

## **ÉVALUATION DE L'ÉTAT DES SOLS AU NORD-OUEST DE L'ATACORA AU BÉNIN**

*P. D. KOMBIENOU\**; *A. H. AZONTONDE\**; *G. A. MENSAH\** & *B. A. SINSIN\*\**

*\* Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), 01BP884 Cotonou, Bénin – Email : ykopoda@yahoo.fr*

*\*\* Laboratoire d'Ecologie Appliquée de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'UAC ; 01BP526 Cotonou, Bénin*

### **RÉSUMÉ**

Au Bénin, l'agriculture demeure la principale source de revenu de la majorité des actifs agricoles. Cependant, les activités agricoles ont un impact négatif sur la fertilité des sols de la chaîne de l'Atacora au nord-ouest. En effet, dans certaines Communes, les terres arables sont devenues rares et la dégradation des sols très forte en raison de leur mauvaise utilisation. Le but de cette étude est d'évaluer l'état de la fertilité des sols dans les Communes de Natitingou, Boukombé, Tanguiéta et Toucountouna au nord-ouest du Bénin. Les méthodes utilisées sont les enquêtes exploratoires, les diagnostics participatifs, les sondages d'opinion, les études pédologiques et les analyses statistiques. Ainsi, 400 personnes ont été interrogées dans huit villages répartis sur quatre communes. En outre, des échantillons de sol ont été prélevés dans les zones de productions agricoles des différents villages. Les résultats ont montré que les taux de carbone (C), d'azote (N), de phosphore (P) et la somme des bases échangeables varient très significativement ( $P < 0,0001$ ) en fonction du type de sol, de l'année et que le niveau de fertilité du sol dépendait de la zone de cultures. Ces éléments sont en teneurs plus élevées dans les sols des montagnes que ceux des plateaux. Soient, 19,52 ppm pour le P ; 2,46 % pour le C et 0,14 % pour le N sur les sols de montagne contre 3,78 ppm pour le P ; 0,59 % pour le C et 0,05 % pour le N sur les sols de plateaux. Ces résultats ont révélé que 58,33 % des sols de montagne sont limono-argilo-sableux, 25 % sont limono-sableux, 12,50 % sont limono-argilo-argileux et 4,16 % sont limono-argileux. La grande partie des sols étudiés dispose d'une bonne rétention en eau et en cation. Ils emmagasinent assez d'eau et peu de bases échangeables pour la croissance des plantes. En conséquence, les niveaux de fertilité chimique des sols au nord-ouest de l'Atacora sont en général de moyen à bas. Les sols de plateaux surexploités sont plus érodés, comparativement à ceux des montagnes dont l'exploitation est plus récente.

**Mots clés** : Fertilité des sols, nord-ouest de l'Atacora, échantillons de sol, niveau de fertilité, Bénin.

## **EVALUATION OF THE BALANCE OF SOIL OF THE ATACORA IN NORTHWESTERN BENIN**

### **ABSTRACT**

In Benin, agriculture remains the main source of income for the majority of agricultural workers. However, agricultural activities have a negative impact on soil fertility in the Atacora range in the northwest. Indeed, in some Communes, arable land has become scarce and soil degradation is very strong because of its poor use. The purpose of this study is to evaluate the state of soil fertility in the communes of Natitingou, Boukombe, Tanguieta and Toucountouna in northwestern Benin. The methods used are exploratory surveys, participatory diagnoses, opinion polls, soil surveys and statistical analyzes. Thus, 400 people were interviewed in eight villages in four communes. In addition, soil samples were taken from the agricultural production areas of the different villages. The results showed that carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P) and the sum of exchangeable bases vary very significantly ( $P < 0.0001$ ) depending on year and that the level of soil fertility depended on the crop area. These rates are higher in mountain soils than those in plateaus. Let 19.52 ppm for the P; 2.46 % for C and 0.14 % for N on mountain soils versus 3.78 ppm for P; 0.59 % for C and 0.05 % for N on plateau soils. These results revealed that 58.33 % of mountain soils are loamy-sandy-clay, 25 % are sandy-loamy, 12.50 % are loam-clay-clay and 4.16 % are loam-clay. Most of the soils studied have good water and cation retention. They store enough water and few exchangeable bases for plant growth. As a result, soil chemical fertility levels in northwestern Atacora are generally medium to low. Over exploited plateau soils are more eroded compared to those in more recently

logged mountains.

**Key words:** Soil fertility, northwestern Atacora, soil samples, fertility level and Benin.

## INTRODUCTION

Au Bénin, l'agriculture demeure la principale source de revenu de la majorité des actifs agricoles. La population augmentant d'année en année, la nécessité de produire plus pour assurer la sécurité alimentaire et le développement économique s'avère de plus en plus pressante. Le Département de l'Atacora consacre l'essentiel de ses efforts aux activités agricoles (74 % des actifs du Département) (INSAE, 2004). Cependant, la disponibilité en terres agricoles s'amenuise de plus en plus à cause de l'extension croissante des superficies cultivables en faveur de la culture cotonnière, la pression sur les terres est de plus en plus forte (Kombienou *et al.*, 2018). Le trait physique explique non seulement le caractère très accidenté du relief mais aussi et surtout l'insuffisance des terres cultivables qui de surcroît dégradées par l'érosion, les rend infertiles et inaptes aux cultures. Malgré les conditions défavorables, les populations y sont installées depuis plusieurs centaines d'années voire des millénaires (Kombienou, 2010). Très humanisée, la zone d'étude se caractérise par une diversité de groupes socioculturels aux pratiques culturelles traditionnelles en général. La pauvreté des sols explique les faibles rendements et est l'une des raisons d'occupation des terres des versants de la Chaîne de l'Atacora (Kombienou *et al.*, 2016). Elle est aussi à l'origine de l'exode rural massif des bras valides de ces groupes socioculturels depuis les années 1960 vers les Départements de la Donga et du Borgou, puis vers le Nigeria, le Ghana (Komienou, 2010). En effet, au cours de ces dernières années, le problème de la raréfaction des terres cultivables et celui de la pauvreté des sols est devenu une question préoccupante. En raison de ce que, les rendements des cultures et la durabilité du système de production sont compromis ; ce qui expose la population du Bénin à des risques d'insécurité alimentaire, particulièrement dans la partie septentrionale (Egah *et al.*, 2014). La caractérisation du niveau de fertilité des sols dans les agro systèmes de la chaîne de l'Atacora au Nord-Ouest du Bénin reste une importance capitale, vu la fragilité agro-écologique de cette région et les systèmes peu durables de production agricole qui ont cours dans le milieu. La présente étude a pour but d'évaluer l'état des sols au nord-ouest de l'Atacora au Bénin.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### *Milieu d'étude*

La présente étude a été conduite dans les quatre Communes au nord-ouest de la chaîne de l'Atacora au Bénin que sont : Natitingou, Boukombé, Tanguiéta et Toucountouna (Figure1).

## *Évaluation de l'état des sols au Bénin*

Le nord-ouest de l'Atacora appartient intégralement à la zone soudano-guinéenne et jouit du climat tropical marqué par deux types de saisons : une saison sèche comprenant la période d'harmattan de novembre à février et celle de forte chaleur s'étalant de mars à avril et une saison de pluies de mai à octobre. C'est une zone qui est située 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 et qui regroupe les traits physiques et socio-économiques du nord-ouest Béninois montagneux. Cette aire d'une superficie d'environ 15.076 km<sup>2</sup>, abrite une population estimée à 480.835 habitants (INSAE, 2013) et dont les activités agricoles dominent le secteur économique. On rencontre également les sols ferrugineux tropicaux lessivés et hydromorphes dans les vallées et des rivières qui traversent la zone.

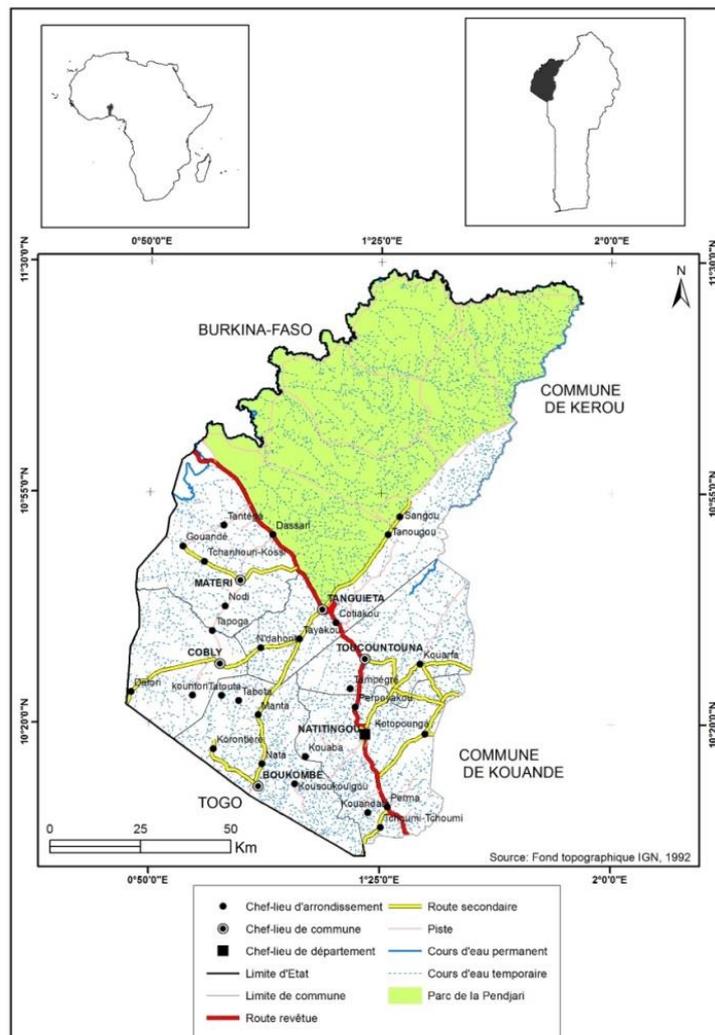


Figure 1. Localisation du secteur d'étude

Du point de vue des caractéristiques topographiques et structurales, la chaîne de l'Atacora a une altitude d'environ 800 mètres. Cette chaîne partant du Ghana, prend en écharpe le Togo suivant une direction Sud Ouest-Nord Est (SO-NE), traverse le Bénin et se poursuit au Nord-Est du Nigéria. Elle est connue sous les noms Akwapim Range au Ghana, Chaîne des Monts Togo au Togo et Chaîne de l'Atacora au Bénin (Kousse, 1977).

Les Bètamaribè, les Bèrba et les Waaba représentent les plus importants groupes socioculturels (INSAE, 2013). Ils pratiquent en majorité une culture extensive de céréales sur des sols appauvris par une surexploitation sans cesse croissante en raison de la forte pression démographique (Natta, 1999).

L'étude a été réalisée dans huit villages de la chaîne de l'Atacora que sont : Béricingou et Koussantikou (Natitingou), Koumagou A et Kounakogou (Boukombé), Ouankou et Manougou (Tanguiéta), Wansokou et Tchakalakou (Toucountouna) (Figure 1).

### *Méthodes*

L'étude a été effectuée entre 2011 et 2013. La phase préparatoire a consisté à recueillir à l'aide d'un GPS (Global Positioning System) les coordonnées géographiques des villages et des sites.

#### *Diagnostic des pratiques agricoles*

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 de la zone d'étude. Les résultats d'une autre étude diagnostique réalisée sur la gestion de la fertilité des sols conduite dans les mêmes villages de chaque Commune ont aussi été exploités.

Les enquêtes complémentaires ont été effectuées auprès d'exploitants représentatifs afin de recueillir des informations quantitatives sur les cultures, l'élevage, les pratiques de conservation et de restauration des sols. Ces différentes phases de collecte des données ont été complétées par des entretiens informels, semi-structurés et structurés avec les personnes ressources de diverses catégories (déscolarisés, retraités, élus locaux, chefs traditionnels, agriculteurs et personnels d'encadrement).

L'échantillonnage a concerné essentiellement les flancs de montagne et les plateaux qui sont des espaces de plus en plus cultivés. Dans les champs, des échantillons de sols ont été prélevés dans l'horizon de surface (0 à 20 cm). Sur la montagne, les échantillons ont été prélevés le long d'une toposéquence dans le haut-versant (Hv), le mi-versant (Mv) et dans le bas-versant (Bv). Par contre, sur les plateaux, les champs ayant presque toujours une forme rectangulaire, les prélèvements ont été faits le long de deux diagonales précisément dans l'extrême-droite (Ed), dans l'extrême gauche (Eg) et dans le milieu de la diagonale (Md).

Au total, sur chaque type de relief (montagne et plateau), 48 échantillons ont été prélevés à raison de trois prélèvements par site. , de deux sites par village, de deux villages par Commune et de quatre Communes du secteur d'étude.

#### *Choix des exploitants agricoles*

Concernant le choix des exploitations agricoles, la MARP (Méthode Accélérée de Recherche Participative) thématique et l'apprentissage participatif, puis l'outil SEPO (Succès, Echec, Potentialités, Obstacles) ont été utilisés afin d'impliquer les producteurs à tous les niveaux du processus de diagnostic et d'évaluation du niveau de dégradation des sols dans le milieu. Les principales étapes du processus ont été : la reconnaissance du terroir pour les sites d'études au niveau des différents villages ; l'identification des exploitations dans les deux sites au niveau de chaque village ; la mesure des indicateurs de performance, l'observation et l'évaluation participative de l'étude.

Ainsi, la cible concernée se compose comme suit : producteurs agricoles ; association de producteurs ; exploitants forestiers ; autorités locales à divers niveaux ; personnes ressources se trouvant sur le terrain.

#### *Méthode de traitement et d'analyse des échantillons prélevés*

Les échantillons de sol prélevés au cours de la réalisation des profils pédologiques ont été analysés au Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement (LSSEE) du Centre de Recherches Agricoles d'Agonkanmey (CRA-Agonkanmey/INRAB). Les analyses ont porté sur la granulométrie, le taux de carbone organique (C), le pH, la capacité d'échange cationique (CEC), l'azote total (N), le phosphore (P) assimilable, le potassium (K), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg) échangeables. Ces échantillons de sol ont été d'abord séchés.

#### *Méthode d'évaluation des niveaux de fertilité chimique des sols*

Le critère d'évaluation des classes de limitation des niveaux de fertilité défini par Sys (1976) a été utilisé (Tableau 1) pour étudier le niveau de fertilité des sols. Ainsi, la définition des classes ou sous-classes est basée sur des limitations imposées par les caractéristiques énumérées dans le tableau 1, ainsi que sur le degré d'intensité de ces limitations. Il a été convenu que cinq degrés d'intensité des limitations seront définis :

- 0 : pas de limitation : les caractéristiques chimiques du sol sont optimales;
- 1 : limitations faibles, se référant à des situations qui pourraient légèrement diminuer les rendements sans cependant imposer des techniques culturales spéciales ;
- 2 : limitations modérées, se référant à des situations qui causent une diminution plus importante des rendements ou la mise en œuvre de techniques culturales spéciales. Ces limitations ne mettent pas la rentabilité

en cause ;

3 : limitations sévères ; se référant à des situations qui causent une diminution des rendements ou la mise en œuvre de techniques culturales qui pourraient mettre la rentabilité en cause.

4 : limitations très sévères, se référant à des situations qui ne permettent plus l'utilisation de la terre pour un but précis.

Tableau 1. Critères d'évaluation des classes de limitation des niveaux de fertilité des sols

Limitations	Faibles	Modérées	Sévères	Trèssévères
MO (%)	> 2	1-2	< 1	< 0,5
N (%) à pH 6	> 0,08	0,045-0,08	< 0,045	< 0,03
P. ass. Bray 1	> 20	10-20	< 10	< 5
K (méq/100g de sol)	> 0,4	0,2-0,4	< 0,2	< 0,1
Somme(S)(méq/100gdesol)	> 10	5-10	< 5	< 2
Saturation en base (%)	> 60	40[50]-60	< 40	< 15
C.E.C (méq/100g de sol)	> 25	10-25	< 10	< 5

Source : SYS (1976)

### *Analyses statistiques*

L'analyse de variance a été faite suivant le test de Tukey (Tukey Simultaneous Tests). L'analyse des variances à une dimension sert à calculer le niveau de probabilité p de l'hypothèse nulle selon laquelle les moyennes de deux ou plusieurs groupes d'échantillons sont égales et donc indépendantes de l'influence d'un facteur qui se présente sous différentes modalités.

## RÉSULTATS

### *Dégradation physique des sols du nord-ouest de l'Atacora*

La dégradation physique des sols de plateaux et de montagnes affectés par les systèmes culturaux est déterminée à travers la texture et les caractéristiques physiques des échantillons de sols analysés.

La texture est un paramètre de la fertilité des sols dont les caractéristiques se présentent comme suit:

-LA, L, LAS : bonne rétention en eau et en cations ;

-AS, AL, A : capacité de rétention en eau et en cations modérée ;

-LS, SL, S : faible capacité de rétention en eau et en cations.

Les résultats de l'analyse granulométrique des échantillons de sols de plateaux et de montagnes prélevés sont mentionnés sur les figures 2 et 3ci-

dessous.

*Dynamique des fractions granulométriques dans les sols de plateaux et de montagnes entre 2011 et 2013*

La dynamique des différentes fractions granulométriques dans les sols de plateaux et de montagnes au nord-ouest de l'Atacora entre 2011 et 2013 est présentée sur les Figure 2 et Figure 3

Le taux en limons des sols varie de 14,05 à 24,75 %. Toutefois, 25 % des sols sont de textures limono-sableuses(LS) dans l'ensemble de la zone d'étude (Figure 2). Ainsi, ces sols ont une faible capacité de rétention en eau et en cations. Le taux d'argile varie de 14,20 à 40,06 %. Toutefois, 16,67 % de l'ensemble des échantillons de sols étudiés sont de textures limono-argileuses (LA). Les proportions du sable sont comprises entre 40 et 61,50%. La majorité (58 %) des échantillons de sols étudiés au nord-ouest de l'Atacora sont de textures limono-argilo-sableuses (LAS) avec une bonne rétention en eau et en cations. Le taux d'argile est plus élevé en haut de chaîne à l'extrême gauche (EG) au site I à Manougou sous sorgho et plus bas en haut de chaîne à l'extrême droite (ED) à Koussantikou sur le site II sous sorgho. Ainsi, le taux d'argile n'est ni fonction de l'altitude ni du type de culture. La dominance des éléments grossiers (sable) indique que les sols de plateaux sont de mauvais réservoirs d'eau à la portée des plantes. D'où le risque élevé d'érosion. Les résultats (Figure 2) ont montré en hauteur (au niveau des extrêmes) les proportions en argile les plus élevées et les plus faibles mais dans des villages différents.

La dynamique des différentes fractions granulométriques dans les sols de montagnes au nord-ouest de l'Atacora entre 2011 et 2013 est présentée sur la Figure 3.

Les résultats d'analyse des échantillons de sols de montagne révèlent que 25 % sont limono-sableux, 12,50 % sont limono-argilo-argileux et 4,16 % sont limono-argileux (Figure 3). En conséquence, ils emmagasinent assez d'eau et peu de bases échangeables pour la croissance des plantes.

*Dégradation chimique des sols du nord-ouest de l'Atacora*

La dégradation chimique des sols de plateaux et de montagnes affectés par les systèmes culturels est déterminée dans les villages d'études.

*Teneur en phosphore assimilable des sols de plateaux et de montagnes entre 2011 et 2013*

La teneur en phosphore assimilable P (ppm) dans les sols de plateaux entre 2011 et 2013 au nord-ouest de l'Atacora est plus élevée (7,48 %) en milieu de périmètre (MD) à Tchakalakou (Toucountouna) au site I (Figure 4). Cette teneur est plus faible (1,40 %) en altitude au site II à Koussantikou (Natitingou). Le phosphore a une teneur faible, inférieure à 20 % dans le

milieu. Ces différentes données montrent que le phosphore a un faible pouvoir fixateur, témoignant ainsi la pauvreté des sols en azote dans le milieu. Le fonio et la jachère ont une forte capacité de rétention ou de régénérescence du Phosphore.

La teneur en phosphore assimilable P (ppm) dans les sols de montagnes entre 2011 et 2013 au nord-ouest de l'Atacora varie entre 11,05 et 27,81 ppm et est plus élevée en bas-versant(BV) à Tchakalakou (Toucountouna) au site I et à Ouansokou (Toucountouna) au site I, à mi ou bas de versants (Figure 5). Cette teneur est plus faible en haut versant (HV) à Bérécingou (Natitingou), au sommet des versants du site III.

*Dégradation chimique des sols*

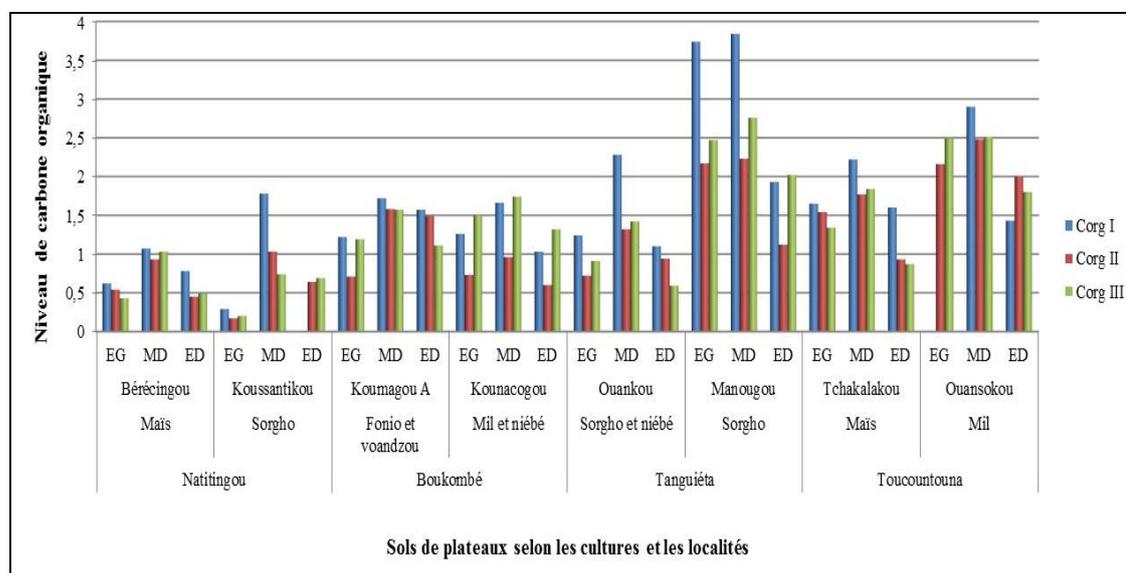


Figure 2. Taux de carbone organique (C<sub>org</sub>) dans les sols de plateaux entre 2011 et 2013

## Évaluation de l'état des sols au Bénin

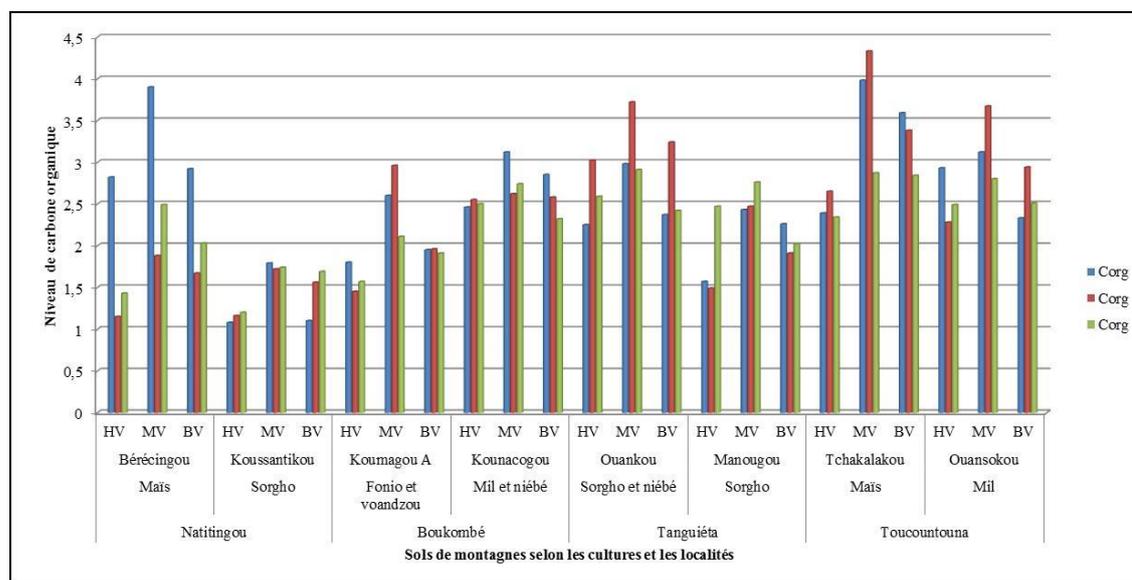


Figure 3. Taux de carbone organique dans les sols de montagnes entre 2011 et 2013

Légende : H-v : Haut de versant ; M-v : Mi-versant ; B-v : Bas de versant

### *Effets des sites d'exploitations sur les taux de phosphore, de carbone et d'azote*

Les résultats de l'analyse de variance pour évaluer les effets des sites d'exploitations sur les taux de phosphore assimilable, de carbone organique et d'azote total sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2. Effets du type de relief et du temps sur le taux de phosphore, de carbone et d'azote : analyse de variance

Facteurs	Taux de Phosphore		Taux de Carbone	Taux d'Azote
	Ddl	F	F	F
Variation inter-site (plateau et montagne)	1	111,33***	102,41***	39,04***
Variation intra-plateau	1	0,09ns	0,00ns	0,11ns
Variation intra-montagne	1	0,64ns	0,06ns	0,00ns

Source : Résultats d'analyses, mars 2013

\*\*\* : différence inter site significative au seuil de 0,1% ; ns : non significative ; différence intra site

L'analyse des résultats du Tableau 2 montre que, les taux de phosphore, de carbone et d'azote de ces sols ne varient significativement pas à l'intérieur du site d'exploitation ( $P > 0,05$ ), mais qu'ils varient très significativement d'un type de relief à un autre, du plateau à la montagne ( $P < 0,001$ ). Cela implique que les taux de ces éléments organiques et minéraux diffèrent significativement des sols des plateaux à ceux des montagnes.

Le Tableau 3 montre les taux de C, N, P et CEC en fonction des types de reliefs et du temps.

Tableau 3. Effet du type de relief et du temps sur le taux de carbone, d'azote, de phosphore et la capacité d'échange cationique (CEC)

Facteurs		Taux de carbone	Taux d'azote	Taux de phosphore	CEC
Source	ddl	F	F	F	F
Types de relief (plateau et montagne)	1	63***	132***	448***	300***
Année	2	2,3ns	2ns	0,3ns	3*
Type * Année	2	1ns	2ns	0,4ns	1ns

\*\*\* : différence significative au seuil de 0,1% ; \* : différence significative au seuil de 5% ; ns: non significative

L'analyse des résultats du tableau 3, révèle que les taux de carbone, d'azote, de phosphore et de capacité d'échange cationique (CEC) varient très significativement en fonction du type de reliefs de sols ( $P < 0,001$ ) au seuil de 95 %. Ces taux n'ont pas varié significativement dans le temps ( $P > 0,05$ ) à l'exception de la CEC qui a varié légèrement ( $P < 0,05$ ). La valeur moyenne des différents paramètres étudiés (carbone, azote, phosphore et CEC) en fonction de l'année est présentée dans le tableau 3. Ces valeurs moyennes ne varient significativement pas ni en fonction du type de relief ni dans le temps ( $P > 0,05$ ).

#### *Dégradation chimique et niveaux de fertilité des sols*

Les différents sols de plateaux et de montagnes sont relativement peu pourvus en matière organique. Les sols qui abritent les cultures sont chimiquement dégradés à cause d'une surexploitation de plusieurs années. Ces sols sont donc astreints faute de colloïde organique à un lessivage qui cause de préjudice aux productions agricoles, leurs niveaux de fertilité étant en général moyen à bas.

Les niveaux de fertilité chimique des sols au nord-ouest de l'Atacora sont en général : moyen à bas, moyen, élevé-moyen et élevé. Entre 2011 et 2013, 41,66 % des sols étudiés appartiennent à la classe de niveau de fertilité moyen et de niveau de fertilité élevé-moyen, 16,67 % des sols appartiennent à la classe de niveau de fertilité moyen-bas et 0,02 % des sols appartient au niveau de fertilité élevé.

Le niveau de fertilité élevé-moyen peut être expliqué par l'effet d'accumulation de la matière organique, suite à la décomposition des débris végétaux qui sont entraînés vers le bas des versants par les eaux de ruissellement.

Cependant, la grande partie (42 %) des échantillons de sols étudiés a un niveau de fertilité moyen. Toutefois, 42 % des sols de plateaux sont de niveau moyen-bas.

*Comparaison de l'état des sols de plateaux et de montagnes*

L'analyse pédologique des différents échantillons de sols de plateaux et de montagnes a suscité des comparaisons surtout sur l'effet du type de sol et des sites d'exploitation, les taux moyens des différents éléments chimiques (C, N et P) au niveau des sols de plateaux et de montagnes (valeurs moyennes et erreurs standards) et les taux moyens des différents éléments chimiques des sols de montagnes en fonction de l'année (valeurs moyennes et erreurs standards).

*Taux de carbone, d'azote, de phosphore et de capacité d'échange cationique (CEC) en fonction des types de reliefs et du temps*

L'analyse de variance entre le taux de carbone, d'azote, de phosphore et de capacité d'échange cationique (CEC) et les types de reliefs, de sols et du temps est présentée dans le tableau 3.

Les taux de carbone, d'azote, de phosphore et la capacité d'échange cationique au niveau de ces sols varient très significativement en fonction du type de reliefs et de sols ( $P < 0,0001$ ) (Tableau 3). Toutefois, ces taux n'ont pas varié significativement dans le temps ( $P > 0,05$ ) à l'exception de la CEC qui a varié légèrement ( $P < 0,05$ ).

*Taux moyen de carbone, d'azote, de phosphore et de capacité d'échange cationique des sols de plateaux et de montagnes*

Les valeurs moyennes des taux de carbone (C), d'azote (N), de phosphore (P) et de capacité d'échange cationique (CEC) des sols de plateaux et de montagnes sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4. Taux moyen de carbone (C), d'azote (N), de phosphore (P) et de CEC des sols de plateaux et des montagnes

Taux Facteurs	Carbone				Azote			Phosphore			CEC		
	N	Moy	StDev	SE	Moy	StDev	SE	Moy	StDev	SE	Moy	StDev	SE
Type de relief													
Montagne	48	2,41	0,78	0,09	0,13	0,06	0,01	19,12	6	0,70	22	5	0,23
Plateau	48	1,43	0,72	0,72	0,05	0,02	0,00	4	2	0,2	11,30	2	1
Probabilité		0,000***			0,000***			0,000***			0,000***		

\*\*\* : différence significative au seuil de 0,1 % ; Moy: moyenne ; SE : erreurs standards ; N : Taille de l'échantillon StDev : Standards de déviation ou écarts types ; CEC: capacité d'échange cationique ;

Les éléments nutritifs (C, N et P) et la capacité d'échange cationique sont plus représentés dans les sols des montagnes que ceux des plateaux. Ainsi, sur les montagnes, ces valeurs sont de 2,41 % pour le carbone; 0,13 % pour l'azote; 19,12 ppm pour le phosphore; 22 méq pour la CEC. Sur les plateaux, ces valeurs sont de 1,43 % ; 0,05 % ; 4 ppm et 11,30 méq (Tableau 4).

*Teneur moyenne en CEC, N, C et P et texture complète des sols de plateaux et de montagnes*

La valeur moyenne des différents paramètres étudiés (carbone, azote, phosphore et CEC) en fonction de l'année est présentée dans le Tableau 5.

Tableau 5. Taux moyen de carbone (C), d'azote (N), de phosphore (P) et de CEC des sols de montagnes et de plateaux en fonction de l'année

Taux Facteurs	Texture	C(%)			Ntotal(%)			P (ppm)			CEC (méq/100g de sol)			
		N	Moy.	StDev	SE	Moy	StDev	SE	Moy	StDev	SE	Moy	StDev	SE
Source														
Année														
2011	48 LS-LAS	2,11	12	0,13	0,1	0,1	0,01	11,77	9,	1,3	17,5	7	1	
2012	48 LS-LAS	1,82	10	0,14	01	01	0,01	11,24	9	1,3	16,4	7	1	
2013	48 LS-LAS	1,83	10	0,11	0,1	0,05	0,01	11,09	9	1,2	16	6	1	
Probabilité		0,11ns			0,2ns			1ns			0,04*			

\*\*\* : différence significative au seuil de 0,1 % ; \* : différence significative au seuil de 5 % ; ns : non significative ; Moy : moyenne ; SE : erreurs standards; StDev : Standards de déviation ou écarts types ;

CEC: capacité d'échange cationique ; N: Taille de l'échantillon

Les taux de carbone, d'azote et de phosphore ne varient pas significativement en fonction de l'année ( $P > 0,05$ ) tandis que la CEC varie significativement en fonction de l'année ( $P < 0,05$ ) (Tableau 5). Toutefois, les taux de tous ces divers éléments ont baissé en fonction de l'année. Une nette différence est observée entre les taux de carbone, d'azote, de phosphore et la CEC des sols de plateaux et de montagnes. Ces taux sont plus élevés au niveau des sols de montagnes contrairement aux sols des plateaux où ils sont plus faibles. Ainsi, les sols de montagnes sont plus fertiles que ceux des plateaux. Une diminution progressive des taux de carbone (C), d'azote (N), de phosphore (P) et de CEC est notée dans le temps.

*Analyse comparative des caractéristiques chimiques des sols de montagnes et de plateaux*

L'exploitation continue des terres sans l'utilisation des techniques de restauration et de conservation adaptée conduit indubitablement à la dégradation des sols au nord-ouest de l'Atacora. Ceci explique l'état actuel des sols des plateaux de la zone montagneuse de l'Atacora dont les caractéristiques chimiques sont très faibles quelles que soient les localités considérées. En effet, la prise en compte des taux de carbone organique et de l'azote qui sont deux paramètres majeurs de la fertilité chimique des sols montre que les teneurs en carbone organique, donc en matière organique et en azote des sols des plateaux varient respectivement entre 0,20 % et 3,84 % puis entre 0,02 et 0,10 % sur les plateaux alors que dans les sols des versants des montagnes des mêmes localités, ces teneurs sont beaucoup plus élevées variant entre 1,10 % et 4,33 % pour les teneurs en carbone organique et entre

0,04 % et 0,36 % pour le taux d'azote.

Ce phénomène peut être expliqué par la forte pression sur les sols de plateaux en termes de durée et de pratiques peu adaptées (cultures sur brûlis ou cultures avec exportation totale des résidus de récolte) qui sont la cause des dégradations physiques, chimiques et biologiques pendant que les sols de montagne plus difficiles à exploiter à cause de l'accès très pénible sont restés inexploités et très riches en matière organique. Les sols des montagnes du nord-ouest de l'Atacora ont de forte capacité d'échange cationique (teneur supérieur à 10 dans une large majorité) pour presque tous les sites. Les sols des montagnes contrairement aux sols des plateaux ne sont pas totalement lessivés. Ces sols moins lessivés donnent un rendement moyen. Ainsi, les producteurs ne font pas usage des produits chimiques sur les champs de montagnes qui constituent d'ailleurs une source de pollution chimique. Ceci contraste bien avec la réalité, car des produits de rente (coton et tabac) sont plus cultivés sur des terres fermes et les bas-fonds, mais l'étude s'est beaucoup plus basée sur des terres des montagnes qui restent un dernier recours pour les habitants.

## DISCUSSION

### *Impacts des productions agricoles sur la fertilité des sols*

La dégradation des ressources naturelles (sols, végétation) est en grande partie la conséquence du système agricole. 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 (Boli *et al.*, 1993 ; Azontondé, 2000 ; Mulder, 2000 ; Akissoé *et al.*, 2001 et Kombienou *et al.*, 2015). De plus, l'exploitation prolongée des mêmes terres entraîne une dégradation poussée des sols. Cette production agricole, 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 (Agbola, 1991). 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 (Azontondé *et al.*, 1998 et Koundé, 1998). 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 (Brabant *et al.*, 1996). En outre, cette tendance de la capacité d'échange cationique a été confirmée à N'Dali (Attolou, 2007) et dans le bassin de Lotho à Dassa-Zoumè (Bello, 2006). 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 (Kombienou, 2016). Aussi, la mise à nu des sols au cours de la préparation des champs et après les récoltes à l'aide du feu expose-t-elle les terres aux effets érosifs des premières pluies orageuses. C'est pourquoi, Démon (1991) affirme que certaines techniques culturales telles que le billonnage orienté dans le sens de la pente, le buttage dans le cadre de la culture de l'igname et du manioc et le labour favorisent l'érosion des sols. La non utilisation d'intrants à des doses recommandées conduit à la baisse de la fertilité du sol par la disparition de la jachère. En outre, le manque de terres cultivables conduit également au raccourcissement de la durée de la jachère, car la terre est plus rapidement remise en culture. Ce qui empêche la régénération des arbres et arbustes, appauvrit le stock de matières organiques du sol et favorise l'érosion. De même, l'exploitation des flancs des montagnes en déterrants certaines pierres fait exposer le sol à l'érosion hydrique et éolienne. Les sols sont graveleux et rocailleux. L'eau y ruisselle et érode les sols encore cultivables qui se réduisent peu à peu. Il faut noter que les feux de végétation appauvrissent les sols en humus comme l'a prouvé une étude réalisée au Kenya pendant dix ans sur plusieurs parcelles (Ramade, 1991). La première parcelle protégée a enregistré un taux d'accroissement de matière humique, contrairement aux autres parcelles, annuellement parcourues par les feux. La conséquence, le sol est mis à nu et exposé à l'action destructrice des gouttes de pluie et des eaux de ruissellement. Les sols sont privés d'une grande partie de la végétation pouvant leur fournir de la matière organique suite à leur décomposition.

Selon Arouna (2005 et 2012) et Kombienou *et al.* (2016), la pratique des défrichements culturels dénuie le sol et le prive durant une période de l'année de son couvert végétal protecteur. Le sol mis à nu est décapé par les gouttelettes de pluies qui dissocient les particules de sols en les entraînant par l'eau qui les dévale (Djaouga, 2003). Les fortes pressions sur les terres par la réduction de la période de jachères dégradent davantage les sols qui sont soumis à l'érosion et à l'appauvrissement. Dans le même ordre d'idées, Démon (1991) affirme que la perte de la couverture végétale et l'appauvrissement des sols relèvent des activités humaines. Du fait des pratiques agricoles et de la pression démographique, le sol, principal support de cette agriculture connaît des dégradations qui affectent sa fertilité (Natta, 1999). Dans ce contexte de dégradation du potentiel productif des sols vient s'ajouter celle de la variabilité climatique qui a des conséquences négatives sur la production agricole (Ouorou Baré, 2014). Avec une population mondiale qui devrait atteindre 9 milliards d'ici 2050, le sol est devenu une ressource fondamentale à protéger de toute urgence (FAO, 2003 ; ISRIC, 2007). En somme, la dégradation des sols est préoccupante, les érosions éoliennes et

pluviales éliminent la mince couche d'humus. Elles déchaussent les arbustes et les arbres qui n'ont pas de profondes racines. La plupart de ces sols ont besoin aujourd'hui d'être protégés contre l'érosion par des plantations d'arbres et la mise en place de petits ouvrages antiérosifs. Ces sols ont aussi besoin d'importants apports en matières organiques pour la reconstruction de la couche humifère sur les parcelles mises en culture (Zinzindohoué, 2012). Les problèmes liés à l'exploitation de ces sols, leur surexploitation (due aux associations complexes des cultures, au manque et à l'insuffisance des jachères, à la pression démographique), l'érosion et la baisse de fertilité nécessitent l'adoption de pratiques culturales performantes et adaptées pour la promotion de l'agriculture. Ce qui amène les chercheurs à proposer des solutions dans le cadre de l'amélioration du taux de la matière organique par une jachère de *Mucuna* qui améliore de 4 à 5 fois la productivité que l'engrais chimique (Honlonkou, 1999). De même, l'enlèvement de la matière organique que constitue le départ de la couche fertile entraîne une diminution de la capacité de rétention des eaux de pluie et une augmentation du ruissellement. Dans les conditions pluviométriques actuelles, il faut, pour optimiser la production agricole, favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol et sa rétention maximale grâce aux apports de matières organiques tels que: le fumier, le compost et l'engrais vert (Adewi, 2012).

## CONCLUSION

Au bilan, la présente étude a permis de mettre en évidence une forte détérioration de l'état de fertilité des sols du nord-ouest de l'Atacora. La majorité des sols est caractérisée par un niveau moyen à bas de fertilité et un état actuel des caractéristiques physico-chimiques très faible. Ainsi, les sols de plateaux analysés restent infertiles et sont biologiquement et chimiquement dégradés suite à l'exploitation sur de longues années (10 ans). Les sols de montagnes moins exploités témoignent que l'ensemble des sols de la zone d'étude perdent leur potentiel agronomique à cause du relief et des actions anthropiques. En somme les sols de la zone d'étude sont caractérisés par un niveau moyen, élevé-moyen et moyen à bas de fertilité.

## RECOMMANDATIONS

Eu égard aux résultats obtenus, on peut recommander ce qui suit : un amendement, notamment la fertilisation biologique sera une alternative à la fertilisation azotée par la culture des plantes de couverture et l'apport d'engrais organiques et chimiques sur ces sols du nord-ouest de l'Atacora leur permettra de retrouver leur bon état de fertilité.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADEWI, 2012. Les stratégies agricoles de gestion de la péjoration pluviométrique au Togo. Thèse de Doctorat unique de géographie, UL, Lomé, 320 p.

- AGBOLA, 1991. The effect of different soil tillage and management practices on the physical and chemical properties of soil and maize yield in a rain forest zone of western Nigeria. *Agronomy journal*, 73, 247-251.
- AKISSOÉ N., HOUNHOUGAN D.J., BRICAS N., VERNIER P., NAGO M.C. & OLORUNDA O.A. 2001. Physical, chemical and sensory evaluation of dried yam (*Dioscorea rotundata*) tubers, flour and amala, a flour derived product. *Tropical science*, 41 (3) 151-155
- AROUNA, 2005. Carte phytoécologique de la forêt classée de Wari-Marou au Bénin. Mémoire de DEA /GEN/EDP/FLASH/UAC, Bénin, 99 p.
- AROUNA, 2012. Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : implications pour l'aménagement du territoire. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 246 p
- ATTLOU, 2007. Fertilités des sols de la commune de N'Dali au nord-est du Bénin et leur évaluation pour la culture du coton. Mémoire d'ingénieur, EPAC/UAC, 91 p.
- AZONTONDE H. A., FELLER C., GANRY F. & REMY J. C. 1998. Le Mucuna et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au sud du Bénin. Agriculture et Développement n°18, CIRAD-Montpellier, France, 14-21.
- AZONTONDE, 2000. Dynamique de la matière organique et de l'azote dans le système Mucuna-maïs sur un sol ferrallitique (terre de barre) au Sud-Bénin. Thèse de doctorat. ENSA-Montpellier, France, 241 p.
- BELLO, 2006. Dégradation des terres du bassin versant de Lotho dans la Commune de Dassa-Zoumè. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur des travaux, EPAC/UAC, 77 p.
- BOLI Z., ROOSE E., BEPAZIEM B., SANON K. & WAECHTER F. 1993. Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux du Nord Cameroun (M'bissiri, 1991-1992), *Cah Orstom Sér Pédol*; 28 : 309-26.
- BRABANT P., DARRAQ S., EGUE K. & SIMONNEAUX V. 1996. La dégradation des terres en Afrique. *Afrique contemporaines* n°161 spécial, 90-108.
- DEMON, 1991. Activités humaines et dégradation de l'environnement dans la Circonscription Urbaine de Kandi. Mémoire de Maîtrise de Géographie, FLASH /UNB, 101 p.
- DJAUGA, 2003. Dynamique urbaine et son impact sur l'évolution des espaces agropastoraux : cas de la ville de Nikki. Mémoire de Maîtrise, DGAT/FLASH/UAC, 116 p.
- EGAH J., BACO M. N., LOKOSSOU R. S., MOUTOUAMA F. T., AKPONIKPE P. B. I., FATONDI D., DJENONTIN A. J., TOSSOU C. R. & SOKPON N. 2014. Incidence économique des techniques exogènes de conservation de l'eau et des sols au Bénin. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) Numéro 75 - Volume 1 - Juin 2014 BRAB en ligne (on line) sur le site web <http://www.slire.net> ISSN sur papier (on hard copy) : 1025-2355 et ISSN en ligne (on line) : 1840-7099. 11p.
- FAO, 2003. Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. Rome, Italie, 63 p. En ligne: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/x9681f00.pdf>, consulté le 15/04/13.
- HONLONKOU, 1999. Impact économique des techniques de fertilisation des sols : cas de la jachère Mucuna au sud du Bénin. Thèse de Doctorat de 3è cycle. Côte d'Ivoire : CIRES, 187 p.
- INSAE, 2004. Cahier des villages et quartiers de villes, département de l'Atacora Direction des Études Démographiques, Cotonou, Bénin, pp 7-8.
- INSAE, 2013. Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation, Février, 2013, Dynamique de la population, Cotonou, Bénin.
- ISRIC, 2007. Programme des Nations Unies sur l'évaluation scientifique sur l'état de la dégradation des sols causée par les activités humaines (GLASOD) 9 p.
- KOMBIENOU P.D., AROUNA O., AZONTONDÉ H. A., MENSAH G. A. & SINSIN A.B. 2016. Influences des activités agricoles sur la fertilité des sols de la chaîne de l'Atakora au nord-ouest du Bénin. *Rev. Sc. Env. Univ., Lomé (Togo)*, 11(1) : 381-404.

### *Évaluation de l'état des sols au Bénin*

---

- KOMBIENOU P. D., AROUNA O., AZONTONDE A. H., MENSAH G. A. & SINSIN B. A. 2015. Caractérisation du niveau de fertilité des sols de la chaîne de l'Atacora au nord-ouest du Bénin. *Journal of Animal & Plant Sciences*, **25**(2): 3836-3856.
- KOMBIENOU P. D., AZONTONDE H. A., MENSAH G. A. & SINSIN B. A., 2018. Durabilité des systèmes de production agricole au Nord-Ouest de la chaîne de l'Atacora au Bénin. Dépôt légal N° 10512 du 16 /07/2018, 3<sup>ème</sup> trimestre 2018, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin-ISBN: 978-99919-75-41-2.
- KOMBIENOU, 2010. Systèmes agricoles et conséquences des pratiques culturales sur les terres de la chaîne de l'Atacora: cas des terroirs de Boukombé. Mémoire de DEA/ EDP/FLASH/UAC, Cotonou, Bénin, 107 p. + Annexes.
- KOMBIENOU P. D., 2016. 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, 283 p. + Annexes.
- KOUNDE, 1998. Etude de l'impact du compost à base d'ordures ménagères sur la fertilité d'un sol ferrugineux tropical à Djougou. Thèse d'ingénieur agronome. Cotonou, Bénin, FSA-UNB, 96 p.
- KOUSSEY, 1977. Le peuple Otâmmari : Essai de synthèse historique (des origines à l'invasion coloniale Européenne -1897). Mémoire de maîtrise, UNB, Bénin, 244 p.
- MULDER, 2000. Soil degradation in Benin: Farmers perception and responses. Tinbergen Institute, Research series N° 240 Vrije Universiteit Amsterdam, Hollande, 241 p.
- NATTA, 1999. Tradition et développement : Occupation, exploitation du sol et organisation spatiale chez les Bètammari du Nord-Bénin. Mémoire de Maîtrise, UNB/Bénin, 1999, Cotonou, Bénin, 138 p.
- OUOROU BARE, 2014. Contraintes climatiques, pédologiques et production agricole dans l'Atacora (nord-ouest du Bénin). Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH/UAC, 264 p.
- RAMADE, 1991. Eléments d'écologie, Ecologie appliquée. Ed. Mc Graw-Hill, Paris, 578 p.
- SYS, 1976, SYS C., RANST VAN E., DEBAVEYE J. & BEERNAERT F., 1993. Land evaluation, part III crop requirements, Agricultural publications-N°7, General Administration for Development Cooperation. Place du Champ de mars 5 bté 57-1050 Brussels-Belgium, pp.67-147.
- ZINZINDOHOUE, 2012. Etat des lieux de la sécurité alimentaire dans le département de l'Atacora (au Nord Ouest du Bénin) et analyse des politiques publiques. Master of Advanced studies en Action Humanitaire. CERAHGENEVE, 50p.