

## Research Application Summary

### **Modélisation des systèmes de production agricole dans le Bassin-Versant de l'Okpara: Secteur Tchaourou-Okpa (Benin-Nigeria)**

Adetona, L.,<sup>1&2</sup> Kpatindé, V. J.B.<sup>1&2</sup> & Imourou, O.B.F.<sup>1&2</sup>

<sup>1</sup>Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université de Parakou, BP 123,  
Parakou, Bénin

<sup>2</sup>Laboratoire des Géosciences de l'Environnement et de Cartographie, Université de Parakou, BP  
132, Parakou, Bénin

**Corresponding Author:** adetonaluc5@gmail.com

---

#### **Résumé**

La croissance démographique galopante a induit une pression sur les ressources naturelles ; ce qui n'est pas sans conséquence sur les systèmes de production agricole. Ces pressions se manifestent à travers la surexploitation des sols qui deviennent de plus en plus moins productifs. L'objectif de l'étude est de proposer un modèle de système de production agricole dans le bassin-versant de l'Okpara : secteur Tchaourou-Okpa. L'approche méthodologique adoptée repose sur la collecte des données, le traitement et l'analyse des données. Les différentes caractéristiques du sol issues du traitement cartographique, les données climatiques, les données relatives à l'espèce végétale ainsi que les pratiques culturales ont été utilisées pour la simulation des rendements du maïs et du soja avec le programme DSSAT. L'ensemble des sols du bassin-versant présente un pH acide compris entre 5,5 et 6,5. Les meilleurs rendements en grains de la variété de maïs TZB SR (*Zea mays*) et soja Jupiter (*Glycine max*) sont respectivement de 4 t/ha et de 1,3 t/ha. Le système de rotation de culture (soja-maïs et arachide-maïs) est le système de production le plus adapté et applicable dans le bassin-versant. Il permet d'obtenir un bon rendement sans utiliser de fertilisants chimiques.

Mots clés: Bassin-versant, Bénin-Nigéria, modéliser, système de production

#### **Abstract**

The increasing population growth has put enormous pressure on natural resources, with subsequent impacts on agricultural production systems. These pressures are manifested through excessive use of soils, which have become less productive. The objective in the study was to propose a model for an agricultural production system in Okpara watershed: Tchaourou-Okpa section. The methodological approach included data collection, data processing and analyses. Soil characteristics extracted from soil mapping, climatic data, species data and cultivation practices were used to simulate corn and soybean yields using DSSAT program. The soils in the watershed were acidic with pH ranging from 5.5 to 6.5. The highest grain yields for TZB SR maize (*Zea mays*) and Jupiter soybean (*Glycine max*) were 4 t/ha and 1.3 t/ha, respectively. Crop rotation systems (soybean-corn and peanut-corn) were most suitable and applicable in the watershed, as they help achieve high yields without addition of chemical fertilizers.

Keywords: Benin-Nigeria, model, production system, watershed

---

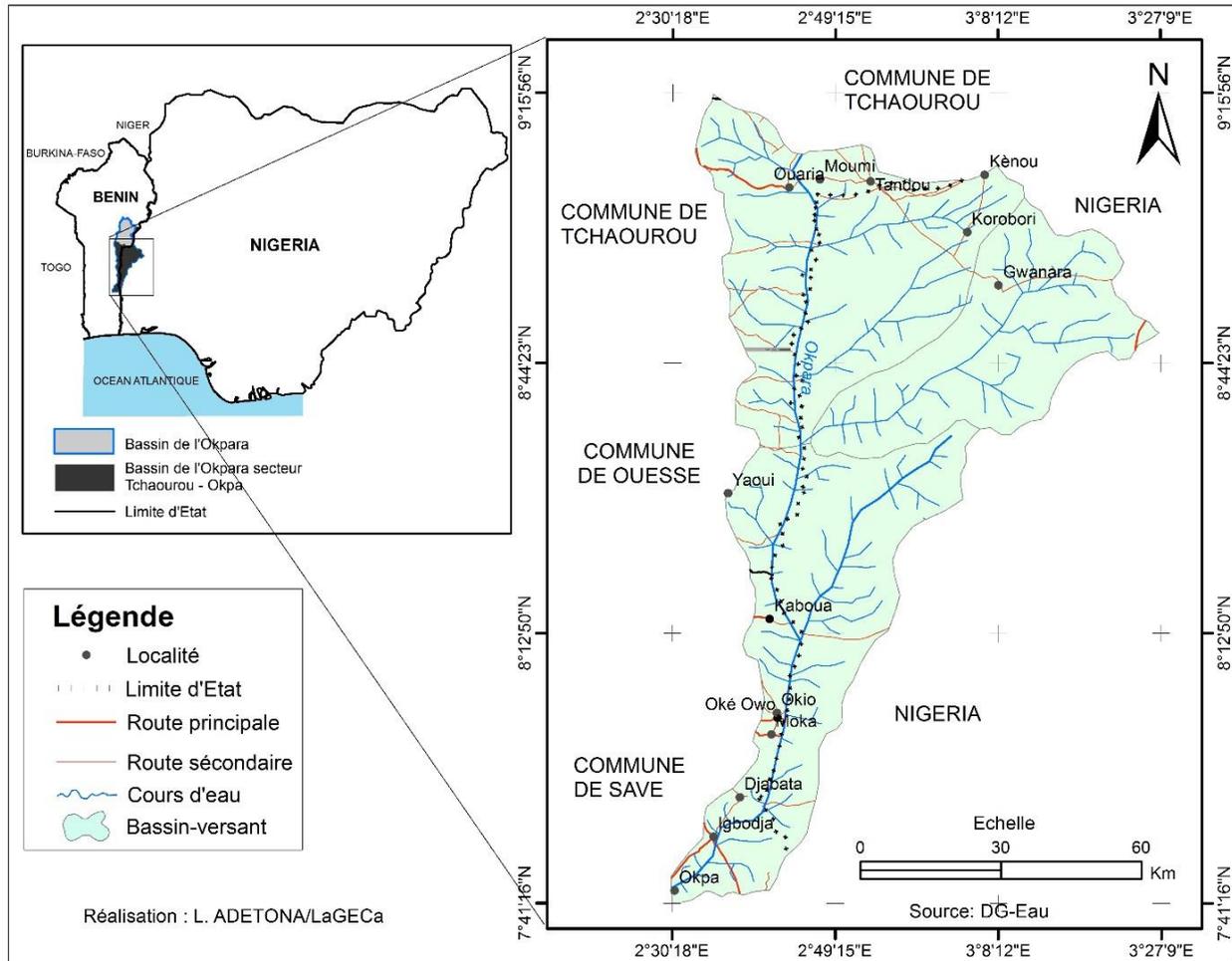
## Introduction

La population du Bénin est essentiellement rurale (61 % de la population; (INSAE, 2013)) et vit donc de l'agriculture. Selon la même structure, le taux de natalité s'élève à 45,02 % dans le milieu rural contre 34,94 % dans le milieu urbain. De même, il ressort sur la période de 2002 à 2013, un taux annuel d'accroissement inter censitaire de 3,5 %. Au vu de ces chiffres, l'enjeu social lié à la durabilité de l'agriculture apparaît clairement. En effet, cet accroissement démographique est à la base de la modification des systèmes de productions ces vingt dernières années (Dugue *et al.*, 2007). Il est aussi à la base de la réduction de la durée des jachères ; ce qui entraîne une dégradation des sols en raison de leur surexploitation consécutive à l'action conjuguée des feux de végétation et de l'exploitation agricole. L'agriculture béninoise contribue à plus de 32,5 % en moyenne du produit intérieur brut (PIB), et est essentiellement vivrière. À cet effet, les principales cultures sont le maïs (*Zea mays*), l'igname (*Dioscorea rotundata*), l'arachide (*Arachis hypogaea*), le manioc (*Manihot esculenta*), le sorgho (*Sorghum bicolor*) et les cultures maraîchères (Adam et Boko, 1993). Mais le secteur productif agricole du Bénin est caractérisé par la prédominance de petites exploitations agricoles et par sa vulnérabilité à la variabilité climatique et aux phénomènes climatiques extrêmes (FAO et Commission de la CEDEAO, 2018).

Selon le PANA-BENIN (2008), le secteur agricole est aujourd'hui confronté à plusieurs problèmes environnementaux : le recul du couvert forestier, l'extension de l'érosion sous toutes ses formes, la perte de la fertilité des sols, la baisse de la capacité de régénération halieutique des plans et cours d'eau, problème de disponibilité des ressources en eau et la baisse généralisée de la qualité des eaux. En effet, les terres cultivées s'épuisent à un rythme accéléré et les rendements des cultures baissent continuellement ; ce qui compromet dangereusement la productivité et la durabilité de tout le système agricole (INRAB, 2013, p. 29).

Le bassin-versant de l'Okpara fait partie de la zone cotonnière du centre-Bénin où la production des céréales, tubercules, légumineuses et coton sont produits deux fois au cours de l'année (PANA-BENIN, 2008). Cette potentialité du milieu fait que les terres agricoles sont plus sollicitées par la population qui ne cesse d'accroître les surfaces cultivées. Ceci a pour conséquence l'extension des sols dépourvus de végétation, ce qui provoque la dégradation (érosion des sols) de la fertilité naturelle des sols et la diminution progressive de leur productivité. La présente étude vise à aider les agriculteurs à l'amélioration de la production agricole. Elle a pour but de proposer un modèle de système de production agricole dans le bassin-versant de l'Okpara : Secteur Tchaourou-Okpa. Présentation du milieu d'étude. Le milieu d'étude est le secteur Tchaourou-Okpa du bassin-versant de l'Okpara. Il est situé entre 02° 30' et 3° 27' de longitude Est puis entre 07° 41' et 9° 15' de latitude Nord. Le bassin de l'Okpara secteur Tchaourou-Okpa est un sous bassin-versant de l'un des grands ensembles des bassins hydrographiques du Bénin (Ouémé - Yéwa). Partagé entre le Bénin et le Nigéria, le milieu d'étude est composé d'un ensemble de deux sous bassin-versants. Il s'agit de : Okpara et Kabo (Figure 1).

Le bassin-versant de l'Okpara secteur Tchaourou-Okpa s'étend sur une superficie de 7 267,54 km<sup>2</sup> soit 62,71 % de la superficie totale du bassin de l'Okpara (11 589,29 km<sup>2</sup>). Le bassin couvre les départements du Borgou et des collines et traverse trois communes à savoir : la commune de Tchaourou, Ouessè et de Savè du côté du Bénin et les états de Kwara, Oyo et d'Ogun du côté du Nigéria.



**Figure 1. Situation géographique du bassin-versant de l’Okpara: Secteur Tchaurou-Okpa**

Les points les plus hauts du bassin se trouvent au nord-est avec une altitude qui varie entre 365 et 477 m. Dans la partie sud du bassin, l’altitude est inférieure à 183 m. Ces altitudes modérées expliquent les faibles pentes du bassin (4 %). Le bassin-versant présente dans l’ensemble un relief non accidenté qui donne les possibilités de pratiquer des activités agricoles à travers l’immense espace cultivable qu’il permet d’obtenir. Le modèle numérique de terrain (MNT) donne l’allure du relief en trois dimensions (3D) (Figure 2). Sur ce relief, se répartissent, en général plusieurs types de sols qui restent les principaux supports de la production agricole. Les sols les plus présents sont les sols ferrugineux tropicaux et les sols minéraux bruts. Les sols hydromorphes et les vertisols sont également présents, mais en plus faible proportion. Le bassin de l’Okpara est sous l’influence du climat tropical de type soudanien dans sa partie nord et du climat subéquatorial dans sa partie sud. La moyenne pluviométrique annuelle est de 1 220,73 mm sur la période 1982-2019 (Figure 3).

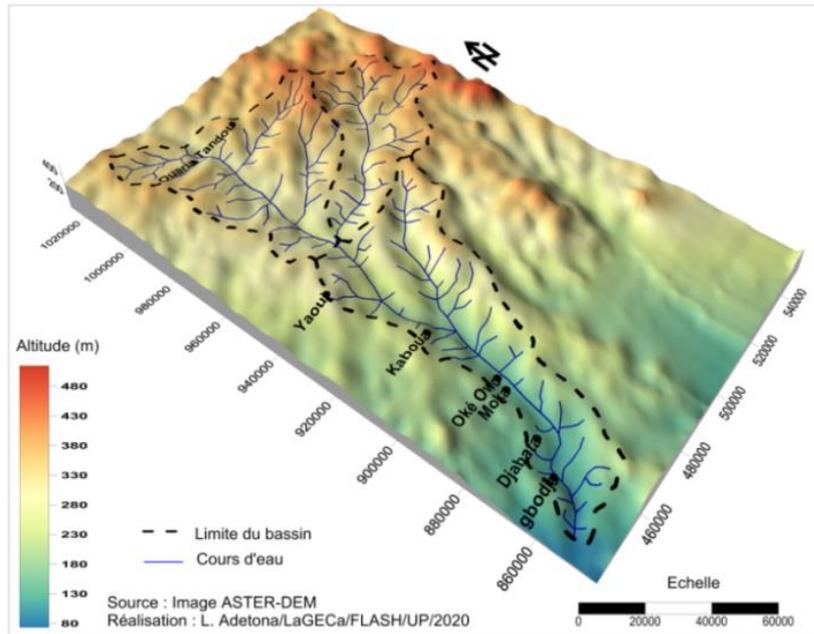


Figure 2. MNT du bassin versant de l'Okpara

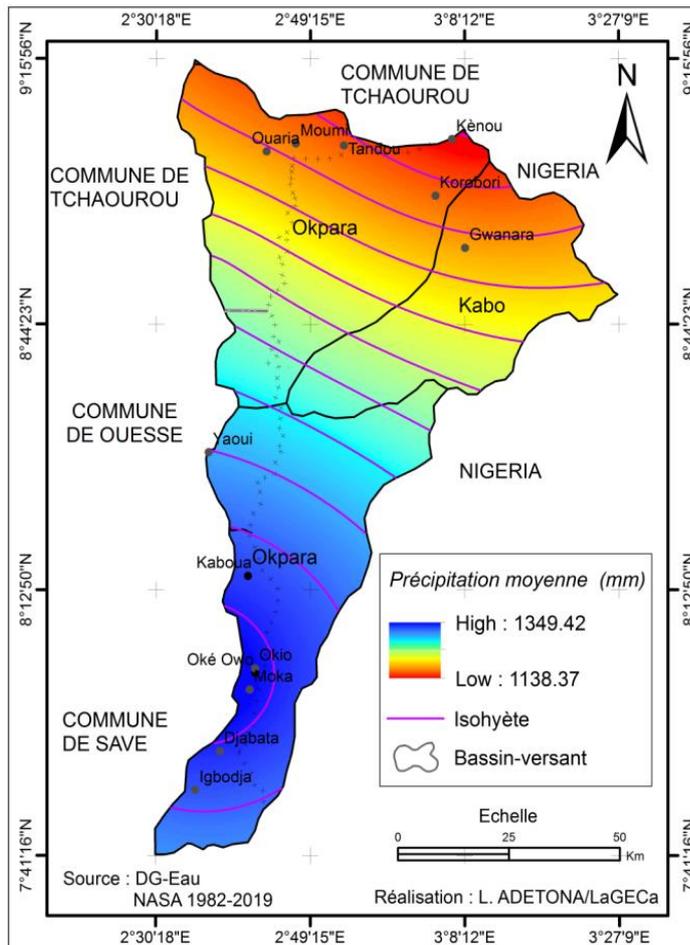


Figure 3. Répartition spatiale des moyennes pluviométrique du bassin de 1982 à 2019

## Données et méthodes

**Données utilisées.** Les données utilisées sont essentiellement issues de la télédétection. Elles sont généralement les données climatologiques, pédologiques. Ces données ont été complétées par les données qualitatives et quantitatives de terrain.

**Données sur le sol.** Ces données ont été obtenues sur le site de la FAO <http://www.fao.org/soils-portal>, qui est une base harmonisée des données des sols du monde. Elles sont essentiellement composées des données sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol. Les données du sol ont permis de monter le modèle et de simuler les rendements sous le modèle DSSAT.

**Données climatologiques.** Les données climatologiques utilisées sont journalières et composées de précipitations, de température, de l'humidité et d'insolation. Elles ont été obtenues par téléchargement sur le site de la NASA : <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Pour couvrir le bassin-versant, les données de 5 stations (Parakou, Tchaourou, Savè, Okuta et Saki) ont été téléchargées.

Ces données ont été regroupées en deux parties, la partie nord du bassin composée de la station de Parakou, Okuta, Tchaourou et Saki et le sud de la station de Savè.

**Données socio-anthropologiques.** Les données socio-anthropologiques viennent compléter les informations quantitatives collectées et mesurées afin de mieux comprendre les activités. À cet effet, un questionnaire a été élaboré et orienté vers les agriculteurs qui exploitent le bassin versant. La taille de la population agricole est de 7288 (INSAE, 2013), le niveau de confiance choisi est de 80 avec un cote de 1,28, la marge d'erreur est de 5 %. À partir du modèle de SurveyMonkey, 162 producteurs ont été retenus et repartis sur 7 arrondissements (Tchatchou, Tchaourou, Toui, Kilibo, Kaboua, Okpara et Challa Ogoï).

## Traitement et analyse des données

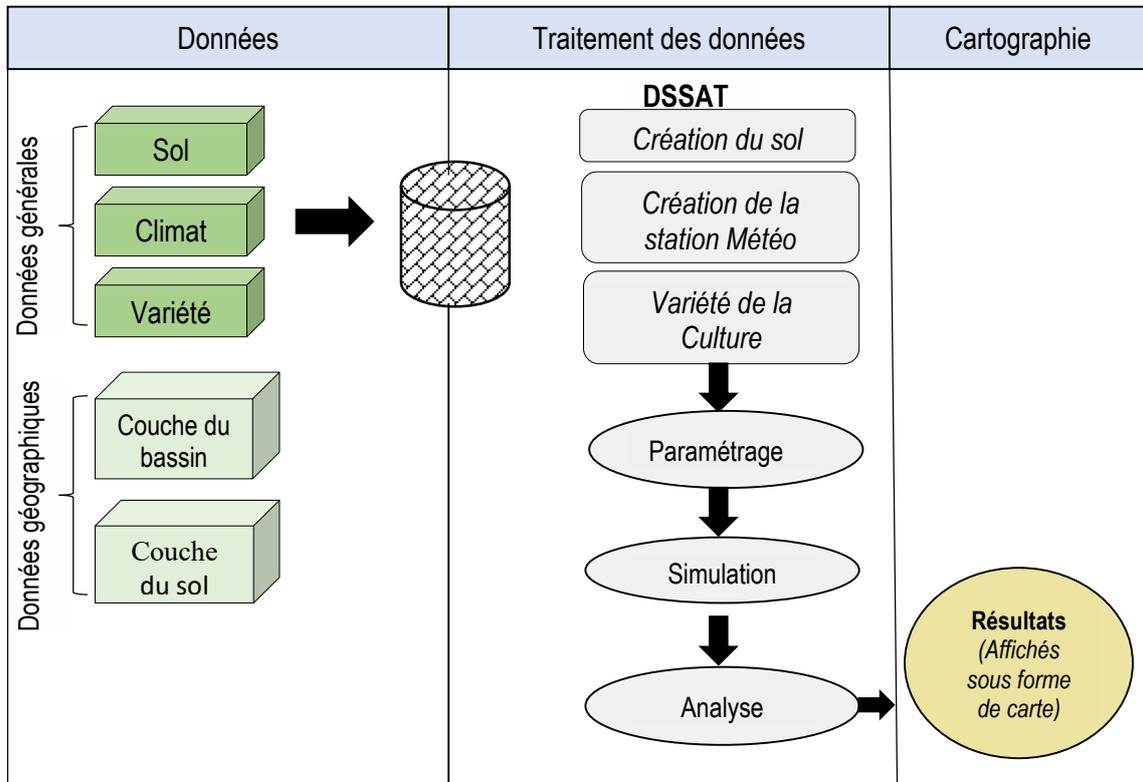
### Traitement des données d'enquête socio-anthropologique

Le traitement des données a été fait de façon manuelle et statistique (effectifs, fréquences, moyennes, valeur de probabilité) par dépouillement des données recueillies sur le terrain.

### Modélisation et simulation des rendements

La modélisation des rendements a été faite sous DSSAT v4.7 (Hoogenboom *et al.*, 2017) qui est un ensemble de programmes de gestion de base de données climatiques et édaphiques et des informations sur les pratiques culturales (Igue *et al.*, 2013).

La simulation a été faite sur deux cultures, le maïs (*Zea mays*) et le soja (*Glycine max*) les plus cultivés dans le bassin. Elle a été exécutée à travers l'application « Seasonal analysis » de DSSAT v4.7. Elle a permis de ressortir les sols adaptés à la culture du maïs et du soja à travers les meilleurs rendements et les meilleures dates de semis. Pour respecter l'ordre cultural des paysans dans le bassin, le rendement du maïs et du soja a été d'ordre pluvial sans apport d'irrigation. Les résultats des simulations ont été enfin spatialisés sous forme de carte avec le logiciel Arcgis. La Figure 4 présente la démarche adoptée pour la simulation.



**Figure 4. Simulation des rendements par approche**

Source: L. Adetona/LaGECa/2020

## Résultats

Systèmes de productions agricoles. La population du bassin-versant de l'Okpara est essentiellement agricole. Cette activité est caractérisée par la production d'une diversité de cultures, dont la plus prédominante est le maïs (*Zea mays*). Près de 90,32 % de la population enquêtée affirment que le maïs est la spéculations la plus cultivée. Ensuite, viennent les produits comme l'igname (*Discorea spp*), manioc (*Manihot esculenta*), soja (*Glycine max*), haricot (*Phaseolus vulgaris*), Sorgho (*Sorghum spp.*) et l'arachide (*Arachis hypogea*) respectivement de 70,16 %, 66,94 %, 43,55 %, 38,71 %, 38,71 % et 25,81 %. Ces types de spéculations produites expliquent le type d'agriculture pratiquée dans le bassin, qui est une agriculture de subsistance et dont le surplus est commercialisé vers d'autres localités et même hors du Bénin.

La répartition de ces spéculations dans le bassin dépend de la localité ou de la zone. Du test de khi-deux calculé, étant donné que la probabilité calculée est inférieure au niveau de signification  $\alpha=0.05$ , on doit rejeter l'hypothèse nulle  $H_0$ , et retenir l'hypothèse alternative  $H_a$ . Ainsi, il existe un lien entre les localités et les spéculations produites. Le maïs est répartis partout dans le bassin par contre l'igname est plus produit au nord du bassin vers la zone de Tchaourou.

Caractéristiques pédologiques du bassin-versant de l'Okpara. Le bassin-versant de l'Okpara est caractérisé par plusieurs types de sol. La figure 5 présente la carte des sols du bassin-versant.

Le bassin-versant du côté du Bénin est dominé par les sols de types ferrugineux et ferralitiques. La zone du Nigéria est dominée par les sols de type acrisols, alisols, lixisols et luvisols. Cette

diversité des sols du bassin permet aux agriculteurs de diversifier les spéculations cultivées.

De l'analyse de la figure 6a, il ressort que 84,41 % des sols du bassin sont légèrement acides et 2,25 % de sol neutre. La teneur en azote du sol est de 100 à 200 cg/kg pour la plupart des sols, occupant respectivement une superficie de 39,92 % et 51,94 % du bassin. Les sols du bassin présentent une forte capacité de rétention des éléments nutritifs ; 76,60 % et 22,80 % de la superficie sont occupées par des sols ayant une capacité de rétention qui varie entre 100 et 150 mmol (c/kg) et un stock de carbone organique qui varie entre 100 à 200 et 200 à 300 dg/kg occupant respectivement 79,05 % et 13,58 % de la superficie du bassin. Du point de vue chimique, 15,76 % des sols du bassin-versant ont subi une dégradation élevée, 69,51 %, moyenne et 14,73 % faible. Près de 84,24 % des sols restent encore moyennement fertiles ; cela vient confirmer la perception de quelques agriculteurs qui affirment ne pas utiliser de fertilisant chimique pour accroître leurs rendements.

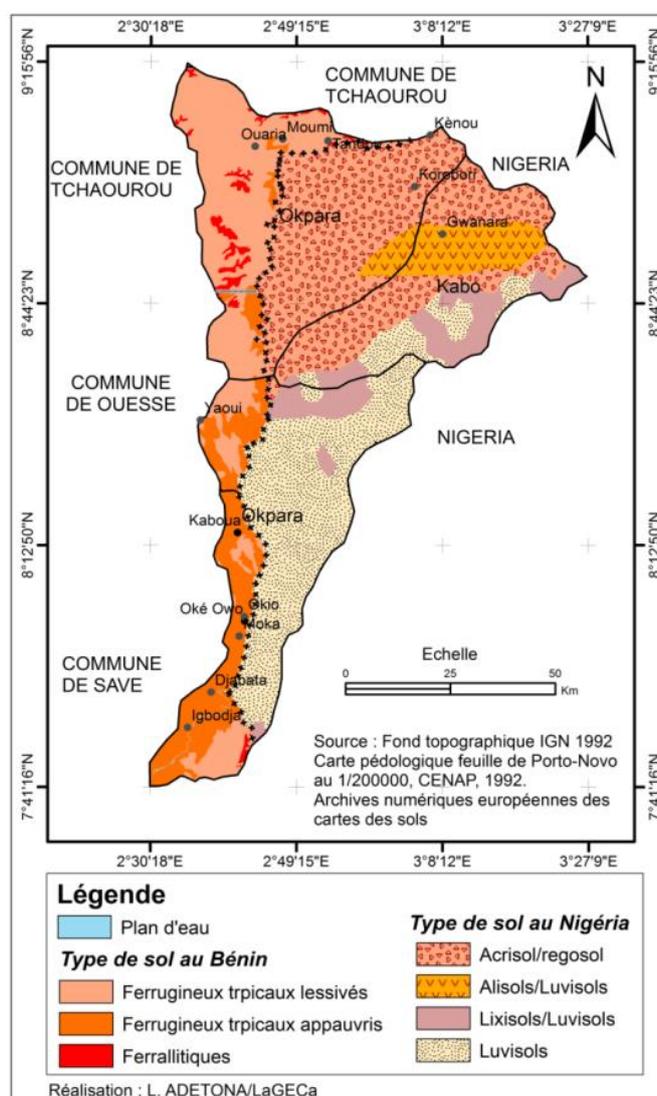


Figure 5. Formations pédologiques du bassin versant de l'Okpara

L'analyse de la figure 6b montre que les sols du sud du bassin sont plus riches en sable que la partie nord. Cela se justifie par le fait que le sud du bassin constitue la zone basse et par conséquent subit le phénomène de sédimentation. L'argile et le limon sont répartis de manière équitable sur l'ensemble du bassin.

De l'analyse des composantes chimiques et physiques des sols du bassin-versant, il ressort que 30,77 % des sols sont fortement dégradés, 54,63 % sont moyennement dégradé et 14,60 % faiblement dégradés malgré la pression que subissent ces sols. On constate que les sols du bassin-versant restent encore moyennement fertiles; aux agriculteurs de savoir les exploités pour avoir de bon rendement.

Modèle spatial des systèmes de production agricole. Le modèle spatial a été réalisé pour les cultures de maïs et de soja. Ces deux cultures font partie des cultures les plus produites et consommées selon les enquêtes. Afin de pourvoir réaliser la simulation des rendements de ces deux cultures sur les différents types de sol, le bassin-versant a été subdivisé en deux zones météorologiques : la zone du nord et la zone du sud.

Simulation des rendements potentiels du maïs TZB-SR Le maïs TZB-SR est une variété de courte durée (90 jours) et fait parties des plus cultivées dans la zone d'étude. Le rendement moyen du maïs TZB SR semé entre 1 juin et 15 juillet dans la zone agrométéorologique du nord et du sud du bassin versant de l'Okpara est de l'ordre de 4t/ha (Figure 7).

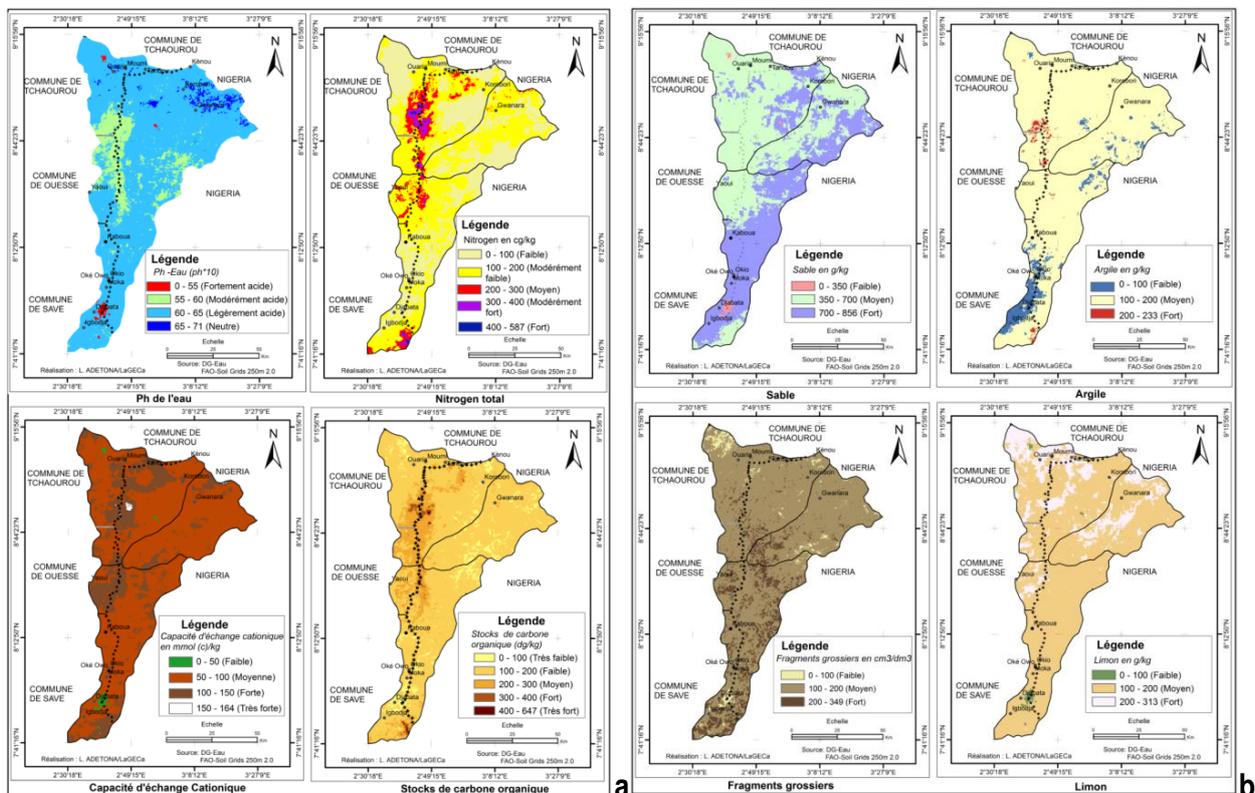


Figure 6. Caractéristiques chimiques (a) et physiques (b) des sols du bassin

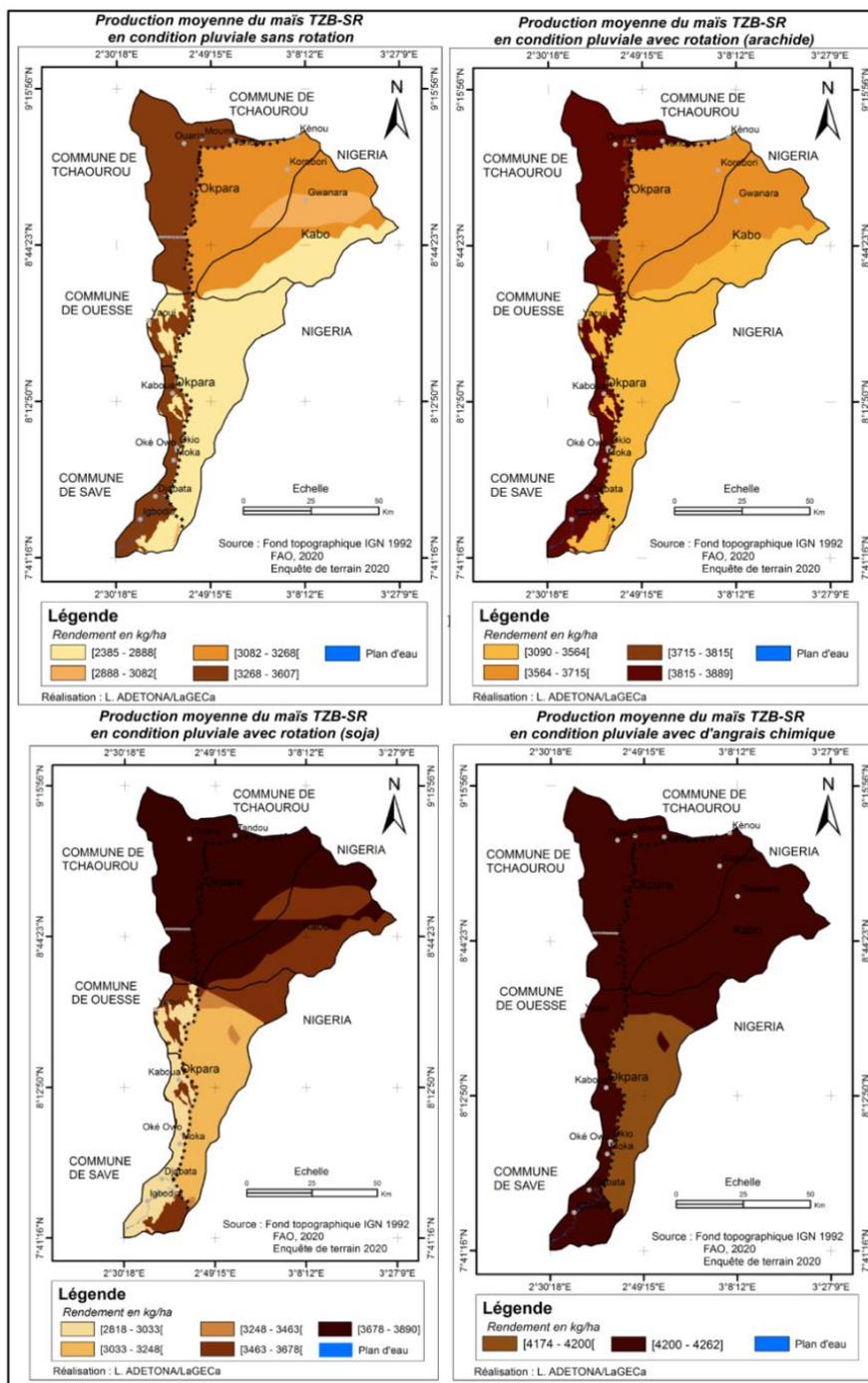


Figure 7. Rendements potentiels du maïs TZB SR en condition pluvial

De l'analyse de la Figure 7, il est constaté que la grande partie de la zone météorologique du nord est plus productive que la zone du sud. En effet, les rendements du maïs TZB SR en condition pluviale sans système de rotation, ni fertilisant sont de l'ordre de 2 385 à 3 607 kg/ha. Par contre, il passe 3 894 kg/ha avec un système de rotation de culture (arachide et soja). Le rendement maximal (4 262 kg/ha) est obtenu avec l'utilisation d'engrais chimique. Par ailleurs, les semis

avec plus de 2 semences du maïs TZB SR entraînent la baisse des rendements alors qu’avec deux (02) semences, les rendements du maïs sont maximaux. Il est constaté que le système de rotation avec le soja est plus adapté que celui de l’arachide, car il permet d’avoir un meilleur rendement.

Simulation des rendements potentiels du soja (jupiter)

Le rendement potentiel de la culture de soja jupiter dans le bassin est d’environ 1,5 t/ha. La Figure 8 présente les rendements du soja jupiter en condition pluviale.

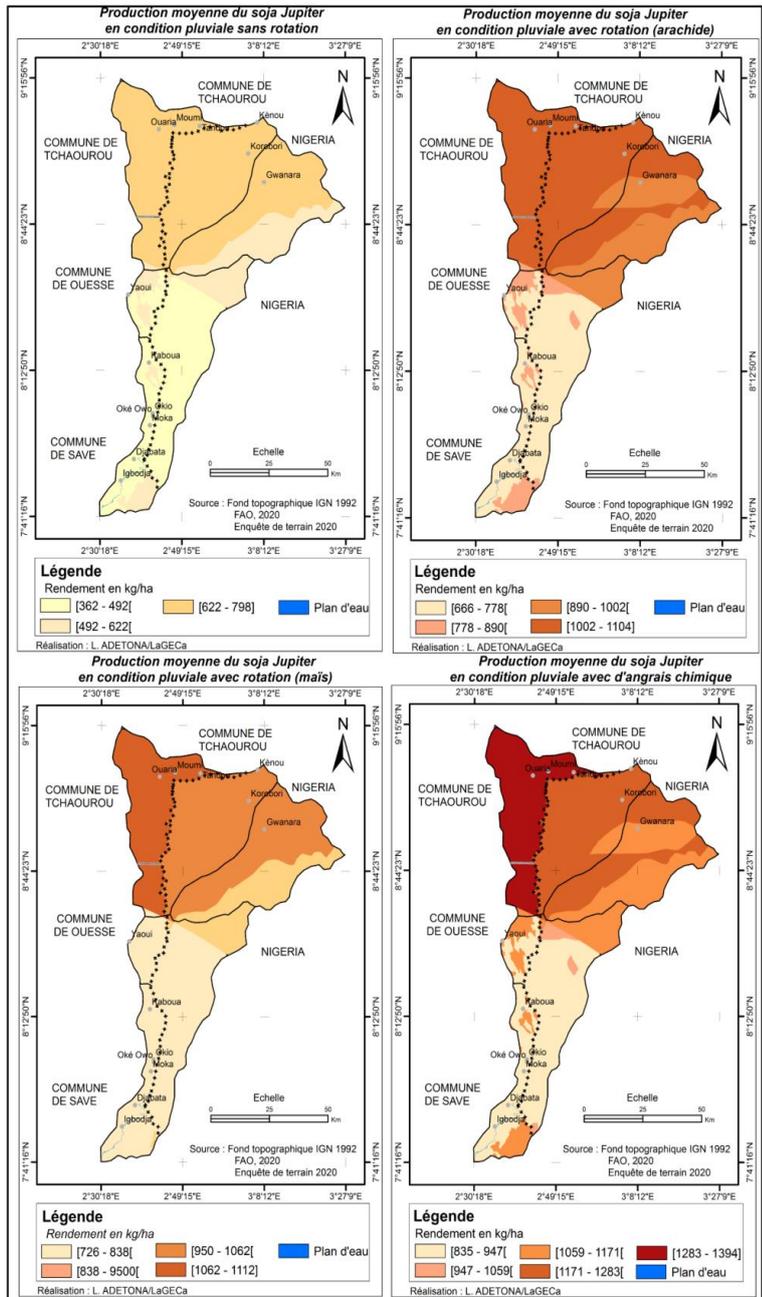


Figure 8. Rendements potentiels du soja Jupiter en condition pluviale

Il ressort de l'analyse de la figure 8 que les rendements du soja jupiter varient selon les zones agrométéorologiques. Les forts rendements (1394 kg/ha) sont obtenus dans le nord tandis qu'au sud les rendements baissent jusqu'à 500 kg/ha. Les rendements du système de rotation avec la culture de l'arachide sont de 1104 kg/ha alors qu'avec le maïs, ils passent à 1112 kg/ha. L'utilisation de fertilisants chimiques fait passer le rendement à 1394 kg/ha.

Les résultats des différentes simulations ont révélé une variabilité entre les rendements grains au niveau de chaque type de sol selon le système de culture mise en place. L'utilisation d'engrais chimique est le système qui permet d'obtenir le maximum de rendement possible ; mais il n'est pas applicable par tous, car les paysans ont affirmé qu'ils n'ont pas souvent assez de moyens financiers pour s'en procurer. De plus, l'utilisation d'engrais chimiques détruit le sol et pollue les eaux. Le système de rotation devient donc le plus adapté et le plus accessible aux paysans. Il permet d'avoir de bons rendements et de sauvegarder l'environnement à travers la limitation de l'expansion des terres agricoles. Ce système permet la fertilisation et la régénération des nutriments du sol.

## Discussion

À l'issue des traitements et analyses des informations et données recueillies sur le terrain, les résultats ont montré que les sols du bassin-versant sont en grandes parties acides avec un pH compris entre 5,5 et 6,5. Mais la partie nord du bassin bénéficie d'un pH neutre compris entre 6,5 et 7. Les travaux de Igue *et al.* (2013) indiquent qu'au centre du Bénin, les valeurs pH des sols sont situées entre 6,6 et 7,2 dans les zones de cultures. Les sols du Centre-Bénin sont classés dans la catégorie de neutre et faiblement acides. Les résultats de cette étude révèlent une variabilité entre les rendements du maïs TZB SR et le soja Jupiter selon le système de production mis en place et la zone météorologique. La zone météorologique du Nord composée de la commune de Tchaourou et une partie de celle de Ouessè est plus productive. Le système de rotation est le plus adapté et le plus applicable dans le bassin, car il permet d'améliorer les rendements. Les travaux de Igue *et al.* (2013) sur les rendements du maïs DMR-ESR-W au Centre-Bénin et au Sud-Bénin révèlent que la variabilité des rendements grains au niveau de chaque commune varie selon les périodes de semis et les différents types de climats caractérisant les deux zones. Pour Adetona *et al.* (2019) l'adoption des cultures à cycle court (3 mois) et le semis multiple sont des systèmes de production qui permettent d'avoir de bons rendements. Selon Doukpolo *et al.* (2012), les rendements du maïs et coton simulés avec le programme DSSAT dans les conditions climatiques futures seront à la baisse selon les deux scénarios testés.

Il faut noter que le paramétrage tel qu'il a été conduit n'a pas permis au modèle DSSAT de prendre en compte les modifications saisonnières de la fertilité des sols ; seule la modification des paramètres climatiques et les résidus des cultures sont pris en compte. Cela est dû à l'utilisation des données disponibles ou conservées par défaut dans le modèle. C'est pour cela que Jones *et al.* (1998) affirment que la disponibilité des données et surtout de qualité est indispensable à l'utilisation des modèles de cultures. Toutefois, les simulations des rendements sur les différents systèmes ont donné des résultats satisfaisants surtout pour le système de rotation.

## Conclusion

La présente étude est une contribution à l'adoption d'un système de production agricole dans le bassin-versant de l'Okpara. L'analyse des résultats a permis de constater que le système de culture

dans le bassin-versant est un système permanent et dominé par la production du maïs, igname, soja et le haricot. D'après les différentes simulations appliquées avec le modèle Dssat, il est révélé que le système de rotation des cultures (maïs-soja et maïs-arachide) est le plus adapté et celui conseillé aux paysans. Il est aussi important d'éviter les cultures sur brûlis, car elles rendent inefficace le système. Au regard de l'importance de la production agricole dans l'alimentation de la population, il est impérieux de mettre à la disposition des producteurs des mesures d'accompagnement, d'investir dans la recherche et dans l'innovation agricole participative. Il serait tout aussi nécessaire d'étendre l'étude sur d'autres cultures comme l'igname dans le bassin-versant de l'Okpara.

### Références bibliographiques

- Adam K.S. et Boko M. 1993. Géographie du Bénin, Les éditions du flamboyant, Edicef Revue, 95 pp.
- Adetona L., Vodounou J.B. et Gbadamassi F. 2019. Stratégies d'adaptation au changement climatique et sécurité alimentaire dans la commune de Tchaourou (Benin). pp. 3-8. XXXIIème Colloque Internationale de l'AIC, Thessaloniki – Grèce,
- Doukpolo B., Ogouwale E., Ndjendole S. et BOKO M. 2012. Impacts potentiels des changements climatiques sur les cultures du maïs et du coton et stratégies d'adaptation dans l'Ouham en Centrafrique. pp. 243-248. XXVème Colloque Internationale de l'AIC, Grenoble.
- Dugue P., Kone F.R. et Kone G. 2007. Gestion des ressources naturelles et évolution des systèmes de production agricoles des savanes de Côte d'Ivoire: conséquences pour l'élaboration des politiques agricoles, HAL Id: hal-00128892, 12 pp.
- FAO et Commission de la CEDEAO 2018. Profil National Genre des Secteurs de l'Agriculture et du Développement Rural – Bénin. Série des Évaluations Genre des Pays, Cotonou, 148 pp.
- Hoogenboom, G., Porter, C. Shelia, V., Boote, K., Singh U., White J., Hunt A., Ogoshi R., Lizaso J., Koo J., Asseng S., Singels A., Moreno P., and Jones J. 2017. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7 (<https://DSSAT.net>). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.
- Igue, A.M., Adjanohoun, A., Saidou, A., Ezui, G., Attiogbe, P., Kpagbin, G., Gotoechan-Hodonou H., Youl, S., Pare, T., Balogoun, I., Ouedraogo, J., Dossa, E., Mando, A. et Sogbedji, J. 2013. Application et adaptation de l'approche intégrée DSSAT-SIG à la formulation des doses d'engrais pour la culture du maïs au Sud et au Centre du Bénin. pp. 24-33. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB).
- INRAB. 2013, Rapport scientifique, 164 pp.
- Institut National de la Statistique de l'Analyse Économique (INSAE) 2013. Le quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH IV)
- Jones J.W., Tsuji G.Y., Hoogenboom G., Hunt L. A., Thornton P.K., Wilkens P.W., Imamura D.T., Bowen W.T. et Singh U. 1998. Decision support system for Agrotechnology transfer: DSSAT v3. pp 157-177. In: Understanding options for agricultural production.
- Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques du Bénin (PANA-BENIN) 2008. Convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques, Cotonou, 81 pp.