

Dégradation physique des sols et la pression sur les ressources forestières dans le Nord-Ouest de l'Atacora au Bénin

Pocoun Damè KOMBIENOU^{1,3*}, Alfred Bothé Kpadé DOSSA² et Brice Augustin SINSIN³

¹ *Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), Laboratoire des Sciences de Sols, Eau et Environnement (LSSEE), 01 BP 884 Cotonou, Bénin*

² *Centre Béninois de la Recherche Scientifique (CBRSI), Laboratoire Economie Locale et Développement Participatif (LELDeP), 03 BP 1665 Cotonou, République du Bénin*

³ *Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques (UAC /FSA), Laboratoire d'Écologie Appliquée (LEA), 01 BP 526 Cotonou, République du Bénin*

* Correspondance, courriel : ykopoda@yahoo.fr

Résumé

La dégradation de l'environnement issue des activités humaines se pose avec acuité dans les Communes du Nord-Ouest de l'Atacora au Bénin. L'objectif est d'évaluer la dégradation physique des sols et la pression sur les ressources forestières de ce milieu. Un total de quarante-huit (48) échantillons de sols est prélevé dans l'horizon de surface (0 à 20 cm) le long d'une topo-séquence. Les paramètres étudiés concernent le pH, le taux des fractions granulométriques et la texture. Les données relatives aux ressources forestières quant à elles sont collectées et traitées par des méthodes de SIG, de télédétection et d'analyses statistiques en utilisant les images Landsat5 TM, Landsat8 OLI-TIRS. Les 58,34 % des sols sont de texture limono-argilo-sableuse, 25 % limono-sableuse, 12,5 % limono-argilo-argileuse et 4,16 % limoneuse. Les pH de 98 % des échantillons de sols sont compris entre 3,76 et 6,61 avec une teneur en azote comprise entre 0,09 et 0,11 %. Les mosaïques de cultures et jachères, les savanes arborées et arbustives connaissent la plus forte expansion (13,24 %) alors que les formations naturelles ont régressé (3,82 % galeries forestières, 2,59 % forêts claires et savanes boisées). Ces résultats suggèrent l'adoption des techniques de production agro-écologique moins dégradantes des formations forestières et protectrices des sols.

Mots-clés : *dégradation, environnement, érosion, restauration des sols et Bénin.*

Abstract

Physical degradation of soils and pressure on forest resources in the Northwest of Atacora in Benin

The degradation of the environment resulting from human activities is acute in the Northwestern Communes of Atacora in Benin. The objective is to assess the physical degradation of the soil and the pressure on the forest resources of this environment. A total of forty-eight (48) soil samples is taken from the surface horizon (0 to 20 cm) along a topo-sequence. The parameters studied relate to the pH, the rate of the particle

size fractions and the texture. Data relating to forest resources are collected and processed by GIS, remote sensing and statistical analysis methods using Landsat5 TM, Landsat8 OLI-TIRS images. The 58.34 % of the soils are silty-clayey-sandy, 25 % silty-sandy, 12.5 % silty-clay-clay and 4.16 % silty. The pH values of 98 % of the soil samples are between 3.76 and 6.61 with a nitrogen content between 0.09 and 0.11 %. Mosaics of crops and fallows, tree and shrub savannas are experiencing the greatest expansion (13.24 %) while natural formations have declined (3.82 % forest galleries, 2.59 % open forests and wooded savannas). These results suggest the adoption of agro-ecological production techniques that are less degrading of forest and soil protection formations.

Keywords : *degradation, environment, erosion, soil restoration and Benin.*

1. Introduction

La dégradation de l'environnement au sein des différents écosystèmes de la terre prend une tournure inquiétante. La pression démographique, les progrès technologiques, les exigences de la croissance économique et les activités humaines en général entraînent la destruction des ressources naturelles [1]. Le sol constitue le support de la majorité des activités humaines et de la vie biologique terrestre. A l'interface avec les autres compartiments de l'environnement que sont l'eau, l'air et la biosphère, c'est un milieu mal connu, au fonctionnement complexe [2]. Plusieurs études menées dans le cadre du Projet Jachère au Sénégal, au Kenya et au Mali, mentionnent toutes, comme premier facteur responsable du recul de la jachère, la croissance démographique [3]. En effet, malgré son importance socioéconomique [4], l'agriculture demeure traditionnelle avec l'utilisation des techniques et méthodes peu durables [5]. Elle devient graduellement minière et provoque la dégradation quasi irréversible des terres et des écosystèmes [6], la plupart des systèmes de cultures utilisés aboutissant à la dégradation des sols [7]. Selon [8], ce sont les propriétés physiques du sol qui déterminent le processus d'érosion des sols, car la détérioration des propriétés physiques du sol se manifeste par des problèmes interdépendants de scellement de surface, de croûtes, de compaction du sol, d'un mauvais drainage de la croissance entravée des racines, d'un ruissellement excessif et de l'érosion accélérée.

Au Bénin, l'érosion hydrique est un processus majeur de dégradation des sols. Malgré le relief relativement plat du pays, la dégradation des sols y est un problème considérable, car l'intensité des précipitations et des systèmes agricoles à faibles intrants sont répandus [8]. La dégradation des sols est aggravée par une expansion rapide des terres agricoles, résultant de la croissance de la population, y compris la migration, le faible recours aux pratiques de conservation des sols et l'augmentation de la variabilité des précipitations, en raison du changement climatique [9]. Les Communes du Nord-Ouest de l'Atacora au Bénin ne sont pas en marge de cette tendance inquiétante à la dégradation des terres agricoles. En effet, l'augmentation rapide de la population y entraîne une dynamique d'occupation des terres dans le pays. La pression démographique, les progrès technologiques, les exigences de la croissance économique et les activités humaines en général entraînent la destruction des ressources naturelles [10]. Les agriculteurs du Nord-Ouest de l'Atacora ont recours aux méthodes et pratiques culturelles concourant à cette transformation qui varie selon les localités [11]. L'objectif général de l'étude est d'évaluer la dégradation physique des sols et la pression sur les ressources forestières dans le Nord-Ouest de l'Atacora au Bénin en vue d'envisager des techniques alternatives de production agricole plus durables.

2. Matériel et méthodes

2-1. Milieu d'étude

L'étude a porté sur huit (08) villages des quatre communes que sont: Natitingou; Boukombé; Tanguiéta et Toucountouna (*Figure 1*). La zone d'étude est située dans le nord-ouest de la République du Bénin entre 9° 50' 59'' et 12° 22' 10.8'' de latitude Nord et entre 0° 58' 38'' et 3° 13' 20.1'' de longitude Est. Cette aire d'une superficie d'environ 15.076 km², abrite une population estimée en 2013 à 480.835 habitants [12]. Il y a en général dans la région de l'Atakora deux types de saisons : la saison sèche et la saison des pluies. La saison sèche comprend deux périodes, la période d'harmattan (de novembre à février), celle de forte chaleur (de mars à avril) et la saison pluvieuse, évoluant de mai à octobre.

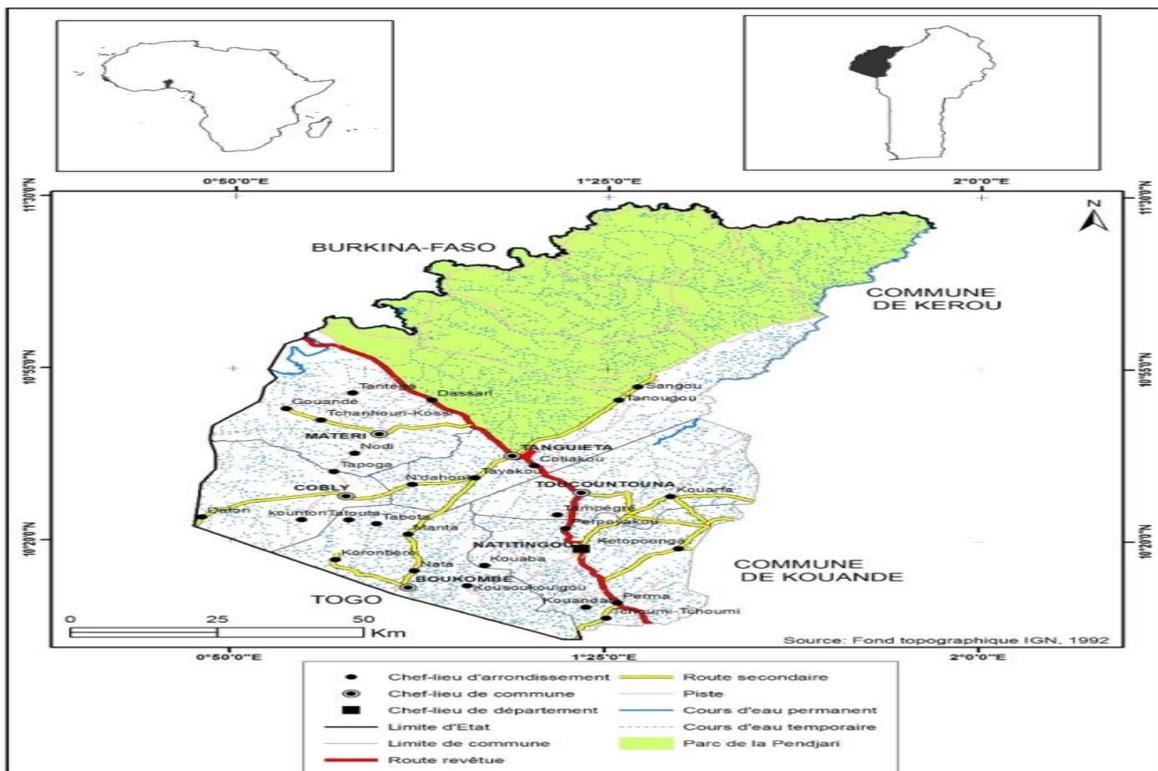


Figure 1 : Localisation du secteur d'étude

L'analyse du diagramme climatique (*Figure 2*) de la station de Natitingou (1982-2019) permet de distinguer deux périodes bioclimatiques à savoir une période sèche qui s'étend de mi-octobre à début avril et une période humide s'étendant d'avril à mi-octobre. Au cours de la période sèche en dehors du principal cours d'eau la Pendjari qui conserve de l'eau dans son lit mineur, les autres points d'eau tarissent et les herbacées, existent sous forme de pailles si elles ne sont pas consommées par les feux de végétation. En revanche, la période humide correspond à la période active de végétation durant laquelle la réserve en eau du sol est supérieure aux besoins des plantes. Les plantes peuvent alors assurer de façon continue leur alimentation hydrique et minérale. La valeur moyenne maximale de la pluviosité annuelle (1.496 mm) est enregistrée en 2003 et la plus faible valeur en 1983 (830 mm). La moyenne annuelle des précipitations est de 1.186 mm entre 1982 et 2019 [13].

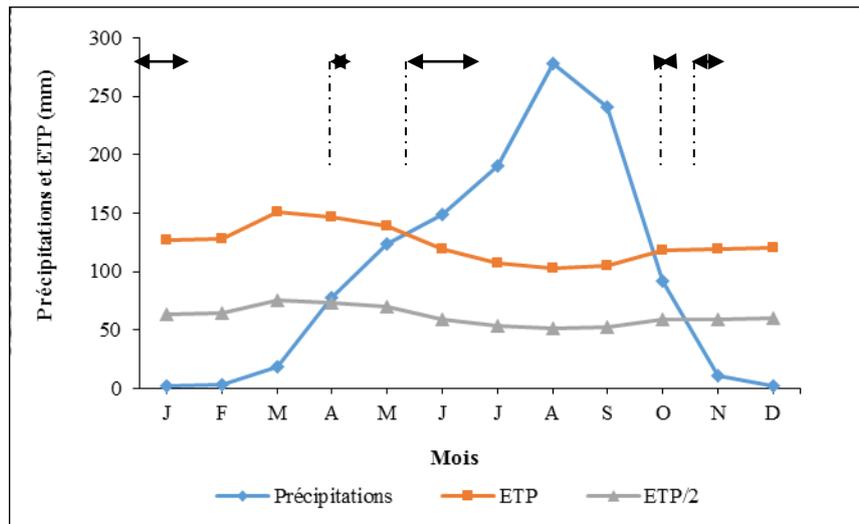


Figure 2 : Diagramme climatique de la station de Natitingou (1982-2019)

PS : Période sèche, PH : Période Humide, PFH : Période Franchement Humide

2-2. Matériel

Le matériel utilisé dans le cadre de la réalisation de ce travail comprend : 01 GPS, 01 boussole, 01 pioche, 01 couteau de pédologue, 01 mètre ruban de 2 m de long ; 01 machette, 01 tarière hollandaise, 01 code Munsell, 01 pelle, le service d'une main d'œuvre, les appareils de laboratoire, et des réactifs.

2-2-1. Outils de collecte des données

Les outils de collecte des données ci-après ont été utilisés : un questionnaire; un guide d'entretien et une grille d'observation.

2-3. Méthodes

L'étude a été effectuée entre 2018 et 2020. La phase préparatoire a consisté à recueillir à l'aide d'un GPS (Global Positioning System) les coordonnées géographiques des villages et des sites d'études.

2-3-1. Techniques de collecte des données

Les techniques utilisées ont été les suivantes: (i) le diagnostic participatif ayant pour base $N = 400$ agriculteurs (chefs d'exploitations) avec $n_i = 50$ agriculteurs par village (taille de l'échantillon dans l'ensemble des villages d'étude est 400). Le diagnostic a été réalisé sur un échantillon de 400 exploitations agricoles (soit 5 % des villages et des ménages ruraux) réparties dans huit (08) villages des quatre Communes : Koumagou A, Kounacogou (Boukombé), Ouankou, Manougou (Tanguiéta), Koussantigou, Béricingou (Natitingou), Wansokou et Tchakalikou (Toucountouna). Il s'est déroulé en deux phases : une première phase exploratoire et réalisation de la typologie des exploitations agricoles, l'adoption des pratiques culturales et les techniques de restauration des sols. Une seconde phase d'enquêtes complémentaires sur les caractéristiques des exploitations. La typologie des exploitations a été réalisée lors des réunions villageoises au cours desquelles des « focus group » ont été effectués, les entretiens informels et semi-structurés ont été réalisés avec un guide d'entretien. Les questions concernaient surtout le niveau de dégradation des sols et les systèmes de culture.

2-3-2. Prélèvement et analyse d'échantillons de sols

L'échantillonnage a concerné surtout les sols des plateaux. Dans les champs, des échantillons de sols ont été prélevés dans l'horizon de surface (0 à 20 cm) le long d'une topo-séquence dans l'extrême-droite (Ed), l'extrême gauche (Eg) et dans le milieu de diagonales (Md). Au total, quarante-huit (4 x 2 x 3 x 2) échantillons ont été prélevés à raison de deux (02) prélèvements par site, trois (03) sites par village et de deux (02) villages dans chacune des quatre (04) communes. L'analyse granulométrique de ces échantillons a permis de connaître les taux des fractions granulométriques comme les sables, les limons et l'argile de la texture des sols.

2-3-2-1. Granulométrie

La détermination de la granulométrie comporte les trois phases suivantes :

- Une phase de destruction de la matière organique par le traitement à l'eau oxygénée ;
- Une phase de dispersion qui met en œuvre l'élimination des ions flocculant, l'adjonction du hexamétaphosphate de sodium et l'agitation mécanique par retournement ;
- Une phase de séparation et de tri des particules par sédimentation et prélèvement à la pipette de Robinson pour les fractions d'argile, de limon et de sable. La granulométrie permet de déterminer dans un échantillon de sol le pourcentage de sable, de limon, d'argile et de matière organique.

2-3-2-2. Evaluation des classes texturales

L'évaluation des classes texturales est faite en suivant les principes de classification et d'évaluation des terres [14]. Six classes sont retenues pour la classification et présentées dans le **Tableau 1**.

- A : texture très fine, correspondant aux textures argileuse et argilo-limoneuse;
- E : texture fine, correspondant aux textures argilo-sableuse, limono-argileuse et limono-argileuse fine;
- M : texture moyenne, correspondant aux classes limono-argilo-sableuse, limon, limon fin et limon très fin;
- N : texture moyenne à grossière, correspondant à la classe limono-sableuse;
- S : texture grossière, correspondant à la classe sablo-limoneuse;
- Z : texture très grossière, correspondant à la classe sable.

Les classes texturales et les indices des différents sols sont présentés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Grille d'interprétation des indices texturaux des sols

N°	Texture	Indice	Texture fine
1	A et AL	A	Texture très fine
2	AS, LA et LAf	E	Texture fine
3	LAS, L et Lf	M	Texture moyenne
4	LS et Lf	N	Texture moyenne grossière
5	SL	S	Texture grossière
6	S	Z	Texture moyenne très grossière

Dans un premier temps, le pourcentage de l'argile, de limon et du sable est déterminé dans les différents horizons. La détermination du pourcentage de ces trois éléments (argile, limon et sable) est faite et permet d'apprécier le degré textural du sol (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Grille d'interprétation du taux d'argile, de limon et de sable

Diamètre	Éléments déterminés	Somme
0 - 2 μ (microns) %	Argile	Argile en %
2 - 20 μ (microns) %	Limons fin	Σ Limon %
20 - 50 μ (microns) %	Limons grossier	
50 - 200 μ (microns) %	Sable fin	Σ Sable %
200 - 2000 μ (microns) %	Sable grossier	

2-3-3. Détermination de la texture du sol

La texture du sol est déterminée par la moyenne pondérale des taux de chaque élément (argile, limon et sable) par la **Formule (1)**.

$$X = \frac{Q \times Hz}{Pfr} \tag{1}$$

Où, X le taux de l'élément; Q la quantité de l'élément (argile, limon ou sable); Hz l'épaisseur de l'Horizon et Pfr la profondeur totale du profil [14].

Après avoir calculé la moyenne pondérale des différents éléments (argile, limon et le sable), la classe texturale est déterminée à l'aide du triangle texturale ou diagramme texturale (**Figure 3**).

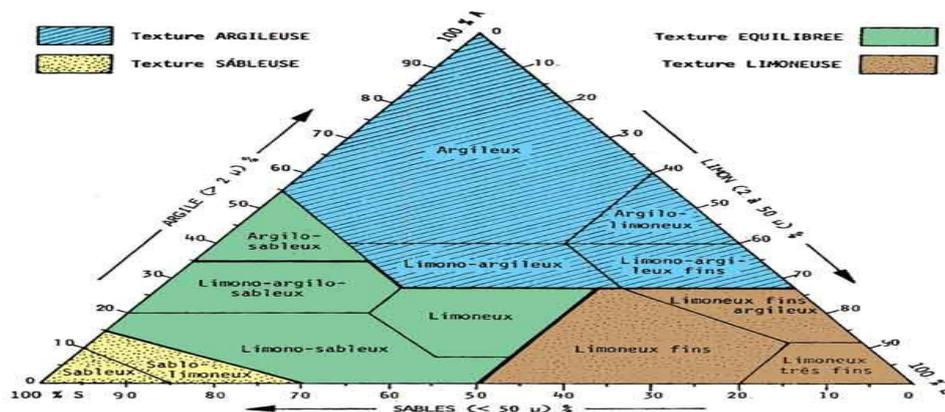


Figure 3 : Triangle texturale ou diagramme texturale

La teneur en divers éléments (argile, limon et sables) est indiquée sur chaque côté du triangle. La lecture se fait dans le sens de l'aiguille d'une montre en commençant par le côté portant la teneur en argile. Ainsi le point d'intersection des 3 droites parallèles détermine la texture. La grille d'interprétation de l'aptitude des sols est présentée dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Grille d'interprétation de l'aptitude culturale des sols

Ordres	Classes
S1	Apte
S2	Moyennement apte
S3	Marginalement apte
V1	Actuellement inapte
V2	Inapte

Les classes d'aptitude sont réparties en cinq classes définies suivant des limitations ou contraintes des sols.

- ✓ S1 : Apte; les sols de la classe S1 sont aptes pour le type d'utilisation; ils ne présentent pas ou seulement de faibles limitations ;
- ✓ S2 : Modérément aptes ; les sols S2 sont aptes mais nécessitent des techniques culturales adaptées, labour contrôlé, léger drainage etc. Ils ne présentent pas plus de 3 limitations modérées éventuellement associés à des faibles limitations ;
- ✓ S3 : Marginalement aptes ; le rendement de ces sols est mis en cause ; ils possèdent plus de 3 limitations modérées et pas plus d'une limitation sévère qui n'empêche cependant pas la culture de façon absolue ;
- ✓ V1 : Actuellement inapte; potentiellement apte. Sols avec plus d'une limitation sévère qu'on peut cependant corriger dans les conditions économiques actuelles ;
- ✓ V2 : Inapte, sols présentant des limitations sévères ou très sévères qui ne peuvent être corrigées dans les conditions économiques actuelles.

Il s'agit également de distinguer l'évaluation actuelle qui se réfère à la valeur des terres dans les conditions actuelles et l'évaluation potentielle qui envisage la valeur après réalisation de travaux d'aménagement. Ainsi, un sol appartenant à la classe S3 après aménagement peut passer en classe S2 ou S1. Son aptitude actuelle est S3, la potentielle est S1 ou S2.

2-3-4. Analyses statistiques

L'analyse de variance a été faite suivant le test de Tukey (Tukey Simultaneous Tests) et les analyses statistiques des changements d'état.

2-4. Evaluation de la dynamique de l'occupation des terres entre 1988 et 2020

2-4-1. Données utilisées

Deux types de données ont été utilisés :

Le premier type est constitué de deux images satellitaires Landsat du secteur d'étude:

- une image satellitaire LANDSAT 5 TM de format Géotiff, du 13/01/1988, d'une résolution spatiale de 30 m, obtenue sur le site internet de GLCF/USA;
- une image LANDSAT 8 OLI-TIRS de format Géotiff, datant du 09/01/2020, d'une résolution spatiale de 30 m, obtenue sur le site internet de EarthExplorer-USGS.GOV/USA.

Les deux images ont été prises en saison sèche durant laquelle le secteur d'étude n'est pas couvert par des nuages. La seconde catégorie de données dites données complémentaires, est constituée de carte topographique de l'Afrique de l'Ouest au 1/200.000.

2-4-2. Méthode de traitement des données

2-4-2-1. Traitement numérique des images satellites

2-4-2-1-1. Classification multi-spectrale par maximum de vraisemblance

La classification par pixel est un procédé qui consiste à regrouper les pixels d'une image en un nombre limité de classes. Si le pixel satisfait à une série de critères, il est affecté à la classe qui correspond à ces critères. Il existe deux types de classifications : la classification supervisée et la classification non supervisée. Pour cette étude le choix est porté sur la classification supervisée à cause de la connaissance du secteur d'étude. Dans ce cas, il faut choisir avant tout, des parcelles d'entraînement (AOI) qui sont des regroupements homogènes de pixels caractéristiques (échantillons) d'une occupation du sol donnée. Sur les parcelles d'entraînement, le logiciel a classifié chaque image selon l'algorithme paramétrique qu'est le Maximum de vraisemblance. C'est un algorithme très couramment utilisé car, généralement le plus performant. Son utilisation suppose que les distributions des valeurs de réflectance des parcelles d'entraînement soient normales [15]. Cet algorithme de classification calcule une fonction de probabilité multidimensionnelle qui permet de déterminer la probabilité de chaque pixel d'appartenir à l'une des catégories correspondant aux signatures spectrales [16]. Il est recommandé de prendre un maximum d'aires d'entraînement par classe pour obtenir une classification avec moins de confusion. Pour éviter la confusion des classes lors de la constitution des parcelles d'entraînement, le nombre d'échantillons choisis a été limité à 10 pour chaque classe.

2-4-2-1-2. Evaluation de la classification

Une classification n'est pas complète sans l'évaluation de son exactitude [17]. L'évaluation des résultats d'une classification se fait grâce à la comparaison de l'image classée avec des données de référence (photographies aériennes, cartes ou relevé de terrain). Ces zones d'évaluation seront relevées avec le même soin que les zones d'entraînement. On a confronté les valeurs de l'image classée à celles du terrain dans un tableau à double entrée appelé couramment matrice de contingence ou matrice de confusion. Les matrices de confusion de la classification de 1988 et 2020 ont été calculées à partir des signatures spectrales dans IDRISI. Ces matrices de confusion ont permis de calculer les erreurs d'omission (EO), les erreurs de commission (EC), les indices de pureté des classes (IPC) et les indices de validité cartographique (IVC). Les erreurs d'omission (en colonne) ont été obtenues en faisant le rapport (du nombre de pixels bien classés dans chaque unité d'occupation du sol) et du nombre total de pixels de ladite unité. Tandis que les erreurs de commission (en ligne) ont été également obtenues par la même procédure, mais ici au niveau des lignes. Les indices de validité cartographique ont été obtenus en retranchant les erreurs d'omission de 100 %. Les indices de pureté des classes sont quant à eux obtenus, en retranchant les erreurs de commission de 100 %. L'indice d'exactitude (I) de la classification des images de ces trois périodes a été calculé à partir des valeurs de chaque matrice de confusion, grâce à la **Formule (2)** [18].

$$I = \sum_{i=1}^k \frac{x_i}{X} \quad (2)$$

Où, x_i Nombre d'observations de la diagonale pour la classe i ; X : Nombre total des observations pour l'ensemble des classes.

Si $I \geq 0,9$ l'interprétation est correcte [18]. Les résultats de cet indice obtenus dans le cadre de cette recherche sont respectivement de 91 % pour 1988 et 95 % pour 2020.

2-4-2-1-3. Taux moyen annuel d'expansion spatiale

Le taux moyen annuel d'expansion spatiale exprime la proportion de chaque unité de végétation naturelle qui change annuellement. Ce taux annuel T_a est calculé à partir de la **Formule (3)**[18].

$$T_a = \frac{S_2 - S_1}{S_1 \times (t_2 - t_1)} \times 100, \tag{3}$$

Avec : S_1 la superficie d'une unité de végétation à la date t_1 , S_2 la superficie de la même unité de végétation à la date t_2 et t le nombre d'années entre t_1 et t_2 .

2-4-2-1-4. Matrice de transition

Elle permet de mettre en évidence les différentes formes de conversion qu'ont subies les formations végétales entre deux instantanées. Elle est constituée de X lignes et de Y colonnes. Le nombre de lignes de la matrice indique le nombre de formations végétales au temps t_0 ; le nombre Y de colonnes de la matrice est le nombre de classes de végétation converties au temps t_1 et la diagonale contient les superficies des formations végétales restées inchangées. Les transformations se font donc des lignes vers les colonnes. Les superficies de ces différentes classes de végétation ont été calculées à partir du croisement des cartes de végétation de deux dates à l'aide de la fonction *Intersect* de la boîte à outils Arctoolbox du logiciel ArcGIS 9.

2-4-2-1-5. Taux de conversion

Le taux de conversion d'une classe de végétation correspond au degré de transformation subie par cette classe de végétation en se convertissant vers d'autres classes. C'est alors la quantité de changements observés au niveau d'une formation végétale entre deux dates t_0 et t_1 . Il permet ainsi de mesurer le degré de conversion d'une formation végétale en d'autres unités d'occupation du sol. Il s'obtient à partir de la matrice de transition suivant la **Formule (4)**[18].

$$TC = \frac{\sum ST - S_s}{\sum ST} \tag{4}$$

Avec : TC le taux de conversion, ST les superficies des unités d'occupation du sol issues de la conversion d'une formation végétale, S_s la superficie de la même formation végétale demeurée stable à la date t_1 .

3. Résultats

3-1. Dynamique des ménages agricoles des Communes du Nord-Ouest de l'Atacora

La population des Communes du Nord-Ouest de l'Atacora connaît depuis 1992 une évolution galopante (**Figure 4**). L'analyse de la **Figure 4** relative à l'évolution de l'effectif des ménages agricoles dans le Nord-Ouest de l'Atacora tous les 10 ans a montré une augmentation de l'effectif en fonction du temps dans les Communes de Cobly, Matéri, Natitingou, Tanguiéta et Toucountouna. Par contre, cette évolution a baissé au fil des années dans la Commune de Boukombé. L'effectif des actifs agricoles a connu en 20 ans un accroissement de 36 % à Cobly, contre 49 % à Matéri, 53 % à Natitingou, 43 % à Tanguiéta et 49 % à Toucountouna. L'augmentation de plus de la moitié (53 %) du nombre d'actifs agricoles de Natitingou dans la zone peut être liée au faible taux d'exode rural. Toutefois, une tendance à la baisse est observée au niveau de la Commune de Boukombé où le nombre d'actifs agricoles a connu une régression de 11 %, dans

la même période. Cette tendance peut s'expliquer par les phénomènes de la migration interne et l'exode rural vers les villes voisines dans le Département et/ou dans d'autres Départements du pays ou des régions des pays frontaliers (Togo, Burkina-Faso) à la recherche de terres agricoles plus fertiles.

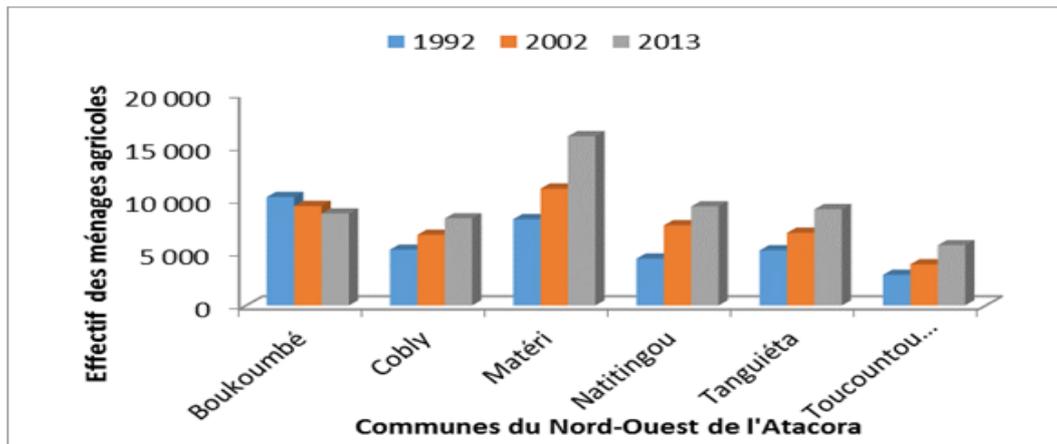


Figure 4 : Evolution de l'effectif des ménages agricoles dans le Nord-Ouest de l'Atacora

3-2. Dégradation physique des sols du Nord-Ouest de l'Atacora entre 2018 et 2020

La dégradation physique des sols de plateaux affectés par les systèmes culturaux a été déterminée à travers la texture et les caractéristiques physiques des échantillons de sols analysés. La texture a été un paramètre de la fertilité des sols dont les caractéristiques se présentent comme suit : LA, L, LAS : bonne rétention en eau et en cation; AS, AL, A : capacité de rétention en eau et en cation modérée; LS, SL, S : faible capacité de rétention en eau et en cations.

3-2-1. Dynamique des éléments grossiers des sols

Les résultats de l'analyse granulométrique des échantillons de sols de plateaux prélevés sont illustrés sur la **Figure 5** qui montre que, les taux en limons des sols ont varié entre 14,05 et 24,75 %. Toutefois, 25 % des sols ont été de textures limono-sableuses (LS). Ces sols avaient une faible capacité de rétention en eau et en cations. Le taux de l'argile a varié entre 14,20 et 40,06 %. En outre, les résultats montrent que 58,34 % des sols sont de texture limono-argilo-sableuse, 25 % limono-sableuse, 12,5 % limono-argilo-argileuse et 4,16 % limoneuse. Le taux d'argile a été plus élevé à l'extrême gauche (EG) dans le site I à Manougou sous sorgho et plus bas à l'extrême droite (EG) à Koussantikou dans le site II sous sorgho. Ainsi, le taux d'argile n'a été ni fonction de l'altitude ni du type de culture. La dominance des éléments grossiers (sable) indiquait que les sols de plateaux ont été de mauvais réservoirs d'eau à la portée des plantes. D'où le risque élevé d'érosion. Au niveau des extrêmes (en hauteur) les teneurs en argile les plus élevées et les plus faibles, mais dans des villages différents. Du reste, les résultats indiquent une dégradation physique des sols consécutive aux pratiques culturales inappropriées et à l'érosion hydrique.

3-2-2. Valeurs du pH en eau des sols

Les valeurs du pH en eau des sols analysés (**Figure 5**) étaient comprises entre 3,76 et 6,61 avec une teneur en azote comprise entre 0,09 et 0,11 %, donc bonne pour la plupart des horizons des sols étudiés. Le reste des échantillons (2 %) possédait des pH compris entre 7,05 et 7,35 dont une teneur en azote inférieure à 0,1 %, donc mauvaise pour les horizons de ces sols étudiés.

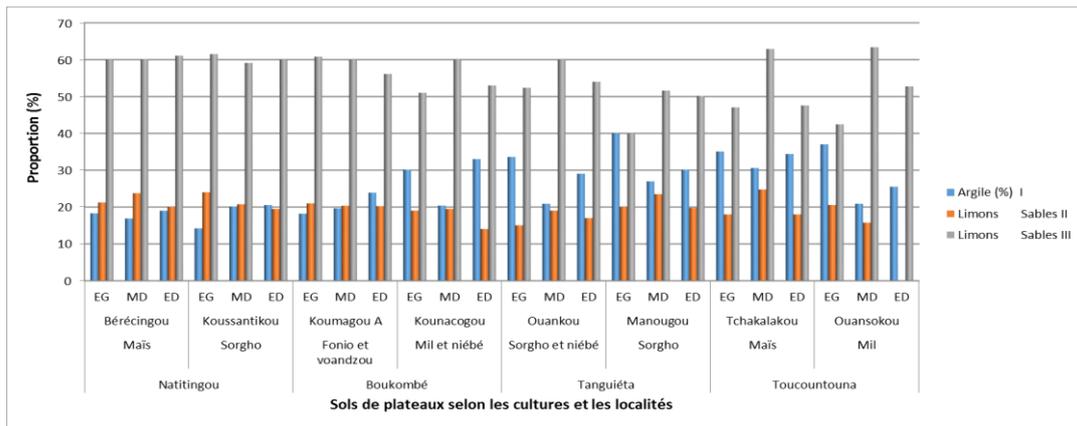


Figure 5 : Dynamique des éléments grossiers dans les sols de plateaux entre 2018 et 2020

3-3. Dynamique d'occupation des terres du Nord-Ouest de l'Atacora entre 1988 et 2020

La dynamique de l'occupation des terres au Nord-Ouest de l'Atacora entre 1988 et 2020 a montré une forte anthropisation des écosystèmes naturels (Figures 6 et 7).

3-3-1. Occupation des terres en 1988

Les forêts claires et savanes boisées représentent en 1988 plus de la moitié de la superficie totale du Nord-Ouest de l'Atacora, soit 52,95 %. Les forêts galeries et les savanes arborées et arbustives occupent respectivement 20,99 % et 9,30 % de la superficie totale de l'espace d'étude. Le reste de la zone est couvert par les savanes saxicoles (8,19 %), la mosaïque de champs et jachères (7,44 %), des plans d'eau (0,57 %), la surface rocheuse (0,30 %) et l'agglomération (0,26 %).

3-3-2. Occupation des terres en 2020

Les savanes arborées et arbustives sont l'unité dominante en 2020 et couvre 40,08 % de la superficie totale. La mosaïque de champs et jachères et les forêts claires et savanes boisées sont les deuxièmes unités les plus représentées avec respectivement 30,77 % et 18,71 % de la zone d'étude. Quant aux: savanes saxicoles, elles couvrent 8,19 % du Nord-Ouest de l'Atacora, suivis des forêts galeries (0,96 %), du plan d'eau (0,57 %), l'agglomération (0,42 %) et en fin la surface rocheuse (0,30 %).

3-3-3. Évolution des unités d'occupation des terres entre 1988 et 2020

La matrice de transition met en exergue les changements intervenus entre la période 1988 et 2020. Les différents chiffres en diagonal du **Tableau 4** croisé indique la superficie des unités qui sont restés stables pendant cette période. 1945 km² des forêts claires et savanes boisées, 951 km² des savanes saxicoles, 578,25 km² des savanes arborées et arbustives, 2515,12 km² de la mosaïque de champs et jachères, 111, 13 km² des forêts galeries, 66 km² du plan d'eau, 35 km² de la surface rocheuse et 6 km² de l'agglomération n'ont subi aucune transformation. Les changements spatio-temporels des unités d'occupation des terres dans le Nord-Ouest de l'Atacora ont été évalués à travers les cartes d'occupation des terres de 1988 (Figure 6) et de 2020 (Figure 7). L'examen de la carte d'occupation des terres en 1988 au Nord-Ouest de l'Atacora a permis de distinguer 8 classes d'occupation des terres (Figure 6) composées - des galeries forestières observées le long des principaux cours d'eau et de leurs affluents, des forêts claires et savanes boisées retrouvées principalement dans le Parc National de la Pendjari, des savanes

saxicoles rencontrées sur les collines du secteur d'étude, et des savanes arborées et arbustives constituant la matrice paysagère du milieu du point de vue de leur étendue. Les mosaïques de cultures et jachères étaient faiblement représentées, ainsi que les plantations retrouvées uniquement dans les terroirs de Matéri. L'analyse de la carte d'occupation des terres de 2020 au nord-ouest de l'Atacora a permis de constater une émergence des mosaïques de champs et jachères (Figure 7). Les galeries forestières s'observaient en lambeaux le long des principaux cours d'eau et de leurs affluents. Les forêts claires et savanes boisées étaient fragmentées. Ainsi, le paysage était dominé par les savanes arborées et arbustives qui étaient fortement fragmentées par les cultures et jachères. Les savanes saxicoles s'étaient davantage dégradées. Les surfaces rocheuses étaient de plus en plus importantes du fait de la dégradation des savanes saxicoles. Les plantations étaient observées dans les terroirs de Matéri, Tanguiéta, Kotiakou et Natitingou. Les agglomérations étaient dispersées le long des routes et autour des points d'eau.

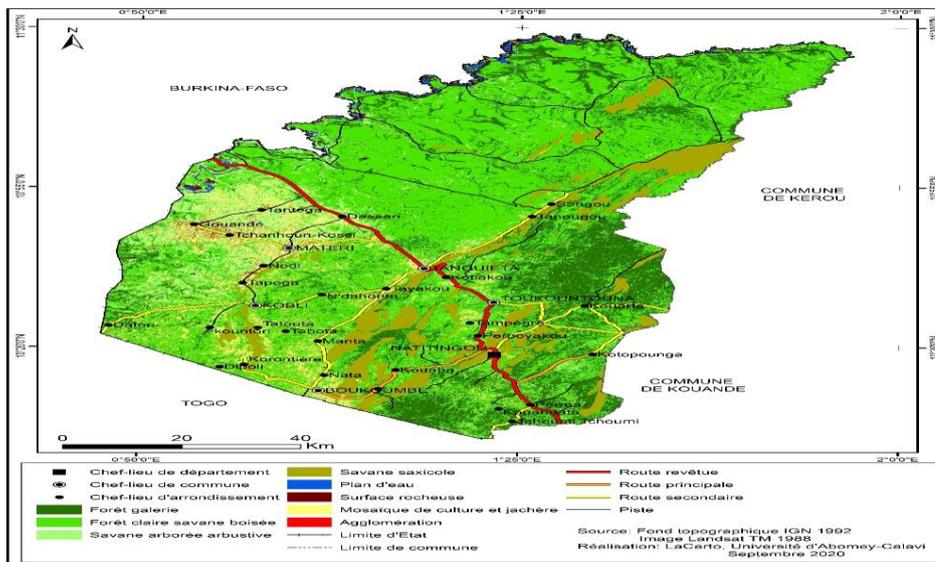


Figure 6 : Occupation des terres au Nord-Ouest de l'Atacora en 1988

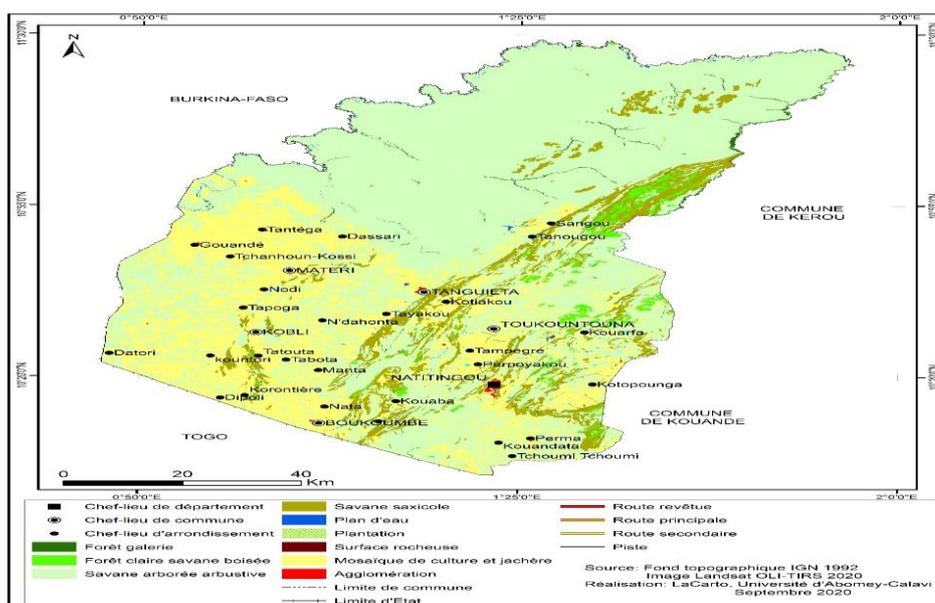


Figure 7 : Occupation des terres au Nord-Ouest de l'Atacora en 2020

La conversion des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres entre 1988 et 2020 a été synthétisée par la matrice de transition (**Tableau 4**). Les superficies des formations forestières naturelles (forêts galeries, forêts claires et savanes boisées) ont connu une nette régression passant de 8.586,29 km² en 1988 à 2284,13 km² en 2020 (**Tableau 4**). Une partie importante de ces formations forestières s'est transformée en mosaïques de champs et de jachères (3.573,49 km²) et en savanes arborées et arbustives (4653,77 km²) en 2020. Les forêts claires et savanes boisées n'étaient présentes dans les terroirs villageois que sur les terres marginales (2173 km²).

Tableau 4 : Matrice de transition des formations végétales et autres unités d'occupation des terres entre 1988 et 2020 (en km²)

Unités de 1988	Unités de 2020								Sup totale en 1988 (km ²)
	FG	FCSB	SAA	MCJ	PE	SR	SS	AGG	
FG	111,13	0	0	2326,11	0	0	0	0	2437,24
FCSB	0	1945,00	3743,40	444,53	0	0	0	16,43	6149,05
SAA	0	228,00	578,25	263,60	0	0	0	10,01	1080,00
MCJ	0	0	332,12	515,12	0	0	0	16,43	864,00
PE	0	0	0	0	66,00	0	0	0	66,00
SR	0	0	0	0	0	35,00	0	0	35,00
SS	0	0	0	0	0	0	951,00	0	951,00
AGG	0	0	0	24,13	0	0	0	6,00	30,03
Sup totale en 2020 (km ²)	111,13	2173,00	4653,77	3573,49	66,00	35,00	951,00	48,87	11612,32

FG : Forêts galeries; FCSB : forêts claires et savanes boisées ; SAA : Savanes arborées et arbustives; SS : Savanes saxicoles; SR : Surface Rocheuse; MCJ : Mosaïque de champs et jachères; PE : Plan d'Eau; AGG : Agglomération; Sup : superficies.

3-3-4. Dynamique des forêts galeries

De 1988 à 2020, la superficie des forêts galeries a été réduite de 98,12 % de leur superficie initiale (**Tableau 5**). L'analyse de la matrice de transition a montré que 111,13 km² des forêts galeries étaient demeuré inchangé entre 1988 et 2020 (**Tableau 4**).

3-3-5. Dynamique des forêts claires et savanes boisées

De 1988 à 2020, la superficie des forêts claires et savanes boisées était passée de 6.113,82 km² à 274,32 km². Le taux de conversion a été de 95,30 % (**Tableau 5**). L'analyse de la matrice de transition a indiqué que 274,32 km² de la superficie de cette formation végétale était restée stable (**Tableau 4**); par contre le reste s'était transformé en savanes arborées et arbustives (578,25 km²), en agglomération (10,01 km²) et en mosaïques de cultures et de jachères (263,60 km²). Ainsi, les forêts claires et savanes boisées n'étaient présentes dans les terroirs villageois que sur les terres marginales. Par contre dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari, ces formations végétales étaient encore présentes.

3-3-6. Dynamique des savanes arborées et arbustives

Le taux de conversion des savanes arborées et arbustives entre 1988 et 2020 était de 9,66 %. L'examen de la matrice de transition (**Tableau 5**) a montré que 503,82 km² des savanes arborées et arbustives ont été converties en mosaïques de champs et de jachères et en agglomération (19,73 km²) et en plantation (6,02 km²).

3-3-7. Taux moyen annuel d'expansion spatiale et taux de conversion des unités d'occupation des terres de 1988 à 2020

Les variations du taux moyen annuel d'expansion spatiale et du taux de conversion des unités d'occupation des terres sont consignées sur le **Tableau 5**.

Tableau 5 : Taux moyen annuel d'expansion spatiale et taux de conversion des unités d'occupation des terres de 1988 à 2020

Unités d'occupation	Années			
	t1 (1988)	t2 (2020)		T _c (%)
	Superficie (S1) en km ²	Superficie (S2) en km ²	T _a (%)	
FG	2441,22	113,53	-2,979	-95,12
FCSB	6113,82	274,32	-2,984	-95,30
SAA	1008,93	4751,59	11,592	-9,66
SS	955,37	954,35	-0,003	930
PE	70,22	70,73	0,022	0
PL	0,00	10,15	0	0
SR	82,77	83,80	0,038	0
MCJ	845,18	5118,71	15,801	581,11
AGG	70,99	211,33	6,178	0

FG : Forêts galeries ; FCSB : forêts claires et savanes boisées ; SAA : Savanes arborées et arbustives ; SS : Savanes saxicoles ; SR : Surface Rocheuse ; MCJ : Mosaïque de champs et jachères ; PE : Plan d'Eau ; PL : Plantation ; AGG : Agglomération.

Les mosaïques de champs et jachères ont connu la plus forte expansion avec 15,80 % et une conversion de l'ordre de 581,11 % de 1988 à 2020 (**Tableau 5**). Les savanes arborées et arbustives ont connu 11,59 % d'expansion et une conversion de -9,66 %. Les agglomérations ont connu une expansion de 6,17 %. Les forêts galeries (-2,97 % d'expansion spatiale et -95,12 % de conversion) et les forêts claires et savanes boisées (-2,98 % d'expansion spatiale et -95,30 % de conversion) constituaient les seules formations végétales naturelles qui ont connu une réduction de leurs superficies. Toutes les unités d'occupation des terres ont connu une modification de leurs superficies selon qu'elles aient été des formations naturelles ou des formations anthropiques. La plus grande réduction a été observée au niveau des forêts galeries et des forêts claires et savanes boisées.

4. Discussion

4-1. Dégradations physiques des sols du Nord-Ouest de l'Atacora au Bénin

Dans le Nord-Ouest de l'Atacora au Bénin, plusieurs activités humaines sont à la base de la dégradation de l'environnement. En effet, les mutations environnementales se manifestent par la diminution chronique du couvert végétal naturel, les rendements particulièrement faibles de la végétation cultivée, la dégradation de la plupart des sols, la pollution des plans et cours d'eau. De nombreuses études menées dans d'autres pays de l'Afrique de l'ouest sont parvenues aux résultats similaires [19]. Ces auteurs sont unanimes sur le fait que la superficie de la végétation fortement réduite dans l'environnement local est due entre autres

aux conséquences des pressions anthropiques qu'a connu l'Afrique de l'ouest en général et aussi au fait que les techniques de cultures pratiquées par les populations de ces milieux fragiles contribuent à dégrader davantage les terres. La dégradation des terres et l'épuisement des ressources naturelles caractérisent la plupart des espaces de montagne. La déforestation, le surpâturage, l'extension massive de la mise en culture des terres, la réduction de l'infiltration et de la recharge des nappes au profit du ruissellement, accélèrent l'érosion hydrique. Il s'agit de la menace la plus redoutée et la plus répandue dans la dynamique environnementale des versants [20]. En effet, le taux d'accroissement intercensitaire de la population du Bénin entre 2002 et 2013 est élevé et représente 3,5 % [21]. Or, l'équilibre écologique du Bénin est très fragile et impose une attention particulière pour une utilisation rationnelle des ressources naturelles renouvelables [2]. La dégradation des ressources naturelles (sols, végétation) est donc en grande partie la conséquence du système agricole [22]. Loin d'être stable et inerte, le sol constitue au contraire un milieu complexe et en constante évolution, soumis à des lois propres qui régissent sa formation, son évolution et toutes ses propriétés résultant de l'action lente et prolongée de l'atmosphère et de la biosphère sur la lithosphère [23]. L'analyse des données démographiques et celles relatives à la production agricole des années 2018 à 2020 confirme la relation existante entre l'accroissement démographique et la pénurie des terres cultivables. Les techniques de conservation des sols adoptées par les paysans luttent plus contre l'érosion que pour la restauration des sols. Les conditions physiques de productions agricoles sont défavorables [24]. En effet, l'agriculture itinérante sur brûlis liée surtout à la culture de l'igname constitue la cause essentielle des défrichements sur de vastes étendues.

En plus, le non-respect des doses d'engrais chimiques ou la non utilisation de fertilisants conduit à un appauvrissement prolongé des terres à cause des manques d'éléments nutritifs [20, 25]. De plus, l'exploitation prolongée des mêmes terres entraîne une dégradation poussée des sols. La production agricole dans le milieu, conduit à une surexploitation des sols qui perdent leur état de fertilité et entraîne une diminution rapide de la matière organique et des éléments nutritifs [26]. Les pratiques culturales inappropriées dégradent les sols et les systèmes de culture sans amendement réduisent considérablement les teneurs en matière organique et de l'azote [19, 27]. De même, la capacité d'échange cationique apparaît comme une limitation sévère dans l'ensemble des sols. Cette situation pourrait s'expliquer par une exploitation intensive des sols sur plusieurs années, entraînant une diminution de 56 % de la capacité d'échange cationique après 25 ans de culture [27]. En outre, cette tendance de la capacité d'échange cationique a été confirmée à N'Dali [28] et dans le bassin de Lotho à Dassa-Zoumè [29]. Par ailleurs, après les cultures de l'igname et du cotonnier, suivent généralement celles des céréales (sorgho, mil, fonio, etc.) très exigeantes en nutriments et moins protectrices des sols et pour lesquelles les agriculteurs n'utilisent pas d'engrais. Cette agriculture épuise les sols sans une possibilité de restauration de fertilité [22]. Le déplacement des troupeaux par le piétinement détériore les caractéristiques physiques des sols et augmente ainsi leur érosion. Les arbres contribuent à la stabilisation des terrains notamment ceux en pente. Le défrichement pourrait entraîner un glissement ou un éboulement de ces derniers.

4-2. Dynamique de la végétation et l'évolution des unités d'occupation

Les facteurs de changements d'occupation et d'usage des sols ont des répercussions sur l'environnement. La dynamique d'occupation et d'utilisation des terres est due à la forte demande en terres cultivables et des pratiques agricoles surtout dans des conditions climatiques assez contrastées [30]. L'extension des aires de culture, les techniques culturales et aussi l'urbanisation ont modifié profondément l'organisation du paysage du Nord-Ouest de l'Atacora. Les défriches sont parfois suivies de brûlis, entraînant une destruction du couvert végétal et de l'habitat faunique [3]. Les zones de culture sont passées de 7,44 % de la superficie totale du Nord-Ouest de l'Atacora en 1988 à 30,77 % en 2020. L'évolution progressive de cette unité s'est faite au détriment

des formations végétales qui ont régressé de 52,95 % à 40,08 % entre 1988 et 2020. L'utilisation des produits chimiques dans les champs, dans l'objectif de lutter contre les mauvaises herbes, aggrave l'état de dégradation des sols [31]. On observe ainsi une forte pression anthropique sur les ressources naturelles. Cette pression augmente le risque de l'érosion hydrique de la zone d'étude. Les sols sous les formations végétales résistent plus à l'érosion hydrique que les sols sous culture et les sols nus. L'extension des défrichements pour les cultures et l'intensification du pâturage résulte de l'augmentation des besoins vitaux et sociaux de la population. Ces besoins vitaux et sociaux ont déclenché par conséquent « l'érosion accélérée ». L'érosion hydrique constitue une composante à forte variation temporelle et est grandement influencée par la couverture du sol [32]. Les racines des plantes stabilisent les sols en les rendant perméables, favorisent l'aération du sous-sol et contribuent à la formation des sols. « Les dynamiques paysagères actuelles (anthropisation) transforment rapidement les milieux et contribuent à amplifier les processus d'érosion » [33]. En effet, la croissance de la population rurale d'une part et la réponse à la demande urbaine des produits vivriers d'autre part ont provoqué une forte extension des emblavures [9]. Ce phénomène généralisé dans le pays est encore plus accusé au sud qui concentre 70 % de la population rurale sur 10 % seulement du territoire national. La densité de la population y est évaluée en 2002 à 218 hbts /km² dans le département du Couffo contre 164 hbts en 1992. Cette densité qui est passée à 292 hbts / km² en 2010 constitue une pression qui agit sur les ressources naturelles [12]. Par ailleurs, les feux tardifs allumés soit pour débayer les terrains de cultures, soit pour avoir des recrus d'herbe tendre pour le pâturage, les actions anthropiques non coordonnées créent des impacts négatifs sur les écosystèmes. Ainsi, en saison sèche, on note que certaines essences sont sauvagement mutilées par les éleveurs surtout étrangers pour alimenter les bêtes à savoir : *Khaya senegalensis*, *Azelia africana* et *Pterocarpus erinaceus*. Parfois ce sont les paysans autochtones mêmes qui coupent et vendent les feuilles desdites essences aux éleveurs. Les écosystèmes forestiers du Bénin sont confrontés à d'énormes pressions et défis. Les données des dernières décennies montrent que les ressources forestières et les espaces agricoles occupent constamment environ 70 % du territoire national [4].

Dans le secteur d'étude, le recul du couvert végétal est perceptible à travers l'expansion des superficies agricoles et le développement des habitations spontanées [32]. Selon [34], l'accroissement de la population et l'introduction des cultures industrielles notamment le coton, ont fait que les formations végétales naturelles ont cédé leur place aux champs et jachères. Plusieurs auteurs, notamment [35, 36] sont parvenus à la même conclusion en désignant la part des activités agricoles dans la dégradation des ressources naturelles. Ces auteurs ont estimé que la culture itinérante sur brûlis liée au développement de la culture du coton est responsable de la dispersion des agriculteurs et de la multiplicité des fermes agricoles. Les divers changements observés au niveau de l'espace naturel témoignent de l'importance de l'agriculture et des différentes extensions des villages. Le recul des formations naturelles est dû à la pression de l'agriculture. En effet, de 1988 à 2020, on a noté une réduction des superficies des espaces pastoraux notamment les forêts claires et les savanes boisées. Cette situation interpelle les populations et les autorités sur la viabilité des activités agropastorales dans le secteur d'étude. Le secteur d'étude connaît une dégradation poussée des formations végétales. Les facteurs de cette dégradation sont d'ordres naturels et anthropiques. Les activités anthropiques ont une part importante dans la dégradation des écosystèmes. L'agriculture est en partie responsable de la dégradation des ressources naturelles [37, 38]. Par ailleurs, le déboisement lors des cultures a des effets à plusieurs niveaux. L'agriculture pratiquée dans le secteur d'étude est dominée par la culture de l'igname et le coton. La mise en culture après défrichement et le déboisement a pour impacts négatifs le recul du couvert végétal, la mise à nu des sols et l'accélération de l'érosion. L'agriculture est la principale cause de régression du couvert végétal au Bénin [39]. Les causes de la diminution des terres agricoles sont multiples et variées. Toutefois, la principale reste et demeure la pression démographique [9]. Les diminutions très prononcées surtout au niveau des galeries forestières, des savanes arborées et arbustives témoignent du degré de perturbation des formations végétales. Les résultats de l'étude montrent que l'espace naturel disparaît avec le temps. Les zones de cultures augmentent avec l'évolution de l'effectif de la population [8]. Cette observation

(réduction de la superficie agricole due à l'augmentation de l'effectif de la population) a été faite par [40] sur le plateau de Sakété. [41] affirme que dans la basse vallée de l'Ouémé au Bénin et de la Volta au Ghana, les crues cycliques perturbent les systèmes culturaux et limitent l'accès à certains terrains exploitables. Au plan de la végétation, malgré sa position apparemment favorable, le Bénin n'est pas un pays forestier. En outre, les pressions exercées par le défrichement pour l'agriculture, le surpâturage et l'exploitation du bois sur les forêts classées affectent leurs rôles écologiques [23]. Les ordres de progression sont absents, contrairement aux études de [42], qui constatent dans le Nord-ouest du Bénin la progression d'ordre 1 concernant les infimes portions de savanes arborées et arbustives saxicoles ou non. La progression d'ordre 2 concerne quelques portions de mosaïques de cultures et jachères. La raison est que la pression démographique est plus accentuée au sud qu'au nord du pays [9]. Les diminutions très prononcées surtout au niveau des galeries forestières, des savanes arborées et arbustives témoignent du degré de perturbation des formations végétales. Les zones de cultures augmentent avec l'évolution de l'effectif de la population. Car, les activités humaines sont l'une des principales causes de l'évolution récente de la végétation en Afrique, qui se caractérise par un déclin drastique du couvert végétal. Cette dégradation du couvert végétal contribue de manière significative au changement global, car la végétation est l'une des principales composantes du système environnemental. Il faut concentrer désormais l'analyse des causes de la dégradation de la végétation sur l'être humain, puisque la part de l'homme dans le processus de dégradation du couvert végétal est de plus en plus établie. C'est pourquoi, [43] affirme dans sa recherche dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bétérou (Nord-Bénin) que la dynamique actuelle des formations végétales des zones humides est guidée par l'interaction de deux principaux facteurs : les facteurs naturels dominés par l'évolution du climat et les facteurs anthropiques marqués par une intense activité agricole et pastorale.

5. Conclusion

La présente recherche montre que dans le Nord-Ouest de l'Atacora au Bénin, les activités humaines sont à la base de la dégradation de l'environnement. Le milieu est largement dominé par une occupation humaine et l'importance de l'érosion hydrique dépend du type d'occupation des terres. En effet, les taux en limons des sols varient entre 14,05 et 24,75 % et 25 % des sols sont de textures limono-sableuses. Ces sols ont une faible capacité de rétention en eau et en cations. Le taux de l'argile varie entre 14,20 et 40,06 % et il n'est ni fonction de l'altitude ni du type de culture. La dominance des éléments grossiers (sable) indique que les sols des plateaux sont de mauvais réservoirs d'eau à la portée des plantes. Au niveau des extrêmes (en hauteur) les teneurs en argile sont les plus élevées et les plus faibles, dans des villages différents. Une émergence des mosaïques de champs, de jachères et les galeries forestières s'observent en lambeaux le long des principaux cours d'eau et de leurs affluents. Les forêts claires et savanes boisées, un paysage dominé par les savanes arborées et arbustives sont fortement fragmentées par les cultures et jachères. Les savanes saxicoles sont davantage dégradées, les surfaces rocheuses, de plus en plus importantes du fait de la dégradation des savanes saxicoles et les agglomérations sont dispersées le long des routes et autour des points d'eau. Les superficies des formations forestières naturelles (forêts galeries, forêts claires et savanes boisées) connaissent une nette régression passant de 8.586,29 km² en 1988 à 2.283,75 km² en 2020. Une partie s'est transformée en mosaïques de champs et de jachères (2.770,64 km²) et en savanes arborées et arbustives (3.743,40 km²). Les forêts claires et savanes boisées ne sont présentes dans les terroirs villageois que sur les terres marginales. La couverture végétale est donc un facteur primordial dans la protection des sols contre l'érosion hydrique.

Références

- [1] - T. T. ADJAKPA, Activités anthropiques et dégradation des zones humides dans la Commune de Bonou au Bénin. *Afrique Science* 17(4) (2020) 125 - 138, ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>
- [2] - H. A. AZONTONDE, Dégradation et restauration des terres de barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilo-sableux) au Bénin. La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), cah. Orstom, Ser. Pedol., 28 (2) (1993) 217 - 226
- [3] - C. HIEPE, Soil degradation by water erosion in a sub-humid West-African catchment a modeling approach considering land use and climate change in Benin. Thesis, ULB, Belgium, (2008) 337 p.
- [4] - J. AVAKOUDJO, A. F. KOUELO, V. KINDOMIHOU, K. AMBOUTA and B. SINSIN, Effet de l'érosion hydrique sur les caractéristiques physicochimiques du sol des zones d'érosion (dongas) dans la Commune de Karimama au Bénin. *Agronomie Africaine* 27 (2) (2015) 127 - 143
- [5] - A. YAMEOGO, Y. S. C. SOME, A. B. SIRIMA and D. E. C. DA, Occupation des terres et érosion des sols dans le bassin versant supérieur de la Sissili, Burkina Faso. *Afrique Science* 17(5) (2020) 43 - 56, ISSN 1813-548X, [Online], consulté le 13/02/2021, <http://www.afriquescience.net>
- [6] - FANGNON, Y. A. TOHOZIN and G. GONZALLO, Pression démographique et dégradation de l'environnement dans le département du Couffo au Bénin. *Revue de géographie du laboratoire Leïdi* N°11, (2013) 10 p., ISSN0051 - 2515
- [7] - M. BANOIN and J. P. GUENGANT, Les systèmes agraires traditionnels nigériens dans l'impasse face à la démographie, in FLORET, C. et PONTANIER, R. (eds) (1999) : jachère et systèmes agraires, Actes de l'atelier, Niamey, 30 septembre-2 octobre 1998, Dakar, (1998) 212 p.
- [8] - Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche (MAEP), Rapport annuel d'activités; Bénin, (2010) 106 p.
- [9] - Stratégies de Croissance pour la Réduction de la Pauvreté (SCRP), Gouvernement du Bénin, Cotonou, Bénin, (2007) 117 p.
- [10] - A. FLOQUET and R. L. MONGBO, Les producteurs en mal d'alternatives. Dégradation des terres, restructuration de l'espace agricole et urbanisation au bas Bénin, Gaimersheim : Margraf, (1998) 189 p.
- [11] - M. N. BACO, P. I. AKPONIKPE, N. SOKPON and D. FATONDJI, Promouvoir les agricultures fragiles par la gestion intégrée des eaux et sols dans les agrosystèmes du nord Bénin. Integrated Soil Fertility Management in Africa: from Microbes to Markets; 22-26 October 2012; Nairobi, Kenya; (2012) 122 p.
- [12] - P. D. KOMBIENOU and A. B. SINSIN, Influence of the Farming Systems on the Productivity of the Soils in Mountainous Area in the North-West of Atacora in Benin. International Digital Organization of Scientific Information, *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 18 (5) (2018) 216 - 232
- [13] - INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique), RGPH4, Que retenir des effectifs de population en 2013 ? Direction des Etudes Démographiques. Ministère du Développement, de l'Analyse Economique et de la Prospective, République du Bénin. (2015) 33 p.
- [14] - ASECNA [Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar], Fichier numérique des données climatiques, Cotonou (Météo), (2018) 31 p.
- [15] - PAP, Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 5 (1) (1976) 117 - 128
- [16] - C. COLLET, Systèmes d'information géographique en mode image. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, Col. Gérer l'environnement, n°7 (1992) 186 p.
- [17] - T. M. LILLESAND and R. W. KIEFER, Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd ed. xvi+750pp. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore. John Wiley Sons. Price £67.00 (hard covers), £19.95 (paperback). ISBN 0471305758 (pb), (1994)
- [18] - Y. S. S. BARIMA, N. BARBIER, I. BAMBA, D. TRAORE, J. LEJOLY and J. BOGAERT, Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne. *Bois et forêts des tropiques*, 299 (1) (2009) 15 - 25

- [19] - S. MUGISHA, M. M. TENYWA and P. J. A. BURT, An improved technique for the prediction of optimal image resolution(s) for large-scale mapping of savannah ecosystems. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4 (10) (2010) 709 - 717
- [20] - A. TOURE, Erosion en milieu sableux cultivé au Niger : dynamique actuelle et récente en liaison avec la pression anthropique et les changements climatiques. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, France, 224 (2013)
- [21] - A. B. K. DOSSA, Evaluation et financement des dépenses environnementales: cas du consentement à payer pour la conservation des sols agricoles à Kérou au Bénin. EDP/FLASH/UAC, (2016) 303 p.
- [22] - H. A. AZONTONDE, C. FELLER, F. GANRY and J. C. REMY, Le Mucuna et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au sud du Bénin. *Agriculture et Développement* n°18, CIRAD-Montpellier, France, (1998) 14 - 21
- [23] - P. D. KOMBIENOU, Influence des systèmes de productions agricoles sur l'occupation des terres, la fertilité des sols et l'agro-biodiversité en zone montagneuse dans le département de l'Atacora au Bénin. Thèse de Doctorat Unique/EDP/FLASH/UAC, Cotonou, Bénin, (2016) 283 p. + Annexes
- [24] - B. VOLKOFF & P. WILLAIME, Notice explicative de la carte des sols du Dahomey au 1/1.000.000°. (1963)
- [25] - G. AUBERT and P. SEGALIN, Classification des Sols, (1966)
- [26] - P. D. KOMBIENOU, O. AROUNA, A. H. AZONTONDE, G. A. MENSAH and B. A. SINSIN, Caractérisation du niveau de fertilité des sols de la chaîne de l'Atakora au nord-ouest du Bénin. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 25(2) (2015) 3836 - 3856
- [27] - MULDER, Soil degradation in Benin : Farmers perception and responses. Tinbergen Institute, Research series N° 240 Vrije Universiteit Amsterdam, Hollande, (2000) 241 p.
- [28] - P. BRABANT, S. DARRAQ, K. EGUE and V. SIMONNEAUX, La dégradation des terres en Afrique. *Afrique contemporaines* n°161 spécial, (1996) 90 - 108
- [29] - P. D. KOMBIENOU; D. G. DAGBENONBAKIN; G. A. MENSAH and A. B. SINSIN, Impacts socio-environnementaux des activités agricoles en zone de montagnes au Nord-Ouest de l'Atacora au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 145 (1) (2020) 14914 - 14929, ISSN1997-5902
- [30] - MDR (Ministère du Développement Rural), DFRN, Programme de Gestion des Forêts et Terroirs Riverains (PGFTR). Analyse environnementale. République du Bénin. CIMA INTERNATIONAL INC 3400, boul. Du Souvenir Suite 600 Laval (Québec) CANADA H7V 3Z2, (2005) 57 p.
- [31] - B. SINSIN, Le rôle des aires protégées dans la conservation des ressources génériques. Séminaire National sur les "Ressources phylogénétiques, diversité et conservation ", Niaouli, Bénin, (1995) 14 p.
- [32] - P. WILLAINE, Étude pédologique de Boukombé, Mission d'Études au Dahomey, Office de Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Cotonou, Bénin, (1956) 34 p.
- [33] - I. TOKO IMOROU, Dynamique des formations végétales de la forêt classée de Ouénou-Bénou au Nord-Bénin. *BenGéo.*, vol. 13, (2013 a) 18 - 35
- [34] - B. SOUNON BOUKO, Colonisation agricole et dégradation du couvert végétal dans le secteur de Wari-Marou-Igbomako au Bénin, Thèse de doctorat, UAC / DGAT- Abomey-Calavi, Bénin, (2010) 198 p.
- [35] - A. B. H. TENTE, Recherche sur les facteurs de la diversité floristique des versants du massif de l'Atacora: secteur Perma-Toucountouna (Bénin). Thèse de Doctorat de Géographie, EDP/FLASH/UAC, (2005) 252 p.
- [36] - J. OLOUKOI, V. J. MAMA and F. B. AGBO, Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le Département des Collines au Bénin. *Télé-détection* 6 (4) (2006) 305 - 323
- [37] - J. E. RODRIGUEZ-JUAN, A. SBAÏ and A. EL HARRADJI, Techniques de conservation des eaux et des sols au niveau du bassin versant de Mestferki (Chaîne de Jerada, Nord-Est du Maroc). Scientific Association for Water Information Systems. *Journal of SAWIS*, Volume N°01 (2015), ISSN: 2351-9096
- [38] - R. N. GANSAONRE, Dynamique du couvert végétal et implications socio -environnementales à la périphérie du parc W/Burkina Faso, Vertigo - la *Rev. électronique en Sci. l'Environ.*, 18 (1) (2018) [Online]. Available: <https://journals.openedition.org/vertigo/20249>

- [39] - K. ADJONOU, I. A-K. BINDAOUDOU, R. S. IDOHOU, R. V. GLELE-KAKAÏ and K. KOKOU, Suivi satellitaire de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres dans la réserve de biosphère transfrontière du Mono entre le Togo et le Bénin de 1986 à 2015, in OSFACO, (2019) 1 - 25
- [40] - M. MELIHO, A. KHATTABI, N. MHAMMDI and Z. HONGMING, Cartographie Des Risques De L'érosion Hydrique Par L'équation Universelle Révisée Des Pertes En Sols, La Teledetection Et Les Sig Dans Le Bassin Versant De L'ourika (Haut Atlas, Maroc), *Eur. Sci. J.*, 26 (32) (2016) 69 - 79, doi: 10.19044/esj.2016.v12n32p277
- [41] - E. PAYET, Etude des dynamiques de dégradation des sols, à l'échelle des bassins versants côtiers de l'océan Indien, Thèse unique, Université de la Réunion, Département d'outre-mer de La Réunion, (2015) 315 p.
- [42] - O. KABORE, Dynamique de l'utilisation des terres dans bassin versant de la Kompienga (Burkina Faso), Thèse unique, Université de Ouagadougou, Ouagadougou, (2013) 281 p.
- [43] - M. CAMPY, J.-J. MACAIRE and C. GROSBOIS, Géologie de la surface : érosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux, Editions Dunod, 3e édition, Paris, (2013) 451 p.