montre que la classe forêt dense présente quelques confusions avec la classe forêt dégradée/Cultures pérennes d'une part et d'autre part, les classes sols nus/laboure et savanes. En effet, 2,19% des pixels de forêt dégradée/Cultures pérennes se retrouvent classés dans la forêt dense créant une confusion avec celle-ci. Quant aux autres classes d'occupation, 2,05% de la savane se retrouve confondu aux sols nus.

Tableau IV : Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat MSS de la Préfecture d'Amou de 1975 en pourcentage

Classes d'occupation	Forêt dense	Forêt dégradée/ Cultures pérennes	Savanes	Sols nus/laboure
Forêt dense	99,04	5,24	0,00	0,00
Forêt dégradée/ Cultures pérennes	0,96	94,31	0,57	0,00
Savanes	0,00	0,00	99,43	0,22
Sols nus/laboure	0,00	0,46	0,00	99,78
TOTAL	100	100	100	100

Précision globale : 98,31% ; Coefficient Kappa : 0,97

Une analyse des données de ce tableau montre que la classe forêt dense présente quelques confusions avec la classe forêt dégradée/Cultures pérennes d'une part et d'autre part, les classes sols nus/laboure et savanes. En effet, 5,24% des pixels de forêt dégradée/Cultures pérennes se retrouvent classés dans la forêt dense créant une confusion avec celle-ci.

- **Etat paysager de la préfecture d'Amou en 1975, 2000 et 2020**

Les cartes de la couverture végétale issues de la classification des images satellitaires de la préfecture d'Amou de 1975, 2000 et 2020 sont représentées par la figure 4.

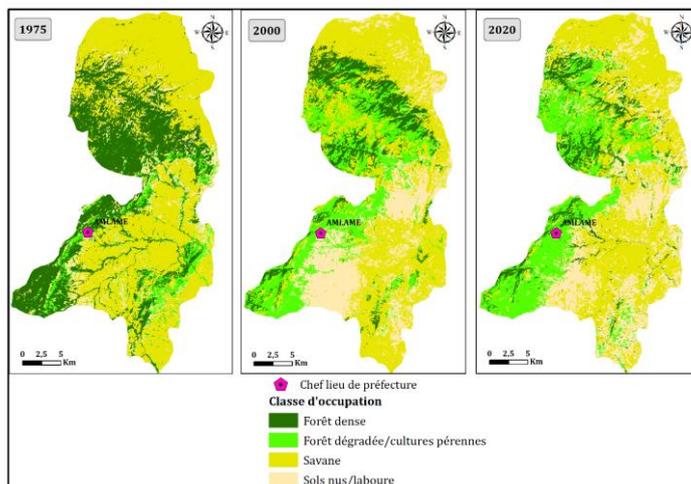


Figure 4 : Synthèse de l'analyse de la dynamique des classes d'occupation du sol de 1975, 2000 et 2020

L'analyse de la figure 4 montre que dans les années 1975, les parties Nord-Ouest et Sud-Ouest étaient occupées par la forêt dense. Sur cette même carte, une dominance de la savane est également constatée dans la partie nord et du centre jusqu'au sud de la Préfecture. La forêt dégradée/cultures pérennes est visible dans les parties Sud-Est et Sud-Ouest dans au sein de la forêt dense. Les sols nus/laboure en faible proportion sont beaucoup plus à l'intérieur des zones de savanes.

Dans les années 2000, la forêt dense se retrouve plus dans la partie nord et quelques îlots dans la partie sud de la préfecture. La forêt dégradée/cultures pérennes occupe beaucoup plus la partie Sud-Ouest de la Préfecture. Les zones de savanes se localisent dans les parties nord et Sud-Est de la zone d'étude. Quant aux sols nus/laboure, ils se localisent beaucoup plus dans les parties sud et centrale de la Préfecture.

Sur la carte de 2020, quelques îlots de forêt dense sont observés un plus au nord et Nord-Ouest ainsi qu'au Sud-Ouest. La forêt dégradée/cultures pérennes est beaucoup plus localisée dans les parties Nord-Ouest et Sud-Ouest. La savane et les sols nus/laboure se localisent beaucoup plus dans les parties sud, centrale et nord de la Préfecture.

Le graphe de la figure 5 résume l'évolution des surfaces occupées par les différents types de végétation de 1975 à 2020.

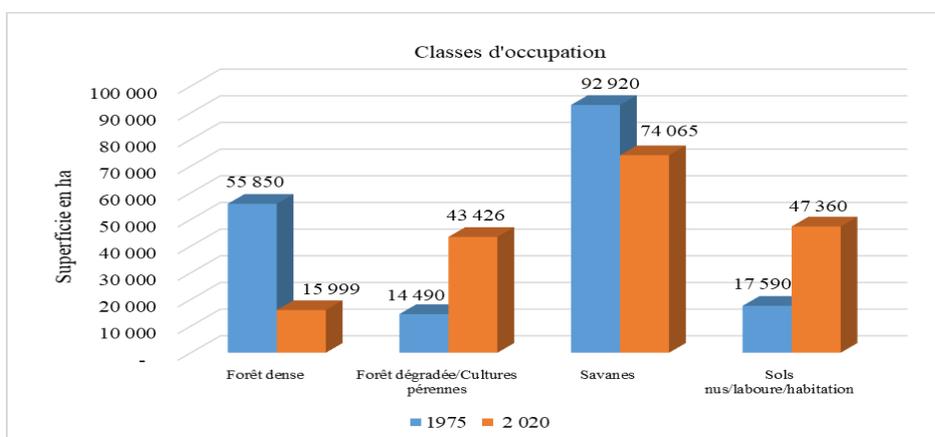


Figure 5 : Synthèse de l'évolution des superficies des classes d'occupation du sol entre 1975, 2000 et 2020

L'analyse de la figure 5 montre une baisse significative des superficies des classes d'occupation de la classe forêt dense et des savanes. En effet, la superficie des forêts (dense) depuis les années 1975 est passée de

55 850 ha à 21 250 ha en 2000 puis à 15 999 ha en 2020, signe que cette classe subie d'énorme pression d'année en année. Ce même constat est fait pour la classe savane. Entre 1975 et 2000, la surface savanicole est passée de 92 920 ha à 78 464 ha puis à 74 065 ha au cours de la même période, ce qui se traduit par l'installation des zones de laboure et parfois d'habitation.

- **Matrice des changements paysagers de 1975 à 2000 dans la Préfecture d'Amou**

Afin de mesurer les différents changements intervenus dans les intervalles de temps entre les années de cette étude, nous avons fait un croisement entre la classification de 1975 et celle de 2000, ce qui a permis d'identifier deux types de dynamiques :

- Conversion : changements d'une catégorie d'occupation des terres à une autre ;
- Non changement : classe non affectée par des modifications ou des conversions entre deux dates. Les données en diagonale dans le tableau indiquent que la classe est stable (non changement) et les valeurs hors diagonale indique un changement en d'autres classes d'occupation.

Tableau V : Matrice des changements paysagers entre 1975 et 2000 dans la Préfecture d'Amou

Classification de 2000	Classification de 1975			
	Forêt dense	Forêt dégradée/ Cultures pérennes	Savanes	Sols nus/laboure
Forêt dense	46,75	4,57	0,16	0,01
Forêt dégradée/Cultures pérennes	37,73	39,11	5,05	0,4
Savanes	11,80	25,88	67,16	52,83
Sols nus/laboure	3,73	30,44	27,63	52,83
Changement de classe	53,25	60,89	32,84	47,17

De l'analyse de cette matrice, plusieurs observations peuvent être faites :

- pour la classe forêt dense : on peut constater que près de 37,73% de cette classe a été convertie en forêt dégradée/cultures pérennes au cours de la période 1975 à 2000, 11,80% et 3,73% ont été respectivement converties en savanes et sols nus/ laboure, soit un taux global de 53,25% de changement de cette classe. Seulement 46,75% a été conservée ;
- la forêt dégradée/cultures pérennes : 4,57% de cette classe a été modifiée en forêt dense, 25,88% et 30,44% ont été respectivement transformées en savanes et en sols nus/laboure/habitation, soit un taux global de 60,89% de changement de cette classe et 39,11% de conservation ;
- pour la classe savane : 5,05% et 27,63% ont été transformés respectivement en forêt dégradée/cultures pérennes et sols nus/laboure/habitation et une conservation de 67,16% de cette classe ;
- entre 1975 et 2000 : près 46,76% des sols nus/ laboure ont été transformées en zone de savanes.

- **Matrice des changements paysagers de 2000 à 2020 dans la préfecture d'Amou**

L'analyse des changements paysagers observés entre 1975 et 2000 a été réalisée également pour la période 2000 à 2020 afin de mesurer les différents changements intervenus dans les intervalles de temps. Un croisement entre les résultats de la classification de 2000 et celle de 2020 a permis d'identifier deux types de dynamiques : les surfaces d'occupation restées stables et celles converties en d'autres classes d'occupation. Les résultats de ces changements observés sont présentés dans le tableau VI.

Tableau VI : Matrice des changements paysagers entre 2000 et 2020 dans la Préfecture d'Amou

Classification de 2020	Classification de 2000			
	Forêt dense	Forêt dégradée/ Cultures pérennes	Savanes	Sols nus/laboure
Forêt dense	25,15	1,36	0,06	0,02
Forêt dégradée/ Cultures pérennes	32,04	67,07	4,42	0,06
Savanes	32,80	23,49	74,5	46,98
Sols nus/laboure	10,01	8,08	21,02	52,94
Changement de classe	74,85	32,93	25,25	47,06

L'analyse de cette matrice fait ressortir plusieurs observations entre autres :

- pour la classe forêt dense : près de 32,04% de cette classe a été convertie en forêt dégradée/cultures pérennes, au cours de la période 2000 à 2020, 32,80% et 10,01% ont été respectivement converties en savanes et sols nus/ laboure/habitation, soit un changement global de 74,85%. Seulement 25,15% de cette classe est restée stable ;
- la forêt dégradée/cultures pérennes : 23,49% de cette classe a été convertie en savanes, 8,08% et 1,36% ont été respectivement modifiés en sols nus/ laboure/habitation et en forêt dense, soit un changement global de 32,93% ;
- en ce qui concerne la classe savanes : 74,2% est resté stable, 21,02% a été converti en sols nus/laboure/habitation s'expliquant par la mise en place des zones d'habitation ou des parcelles de cultures. En revanche, 4,42% ont été modifiées en forêt dégradée/cultures pérennes, ce qui peut s'expliquer par une anthropisation (plantation) ou un reboisement dans la zone ;
- entre 2000 et 2020 : près 46,98% des sols nus/ laboure ont été transformés en zone de savanes (herbeuse), 52,94% de cette classe est restée stable.

Il faut noter qu'entre 2000 et 2020, le rythme de la déforestation a baissé contrairement à la période 1975-2000, ce qui peut s'expliquer par des actions de reboisement et de sensibilisation et aussi la raréfaction de bois de chauffe vu que les ressources forestières disparaissent d'année en année.

- **Matrice des changements paysagers de 1975 à 2020 dans la Préfecture d'Amou**

La matrice de transition de l'occupation du sol entre 1975 et 2020 présente des informations sur l'évolution des catégories d'occupation du sol au cours de cette période. Ces différents changements intervenus au sein des différentes classes d'occupation sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau VII : Matrice de conversion changements paysagers entre 1975 et 2020 dans la Préfecture d'Amou

Classification de 2020	Classification de 1975			
	Forêt dense	Forêt dégradée/ Cultures pérennes	Savanes	Sols nus/laboure
Forêt dense	17,65	1,23	0,61	0,02
Forêt dégradée/ Cultures pérennes	52,22	52,15	6,29	0,07
Savanes	24,31	27,91	63,45	43,84
Sols nus/laboure	5,82	18,71	29,65	56,07
Changement de classe	82,35	47,55	36,55	43,93

Somme toute, on observe trois grands processus qui se sont déroulés dans le paysage au cours de ces quarante-cinq (45) ans d'intervalle couvrant la période de l'étude. Ces processus de transformation ont été mis en évidence à l'aide des matrices de transition. Il s'agit de :

- la savanisation, c'est-à-dire la création ou formation de savanes ; elle s'est faite par le maintien des savanes préexistantes (63,45 %) et la disparition de la forêt dense (82,35 %) au profit d'autres classes d'occupation ;
- la dégradation de l'écosystème forestier, surtout la forêt dense qui a été transformée en d'autres classes d'occupation du sol à savoir 52,22% en forêt dégradée/cultures pérennes, 24,31% en savanes et 5,82% de sols nus/ laboure/habitation ;
- la transformation de la forêt dégradée/cultures pérennes (47,85%) au profit de la savane (27,91%) et des sols nus/laboure (18,71%) ;
- quant aux sols nus/laboure, 56,07% de cette classe est restée stable et 43,84 ont été converties en d'autres classes d'occupation.

- **Variation des classes d'occupation du sol de 1975 à 2020**

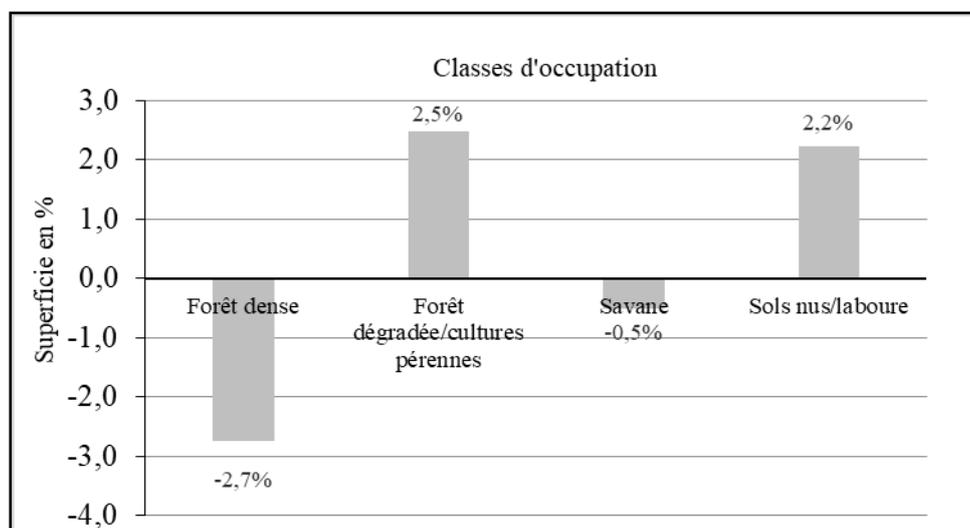


Figure 6 : Graphe de taux de variation des classes d'occupation du sol entre 1975 à 2020

L'analyse de la figure 6 montre que des diminutions annuelles de -2,7 % et de -0,5 % ont été observées respectivement pour la forêt dense et les surfaces savaniques. Par contre, il est noté une augmentation moyenne annuelle de 2,5 % et 2,2 % des superficies de la forêt dégradée/cultures pérennes et des sols nus/laboures sur toute la période de l'étude.

- **Pression forestière dans la préfecture d'Amou**

Le taux de déforestation annuel a été calculé sur toutes les périodes de l'étude. Les résultats sont présentés dans le tableau 8.

Tableau VIII : Taux de déforestation annuel suivant les périodes de l'étude

Couverture forestière (ha)			
Année	1975	2000	2020
Superficie (ha)	55 850	21 250	15 999
Perte de couverture forestière (ha)			
Période	1975 - 2000	2000 - 2015	1975 - 2015
Superficie (ha)	34 600	5 251	39 851
Taux de perte de couverture forestière (%)			
Période	1975 - 2000	2000 - 2020	1975 - 2020
Taux (%)	3,86	1,46	2,77

L'analyse du tableau 8 montre que le fort taux de perte forestière a été enregistré au cours de la période 1975-2000, soit 3,86%.

IV. DISCUSSION

- **Traitement d'images satellitaires et caractérisation du couvert végétal**

Le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), le Wetness Index (WI) et le Brightness Index (BI) qui sont des indices de télédétection ont respectivement permis de caractériser la couverture végétale dans la Préfecture d'Amou. Ces indices constituent donc des informations potentielles, originales et utiles à la connaissance du milieu naturel [5]. Même si elle ne donne pas accès aux informations à l'échelle des individus (identification de l'espèce), l'imagerie satellitaire Landsat a permis d'avoir une vision synoptique des différents milieux écologiques (N'da, 2007). Cependant, le choix des parcelles à échantillonner dans les différents milieux écologiques et leur reconnaissance dans la zone d'étude a été rendue possible grâce aux images Landsat ETM

[1]. Cette caractérisation a permis d'identifier quatre (4) classes d'occupation du sol à savoir : la forêt dense, la forêt dégradée/cultures pérennes, les savanes et les sols nus/laboures.

Afin de réussir la discrimination spectrale des types d'occupation du sol, plusieurs missions de reconnaissance terrain et de collecte de données ont été menées au niveau des différentes formations végétales. Les traitements numériques ont été validés par des tests statistiques des résultats (matrices de confusions) mais également par des missions de terrain afin de confronter les résultats issus de nos différentes classifications aux réalités de terrain. A la lumière de tout ce qui précède, nous pouvons affirmer que nos résultats sont fiables.

Les précisions globales des classifications sont respectivement de 94,32% pour 1975 ; 96,66% pour 2000, 95,02% pour 2020. Ces précisions sont acceptables car selon [7], une classification est jugée acceptable lorsque la précision globale avoisine 80 %. Ainsi, [2] ont trouvé une précision moyenne de 75% dans une étude sur la dynamique de l'occupation de la Réserve de la Forêt Classée d'Abdoulaye au Togo ; [21], lors d'une étude réalisée dans le Parc de la Marahoué en Côte d'Ivoire, a obtenu des précisions globales de 82,59%, 82,65% et 86,13% ; [22], dans une étude menée au niveau de la forêt classée de la Badénou ont trouvé des précisions globales de 88 % et 91 % ; [23] ont quant à eux obtenu une précision de 87% en classifiant une image Landsat couvrant la forêt classée de Bouaflé située dans la même zone d'étude que le Parc de la Marahoué en Côte d'Ivoire.

Cependant, il faut souligner que les plus grandes confusions ont été observées entre les classes forêt dense et forêt dégradée/cultures d'une part, et entre forêt dégradée/culture et savanes d'autre part. Notons que dans l'Amou, les cultures pérennes telles que les plantations de cacaoyers sont généralement cultivées sous couvert forestiers, ce qui rend souvent difficile la discrimination des formations (forêt dense, forêt dégradée/cultures pérennes). Cette même remarque avait été faite par [22] dans l'étude sur le suivi par télédétection spatiale d'une forêt tropicale humide protégée soumise à des pressions anthropiques au niveau de la forêt classée du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire. Toujours dans la même logique, [18] avait fait les mêmes constats dans une étude sur le suivi de la dynamique de l'occupation du sol à l'aide de l'imagerie satellitaire et des systèmes d'informations géographiques : cas de la Direction Régionale des Eaux et Forêts de Yamoussoukro en Côte d'Ivoire.

- **Analyse de la dynamique de l'occupation du sol dans la Préfecture d'Amou**

L'analyse de la dynamique de la couverture végétale de la Préfecture d'Amou de 1975 et 2020 indique que les zones de forêt dégradée/culture pérennes sont passées de 14 490 ha à 43 425,72 ha, soit une hausse estimée à 28 936 ha. La partie ouest de la préfecture où se concentre la forêt dense est la plus affectée par la régression de sa surface passant de 55 850 ha à 15 999 ha en 2020. Cette perte serait due aux défrichements agricoles car l'aire d'étude constitue en fait une zone où les cultures pérennes comme le café, le cacao prédominent. C'est également une zone où les cultures sous-bois dominant d'où la dégradation avancée de la forêt dense au profit des cultures pérennes. Ce qui explique l'augmentation des surfaces de forêt dégradée/Cultures pérennes. Quant à la superficie de la forêt dense estimée à 55 850 ha en 1975, elle est passée à 21 250 ha en 2000 puis 15 999 ha en 2020, soit une régression de 39 851 ha correspondant à 71,35% sur la période de l'étude. Cette baisse des ressources forestières denses a pour conséquence une baisse importante de diversité floristique et faunistique.

Dans une étude réalisée sur l'occupation du sol au Togo en 2000 dans le cadre du programme sous régional Land Use Land Cover, [19] ont trouvé que la pression démographique, les anomalies climatiques, les feux de brousse plus fréquents, l'extension des cultures constituaient les causes de la dégradation des forêts togolaises. [17] ont montré dans une étude sur la diversité des forêts denses du Togo, que les causes de la dégradation des forêts sont d'origine anthropique.

- **Analyse de la classification supervisée d'images satellitaires et évaluation**

Une analyse plus poussée de ces données montre que la classe forêt dense présente quelques confusions avec la classe forêt dégradée/Cultures pérennes d'une part et d'autre part, les classes sols nus/laboures et savanes. En effet, 10,09% des pixels de forêt dégradée/Cultures pérennes se retrouvent classés dans la forêt dense créant une confusion avec celle-ci. Cette confusion entre ces deux classes a été observée dans la classification de 2000 et 1975, preuve qu'il n'est souvent pas facile de bien discriminer ces deux classes. Les autres types d'occupation du sol ont en général des taux de pixels bien classés élevés (87 à 99%), donc bien discriminés.

- **Pression forestière dans la préfecture d'Amou**

Le fort taux de perte forestière a été enregistré au cours de la période 1975-2000, soit 3,86%. peut s'expliquer par le fait qu'avec l'arrivée de la démocratie dans les années 1990 accompagnée par une période de trouble et d'instabilité politique dans tout le pays empêchant les institutions en charge de la protection de l'environnement d'intervenir, les populations ont exercé une forte pression sur les ressources naturelles et fauniques. Sur l'ensemble de la période d'étude (1975-2020), la perte forestière a été relativement élevée avec un taux de 2,77%.

V. CONCLUSION

L'objectif de cette étude est d'analyser l'évolution de l'occupation et d'usage des terres dans la Préfecture d'Amou au Sud-Ouest du Togo de 1975 à 2020, à travers une cartographie actualisée. On note dans cette étude que la télédétection et les SIG ont permis d'analyser la dynamique de l'occupation et d'usage des terres entre les années 1975, 2000 et 2020 dans cette Préfecture. Ils ont aussi permis de quantifier la dégradation du paysage forestier et d'analyser son évolution. Nous avons par la suite classifié plusieurs séries temporelles d'images satellites en utilisant trois séries d'images optiques avec la méthode supervisée et l'algorithme « Maximum de Vraisemblance ». Egalement, nous avons exploré l'approche de détection de changement sur les données Landsat afin de ressortir les différentes mutations intervenues dans les différents écosystèmes. Cette étude a montré que la préfecture d'Amou comporte des milieux dynamiques et en forte mutation. Les résultats issus de la cartographie ont indiqué des taux de déforestation annuels estimés respectivement à 3,86% entre 1975 et 2000, 1,4% entre 2000 et 2020 puis 2,77% sur toute la période de l'étude (1975-2020). Cette baisse des surfaces forestières, surtout denses s'est faite au profit des zones de cultures pérennes et sols nus/laboures qui ne cessent de conquérir de nouveaux espaces forestiers. L'équilibre écologique des massifs forestiers a fortement été perturbé par l'augmentation de la population combinée aux activités anthropiques.

REFERENCES

- [1]. Achard, F., Eva, H., Stibig, H. J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., and Malingreau, J.P. (2002). Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 297 : 999-1003
- [2]. Adjonou K., Djiwa O., Kombate Y., Kokutse A.D. et Kokou K. (2010). Etude de la dynamique spatiale et structure des forêts sèches reliques du Togo : implication pour une gestion durable des aires protégées, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol.4, n°1, pp.168-183
- [3]. Adjoussi P. (2000). Changement climatique global : évaluation de l'évolution des paramètres climatiques au Togo, 121p
- [4]. Bindaoudou I. A-K. (2014). Analyse par télédétection des vecteurs de changement des types d'occupation et d'utilisation du sol de 1987 à 2013 dans la Préfecture d'Amou au Sud-ouest du Togo, 81p
- [5]. Bougherara A. (2010). Identification et suivi des paysages et de leur biodiversité dans le wilaya d'El Tarf, Algérie à partir des images Landsat, Spot et Aster, *Revue Télédétection*, Vol.9, n°3-4, pp.225-243.
- [6]. Chatelain C. (1996). Possibilités d'application de l'imagerie satellitaire à haute résolution pour l'étude des transformations de la végétation en Côte d'Ivoire forestière. Thèse de doctorat, Université de Genève, 158 p.
- [7]. Congalton G. R. (1991). A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, *Remote Sensing of Environment*, n°46, pp. 35-37.
- [8]. DIRECTION GENERALE DE LA METEOROLOGIE NATIONALE (2019). Données pluviométriques de 1980 à 2019 de la Préfecture d'Amou.
- [9]. Ern H. (1984). Les divisions écologiques du Togo. In BRUNEL J.F., HIEPKO P. & SCHOLZ H. (eds) *Flore analytique du Togo*, Phanérogames, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Germany, pp. 234-316.
- [10]. FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (2011). Situation des forêts du monde. Rapport principal, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Rome, Italie. 193 p
- [11]. FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (1999). State of the world's forests. FAO, Rome, Italy. Disponible sur le site : <http://www.fao.org/docrep/w9950e/w9950e00.htm> (visité le 20 juin 2016).
- [12]. Hadjadj M. F. (2011). Apport des SIG et des images satellites pour la cartographie numérique de la forêt du Chettabah (Wilaya de Constantine) : Modélisation climatique et classification. Mémoire de fin d'études, Université El-Hadj Lakhdar Batna, Constantine, Algérie. 178p.
- [13]. Girard M. C. et Girard C. M. (1999). *Traitement des données de télédétection*, Dunod, Paris, France, 529 p.
- [14]. INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE ET DES ECONOMIQUES ET DEMOGRAPHIQUES (2015). Perspectives démographiques du Togo 2011-2031, 45 p.
- [15]. Karsenty A., Pirard R. (2007a). Forêts tropicales : la question du bien public mondial et la quête d'instruments économiques multilatéraux pour un régime international, *Revue Forestière Française*, n° 5, pp. 535-547
- [16]. Kemavo A. (2018). Potentialités des données de télédétection optique et radar libres d'accès pour l'évaluation et le suivi des écosystèmes forestiers tropicaux : Études de cas au Togo, en République Démocratique du Congo, en Guyane Française et en République Dominicaine, 258 p (thèse)
- [17]. Kokou K., Atato A., Bellefontaine R., Kokutse AD., Caballe G. (2006). Diversité des forêts sèches du Togo. *Revue d'Ecologie*, vol.61, n°3, pp.225-246
- [18]. Kouassi K. J-L. (2014). Suivi de la dynamique de l'occupation du sol à l'aide de l'imagerie satellitaire et des systèmes d'informations géographiques : Cas de la Direction Régionale des Eaux et Forêts de YAMOOUSSOKRO (Côte d'Ivoire), mémoire de master, 73p.

Apport de la télédétection dans l'analyse de l'occupation et d'usage des terres dans la Préfecture d'Amou au Sud-Ouest du Togo

- [19]. Kpogo Y. D. et Kokou E. (2005). Cartographie de l'Occupation et de l'Utilisation du Sol au Togo, Rapport du Projet West Africa Land-Use and Land-Cover, Centre Regional AGRHYMET, Niamey, Niger, 27 p
- [20]. Lanly J. P. (1982). Les ressources forestières tropicales. FAO, Rome, Italie, 113p.
- [21]. N'da D. H. (2007). Etude et suivi par télédétection et système d'informations géographiques d'une aire protégée soumise aux pressions anthropiques : Cas du Parc National de Marahoué, Thèse de doctorat, 158 p.
- [22]. N'guessan K. E., N'da D. H., Bellan M.-F. et Blasco F. (2006). Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire : Apport de la télédétection, *Revue Télédétection*, vol.5, n°4, pp. 307-323
- [23]. N'guessan K. E. et N'da D. H. (2005). Caractérisation et cartographie par télédétection satellitaire de la végétation de la forêt classée de Bouaflé (Côte d'Ivoire). *Rev Ivoir. Sci. Technol.*, 06 (2005). pp. 161-172.
- [24]. Ministère de l'environnement, du développement durable et de la protection de la nature (2020). Niveau de référence des forêts, 75p.
- [25]. Puyravaud J. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177(1-3), 593-596. [https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(02)00335-3)
- [26]. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A. and Deering D. W. (1974). Monitoring
- [27]. vegetation systems in the great plains with ERTS, proceedings, 3rd ERTS Symposium, vol. 1
- [28]. pp. 48-62
- [29]. Song C., Woodcock C.E., Seto K.C., Lenney M.P., Macomber S.A. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects. *Remote Sensing of Environment* 75, 230-244
- [30]. Talab ou ali H., Niculescu S., Sellin V., Bougault C., (2017). Contribution de la nouvelle série d'images Sentinel-1 pour le suivi de la végétation côtière dans le Pays de Brest, 18p
- [31]. Tsayem-Demaze M. (2009a). Paradoxes conceptuels du développement durable et nouvelles initiatives de coopération Nord-Sud : le mécanisme pour un développement propre,
- [32]. *Revue Européenne de Géographie*, vol.443, (visité le 10octobre 2014).