

Pratiques agricoles et hydrodynamique des sols dans le bassin versant de Ouama, Niger

**Issoufou MAMAN^{1*}, Moussa MALAM ABDOU², Jean - Pierre VANDERVAERE³,
Ibrahim BOUZOU MOUSSA¹ et Maazou SANI CHINA¹**

¹ *Université Abdou Moumouni de Niamey, Département de Géographie, BP 418 Niamey, Niger*

² *Université de Zinder, Département de Géographie, BP 656 Zinder, Niger*

³ *Université Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, IGE, 38000 Grenoble, France*

* Correspondance, courriel : galadimaissoufou@gmail.com

Résumé

Ce travail porte sur l'analyse d'impacts des pratiques agricoles sur l'hydrodynamique des sols dans le bassin versant rural de Ouama (Niger). Il s'appuie sur la caractérisation in situ et cartographique des 34 champs (âgés de 1 à 50 ans) et 31 jachères (âgées de 1 à 20 ans). Une étude de corrélation est ensuite effectuée, en vue d'établir, éventuellement, des liens entre l'âge d'un champ ou d'une jachère et son niveau de dégradation, l'encroûtement en l'occurrence. Les résultats montrent que la proportion d'encroûtement n'est pas corrélée à l'âge du champ. Ceci s'explique par le mode de gestion paysan des champs qui consiste à réaliser le paillage ou le branchage lorsque le développement d'encroûtement est constaté. Mais l'entretien réalisé avec les paysans fait ressortir une nette progression des surfaces dégradées et encroûtées. Cela est confirmé par l'analyse des images satellitaires montrant une progression de près de 15 % des surfaces nues et dégradées. Pour les jachères en revanche, il est mis en évidence une relation quasi-linéaire entre l'âge des jachères et la proportion d'encroûtement et c'est, particulièrement pour des jachères âgées de plus de 5 ans. Enfin, on note une forte augmentation de ravinement passant de 0,55 km/km² en 1986 à 1.36 km /km² en 2014. Cette augmentation traduit indirectement la hausse des ruissellements sur le bassin.

Mots-clés : *pratiques agricoles, hydrodynamique des sols, encroûtement, Dargol, Niger.*

Abstract

Agricultural practices and soil hydrodynamics in the watershed of Ouama, Niger

This work focuses on the analysis of the impacts of agricultural practices on soil hydrodynamics in the rural watershed of Ouama (Niger). It is based on the in situ and cartographic characterization of the 34 fields (1 to 20 years old) and 31 fallows (1 to 20 years old). A correlation study is then carried out, in order to establish, possibly, links between the age of a field or fallow and its level of degradation, the crusting in this case. The results show that the proportion of crusting is not correlated with the age of the field. This is explained by the farmer's field management method which consists in the realization of mulching or branching when the development of encrusting is found. But the interview with the farmers shows a clear progression of degraded and encrusted surfaces. This is confirmed by the analysis of satellite images showing an increase of almost 15 % of bare and degraded surfaces. For fallows, however, there is a quasi-linear relationship

between the age of the fallow and the proportion of crusting and it is, especially for fallows older than 5 years. Finally, there is a strong increase in gullying from 0.55 km/km² in 1986 to 1.36 km/km² in 2014. This increase indirectly reflects the rise in runoff in the basin.

Keywords : *agricultural practices, soil hydrodynamics, encrusting, Dargol, Niger.*

1. Introduction

Dans le contexte actuel de péjoration climatique [1, 2] et de forte croissance démographique au Niger [3], la satisfaction des besoins alimentaires constitue une véritable préoccupation pour les populations [4]. En effet, depuis la fin des années 1960, le Niger a connu une rupture climatique négative qui s'est traduite par des baisses des cumuls pluviométriques annuels de l'ordre de 20 - 50 % par rapport à ceux de la décennie 1960 [5, 6]. Cette récession a engendré une dégradation des paysages, une altération des caractéristiques physico-chimiques des sols et une baisse des productions agricoles [7 - 9]. Ainsi, Pour accroître les productions et satisfaire les besoins alimentaires d'une population en forte croissance, on a assisté à un changement d'usage et des pratiques agricoles, caractérisés par une extension des surfaces cultivées au détriment de jachères et des terres marginales. Il en résulte une forte pression foncière et ses corolaires sur la dégradation des sols. Depuis quelques années, des travaux montrent, en effet, l'impact de ces pratiques agricoles sur l'environnement à travers l'augmentation de l'encroûtement et de ravinement des sols [10, 11]. A titre illustratif, des études iconographiques réalisées dans l'Ouest du Niger montrent clairement une hausse concomitante des zones cultivées et des surfaces encroûtées [12 - 14] et posent la problématique de la dualité entre croissance démographique et gestion durable des sols. L'impact des pratiques agricoles, qualifiées plus ou moins de peu conservatoires, est de plus en plus étudié expérimentalement via les mesures de ruissellement, de l'érosion et des propriétés physiques des sols. Sur les surfaces cultivées, les conclusions sont divergentes car certains auteurs montrent que le sarclage dissipe le ruissellement [15, 16] tandis que d'autres décrivent son effet accélérateur des ruissellements [17, 18]. Il en est de même des jachères qui semblent contribuer à l'encroûtement des sols malgré sa vocation traditionnellement connue de régénérer les sols [19, 20]. La diversité des résultats précédemment évoqués peut être liée à la variation des échelles spatiales et temporelles d'étude ou à celle des pratiques culturales. Cet article essaie d'intégrer ces aspects. Il vise à analyser les impacts des pratiques agricoles (mise en culture / jachère) sur l'hydrodynamique des sols en tenant compte de la durée d'usage de ces pratiques. Il essaie particulièrement de répondre aux questions de recherche suivantes :

- la durée de la mise en culture ou de la jachère influence-t-elle le niveau d'encroûtement des sols ?
- l'intensité de l'encroûtement est-t-elle fonction de la pratique culturale ?

2. Matériel et méthodes

2-1. Site d'étude

Les observations et mesures ont été effectuées dans le bassin versant de Ouama, représentatif caractéristiques biophysiques et socio-économiques de la zone agricole de l'Ouest du Niger. D'une superficie de l'ordre de 380 km², ce bassin est un tributaire indirect du fleuve Niger via le cours de Dargol (**Figure 1**). Géologiquement, ce bassin est situé en plein cœur du Liptako-Gourma qui est un ensemble cristallin plus ou moins recouvert des dépôts éoliens récents. Les principales unités géomorphologiques sont les glacis, entrecoupés par des reliefs résiduels rocheux et les bas-fonds. Ces glacis sont largement occupés une par mosaïque de champs et jachères. Du point de vue climatique, la zone se situe en milieu sahélien et connaît une forte variabilité interannuelle des précipitations. De 1957 à 2013, la moyenne pluviométrique est de

l'ordre de 450 mm par an (± 110). En 1967, une rupture climatique négative a été détectée dans la série. Celle-ci a engendrée une baisse de 21 % des cumuls pluviométriques, comparés à ceux de la période 1957 - 1966 [6]. Malgré cette baisse, les conditions pluviométriques permettent une agriculture pluviale. Selon les projections des données de l'institut national des statistiques [3], les villages exploitant l'espace du bassin comptent plus de 16 000 habitants. Le chef-lieu de la commune de Dargol et le village de Koulbaga sont les deux principales agglomérations de la zone (**Figure 1**). En considérant une utilisation agricole à 60 % de l'effectif actuel, la densité d'occupation du bassin serait de 26 habitants au km² et dépasserait largement la charge agricole acceptable de la zone sahélienne qui est de 15 habitants au km² [21]. En une décennie (entre 2001 et 2012), l'effectif de la population a enregistré une croissance de plus de 20 %. A ce rythme, la population doublerait en 22 ans, soit en 2040 et la densité d'occupation serait alors cinq fois supérieure à la charge agropastorale normale de la zone sahélienne.

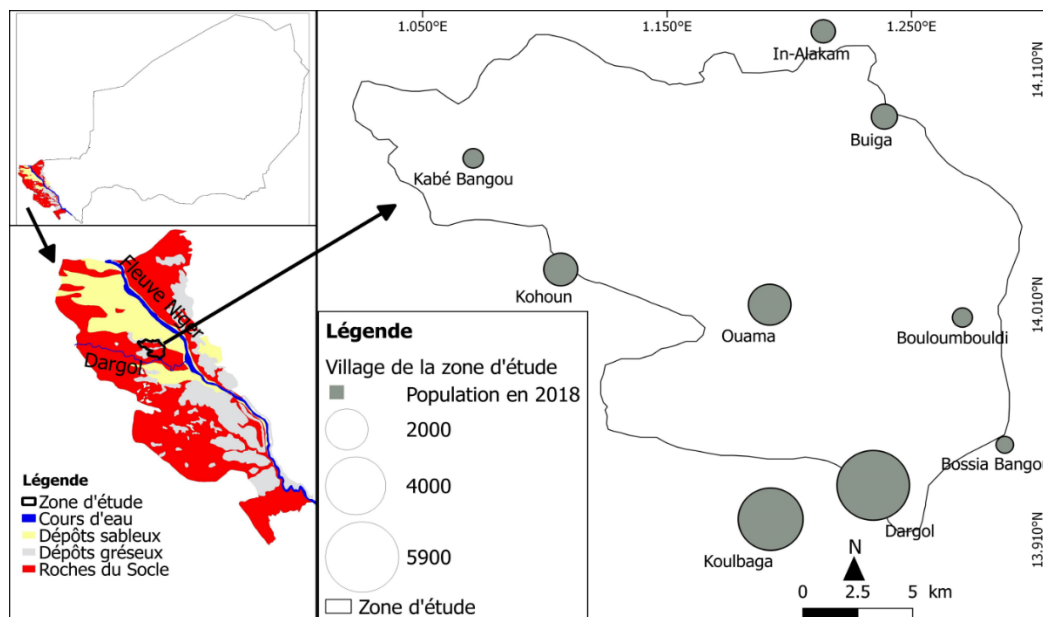


Figure 1 : Situation et caractéristiques de la zone d'étude

Source des données démographiques : [3]

Dans les agricultures peu mécanisées d'Afrique de l'Ouest, il est incontestable que l'augmentation de la densité de la population rurale constitue un des moteurs principaux de mutation de l'espace agricole. En effet, il existe un lien automatique entre la croissance démographique et l'extension des surfaces cultivées [19], amenuisant du coup les réserves foncières comme c'est le cas à Dargol où 90 % des terres cultivables sont pratiquement cultivées.

2-2. Collecte des données in situ et cartographiques

La méthodologie d'étude combine plusieurs approches, en l'occurrence l'observation directe du terrain, l'enquête par questionnaire, le relevé des données spatiales et la cartographie. L'observation in situ a porté sur le choix des unités agricoles (champs et jachères) et la détermination des indicateurs de dégradation en leurs seins. Ainsi, trente-une (31) parcelles en état de jachère et de trente-quatre (34) parcelles cultivées (champs) d'âges variables ont été retenues à l'aide d'un échantillonnage aléatoire. Les coordonnées géographiques de toutes les unités agricoles échantillonnées ont été relevées à l'aide d'un récepteur GPS (*Global Positioning System*) puis projetées sur l'image Google Earth©. Grâce à cette image, les superficies

des parcelles et leurs proportions d'encroûtement ont été déterminées puis corrélées à la durée de leurs usages. Par ailleurs, pour analyser l'évolution des indicateurs de dégradation à l'échelle du bassin versant de Ouama, une étude diachronique a été effectuée. Elle a consisté en la réalisation des cartes d'occupation des sols et de ravinement par photo-interprétation des images SPOT de 1986 et de 2014. Enfin, une enquête a été conduite pour recueillir des informations sur les différentes pratiques agricoles et leurs impacts sur l'hydrodynamique des sols. Compte tenu du nombre important des ménages agricoles de la zone d'étude, un échantillonnage aléatoire simple est réalisé. Ainsi la méthode proposée par [22] a été appliquée pour déterminer la taille de l'échantillon représentatif. Celle-ci s'obtient par l'inverse de l'erreur au carré, tel que formalisé par *l'Équation 1* :

$$n = \frac{1}{E^2} \quad (1)$$

n étant la taille de l'échantillon ; *E* est l'erreur échantillonnale à tolérer. Celle-ci traduit la variation aléatoire entre plusieurs échantillons tirés dans une même population.

En admettant une erreur de $\pm 5\%$, la taille de l'échantillon est de 400 ménages. Mais pour des raisons d'indisponibilité, l'enquête a porté sur 321 chefs de ménage agricole.

3. Résultats et discussion

Le *Tableau 1* présente la durée d'usage des unités agricoles échantillonnées. On constate que plus de 90 % des jachères ont un âge compris entre 1 et 10 ans. Dans la zone d'étude, la durée de mise au repos des sols dépasse donc rarement une décennie. Ce *Tableau* démontre donc, si besoin est, le raccourcissement de la durée des jachères. Concernant les champs, le tableau fait ressortir leur exploitation continue pouvant aller jusqu'à cinquante ans. Mais d'une manière générale, on remarque une alternance d'exploitation champs-jachère à l'échelle d'une décennie. En effet, cinquante-six pour cent (56 %) des champs échantillonnés ont été mis en jachère après 5 à 10 ans d'usage.

Tableau 1 : Nombre et durée d'usage des unités agricoles échantillonnées

Durée d'usage	1 - 5	6 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 40	41 - 50	Total
Nombre de jachères	15	13	3	0	0	0	31
Nombre de champs	10	9	6	5	2	2	34

Source : enquête de terrain, 2017

Sur les 321 chefs de ménages enquêtés, 246 affirment ne plus pratiquer la jachère. Soixante-deux pour cent (62 %) des 75 agriculteurs qui la pratiquent avouent qu'elle ne dure, au mieux, que 3 ans. Cela dénote d'une forte tendance à l'abandon de la jachère du fait de la conjonction des facteurs tant d'ordre climatique qu'anthropique.

3-1. Gestion des aires cultivées et ses conséquences sur l'hydrodynamique des sols

Pendant la saison des pluies, la gestion des champs consiste à réaliser 2 à 3 sarclages en remaniant la surface du sol sur une faible profondeur (5-10 cm environ). Le sarclage vise à améliorer l'infiltration et à éliminer les adventices. Pendant la saison sèche (entre septembre et mai), les pratiques de gestion se résument à la récolte, au ramassage des résidus de culture et au défrichement en vue de préparer les champs aux prochaines cultures. A l'échelle saisonnière, des travaux ont montré les effets de ces pratiques sur

l'hydrodynamique des sols [23, 24]. Le sarclage améliore l'infiltration mais il impacte différemment les sols à moyen terme selon que celui-ci soit réalisé lorsque les sols sont humides ou secs. Le sarclage à sec engendre un encroûtement rapide des sols. Le ramassage des résidus et le défrichage ont pour effets respectifs d'appauvrir les sols en matière organique et de réduire la protection des sols. Ces pratiques impliquent donc une dégradation physico-chimique des sols. Les effets de ces pratiques sont-ils cumulatifs dans le temps ? Autrement, les anciens champs sont-ils les plus dégradés ? La **Figure 2** présente la proportion des surfaces encroûtées dans les champs en fonction de leurs durées d'exploitation. La distribution bruitée des points sur ladite figure ne permet pas de dégager une quelconque tendance. Mais les nombreux points alignés sur l'axe des abscisses montrent que la proportion d'encroûtement peut être faible aussi bien dans les jeunes que dans les anciens champs.

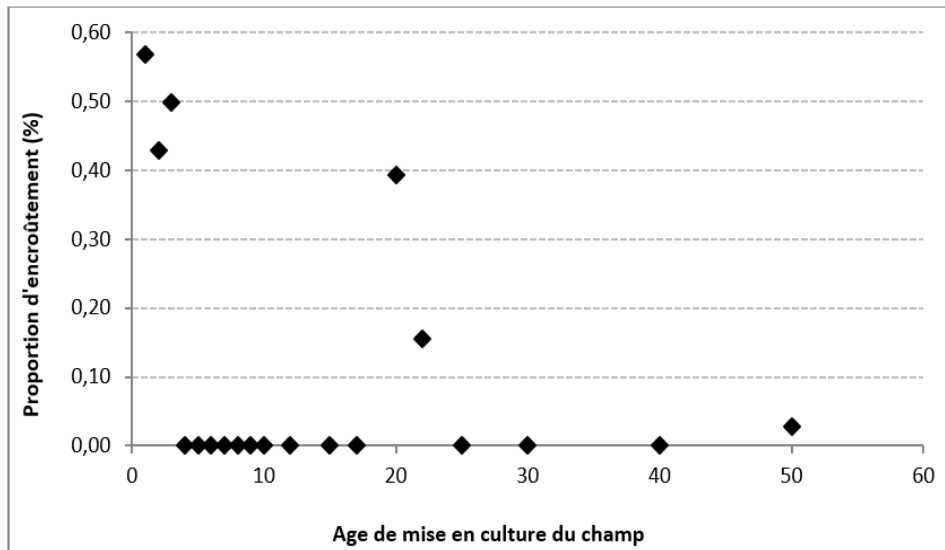


Figure 2 : Proportion moyenne d'encroûtement en fonction de la durée d'usage de champs

NB. Chaque point représente la proportion moyenne d'encroûtement des champs ayant une durée égale d'usage.

Qui est ce qui explique la dispersion des points ? Cela semble résulter des pratiques locales de gestion des champs. En effet, lorsque les paysans constatent le développement d'un encroûtement dans leurs champs, ils agissent souvent pour limiter son extension en réalisant le paillage, le branchage ou en mettant la parcelle en jachère si cela est possible. La photo ci-dessous (**Figure 3**) illustre le traitement d'une surface encroûtée à l'aide de branchage dans un champ de mil (*Pennisetum americanum*). Sur cette photo, on remarque, au premier plan, une zone nue qui témoigne de la dégradation physico-chimique du sol. Le traitement consiste ici à disposer des branches d'arbre perpendiculairement à la direction des vents dominants. Cela crée de la rugosité et engendre la perte des charges solides transportées par les vents en amont de l'obstacle. L'accumulation progressive de ces charges forme un épandage sableux qui couvre la surface encroûtée. C'est une pratique locale très bien connue des agriculteurs. Ainsi, les traitements localisés limitent le développement continu d'encroûtement dans les champs. Ces traitements introduisent un biais dans l'analyse entre la proportion d'encroûtement et la durée de mise en valeur du champ. La dispersion des points sur la **Figure 2** traduit donc ce biais et cela complique le suivi d'encroûtement dans les champs. Néanmoins, l'observation physique des zones encroûtées dans les champs, laisse aisément conclure à la dégradation des zones cultivées.



Figure 3 : *Traitement de l'encroûtement des champs par branchage*

A l'échelle saisonnière, l'encroûtement des champs est expérimentalement mis en évidence grâce à l'observation de la dynamique des états de surface ou à l'aide des mesures in situ des propriétés hydrodynamiques des sols [17, 24]. Il a pour conséquences la baisse de l'infiltration, l'augmentation des ruissellements [25] et la baisse de productivité des sols [26]. En réalisant une étude diachronique, plusieurs auteurs [10, 11] ont montré l'impact pluriannuel de la mise en culture sur le développement de la croûte d'érosion. C'est donc une évidence que la mise en culture impacte l'hydrodynamique des sols.

3-2. Gestion des jachères et ses conséquences sur l'hydrodynamique des sols

La jachère désigne des champs abandonnés pendant un certain temps et qui ne sont plus travaillés au sens strict, mais qui sont censés être remis en culture quelques années plus tard [27]. C'est une pratique ancestrale de gestion de fertilité des sols qui consiste à mettre au repos un champ « fatigué » dont la productivité a diminué à cause de la dégradation physico-chimiques du sol. Dans la zone d'étude, la forte pression démographique a conduit à une disparition plus ou moins complète des réserves en terres cultivables. Les enquêtés affirment abandonnés, sinon réduire la durée de la jachère en raisons de l'insuffisance des terres, qui ne permet pas l'alternance ; le prêt qui est un mode d'accès à la terre pour les étrangers, lesquels ne pouvant plus mettre le champ en jachère au risque de se le faire retirer par le propriétaire légitime. La suppression des jachères et/ou le raccourcissement de sa durée, constituent aussi une stratégie pour augmenter la productivité. Afin d'étudier l'impact interannuel de cette pratique sur l'hydrodynamique des sols, il est ici analysé l'évolution de la proportion des surfaces encroûtées en fonction de la durée de jachère. Ainsi, la **Figure 4** permet de constater une tendance nette entre l'âge de mise en jachère et la proportion d'encroûtement.

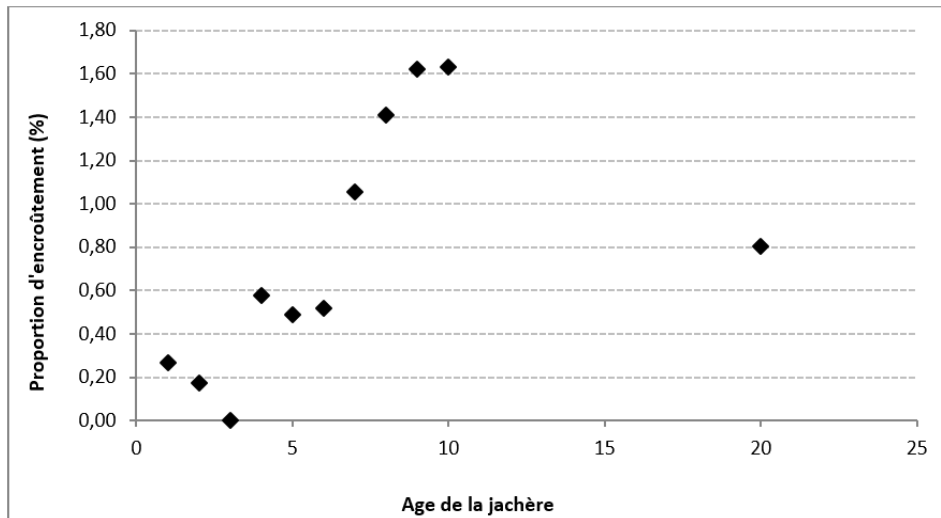


Figure 4 : Proportion moyenne d'encroûtement en fonction de la durée d'usage de jachère

NB. Chaque point représente la proportion moyenne d'encroûtement des jachères ayant une durée égale d'usage

La **Figure 4** montre que pour des jachères comprises entre 0-3 ans, la proportion d'encroûtement décroît pour tendre vers zéro, conformément à ce qu'ont démontré [19]. Mais entre 5-10 ans, la proportion d'encroûtement croît de manière quasi-linéaire ; ce qui permet de conclure sur davantage d'encroûtement dans les vieilles jachères. Il apparaît alors que les jachères ont une nette tendance à subir un encroûtement sévère. Cette grande susceptibilité des jachères à l'encroûtement pourrait être liée à la forte précipitation des poussières éoliennes [19]. En effet, ces dernières sont riches en particules fines qui, n'étant plus incorporées à l'ensemble de l'horizon superficiel à cause de l'arrêt des travaux culturaux, s'accumuleraient à la surface du sol. Elles tendraient ainsi à colmater la porosité lors des événements pluvieux.

3-3. Dynamiques d'occupation des sols et leurs conséquences

Afin d'apprécier l'évolution du système d'utilisation des sols (culture et jachère) et ses conséquences, une analyse diachronique des images satellitales de 1986 à 2014 a été réalisée. La **Figure 5** présente l'évolution des unités d'occupation des sols à ces dates.

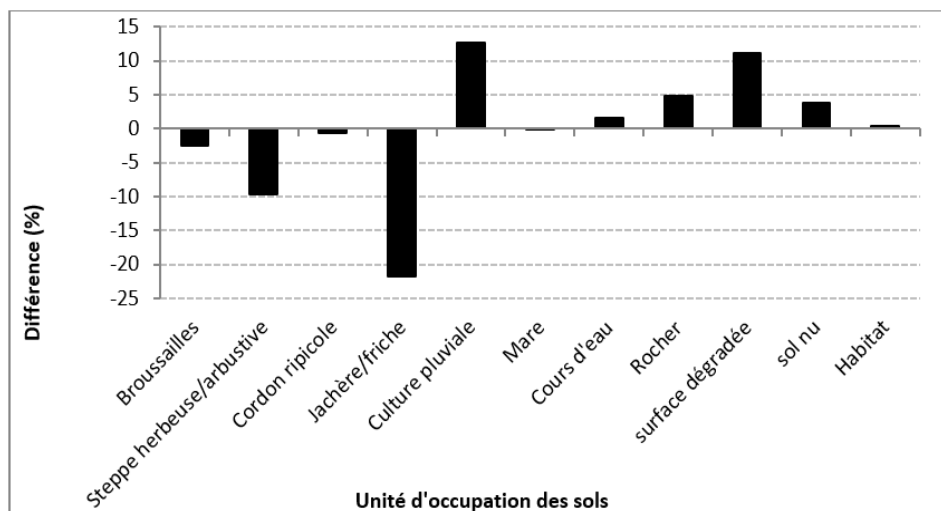


Figure 5 : Évolution des unités d'occupation des sols entre 1986 et 2014 dans le BV de Ouama

En 1986, les jachères occupaient 25 % de la superficie totale du bassin versant de Ouama. Cette importante proportion du bassin qu'occupent les jachères en 1986 était liée à deux facteurs principaux à savoir la faible densité d'occupation des sols et la disponibilité des terres fertiles. Mais pour satisfaire les besoins alimentaires d'une population qui double toutes les deux décennies et dans un contexte de baisse de rendement, les paysans ont adopté la stratégie consistant à augmenter les surfaces cultivées au détriment des jachères. En conséquence, il est remarqué une diminution de 22 % des surfaces occupées par la jachère à l'échelle du bassin de Ouama. Quant aux surfaces cultivées, elles ont connu une hausse de 13 % entre 1986 et 2014. Cette progression s'est effectuée au détriment des jachères et des végétations naturelles notamment (steppes herbeuses et arbustives, broussailles). Par ailleurs, la mise en culture permanente des champs, durant 30 ans, a conduit au développement remarquable (+ 15 %) des sols nus et dégradés. En effet, l'analyse chronique des images satellitales de la période 1986 et 2014 a permis de mettre en évidence une forte progression des ravines sur le bassin versant (**Figure 6**). La densité de drainage est passée de 0,55 km / km² en 1986 à 1.36 km/km² en 2014. Cette augmentation du réseau de ravinement traduit l'accroissement du ruissellement dont les causes sont d'origine climatique et anthropique. Les travaux de [28] ont montré que la sécheresse et l'extension des surfaces cultivées ont entraîné une augmentation du coefficient de ruissellement décennal, d'autant plus élevé que la région est aride. En conséquence, il s'en suit une réduction des stocks hydriques des sols [29, 30].

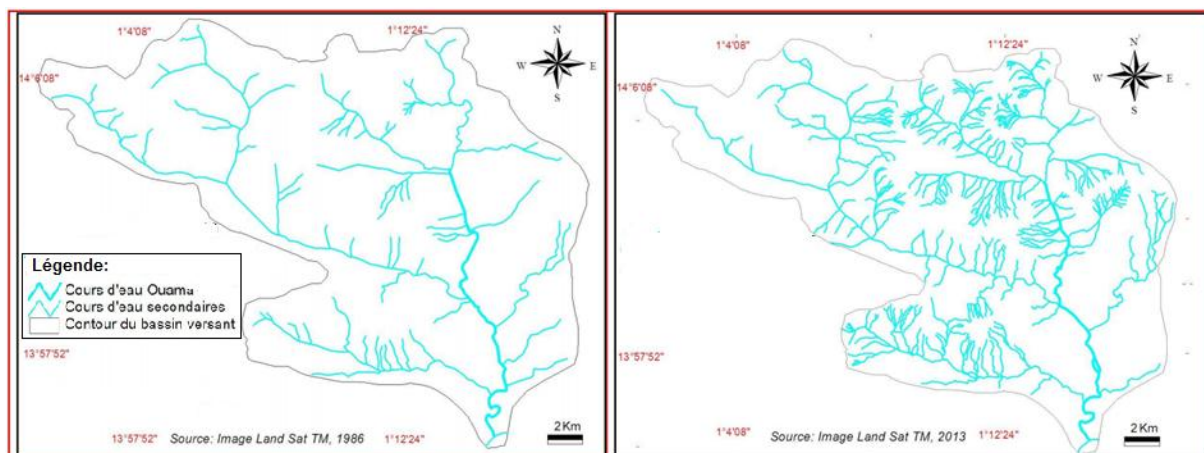


Figure 6 : Évolution du réseau hydrographique de Ouama entre 1986 et 2013

4. Conclusion

Cette étude, conduite dans la zone des cultures pluviales de l'Ouest du Niger, permet de conclure que la mise en culture et la jachère impactent négativement l'hydrodynamique superficielle des sols sur le long terme. La mise en culture régulière des champs s'accompagne des pratiques de gestion (défrichage, sarclage, ramassage des résidus) qui contribuent de diverses manières à encroûter les sols. Cependant, la corrélation faite dans ce travail, entre la durée d'exploitation des champs et la proportion d'encroûtement ne permet pas de conclure sur davantage d'encroûtement dans les plus anciens champs en exploitation. Cela est lié aux travaux d'aménagement qui limitent le développement des surfaces encroûtées dans les champs. Dans les jachères, en revanche, l'étude de corrélation montre une forte liaison entre la proportion d'encroûtement et l'âge de la jachère. Plus une jachère est jeune (entre 0 et 3 ans), moins elle est encroûtée et inversement. Les vieilles jachères (âgées de plus de 5 ans) sont donc plus encroûtées. En fin, le ravinement, qui est aussi une manifestation de la dégradation des sols, est en forte augmentation sur le bassin de Ouama. Cela traduit la hausse des ruissellements et met en évidence la modification des propriétés hydrodynamiques des sols du BV de Ouama suite aux changements d'usage des sols.

Références

- [1] - E. FIORILLO, M. IDRISSE, K. GAPTIA LAWAN, ET A. MOUMUNI TANKARI, « Analyse des risques climatiques dans la commune d'Imanan, Niger », in *Risque et Adaptation climatique dans la région de Tillabéri, Niger*, (2016) 155 - 176 p.
- [2] - K. BARKE ET M. SALIFOU, « Analyse des phénomènes climatiques extrêmes dans le Sud-Est du Niger », *Publ. Assoc. Int. Climatol.*, Vol. 28, (juill. 2015)
- [3] - INS, « 4ème recensement général de la population et de l'habitat du Niger/Repertoire national des localités », Institut national de la statistique, Niamey, (2014)
- [4] - MINISTERE DU PLAN, « Plan de Développement Economique et Social (PDES) 2017-2021 ». Nouvelle Imprimerie du Niger, (2017)
- [5] - G. PANTHOU, A. ROSSI, T. LEBEL, T. VISCHER, ET G. QUANTIN, « Tendances récentes sur les précipitations au Sahel », présenté à Deuxième atelier scientifique ESCAPE. Marseille, 11-12 février 2013, Marseille, (2013)
- [6] - M. MALAM ABDOU, « Hausse des écoulements sur le bassin versant de Dargol : entre facteurs anthropiques et climatiques », *Rev. Géographie Univ. Ouagadougou RGO*, Vol. 2, N°5 (2016) 19 - 44 p.
- [7] - J. P. VANDERVAERE, R. ANGULO JARAMILLO, C. PEUGEOT et M. VAUCLIN, « Caractérisation hydrodynamique in situ de sols encroûtés », in *Interactions surface continentale/atmosphère : l'expérience HAPEX-Sahel*, M. Hoepffner, T. Lebel, et B. Monteny, Éd. Paris : ORSTOM, (1996) 63 - 78 p.
- [8] - M. M. ASSANE, « Characterization of degraded dune vegetation in south-eastern Niger. Caractérisation de la végétation des dunes dégradées du sud-est du Niger », *Environ. Water Sci. Public Health Territ. Intell. J.*, Vol. 2, N°4 (déc. 2018) 83 - 94 p.
- [9] - A. INGATAN WARZAGAN, I. BOUZOU MOUSSA, J. VANDERVAERE, M. MALAM ABDOU et O. FARAN MAIGA, « Reducing runoff by increasing landscaped areas », *Environ. Water Sci. Public Health Territ. Intell. J.*, Vol. 3, N° 1 (2019) 36 - 46 p.
- [10] - M. J. LEBLANC, G. FAVREAU, S. MASSUEL, S. O. TWEED, M. LOIREAU et B. CAPPELAERE, « Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger », *Glob. Planet. Change*, Vol. 61, N° 3 - 4 (2008) 135 - 150 p.
- [11] - I. BOUZOU MOUSSA, O. FARAN MAIGA, J. KARIMOU AMBOUTA, B. SARR, L. DESCROIX et M. M. ADAMO, « Les conséquences géomorphologiques de l'occupation du sol et des changements climatiques dans un bassin-versant rural sahélien », *Sécheresse*, Vol. 20, N°1 (2009) 145 - 152 p.
- [12] - I. BOUZOU MOUSSA, L. DESCROIX, O. FARAN MAIGA, E. GAUTIER, M. M. M MOUSTAPHA et AL., « Les changements d'usage des sols et leurs conséquences hydrogéomorphologiques sur un bassin-versant endoréique sahélien », *Sci. Chang. Planétaires Sécher.*, Vol. 22, N° 1 (2011) 13 - 24 p.
- [13] - K. SOULEY YERO, « Evolution de l'occupation des sols dans l'Ouest du Niger : Influence sur le cycle de l'eau », Thèse de l'Université Joseph Fourier - Grenoble 1, Grenoble, (2012)
- [14] - B. ABBA, « Changements d'usage des sols et érosion dans l'aire « ayi noma » à la périphérie du parc national du W du Niger », Thèse de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey, (2012)
- [15] - I. MAMADOU, « La dynamique accélérée des koris de la région de Niamey et ses conséquences sur l'ensablement du fleuve Niger », Thèse de l'Université de Niamey et de l'Université Paris 1, Niamey-Niger, (2012)
- [16] - M. BAHARI IBRAHIM, « Dynamique hydrogéomorphologique actuelle du kori Mountséka, centre sud Niger », Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey, (2013)

- [17] - M. MALAM ABDOU, J-P. VANDERVAERE, L. DESCROIX, I. BOUZOU MOUSSA, O. FARAN MAIGA, S. ABDOU, B. BODO SEYNI et M-L. OUSSEINI DAOUDA « Evolution de la conductivité hydraulique d'un sol sableux cultivé dans l'Ouest du Niger », *Biotechnol. Agron. Société Environ.*, Vol. 19, N° 3 (2015) 270 - 280 p.
- [18] - L. DESCROIX, *Processus et enjeux d'eau en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne*, Archives contemporaines. Archives contemporaines, (2018)
- [19] - K. AMBOUTA, C. VALENTIN et M. R. LAVERDIERE, « Jachères et croûtes d'érosion au Sahel », *Sécheresse*, Vol. 7, (1996) 269 - 75 p.
- [20] - M. MALAM ABDOU, « Etats de surface et fonctionnement hydrodynamique multi-échelles des bassins sahéliens ; études expérimentales en zones cristalline et sédimentaire », Thèse de l'Université de Grenoble I et de l'Université de Niamey, Grenoble, (2014)
- [21] - WORD BANK, « La désertification dans les zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest », The World Bank, 5210, (janv. 1985)
- [22] - M. BRUNO et J.-P. BEAUD, « Guide pratique pour l'utilisation de la statistique en recherche : Cas des petits échantillons ». AUF, (2003)
- [23] - B. NDIAYE, « Etude expérimentale et modélisation du comportement hydrodynamique des sols cultivés », Université Joseph-Fourier - Grenoble I, Grenoble, (2001)
- [24] - M. MALAM ABDOU, « Production du ruissellement sur un sol sableux cultivé après sarclage au Sahel », *Etude Gest. Sols*, Vol. 23, (2016) 101 - 112 p.
- [25] - R. ARMAND, « Étude des états de surface du sol et de leur dynamique pour différentes pratiques de travail du sol. Mise au point d'un indicateur de ruissellement. », Université de Strasbourg, (2009)
- [26] - J. AVAKOUDJO, A. F. KOUÉLO, V. KINDOMIHOU, K. AMBOUTA et 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 », *Agron. Afr.*, Vol. 27, N° 2 (janv. 2015) 127 - 143 p.
- [27] - R. BRUNET, R. FERRAS et H. THERY, *Les mots de la géographie : Dictionnaire critique*, 3e édition revue et augmentée. Paris : La Documentation Française, (2005)
- [28] - J. ALBERGEL, « Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface : application aux petits bassins du Burkina Faso », in *The influence of climate change and climatic variability on the hydrologic regime and water resources*, Wallingford, (1987) 355 - 365 p.
- [29] - L. DESCROIX, G. MAHE, T. LEBEL, G. FAVREAU, S. GALLE, E. GAUTIER, J-C. OLIVRY, J. ALBERGEL, O. AMOGU *et al.*, « Spatio-temporal variability of hydrological regimes around the boundaries between Sahelian and Sudanian areas of West Africa : A synthesis », *J. Hydrol.*, Vol. 375, N° 1 - 2 (2009) 90 - 102 p.
- [30] - G. MAHÉ, J. PATUREL, E. SERVAT, D. CONWAY et A. DEZETTER, « The impact of land use change on soil water holding capacity and river flow modelling in the Nakambe River, Burkina-Faso », *J. Hydrol.*, Vol. 300, N° 1 - 4 (2005) 33 - 43 p.