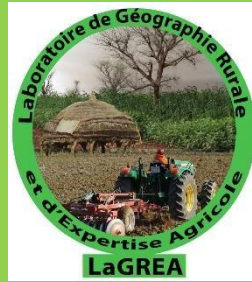




UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI
(UAC)
FACULTE DES SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES
(FASHS)



Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole
(LaGREA)

Journal de Géographie Rurale Appliquée et Développement
(J_GRAD)



ISSN : 1840-9962

N°002, décembre 2022

Volume 3

COMITE DE PUBLICATION

Directeur de Publication : Professeur Moussa GIBIGAYE

Rédacteur en Chef : Professeur Bernard FANGNON

Conseiller Scientifique : Professeur Brice SINSIN

COMITE SCIENTIFIQUE

BOKO Michel (UAC, Bénin)	TCHAMIE Thiou Komlan, Université de Lomé (Togo)
SINSIN Brice (UAC, Bénin)	SAGNA Pascal, Université Cheikh Anta Diop (Sénégal)
ZOUNGRANA T. Pierre, Université de Ouagadougou, (Burkina Faso)	OGOOWALE Euloge (UAC, Bénin)
AFOUDA Fulgence (UAC, Bénin)	HOUNDENOU Constant (UAC, Bénin)
AGBOSSOU Euloge (UAC, Bénin)	CLEDJO Placide (UAC, Bénin)
TENTE A. H. Brice (UAC, Bénin)	CAMBERLIN Pierre, Université de Dijon (France)
TOHOZIN Antoine Yves (UAC, Bénin)	OREKAN Vincent O. A. (UAC, Bénin)
KOFFIE-BIKPO Cécile Yolande (UFHB, Côte d'Ivoire)	ODOULAMI Léocadie (UAC, Bénin)
GUEDEGBE DOSSOU Odile (UAC, Bénin)	GONZALLO Germain (UAC, Bénin)
OFOUEME-BERTON Yolande (UMN, Congo)	KAMAGATE Bamory, Université Abobo-Adjamé, UFR-SGE (Côte d'Ivoire)
CHOPLIN Armelle (Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, France)	YOUSSAOU ABDOU KARIM Issiaka (UAC, Bénin)
SOKEMAWU Koudzo (UL, Togo)	HOUINATO Marcel, (UAC, Bénin)
VISSIN Expédit Wilfrid (UAC, Bénin)	BABATOUNDE Sévérin (UAC, Bénin)

COMITE DE LECTURE

TENTE A. H. Brice (UAC, Bénin), DOSSOU GUEDEGBE Odile (UAC, Bénin), TOHOZIN Antoine (UAC, Bénin), VISSIN Expédit Wilfrid (UAC, Bénin), VIGNINOUS Toussaint (UAC, Bénin), GIBIGAYE Moussa (UAC, Bénin), YABI Ibouaïma (UAC, Bénin), ABOUDOU, YACOUBOU MAMA Aboudou Ramanou (UP, Bénin), AROUNA Ousséni (UNSTIM, Bénin), FANGNON Bernard (UAC, Bénin), GNELE José (UP, Bénin), OREKAN Vincent (UAC, Bénin), TOKO IMOROU Ismaïla (UAC, Bénin), VISSOH Sylvain (UAC, Bénin), AKINDELE A. Akibou (UAC, Bénin), BALOUBI David (UAC, Bénin), KOMBIENI Hervé (UAC, Bénin), OLOUKOÏ Joseph (AFRIGIS, Nigéria), TAKPE Auguste (UAC, Bénin), ABDOULAYE Djafarou (UAC, Bénin), DJAUGA Mama (UAC, Bénin), NOBIME George (UAC, Bénin), OUASSA KOUARO Monique (UAC, Bénin), GBENOU Pascal (UAC, Bénin), GUEDENON D. Janvier (UAC, Bénin), SABI YO BONI Azizou (UAC, Bénin), DAKOU B. Sylvestre (UAC, Bénin), TONDRO MAMAN Abdou Madjidou (UAC, Bénin)

ISSN : 1840-9962

Dépôt légal : N^o 12388 du 25-08-2020, 3ème trimestre Bibliothèque Nationale Bénin

SOMMAIRE		
N°	TITRES	Pages
1	DJOHY Gildas Louis, SOUNON BOUKO Boni, IDRISOU Yaya, DOSSOU Paulin Jésusin, YABI Jacob Afouda: <i>Co-conception d'un modèle conceptuel des stratégies et des pratiques d'utilisation des pâturages naturels pour l'alimentation des troupeaux bovins dans un contexte de changements climatiques</i>	05-22
2	DOSSO Yaya : <i>Commerce de ressources halieutiques et autonomisation financière des femmes dans la ville de Séguéla (Côte d'Ivoire)</i>	23-35
3	SEIDOU Abdel Hack, ZANNOU Sandé, VIGNINOU Toussaint : <i>Echanges frontaliers et structuration de l'espace dans le plateau au sud-est du Bénin</i>	36-50
4	DONGO Kouassi Toussaint, ATTA Kouacou Jean-Marie : <i>Analyse de l'évolution de la forêt classée de Songan DE 1986 à 2020 (Côte d'Ivoire)</i>	51-61
5	OUEDRAOGO Soumaïla, YAMEOGO Lassane : <i>Perceptions des agriculteurs de la région nord du Burkina Faso de l'usure des écosystèmes au carrefour des variabilités climatiques et de la dégradation des terres agricoles</i>	62-73
6	SAGNE Félix Sédar, SOUGOU Abdoulaye, DIA Amadou Tidiane, SY Baba, SY Boubou Aldiouma : <i>Cartographie diachronique de la dynamique spatio-temporelle des terres salées de la commune de Loul-Séssène, nord de l'estuaire du sine Saloum (Sénégal)</i>	74-91
7	ZANNOU DJOSSE Vincent, AHOMADIKPOHOU Louis, TOHOZIN Antoine Yves et ZINSOU Raphaël : <i>Contraintes de la production et de la commercialisation d'ananas biologique dans la commune de Tori-Bossito</i>	92-104
8	SOULEY Kabirou : <i>Impact de la culture du souchet sur les transactions foncières dans la commune rurale de Tchadoua au Niger</i>	105-116
9	BISSOU GUIKAHUE Daniel : <i>Espace maritime et émergence du tourisme dans les villages littoraux au sud-est de la Côte d'Ivoire</i>	117-127
10	AKINDELE ABANICHE Akibou et SODEGLA LEOBOUI Lazare : <i>Concepts des paramètres climatiques chez les Aja de la commune de Dogbo</i>	128-140
11	YEO NOGODJI Jean : <i>Orpaillage clandestin et recul de l'agriculture dans la sous-préfecture de Kokumbo</i>	141-160
12	SOW ALASSANE Seydou, NIANG Souleymane, SY Abou Amadou, FAYE CHEIKH Ahmed Tidiane, SY Boubou Aldiouma : <i>Réponse hydro-érosive et modélisation du fonctionnement hydro géomorphologique d'un bassin versant à forte dynamique structurale par ravinement : le bassin versant de Oourossogui (nord du Sénégal)</i>	161-179
13	ISSA Maman-Sani, OGOUWALE Romaric, LODOUHOUE KANNAYI Frédéric, VISSIN W. Expédit : <i>Caractérisation des risques hydro climatiques dans la bande côtière Avlékété-Togbin-Ouidah au sud Bénin (Afrique de l'Ouest)</i>	180-190

14	SAIDOU Abdoukarimou : <i>Analyse critique de la qualité des plans de développement communaux (PDC) au Niger : étude de cas des PDC de la zone du barrage hydro-électrique de Kandadji</i>	191-203
15	DJASRA Edmond, BOUYO KWIN Narem Jim et TCHÉKOTÉ Hervé : <i>Appuis des organisations non gouvernementales aux organisations paysannes dans la lutte contre la pauvreté dans le département du Mandoul oriental (Tchad)</i>	204-218
16	ALLOGHO-NKOGHE Fidèle : <i>Typologie de l'habitat et qualité de vie à Libreville (Gabon): vers un nouveau remodelage de l'espace urbain ?</i>	219-230
17	N'GORAN KOUAME Fulgence : <i>Pratique touristique et de loisirs dans les espaces péri-urbains dans la commune de Bouake : entre quête de quiétude et réappropriation du genre de vie rurale dans l'espace urbain</i>	231-242

REPONSE HYDRO-EROSIVE ET MODELISATION DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOMORPHOLOGIQUE D'UN BASSIN VERSANT A FORTE DYNAMIQUE STRUCTURALE PAR RAVINEMENT : LE BASSIN VERSANT DE OUROSSOGUI (NORD DU SENEGAL)

HYDRO-EROSIVE RESPONSE AND MODELLING OF THE HYDROGEOMORPHOLOGICAL FUNCTIONING OF A WATERSHED WITH HIGH STRUCTURAL DYNAMICS BY GULLY: THE OUROSSOGUI WATERSHED (NORTHERN SENEGAL)

SEYDOU ALASSANE SOW¹⁴, SOULEYMANE NIANG¹⁵, AMADOU ABOU SY¹, FAYE
CHEIKH AHMED TIDIANE¹, BOUBOU ALDIOUMA SY²

¹ Géomorphologue, Université Cheikh Anta Diop de Dakar du Sénégal, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, département de Géographie

¹ Géomorphologue, Université Gaston Berger de Saint-Louis du Sénégal, UFR des Lettres et Sciences Humaines, section de Géographie

Contact : niangsouleymane87@gmail.com

RESUME

Le bassin versant de Oourossogui, à l'instar des autres bassins de la moyenne vallée du Sénégal est un bassin à forte dynamique structurale, caractérisée par une morphodynamique hydrique par ravinement, soutenue par un effacement des forces de frottement sous l'effet d'une anthropisation progressive. Ces dynamiques ont des incidences sur le cycle hydro-érosive du bassin versant, et sur son fonctionnement hydrogéomorphologique. La méthodologie adoptée combine des mesures de terrain qui ont concerné les hauteurs limnimétriques et les débits solides à travers des stations installées à l'aval des ravins du bassin versant et d'une modélisation hydrogéomorphologique. Les résultats témoignent d'une variabilité des réponses érosives face aux épisodes pluvieux : les écoulements restent liés à la pluviosité totale et à l'intensité de la pluie. Les taux de concentrations de sédiments en transit sont également variables selon la saison, et le mois d'août demeure le plus érosif. La modélisation par HEC-HMS a permis à travers des simulations de scénarios pluie-débit, de comprendre le fonctionnement hydrogéomorphologique actuel du bassin versant, qui est fortement influencé par les changements d'occupation des sols et la forte torréalité par ravinement des axes hydrographiques.

Mots clés : hydro-érosive, modélisation, hydrogéomorphologie, ravinement, bassin versant de Oourossogui

ABSTRACT

The Oourossogui watershed, like the other basins of the middle valley of Senegal, is a basin with strong structural dynamics, characterized by hydric morphodynamics by gully, supported by an erasure of friction forces under the effect of a progressive anthropization. These morphological mutations have an impact on the hydro-erosive cycle of the catchment area and on its hydrogeomorphological functioning. The adopted methodology combines field measurements which concerned the limnimetric heights and solid flows through stations installed downstream of the ravines of the catchment area and hydrogeomorphological modelling. The results show a variability of erosive responses to rainfall events: the flows remain linked to the total rainfall and the intensity of the rain. The rates of concentrations of sediments in transit are also variable according to the season, and the month of August remains the most erosive. Modeling by HEC-HMS has made it possible,

¹⁴ Géomorphologue, Université Cheikh Anta Diop de Dakar du Sénégal, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, département de Géographie

¹⁵ Géomorphologue, Université Gaston Berger de Saint-Louis du Sénégal, UFR des Lettres et Sciences Humaines, section de Géographie

through simulations of rainfall-flow scenarios, to understand the current hydrogeomorphological functioning of the catchment area, which is strongly influenced by changes in land use and the strong torrentiality by gullying of the hydrographic axes.
Keywords: hydro-erosive, modelling, hydrogeomorphology, gullying, Oourossogui watershed

INTRODUCTION

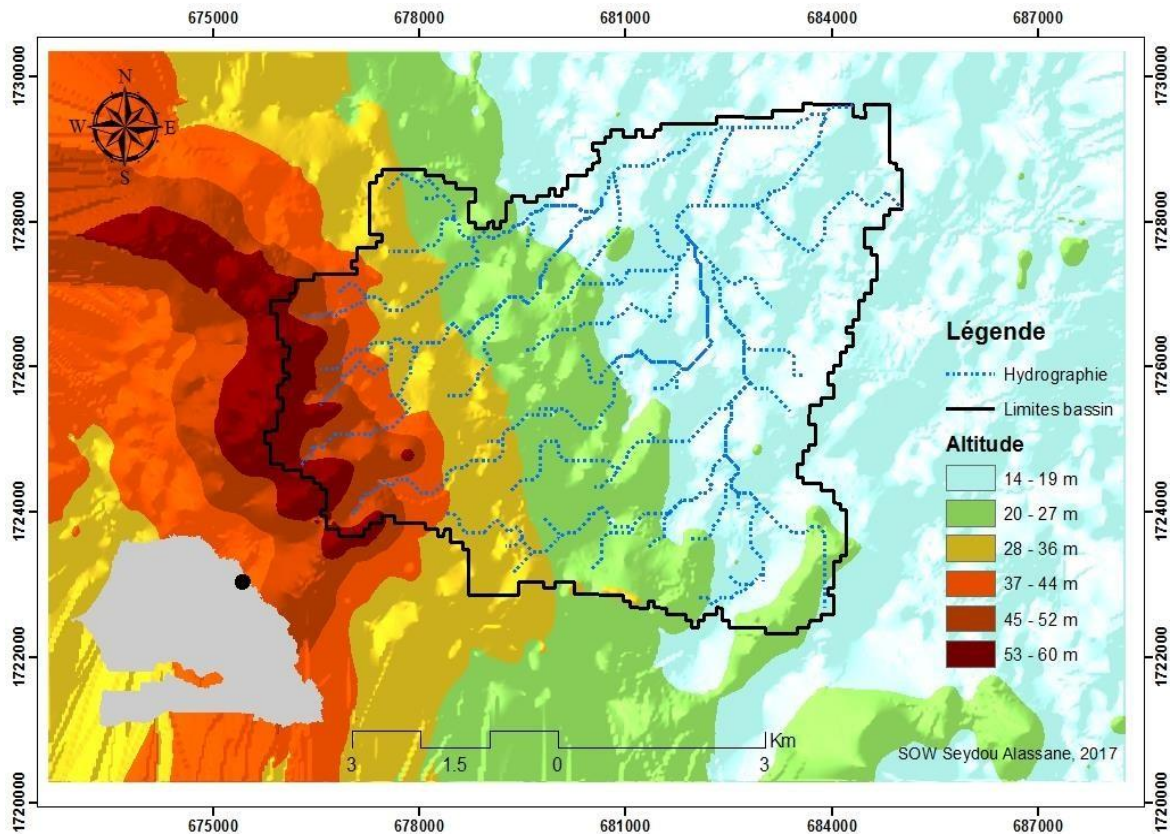
À l'échelle globale d'un bassin versant, la génération d'un hydrogramme à l'exutoire traduit la réaction hydro-érosive de tout le bassin versant suite à une pluie. Pour un épisode pluvieux donné, la réponse du bassin dépend à la fois du type, de la nature, de la quantité, de l'intensité, de la localisation des précipitations et de l'état hydrique initial de ses sols, lui-même déterminé par les caractéristiques des périodes pluvieuses et sèches précédentes (Ambroise, 1998). De même, les caractéristiques physiographiques du bassin versant et les différents types de végétation et de sols, leur organisation spatiale à l'échelle du bassin versant constituent également autant de facteurs importants qui conditionnent la réponse hydrologique et érosive du bassin versant. Le ruissellement lié à de fortes précipitations entraîne le départ de terre par érosion de façon spectaculaire. Cela a des impacts environnementaux parmi lesquels la perte de la fertilité des sols et le comblement précoce des retenues d'eau (barrages, mares, lacs) réduisant ainsi leur capacité d'emmagasinement, pouvant entraîner une dégradation de la qualité des eaux et des conflits d'usage. Ainsi, l'étude du comportement du couple ruissellement-érosion apparaît donc importante dans la mesure où la connaissance de l'un permettrait la prédiction de l'autre (Mounirou, 2011).

Le bassin versant de Oourossogui se situe entre 15°36'04' latitude Nord et 13°19'13' longitude Ouest. Établi sur le Djédjégo¹⁶, zone de transition entre le Walo¹⁷ et le Diéry¹⁸, la ville de Oourossogui est bâtie au pied d'une série de petites collines. La platitude du relief est rompue par la présence de ravins qui ceinturent les parties sud-est et nord-ouest du bassin versant. Au plan géologique, la zone appartient au bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien, affleurant sur le socle ancien vers l'Est du pays. A droite de Oourossogui, on rencontre en surface des formations de sables alluvionnaires de faible épaisseur (-5m), en-dessous de celles-ci, se retrouvent des formations intermédiaires de l'Eocène et du Paléocène, constituées de diverses séries sédimentaires : marno-calcaires, argiles, latérites, etc. (Sow, 2013).

¹⁶ Zone transitoire se situant entre le Walo et le Diéry

¹⁷ Zone des sols sableux et arides et non submergée par les crues du fleuve Sénégal

¹⁸ Zone des sols argileux et régulièrement submergés par les crues du fleuve Sénégal



Carte 1 : Carte de localisation du bassin versant de Ourosogui

Source : Sow, 2022

Le bassin versant de Ourosogui, à l’instar des autres bassins de la moyenne vallée du Sénégal est sujet ces dernières années à une réactivation de la morphodynamique hydrique conditionnée par les ravinements sur des versants devenus dénudés, sous l’effet de leur anthropisation progressive (changements des états de surfaces, disparition des forces de frottement, etc.). Ces mutations morphologiques ont des incidences sur le cycle hydro-érosive du bassin versant et par conséquent sur son fonctionnement hydrogéomorphologique, qui est de plus en plus rythmé par une torrencialité des axes hydrographiques (ravins). L’objectif de cette contribution est d’évaluer, d’une part, la réponse hydro-érosive du bassin versant et, d’autre part, de faire un exercice de modélisation afin de comprendre son fonctionnement hydrogéomorphologique. Pour se faire une démarche méthodologique a été adoptée.

1. METHODOLOGIE

La méthodologie repose sur des mesures de débits solides, des hauteurs limnimétriques et d’un calage et validation du Hydrologic Engineering Center -Hydrologing Modelinng System (HEC-HMS).

Mesures des hauteurs d’eau : les stations limnimétriques

Pour suivre la variation des hauteurs d’eau au niveau du bassin versant de Ourosogui, des stations limnimétriques ont été installées dans la section aval de chacun des ravins du Nord-est et du Sud-est. Au sol, les échelles sont calées sur 14 m IGN. Le choix de ces positions se justifie par la possibilité de lire et d’enregistrer les variations des hauteurs d’eau en transit après l’événement pluviométrique. Les mesures sont effectuées de façon événementielle : après

chaque période de pluie. L'objectif est d'établir une chronique de données sur cette grandeur hydrologique et d'en faire des corrélations avec les débits solides. Par ailleurs des débits théoriques ont été calculés et obtenus grâce aux méthodes de Rodier (1998)¹⁹.

Mesures de débits solides : les trappes à sédiments

C'est un protocole de quantification de charges sédimentaires en transit dans des sections identifiées au niveau du bassin versant. Il a consisté à placer des trappes à sédiments dans les lits des ravins du Nord-est (TRAP Mod) et du Sud-est (TRAP Ainy). Les trappes sont placées à proximité des deux stations limnimétriques et partagent donc les mêmes identifiants. Après chaque pluie, les trappes sont enlevées et la charge sédimentaire dissoute recueillie est pesée. Les masses recueillies sont étroitement liées aux débits liquides sur ces sections. Les débits solides dans chaque section sont déterminés en mesurant les concentrations en matières solides transportées par le ravinement et en les multipliant par les débits liquides.²⁰

$$Q \text{ (kg/s)} = C \text{ (kg)} \times Q \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Avec $Q \text{ (kg/s)}$ = débit solide moyen; $C \text{ (kg)}$ = Concentration moyenne et $Q \text{ (m}^3\text{/s)}$ = débit liquide moyen.

Calibration du modèle HEC-HMS

Le modèle utilisé dans ce travail est le Hydrologic Engineering Center -Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). Il a été développé par le Hydrologic Engineering Center (HEC) des USA Army Corp of Engineers. C'est un modèle de simulation par pas de temps des écoulements. Les données d'entrées utilisées sont les précipitations journalières. Les simulations ont été faites selon les séquences à une échelle de 10 ans (2005-2015) ; d'une année (1^{er} janvier – 31 décembre 2015) et d'une année (septembre – octobre 2003)²¹, ce qui permet de quantifier l'impact des oscillations pluviométriques sur le régime hydrologique. La calibration du modèle HEC-HMS passe par l'application de plusieurs fonctions, dont deux méritent d'être présentées : *Loss method* et *Transform method*. Elles correspondent respectivement aux fonctions de modélisation des pertes et du ruissellement direct. Le modèle calcule les volumes d'écoulement en soustrayant aux précipitations les quantités d'eaux qui sont stockées, infiltrées ou évaporées. Ces dernières sont considérées par le modèle hydrologique comme étant des « pertes ». La quantité d'eau restante désigne l'excès de précipitation et participe directement à l'écoulement de surface. Le modèle de pertes utilisé ici est le *Curve Number (CN)* : il estime l'excès des précipitations comme une fonction des précipitations cumulées, de la couverture d'humidité initiale du sol. Pour faire tourner le modèle, le bassin versant a été subdivisé en 3 sous bassins (Subbassins) : stations collines, élevage et gendarmerie.

Les différents paramètres hydrogéomorphologiques essentiels pour tourner le modèle hydrologique dans le bassin versant de Ourossogui sont consignés à travers le tableau suivant.

¹⁹ *Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche*

²⁰ Cette technique a été développée par MOUNIROU (2012) à travers un travail de recherche fait dans un bassin versant sahélien du Burkina Faso.

²¹ Les données pluviométriques journalières obtenues n'ont concernées que cette période (2005-2015). Le reste de la série a été jugée trop lacunaire.

Tableau I : Paramètres hydrogéomorphométriques de base pour la modélisation sur HEC-HMS du bassin versant de de Ourossogui²²

Paramètres	Valeurs et méthodes
Loss method	Curve Number = 87
Transform method	SCS Unit Hydrograph
Initial abstraction (Ia)	5,5
S (Potentiel d'abstraction)	41,95
Surface du bassin versant	47,61 km ²
Temps de base	1022 mn
Temps de montée	435 mn
Coefficient de ruissellement (Kr%)	0,35
Coefficient d'abattement	0,95
Coefficient de pointe	2,6
Pluie décennale journalière	78 mm
Hauteur moyenne des pluies annuelles	33,6 mm
Hauteur annuelle de pluies	403,8 mm
Temps de concentration (Tc)	1,72 heures
Coefficient du temps de concentration (Ct)	0,72
Lag Time	103,2
Coefficient de stockage (St)	2,8

Le protocole méthodologique a fourni les résultats présentés ci-après.

2. RESULTATS

Réponse de l'écoulement aux précipitations : les coefficients d'écoulement

L'analyse de la réponse de l'écoulement aux précipitations s'est effectuée sur la base des coefficients d'écoulement. Selon Mounirou (2011), les coefficients d'écoulement peuvent fournir des informations sur la réponse d'un bassin versant. Ils sont utiles pour comparer des bassins entre eux, afin de comprendre comment les paysages filtrent la pluie en écoulement événementiel et expliquer les différences observées sur des caractéristiques des bassins et les mécanismes d'écoulement associés. Le tableau suivant traduit les coefficients d'écoulement mensuel du bassin de Ourossogui pour la période 2011-2016.

Tableau II : Coefficients d'écoulement mensuel de 2011 à 2016

Années	jan-juin	juillet	août	septembre	octobre	nov-déc
2011	0.25	0.27	1.83	0.64	0.003	0
2012	0.6	1.01	1.81	0.96	0.123	0
2013	0	0.41	1.61	2.3	0	0
2014	0	0.567	1.26	0.27	0	0
2015	0	0.08	0.04	0.014	0	0
2016	0	0.009	0.03	0.073	0.019	0

²² Ces paramètres sont caractéristiques du bassin versant de Ourossogui. Certains ont été estimés grâce aux méthodes annexées sur le guide d'utilisation du logiciel HEC-HMS. D'autres sont obtenus avec le manuel de l'IRD : *Crues et apports. Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche* (1998).

Moyennes	0.14	0.39	1.09	0.7	0.02	0
σ	0.24	0.36	0.84	0.85	0.04	0

L'analyse des données (tableau II) montre que dans le bassin versant de Ourosogui, les forts coefficients d'écoulement s'observent durant les mois d'août et de septembre. Le taux d'humidité du sol est élevé durant ces mois, ce qui entraîne un accroissement du coefficient d'écoulement mensuel. C'est également la période pendant laquelle les pluies sont plus agressives. La diminution du coefficient d'écoulement du mois d'octobre peut se justifier par la faible pluviosité et la mauvaise répartition des précipitations, qui marquent la fin de la saison des pluies. Le tableau III matérialise les valeurs statistiques du coefficient d'écoulement moyen annuel du bassin versant de Ourosogui de 2011 à 2016.

Tableau III : Valeurs statistiques du coefficient d'écoulement moyen 2011-2016

					<i>Coefficients d'écoulement</i>	
<i>Années</i>	<i>Pluies > 1mm</i>	<i>Pmm Ruis</i>	<i>Pan en mm</i>	<i>Moyen</i>	<i>Ecart type</i>	<i>Coef var</i>
2011	21	11	341.49	0.49	0.69	0.71
2012	35	26	540.77	0.75	0.66	1.12
2013	21	18	635.15	0.72	0.99	0.72
2014	15	13	216.2	0.34	0.49	0.69
2015	21	17	249.5	0.02	0.03	0.69
2016	18	18	290	0.02	0.02	0.79
Moy inter	21.8	17.1	378.8	0.39	0.48	0.7
Ecart type	6.8	5.1	169.9	0.3	0.3	0.1

Ainsi, pour la pluviosité, il montre que les événements pluviométriques ayant produit un ruissellement (*Pmm Ruis*) à l'échelle du bassin versant sont en moyenne de 17 entre 2011 et 2016. On considère qu'une pluie supérieure et/ou égale à 5 mm est susceptible de produire un écoulement au niveau du bassin.

Quant aux coefficients d'écoulement moyens annuels, ils varient fortement d'une année à une autre. Les forts coefficients de variation indiquent une dispersion des coefficients d'écoulement événementiel autour de la moyenne. Certains épisodes pluvieux ne produisent que peu d'écoulement, bien que leur pluviosité soit importante. C'est le cas des pluies avec de faible intensité ou tombant après un long temps sec. Par contre, d'autres épisodes pluvieux, particulièrement les orages, peuvent produire un écoulement voisin de 25 m³/s. C'est le cas de la pluie journalière du 06 septembre 2013, dont la hauteur est de 96 mm. La pluviosité n'explique pas à elle seule les écoulements vers l'exutoire du bassin. L'intensité des pluies et leur répartition au cours de la saison sont également des variables influentes.

Au Sahel, il y a très peu de bassins versants qui aient fait l'objet de suivis hydrologiques continus. Par conséquent, il est intéressant de représenter l'hydrogramme type du bassin versant de Ourosogui, qui peut être utilisé sur d'autres bassins similaires de la moyenne vallée du Sénégal. L'hydrogramme type du bassin de Ourosogui a été tracé à partir des coefficients mensuels de débits de l'année moyenne, qui sont définis comme le rapport du débit mensuel moyen (calculé sur un certain nombre d'années) et appelé débit inter-mensuel au module interannuel. Ceux-ci permettent de représenter la répartition en pourcentage des débits mensuels au cours de l'année.

$$Cm (\%) = \frac{Q \text{ mensuel moyen}}{\text{Module interannuel}} \times 100$$

La figure 1 qui suit présente l'hydrogramme du bassin versant.

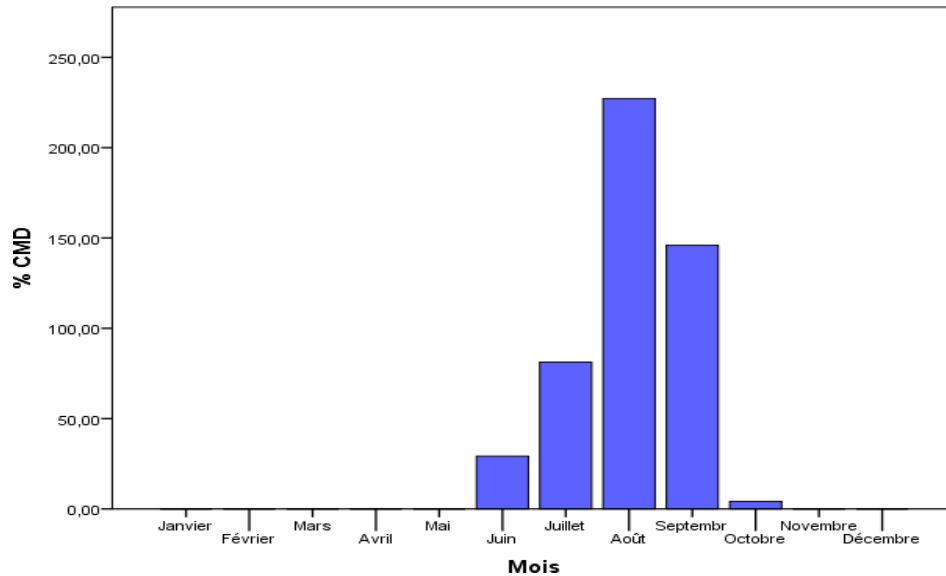


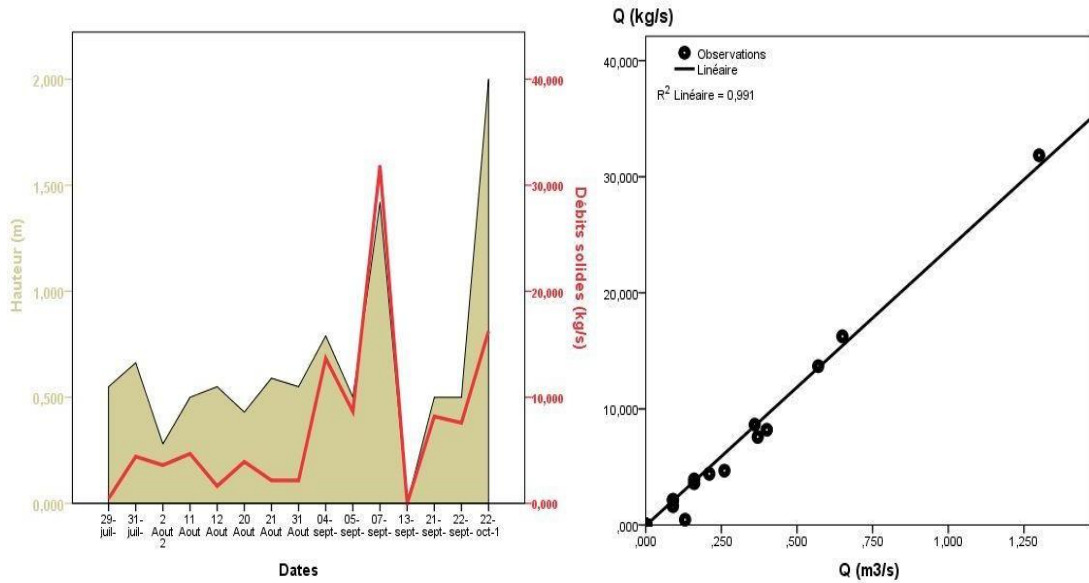
Figure 7 : Hydrogramme mensuel type du bassin sahélien de Ourossogui

A travers la figure 1, on retrouve le schéma classique du régime sahélien : une longue période de basses eaux et une période de hautes eaux avec la pointe de crue en août. Le débit apparent est nul pendant 7 mois : de novembre à mai. La crue est souvent provoquée par une averse tombant après des conditions de saturation. En plus de la réponse hydrologique du bassin versant, l'étude s'est aussi penchée sur celle érosive.

Réponse érosive du bassin versant de Ourossogui

A la suite d'une sollicitation pluviométrique, les flux hydriques en transit sont la plupart du temps chargés en matières solides. Il y a donc une relation étroite entre le transport liquide et le transport solide. Les particules arrachées sur les versants et emportées par le ruissellement sont déposées dans les dépressions au profit des éléments plus fins et au gré des gradients de vitesse d'écoulement. Le système érosif est par conséquent un système complexe dont les mécanismes se déroulent à des échelles spatio-temporelles. Dans ce paragraphe, on propose d'étudier les évolutions des débits solides et des hauteurs d'eau et les relations entre débits solides et liquides afin de caractériser la réponse érosive du bassin versant de Ourossogui.

A- Station de Ainoumady (ravine du Sud-est)



B- Station de Moderne (ravin du Nord-est)

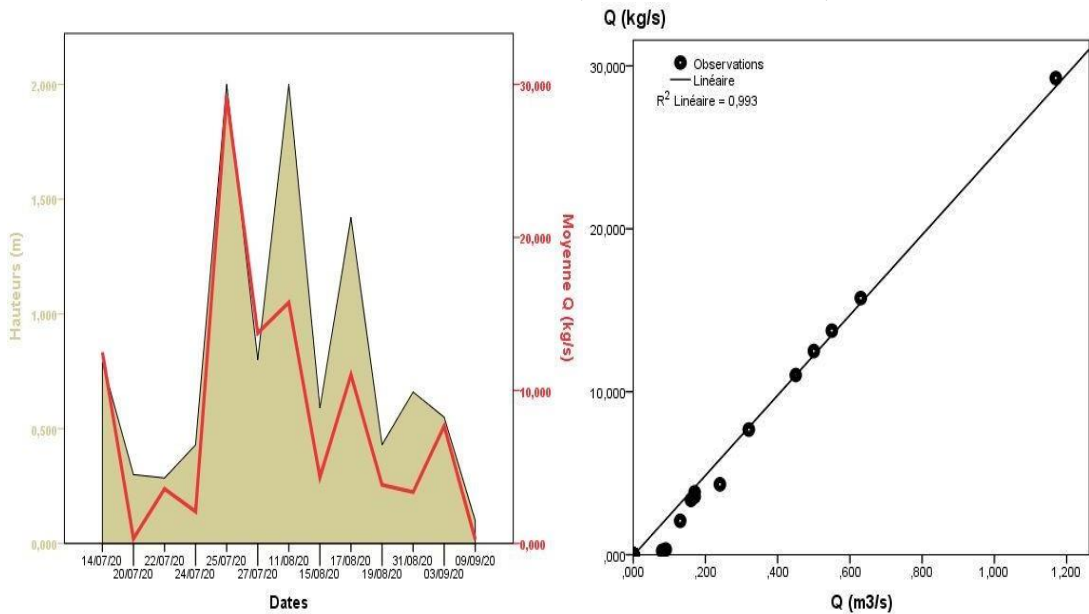


Figure 8 : Evolution des débits solides et des hauteurs d'eau et régression linéaire entre débits solides et liquides en 2015 dans le bassin versant de Ourossogui

Les années 2015 et 2016 constituent la base de cette analyse. Par année, le nombre moyen de crue ayant engendré un écoulement et un transport solide à travers les deux axes hydrauliques sur lesquels sont installés des stations est de l'ordre d'une quinzaine. La quantification des débits solides s'est faite suivant l'observation de 29 crues dans le bassin versant. Les débits solides obtenus durant les jours de pluies s'étagent pour la plupart du temps entre 0,12 kg/s et 29,5 kg/s au niveau de la station de Moderne, et entre 0,2 kg/s et 31,85 kg/s au niveau de la station de Ainoumady. La faiblesse des crues pourtant chargées en matières est un indicateur des réponses érosives aux épisodes pluvieux. Les figures précédentes révèlent les fluctuations des hauteurs d'eau et des débits solides en transit, ainsi que les régressions linéaires entre débits liquides et solides (Figures 2 A et B). Une différence remarquable a été notée entre les deux années et entre les stations.

A la station de Ainoumady, en 2015 comme en 2016, les pics de charge sédimentaire se produisent en même temps que la pointe de la courbe des hauteurs d'eau à l'échelle de l'hivernage. A la station de Moderne, des phénomènes inverses se sont produits. En 2015, le pic des débits solides est apparu avant celui des hauteurs d'eau ; alors qu'en 2016, le cas contraire a été observé. Par ailleurs, une relation de cause à effet existe entre les débits solides en transit et ceux liquides. Les graphiques de régressions (Figures 2 A et B) informent que la variable débit solide est fortement influencé par celle débit liquide, en atteste d'ailleurs les forts coefficients de régression qui sont tous supérieurs à 0,9.

L'analyse de la réponse hydro-érosive du bassin versant est suivie par sa modélisation hydrogéomorphologique.

Modélisation du fonctionnement hydrogéomorphologique du bassin versant de Ourossogui

Validation du modèle HEC-HMS

Les critères d'évaluation de la performance d'un modèle sont définis par rapport aux tâches opérationnelles. Ces critères sont calculés en comparant les estimations du modèle avec les observations faites sur le terrain et/ou des fonctions théoriques calculées suivant des formules mathématiques relationnelles. Dans le cadre de ce travail, la validation des résultats de la modélisation s'est effectuée grâce au coefficient de Nash et d'une série de tests de corrélation linéaire entre les débits simulés et théoriques calculés.

Le critère ou coefficient de Nash : Il représente le rapport de la variance résiduelle à la variance des débits observés :

$$Nash(Q) = 1 - \frac{\sum_{n=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2}{\sum_{n=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_{oi})^2}$$

Avec : Q_{oi} = débits observés ; Q_{si} = débits simulés du jour i ; et \bar{Q}_{oi} , le débit moyen observé ; N est le nombre total de pas de temps de la période de simulation.

Le critère de Nash permet d'évaluer la qualité des résultats d'une simulation hydrologique en comparaison avec des observations, à la fois en termes de phase et d'intensité (Nash et Sutcliffe, 1970). Le coefficient varie entre $-\infty$ et 1. Plus les valeurs des résultats des simulations tendent vers 1 ; plus le modèle est performant. Un critère de Nash inférieur à 0,6 indique une défaillance du modèle sur l'ensemble du bassin versant. Pour ce qui est de cette étude, les coefficients de Nash sont élevés pour l'ensemble des trois périodes de simulations. L'analyse du tableau 4 montre que toutes les valeurs de Nash sont supérieures à 0,6. Ce qui valide les performances du modèle sur le bassin versant de Ourossogui.

Tableau IV : Résultats des calculs des coefficients de Nash

Période de calage	Coefficients de Nash
2005 – 2015	0,75
1 ^{er} janvier – 31 décembre 2015	0,83
septembre – octobre 2003	0,76

En plus du coefficient de Nash, l'opération de validation du modèle HEC-HMS sur le bassin de Ourossogui a fait recours au coefficient de corrélation de Pearson.

Le coefficient de Pearson : Le coefficient de Pearson est défini par le rapport de la variation expliquée à la variation totale. Il varie de 0,0 (modèle mauvais) à 1 (modèle parfait), et il se présente selon la formule suivante :

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\left(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \right)^{0,5} \left(\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \right)^{0,5}} \right)$$

Où R^2 est le coefficient de Pearson, O_i et S_i sont les débits observés et calculés du jour i ; \bar{O} et \bar{S} sont la moyenne de O_i et S_i sur les pas de temps servant au calcul du coefficient.

Les résultats de la corrélation de Pearson entre les débits simulés et les débits observés sont consignés à travers le tableau suivant.

Tableau V : Résultats du test de corrélation de Pearson entre les débits

Années	Coef	P-value
2005-2015	0,956 (***) ²³	P-value = 0,0000
2015	0,978 (***)	P-value = 0,0000
Aout et Septembre 2003	0.4655 (***)	P-value = 0,0002

L'analyse du tableau 5 montre que toutes les corrélations sont significatives au seuil de 1%. La première et la deuxième période de simulation ont les corrélations les plus importantes. Elles ont respectivement des P-value égales à 0,0000²⁴. La troisième période de simulation s'inscrit dans la même logique, avec une P-value égale à 0,0002. Les figures suivantes permettent de visualiser graphiquement les corrélations obtenues durant les deux premières périodes de simulations (2005 – 2015 (à gauche) et 1^{er} janvier– 31 décembre 2015 (à droite)) par exemple.

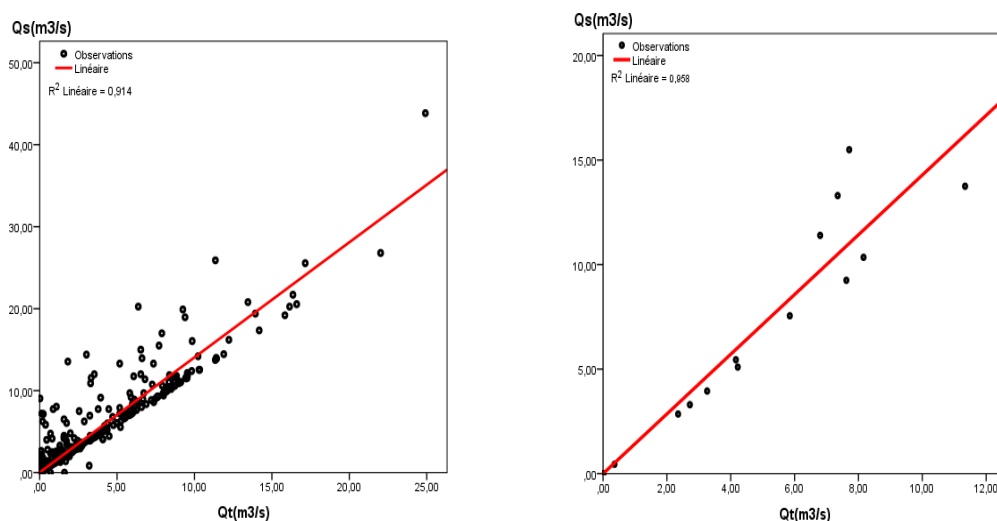


Figure 9 : Représentation graphique des relations linéaires entre les Qs et Qt

Cette représentation graphique permet de lire que les pentes de corrélation (R^2) sont toutes supérieures à 0,9. Ces résultats, couplés avec ceux obtenus dans les tableaux 4 et 5 permettent de valider les performances du modèle HEC-HMS sur le bassin versant de Ourossogui.

²³ (***) = au seuil de significativité de 1%

²⁴ Pour apprécier l'importance de cette valeur (P-value), il faut la multiplier par 100 et comparer le résultat obtenu avec la valeur du seuil de significativité (1% ici). Plus la P-value est inférieure au seuil ; plus le test de corrélation de Pearson est significatif.

Analyse des sorties du modèle HEC-HMS sur le bassin versant de Ourossogui

Dans la plateforme HEC-HMS, les résultats d'une simulation sont présentés sous forme de tables susceptibles d'être exportées sur Excel et des graphiques, qui représentent l'hydrogramme de crue plus son hyétogramme de pluies, et l'hydrogramme de crue dans les zones de confluence avec les débits des bassins secondaires. Les tables concernent le débit de pointe et la lame d'eau écoulée qu'on peut traduire en volume. Il y'a également la table du volume d'eau précipité, des pertes, des données du hyétogramme de pluies et enfin celles de l'hydrogramme montrant la répartition des débits en fonction des intervalles de temps. Les résultats de la simulation dans cette étude ont traduit les approches de *SCS Curve Number* et de *SCS Unit Hydrograph* concernant respectivement les modèles de production et de transfert de la pluie. Comme l'atteste la figure dans un sous bassin de Ourossogui, on remarque la séparation nette entre les pertes et le volume ruisselé.

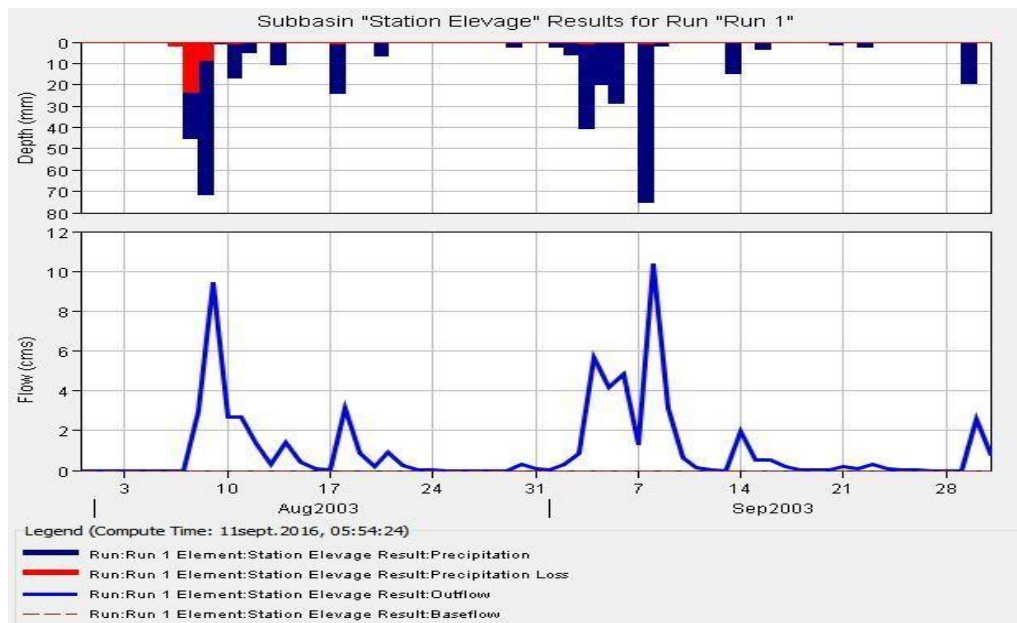


Figure 10 : Hyétogramme et hydrogramme dans un sous bassin du bassin versant de Ourossogui

La figure 4 renseigne sur les précipitations d'entrée ainsi que l'infiltration et le débit de base, qui représente la quantité de pluies nette participante à l'apparition de l'hydrogramme de crue. On remarque que HEC-HMS a bien reproduit ce débit de pointe avec un très faible décalage, qui peut être expliqué par le fait que l'onde simulée arrive légèrement avant l'onde enregistrée. Ceci peut être dû dans le logiciel à une sous-estimation de la vitesse d'infiltration par exemple. D'après Ndiaye (2016), ce hyétogramme simulé avec l'hydrogramme de crue dans HEC- HMS définit ce que les hydrologues appellent le seuil de submersion (la partie de la pluie où l'écoulement commence), et le régime d'infiltration qui sépare le volume infiltré de la pluie nette. Une telle approche a été développée par plusieurs auteurs dont Mussy et Higy (2004) au sein de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (en Suisse) sur l'infiltration et les écoulements.

La figure 5 représente l'hydrogramme de crue avec les débits de tous les bassins secondaires, et concerne l'exutoire du bassin versant de Ourossogui.

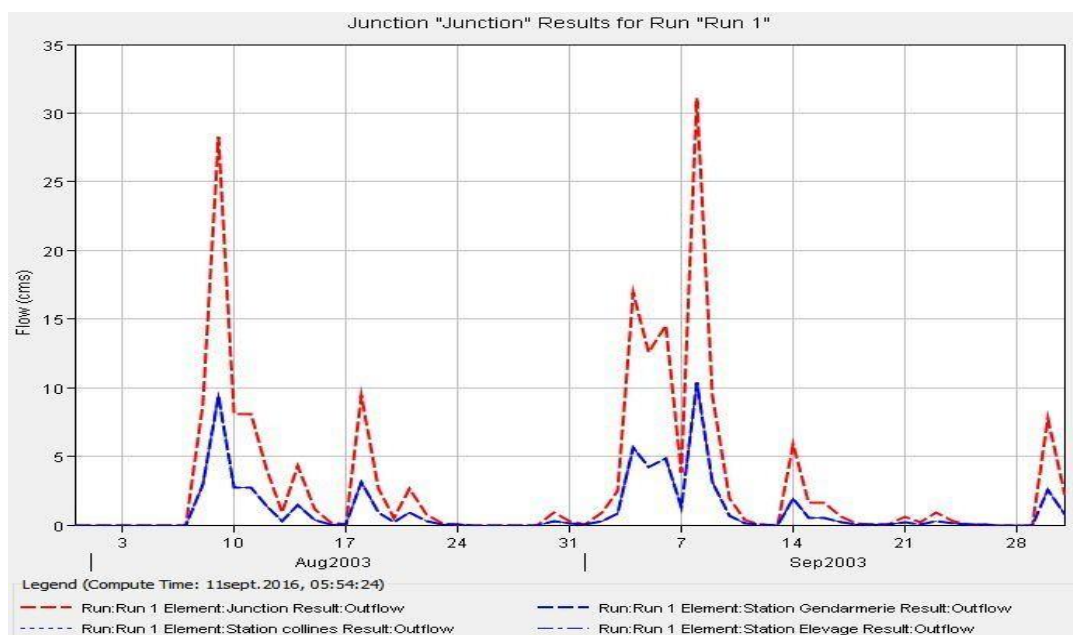


Figure 11 : Exemple d'hydrogramme de crue à l'exutoire du bassin versant de Oourossogui

Les simulations obtenues à travers ce hydrogramme concernent les mois les plus pluvieux de l'année : août et septembre. L'analyse montre que son débit subit l'influence des apports provenant des différentes sources secondaires des sous-bassins : stations collines, éleveage et gendarmerie, comme désigné sur le schéma conceptuel du modèle hydrologique du bassin versant de Oourossogui sur HEC-HMS.

- Analyse de quelques paramètres du bilan de l'écoulement

Ces paramètres concernent le débit total, la lame d'eau écoulée, et le volume ruisselé. Ce sont des informations qui accompagnent les fichiers de sorties de simulations. Ces paramètres du bilan de l'écoulement du bassin versant de Oourossogui sont présentés.

Tableau VI : Quelques paramètres du bilan de l'écoulement du bassin versant de Oourossogui

Périodes de simulation	Pluie total (mm)	Débit total (m3/s)	Lame d'eau écoulée (mm)	Volume ruisselé (m3)
01/01/2005 - 01/01/2015	4602.73	1800.48	37.81726528	219224.42
01/01/2015 - 31/12/2015	264.33	102.2	2.146607855	13706
01/08/2003 - 30/09/2003	493.1	187.2	3.93194707	16957.2
01/09/2003 - 30/09/2003	158.83	105.2	2.209619828	

L'analyse du tableau précédent montre que le bassin versant de Oourossogui a un volume d'eau ruisselé de 219 224,42 m³ à l'échelle d'une décennie. A l'échelle des mois les plus pluvieux, ce paramètre hydrologique est estimé à 16 957,2 m³. Pour ce qui est du débit total passé à l'exutoire, sur la première période de simulation, il est estimé à 1800,48 m³/s. Et à l'échelle des deux mois les plus pluvieux, à 187,2 m³/s. Ce constat renforce la théorie selon laquelle qu'en domaine sahélien, plus la taille du bassin est grande, plus le débit de pointe est élevé à l'exutoire (capacité de mobilisation des eaux plus importante dans un grand bassin par rapport à un bassin

plus petit)²⁵. L'analyse de quelques paramètres du bilan de l'écoulement assure la transition vers la forme de l'hydrogramme unitaire du bassin versant.

- Analyse de la forme de l'hydrogramme unitaire simulé du bassin

L'hydrogramme unitaire est l'hydrogramme de ruissellement direct résultant d'une pluie nette, uniforme et constante, d'une durée qui génère un écoulement sur l'ensemble du bassin. De cet hydrogramme unitaire, on peut facilement faire ressortir l'hydrogramme provoquée par n'importe quelle hauteur de pluie nette, en se référant à sa règle fondamentale : la relation pluie nette et ruissellement est linéaire.

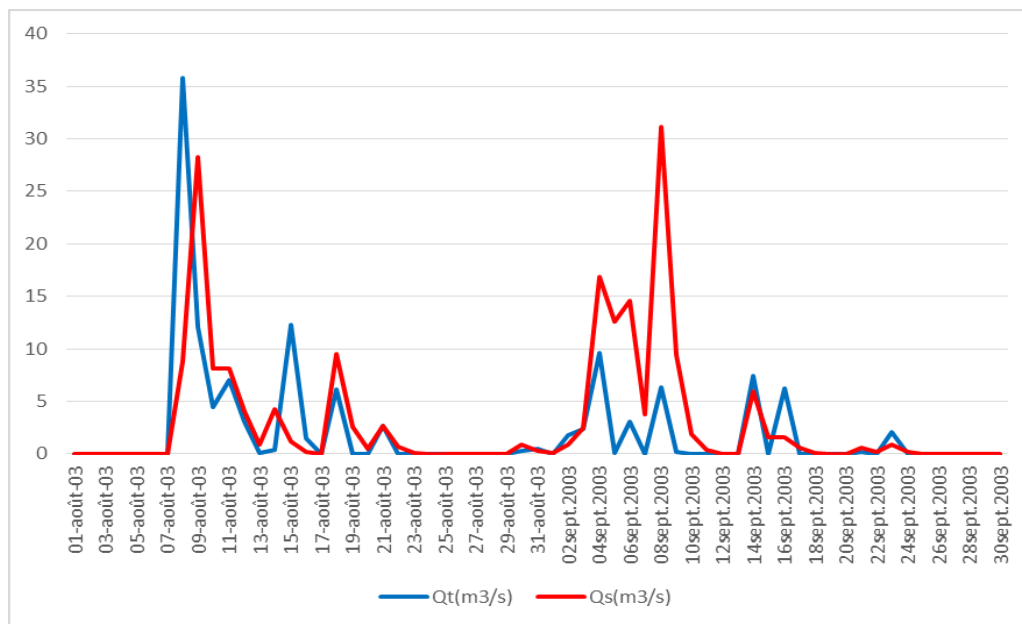


Figure 12 : Hydrogramme unitaire du bassin versant de Ourossogui

L'analyse à partir des débits simulés (Q_{sm}^3/s) montre que l'hydrogramme unitaire du bassin versant de Ourossogui présente une pointe maximale et une pointe minimale à l'échelle de chaque mois. Au mois d'août, la durée de pointe maximale s'étend sur environ 72 h avec un débit total de $45,2 \text{ m}^3/s$ et celle minimale sur 48 h avec un débit total de $12,2 \text{ m}^3/s$. Au mois de septembre, la durée de pointe minimale s'allonge sur environ 72 h, avec un débit total de $19,4 \text{ m}^3/s$ et celle maximale, sur une durée de 48h, avec un débit total de $40,5 \text{ m}^3/s$. Les temps de décente de l'hydrogramme à l'échelle des deux mois est toujours plus long que celui des temps de montée. Ils durent plusieurs jours comme l'indique cette figure 6.

L'étude de la forme d'un hydrogramme à partir de débits spécifiques permet d'aller vers un essai d'estimation du régime hydrologique du bassin versant de Ourossogui sur la base des données de sorties du modèle HEC-HMS.

Estimation du régime hydrologique du bassin versant de Ourossogui : Les données résultantes de la première période de simulation ont été utilisées pour apprécier le régime hydrologique du bassin versant de Ourossogui, qui demeure cependant un bassin à écoulement temporaire.

²⁵ D'après les références du manuel de l'IRD : *Crues et apports. Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugeés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche (1998)* ; le bassin versant de Ourossogui appartient au bassin de grande taille.

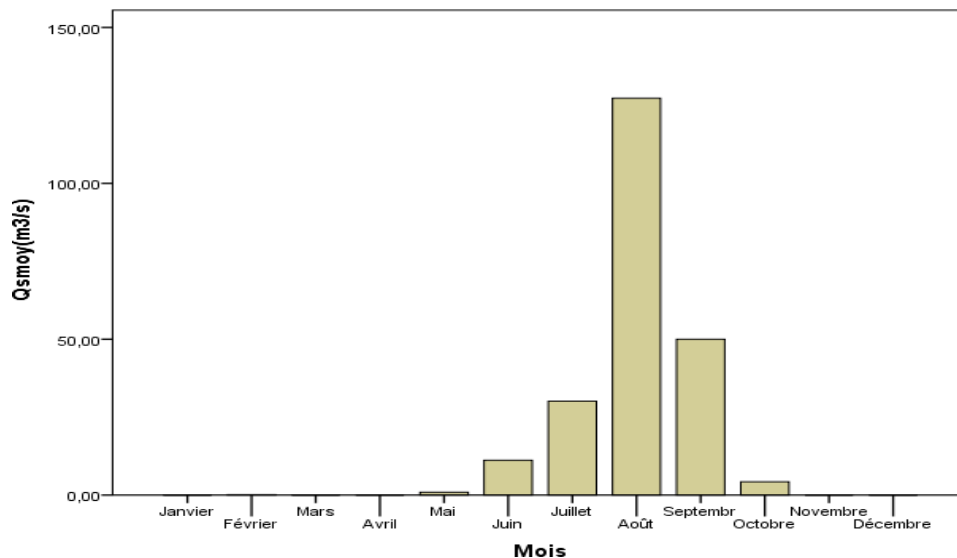


Figure 13 : Débits moyens par mois entre 2005 et 2015

Source : données des sorties de HEC-HMS

Sur la normale des données établies sur la période 2005-2015, le débit moyen est de 18,65 m³/s. Le débit moyen maximal est de 127,33 m³/s en août. En revanche, 0 m³/s est le débit le plus faible. Il est observé durant les mois de janvier, février, mars, avril, novembre et décembre. Connaissant les débits moyens par mois depuis 2005, nous pouvons déterminer les valeurs des modules mensuels moyens. On le calcule en prenant la moyenne arithmétique des douze débits moyens mensuels ; cette moyenne pour être strictement exacte, devant être pondérée par le nombre de jours de chaque mois. Les hautes eaux sont concentrées durant 3 à 4 mois (juillet, août, septembre et octobre), la saison des basses eaux s'étend de novembre à mai, et le mois de juillet apparaît comme un mois en position entre les hautes eaux et les basses eaux dans le bassin.

2.3.2. Fonctionnement hydrogéomorphologique du bassin versant de Oourossogui : un écoulement par torrentialité de type ravinement, influencé par les changements d'occupations du sol

La mise en service de la modélisation comme outil pour la compréhension du fonctionnement hydrogéomorphologique des bassins versants, et d'aide à la décision est l'une des meilleures méthodes reconnues comme à la fois simple et fructueuse. Dans cette optique, la présente étude s'intéressait premièrement à appliquer une combinaison modulaire appropriée du modèle HEC-HMS au niveau du bassin versant de Oourossogui. Ensuite, après avoir été validé sur des événements sélectionnés pour les simulations, l'étude s'est penchée sur l'utilisation de ce modèle pour comprendre le comportement hydrogéomorphologique du bassin vis-à-vis des scénarios de modifications de l'occupation du sol, conduits par l'anthropisation (urbanisation) du milieu. Pour y arriver, les débits de sorties de simulation sur des échelles de temps considérés ont été choisis, et corrélés avec les superficies de dates équivalentes de la trame urbaine du bassin versant par un modèle statistique de régression linéaire.

Le modèle de régression linéaire est une technique qui permet de décrire la liaison entre la variable dépendante ou expliquée et une ou plusieurs variables explicatives. Il s'agit d'une analyse statistique dans un espace à plusieurs dimensions et constitue une simple extension de régressions polynomiales et d'analyse de tendances.

Soit une variable Y que l'on veut relier à m variables, X par le modèle linéaire suivant de la forme :

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_mX_m + \Sigma$$

Avec Y : la variable dépendante ; B_m : les coefficients de régressions partiels et m : le nombre de variables indépendantes.

Les résultats sont présentés sur le tableau et la figure qui suivent.

Tableau VII : Statistique du modèle de régression linéaire

Variation de R ²	Alpha	Sig. (P-value)
0,128	0,6 %	0,554

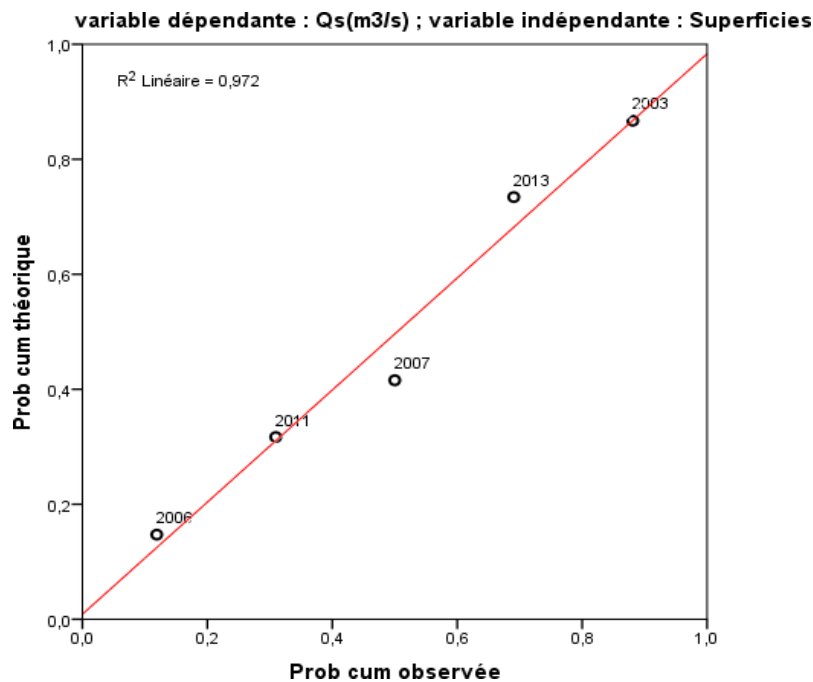


Figure 14 : Diagramme gaussien P-P de régression de Résidu standardisé

Le modèle statistique a permis de détecter les liaisons linéaires qui existent entre les deux variables (débits et superficies). En effet, les résultats du test statistique inférentielle montrent qu'avec un seuil de significativité (Alpha) de 0,6 %, la P-value est évaluée à 0,554. Ce qui nous permet de rejeter l'hypothèse nulle et d'adopter celle alternative. Autrement dit, avec 55,4 % de certitude, l'évolution des débits dans le bassin versant de Ourossogui est susceptible d'être expliquée par l'urbanisation progressive du milieu. La figure 8 confirme cette observation. Elle montre sur un plan orthogonal, les probabilités de correspondance entre les relations constatées (débits expliqués par l'évolution des superficies urbanisées) et résultats théorisés par le modèle linéaire. Les résultats semblent être satisfaisants avec notamment un R² linéaire de 0,972.

Dans le bassin versant de Ourossogui, le débit de pointe des eaux peut théoriquement augmenter soit par une augmentation du coefficient de ruissellement, soit par une modification de la configuration des précipitations. Dans ce dernier cas, deux options théoriques semblent se mettre en évidence. Soit il y a une augmentation de la durée de la pluie, ce qui peut entraîner une amplification des flux ravinant en continu plus qu'avant suite à la longue distance de connectivité entre la ligne de partage des eaux et le fond de vallée, soit il y a une augmentation de l'intensité des pluies de pointe. Ces deux possibilités peuvent se produire conjointement.

L'accroissement des coefficients de ruissellement engendre une alternance des processus d'érosion et de sédimentation. L'organisation des écoulements dans le bassin de Ourossogui s'apparente un peu au schéma décrit par Le-breton (2009) dans le Sahel nigérien. Le processus varie en fonction des zones sur lesquels l'on situe dans le bassin.

- Dans les parties hautes du bassin versant, les écoulements engendrent des ravinelements dont les évolutions sont rapides, et les formes variables en fonction des caractéristiques de pente. Le réseau de ravines s'accompagne d'une complexification, qui se traduit par une multiplication de leurs points de jonction. Ceci a pour conséquence un morcellement des versants en interfluves plus ou moins vastes, vers lesquels avancent certains quartiers du Nord-ouest et du Sud-ouest de la ville.
- A mi-versant, correspondant à la partie aval de la zone collinaire et à la tranchée urbaine, une galerie d'obstacles freine les écoulements. La conséquence est un effet de refoulement des ondes de crue, inondant ainsi certains quartiers situés à proximité.
- A l'aval de cette zone, la morphodynamique peut reprendre sous l'effet combiné de la torrencialité de certains axes ne rencontrant pas d'obstacles sur leur trajet et/ou des échappées de crues, conditionnées par certaines ouvertures de ponts ou d'obstructions latérales sur la RN2.
- A l'exutoire du bassin versant, se trouvent les mares et les cuvettes argileuses du *Walo*. Ce sont elles qui accueillent les volumes hydro-sédimentaires transférés depuis l'amont du bassin et le plateau polygénique du Ferlo. Par le même processus que celui observé à mi-versant, des zones d'épandages de taille croissante s'établissent dans ces mares. Il se produit progressivement dans certains endroits un comblement par des matériaux sédimentaires de granulométries différentes.

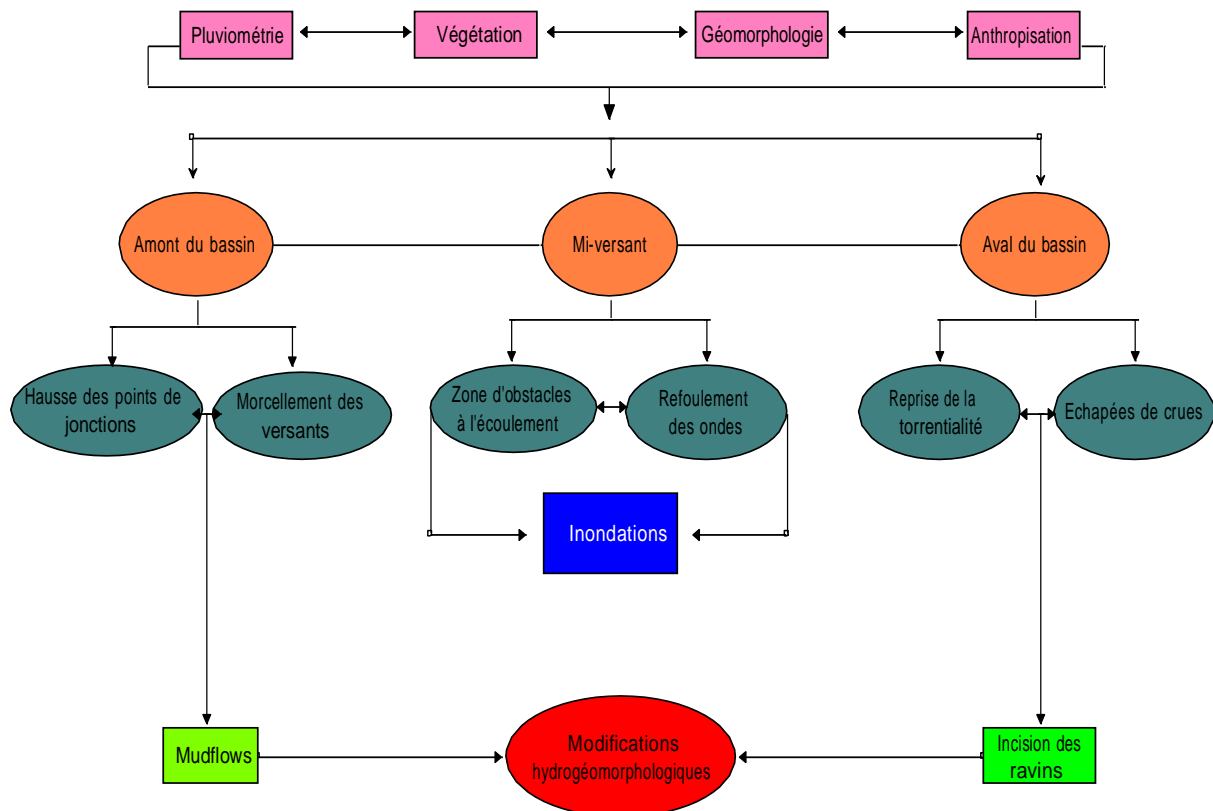
La planche suivante illustre les situations de torrencialité dans les différentes sections du bassin versant de Ourossogui.



Planche 1 : Situations de torrencialité par ravinement dans les différentes sections du bassin versant de Ourossogui

En haut et à gauche, on est sur la partie amont et à droite, on est à mi-versant. En bas et à gauche, on est toujours à mi-versant, mais en face d'une situation de refoulement de l'onde de crue et sur la dernière photo située en bas et à droite, on assiste à une séquence d'échappée de flux hydro-sédimentaires. Ces derniers terminent leur trajet dans la zone d'épandage du bassin, qui fonctionne comme un cône de d'éjection.

L'intensité des processus d'écoulement sous l'effet d'une torrencialité conduite par la morphodynamique hydrique par le ravinement dans le bassin versant de Oourossogui aurait été moindre si l'écosystème évoluait dans sa trajectoire naturelle, c'est-à-dire sans transformation d'origine anthropique. De par son mode d'occupation du sol, l'Homme est devenu un agent amplificateur des processus hydrogéomorphologiques à l'échelle des bassins versants, notamment à travers ses infrastructures routières. La figure 10 fait une synthèse de l'organisation de l'écoulement dans le bassin versant de Oourossogui.



Lire en rose : facteurs et agents de la dynamique du ravinement ; en orange : secteurs du bassin versant ; en violet : processus observés et en vert : conséquences de ces processus

Figure 15 : Modèle d'analyse du schéma d'organisation de l'écoulement dans le bassin versant de Oourossogui

DISCUSSION

Les résultats issus de cette étude confirment l'hypothèse du paradoxe hydrologique au Sahel mis en évidence ces dernières années par des géomorphologues et hydrologues ayant travaillé sur des bassins versants non jaugés du Sahel. A cet effet, les réflexions de Sow (2018) signalaient que l'évolution hydrogéomorphologique la plus évidente au cours de ces dernières années dans le Sahel sénégalais est le changement de régime des écoulements de surface. Les débits d'étiage très bas et des crues éclaires et très puissantes s'alternent souvent dans la zone

sahélienne. Ce qui a des conséquences hydrogéomorphologiques remarquables dans les savanes sahéliennes. Dans la même perspective, Sow et Gaye (2016) ayant travaillé avec le modèle HEC-HMS avait montré qu'à la station de Matam (dans le Sahel sénégalais), corrélativement au retour vers la normale de la pluviométrie, les écoulements ont connu une hausse entre 1983 et 2013.

Suite au retour à la normale de la pluviométrie amorcée vers la fin des années 1990, les écoulements de type ravinement au niveau des bassins versants sahéliens ont connu une ampleur considérable dans leurs progressions. Les études issues des savanes ouest et centre africaines (Balzerek et *al.*, 2003 ; Sahandi, 2011 ; Descroix et *al.*, 2013 et Mounirou, 2012) mettent en évidence l'intensification de cette morphodynamique hydrique et de ses conséquences à la fois hydrogéomorphologique et socioéconomique. Les écoulements deviennent plus intenses sur les formations superficielles, avec comme corollaire l'ensablement des mares, la recharge de la nappe dans des milieux endoréiques, une érosion des versants (Bouzou Moussa, 2009) et des inondations.

Par ailleurs, les travaux de Sow et *al.* (2017) et Dia et Sow (2020) avaient signalé que l'apport consécutif des flux hydro-sédimentaires sous l'effet de la torrentialité par ravinement modifie fortement la dynamique des torrents, en élargissant leur largeur et profondeur. Par phénomène d'incision linéaire dans ces axes hydrauliques, la torrentialité par ravinement fait souvent générer des mouvements de masse consécutifs aux décapements verticaux, récurrents le long des berges de ravins. Systématiquement, des berges et des formations végétales s'écroulent dans les secteurs amont des bassins versant, où les ravins sont en berceau. L'accélération de cette forme de morphodynamique hydrique montre l'évidence d'une hausse des transferts de volumes hydro-sédimentaires, responsables des modifications hydrogéomorphologiques se traduisant souvent sous forme d'inondations à l'échelle des bassins versants anthropisés du Sahel. Aujourd'hui, un nouveau rapport²⁶ entre l'Homme et son milieu que des années de forte variabilité pluviométrique ont favorisé s'est imposé dans les bassins sahéliens, sans efforts d'accompagnement en matière d'aménagement du territoire. Cette tendance semble être un élément structurant de l'hydrogéomorphologie actuelle de ces bassins versant, suite à l'amplification de la torrentialité par ravinement sur les versants des collines, et aux récurrentes inondations (Sow, 2018) dont ils sont victimes.

CONCLUSION

L'analyse des données pluvio-hydrométriques du bassin versant de Ourosogui témoigne une variabilité des réponses érosives aux épisodes pluvieux. Les écoulements sont liés à la pluviosité totale et à l'intensité de la pluie. L'étude de la réponse érosive du bassin a montré que les taux de concentrations de sédiments en transit sont également variables selon la saison. Les concentrations maximales sont fortement liées aux intensités maximales de la pluie. Les phénomènes érosifs majeurs se produisent principalement durant les mois d'août et de septembre. Les épisodes érosifs de juillet sont peu nombreux mais peuvent cependant être très productifs en apports sédimentaires. Ils correspondent à des pluies orageuses enregistrées au début de l'hivernage.

La modélisation par HEC-HMS a permis à travers des simulations de scénarios pluie-débit, de comprendre le fonctionnement hydrogéomorphologique actuel du bassin versant, qui est fortement influencé par les changements d'occupation des sols dans un contexte de réactivation de la morphodynamique hydrique par ravinement. Cependant cette modélisation comporte des biais et des limites. Les pointes de crue sont bien modélisées, mais pas les phases de décrue, dont la rapidité est grossièrement surestimée par le modèle. On peut en conclure que le modèle est admissible pour la montée des eaux, mais nécessite l'introduction de nouveaux paramètres

²⁶ Anthropisation progressive par urbanisation, non-respect des normes, négligences des autorités publiques, etc.

pour simuler correctement la décrue. D'autres événements pluie-débits devraient être testés dans le bassin versant afin d'y rendre le modèle plus polyvalent. Et la méthode pourrait être transposée sur une base temporelle horaire, mais aussi sur une base continue : simuler l'évolution des débits sur plusieurs années en utilisant un pas de temps horaire.

BIBLIOGRAPHIE

- AMBROISE Bruno, 1998, *La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant - Processus, Facteurs, Modèles*, Bucarest, Edition HGA, 200 p.
- BLASZCZYNSKI Jacek, 1997, Landform characterization with geographic information systems. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **63**, 183-191 pp.
- BOUZOU Moussa Ibrahim, 2009, Les conséquences géomorphologiques de l'occupation du sol et des changements climatiques dans un bassin-versant rural sahélien. *Sécheresse*, **Numéro 1, Volume 20**, 145-52 pp.
- DESCROIX Luc, 2013, La crue de 2012 à Niamey : un paroxysme du paradoxe du Sahel ?. *Sécheresse*, **Numéro 24**, 3-13 pp.
- LE BRETON Eric, 2009, Réponses hydrologiques et géomorphologiques aux changements environnementaux au Sahel nigérien. Université de Paris 1– Panthéon Sorbonne. Thèse de Doctorat en Géographie, Université Panthéon Sorbonne, 255 p.
- MOUNIROU Lawani, 2012, Étude du ruissellement et de l'érosion à différentes échelles spatiales sur le bassin versant de Tougou en zone sahélienne du Burkina Faso : Quantification et transposition des données. Thèse de Doctorat en Hydrologie, Université Montpellier II et de Fondation 2iE, 249 p.
- MUSY Alfred. et HIGY Christophe, 2004, *Hydrologie (Une science de la nature)*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 314 p.
- NDIAYE Ousmane, 2016, Contribution à la connaissance des phénomènes d'inondation en domaine sahélien au Sénégal : analyse des précipitations, du réseau hydrographique et modélisation pluie-débit dans le bassin versant de Bambey. Université Gaston Berger, Thèse de Doctorat de Géographie, 266 p.
- OSTROM, 1998, *Crues et apports. Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche*. IRD, 265 p.
- Muhindo Sahani., 2011, Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo (Nord-Kivu /RDC). Thèse de doctorat de Géographie, Université de Liège, 300 p.
- SOW Seydou Alassane, 2018, Morphodynamique hydrique par ravinement et ses conséquences dans le bassin versant de Ourosogui, Nord du Sénégal, Thèse de Doctorat de Géographie, Université Gaston Berger de Saint-Louis du Sénégal, 328p.
- SOW Seydou Alassane, SY Amadou Abou et FAYE Cheikh Ahmed Tidiane, 2017, Résultats du suivi 2014-2016 de l'évolution de la morphodynamique hydrique par ravinement dans le bassin versant de Ourosogui (Nord du Sénégal). *Revue Marocaine de Géomorphologie (RéMaGéom)*, **Numéro 1**, 78-94 pp.
- SOW Seydou Alassane, 2013, Les inondations dans la commune de Ourosogui : problèmes d'assainissement et enjeux socio-économiques. Mémoire de Master 2 de Géographie, Université Gaston Berger de Saint-Louis du Sénégal, 148 p.
- SOW Seydou Alassane et GAYE Demba, 2016, Impacts des variations pluviométriques sur les écoulements de surface dans la vallée du Sénégal, *Revue de Géographie de l'Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO*, **N° 05, Vol. 2**, pp. 167-183.

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

1- Contexte, Justification et Objectifs du journal

Le développement des territoires ruraux est une préoccupation prise en compte par de nombreux organismes internationaux que nationaux à travers les projets et programmes de développement.

En Afrique, le défi du développement est indissociable du devenir des espaces ruraux. Les territoires ruraux sont caractérisés par d'importantes activités rurales qui influencent sur la dynamique du monde rural et la restructuration des espaces ruraux.

En effet, de profondes mutations s'observent de plus en plus au sein du monde rural à travers les activités agricoles et extra agricoles. Des innovations s'insèrent dans les habitudes traditionnelles des ruraux. Cela affecte sans doute le système de production des biens et services et les relations entre les villes et campagnes.

Ainsi, dans ce contexte de mutation sociétale, de nouvelles formes d'organisation spatiale s'opèrent. Ces nouvelles formes dénotent en partie par les différents modes de faire-valoir. Aussi, plusieurs composantes environnementales sont-elles impactées et nécessitent donc une attention particulière qui interpelle aussi bien les dirigeants politiques, les organismes non étatiques et les populations locales pour une gestion durables des espaces ruraux.

Par ailleurs, le contexte de la décentralisation, le développement à la base implique toutes les couches sociales afin d'amorcer réellement le développement. Ainsi, la femme rurale, à travers le rôle qu'elle joue dans le système de production de biens et services, mérite une attention particulière sur le plan formation, information et place dans la société en pleine mutation.

Enfin, en analysant le contexte socioculturel et l'évolution de la croissance démographique que connaissent les campagnes, les questions d'assainissement en milieu rural doivent de plus en plus faire l'objet des préoccupations majeures à tous les niveaux de prises de décision afin de garantir à tous un cadre de vie sain et réduire l'extrême pauvreté en milieu rural.

Le premier numéro du Journal de Géographie Rurale Appliquée et Développement (*J_GRAD*) du Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA) s'inscrit dans la logique de parcourir de façon profonde tous les aspects liés au monde rural. A ce titre, les axes thématiques prioritaires ci-après seront explorés.

Axe 1 : Dynamique des espaces ruraux et Aménagement de l'espace rural

- ✓ Mutations spatiales et dynamique des espaces ruraux ;
- ✓ Gestion du foncier rural et environnementale ;
- ✓ Climat, aménagements hydroagricoles ;
- ✓ SIG et gestion des territoires ruraux ;
- ✓ Gouvernance et planification des espaces ruraux.

Axe 2 : Economie rurale

- ✓ Activités agricoles et sécurité alimentaire ;
- ✓ Ecotourisme ;
- ✓ Artisanat rural ;
- ✓ Territoires, mobilité et cultures.

Axe 3 : Genre et développement rural

- ✓ Femmes et activités rurales ;
- ✓ Développement local ;
- ✓ Echanges transfrontaliers dans les espaces ruraux ;
- ✓ Hygiène et assainissement en milieu rural.

2. Instructions aux auteurs

Politique éditoriale

Le Journal de Géographie Rurale Appliquée et Développement (*J_GRAD*) publie des contributions originales en français ou en anglais dans tous les domaines de la science sociale.

Les contributions publiées par le journal représentent l'opinion des auteurs et non celle du comité de rédaction. Tous les auteurs sont considérés comme responsables de la totalité du contenu de leurs contributions.

Le Journal de Géographie Rurale Appliquée et Développement (*J_GRAD*) est semestrielle. Il apparaît deux fois par an, tous les six mois (juin et décembre).

Soumission et forme des manuscrits

Le manuscrit à soumettre au journal doit être original et n'ayant jamais été fait objet de publication au paravent. Le manuscrit doit comporter les adresses postales et électroniques et le numéro de téléphone de l'auteur à qui doivent être adressées les correspondances. Ce manuscrit soumis au journal doit impérativement respecter les exigences du journal.

La période de soumission des manuscrits est de : 10 août au 10 septembre 2022.

Retour d'évaluation : 10 octobre 2022.

Date de publication : 15 décembre 2022.

Les manuscrits sont envoyés sur le mail du journal de Géographie Rurale Appliquée et Développement (*J_GRAD*) à l'adresse: journalgrad35@gmail.com avec copie à Monsieur Moussa GIBIGAYE <moussa_gibigaye@yahoo.fr>.

Langue de publication

J_GRAD publie des articles en français ou en anglais. Toutefois, le titre, le résumé et les mots clés doivent être donnés dans deux langues (anglais et français).

Page de titre

La première page doit comporter le titre de l'article, les noms des auteurs, leur institution d'affiliation et leur adresse complète. Elle devra comporter également un titre courant ne dépassant pas une soixantaine de caractères ainsi que l'adresse postale de l'auteur, à qui les correspondances doivent être adressées.

- Le titre de l'article est en corps 14, majuscule et centré avec un espace de 12 pts après le titre (format > paragraphe > espace après : 12 pts).
- Les noms et prénoms des auteurs doivent apparaître en corps 12, majuscule et centré et en italique.
- Les coordonnées des auteurs (appartenance, adresse professionnelle et électronique) sont en corps 10 italique et alignés à gauche.

Résumé

Le résumé comporte de 250 à 300 mots et est présenté en Français et en Anglais. Il ne contient ni référence, ni tableau, ni figure et doit être lisible. Il doit obligatoirement être structuré en cinq parties ayant respectivement pour titres : « Description du sujet », « Objectifs », « Méthode », « Résultats » et « Conclusions ». Le résumé est accompagné d'au plus 05 mots-clés. Le résumé et les mots-clés sont composés en corps 9, en italique, en minuscule et justifiés.

Introduction

L'introduction doit fournir suffisamment d'informations de base, situant le contexte dans lequel l'étude a été réalisée. Elle doit permettre au lecteur de juger de l'étude et d'évaluer les résultats acquis.

Corps du sujet

Le corps du texte est structuré suivant le modèle IMReD. Chacune des parties joue un rôle précis. Elles représentent les étapes de la présentation.

Introduction

L'introduction doit indiquer le sujet et se référer à la littérature publiée. Elle doit présenter une question de recherche.

L'objectif de cette partie est de mettre en avant l'intérêt du travail qui est décrit dans l'article et de justifier le choix de la question de recherche et de la démarche scientifique.

Matériel et méthodes

Cette partie doit comprendre deux volets : présentation succincte du cadre de recherche et l'approche méthodologique adoptée.

2.3.5.3 Résultats

Les résultats sont présentés sous forme de figures, de tableaux et/ou de descriptions. Il n'y a pas d'interprétation des résultats dans cette partie. Il faut particulièrement veiller à ce qu'il n'y ait pas de redondance inutile entre le texte et les illustrations (tableaux ou figures) ou entre les illustrations elles-mêmes.

2.2.5.4 Discussion

La discussion met en rapport les résultats obtenus à ceux d'autres travaux de recherche. Dans cette partie, on peut rappeler l'originalité et l'intérêt de la recherche. A cet effet, il faut mettre en avant les conséquences pratiques qu'implique cette recherche. Il ne faut pas reprendre des éléments qui auraient leur place dans l'introduction.

Conclusion

Cette partie résume les principaux résultats et précise les questions qui attendent encore des réponses.

Les différentes parties du corps du sujet doivent apparaître dans un ordre logique.

L'ensemble du texte est en corps 12, minuscule, interligne simple, sans césure dans le texte, avec un alinéa de première ligne de 5 mm et justifié (Format > paragraphe > retrait > 1ère ligne > positif > 0,5 cm). Un espace de 6 pts est défini après chaque paragraphe (format > paragraphe > espace après : 6 pts). Les marges (haut, bas, gauche et droite) sont de 2,5 cm.

- Les titres (des parties) sont alignés à gauche, sans alinéa et en numérotation décimale
- La hiérarchie et le format des titres seront les suivants :

Titre de premier ordre : (1) MAJUSCULE GRAS justifié à gauche

Titre de 2ème ordre : (1-1) Minuscule gras justifié à gauche

Titre de 3ème ordre : (1-1-1) Minuscule gras italique justifié à gauche

Titre de 4ème ordre : (1-1-1-1) Minuscule maigre ou puces.

Rédaction du texte

La rédaction doit être faite dans un style simple et concis, avec des phrases courtes, en évitant les répétitions.

Remerciements

Les remerciements au personnel d'assistance ou à des supports financiers devront être adressés en terme concis.

Références

Les passages cités sont présentés en romain et entre guillemets. Lorsque la phrase citant et la citation dépassent trois lignes, il faut aller à la ligne, pour présenter la citation (interligne 1) en romain, en diminuant la taille de police d'un point. Les références de citation sont intégrées au texte citant, selon les cas, des façons suivantes :

- (Initiale(s) du Prénom ou des Prénoms de l'Auteur, année de publication, pages citées);

Exemples :

1-Selon C. Mathieu (1987, p. 139) aucune amélioration agricole ne peut être réalisée sans le plein accord des communautés locales et sans une base scientifique bien éprouvée ;

2-L'autre importance des activités non agricoles, c'est qu'elles permettent de sortir les paysans du cycle de dépendance dans laquelle enferment les aléas de la pluviométrie (M. Gueye, 2010, p. 21) ;

3-K. F. Yao *et al.*, (2018, p.127), estime que le conflit foncier intervient également dans les cas d'imprécision ou de violation des limites de la parcelle à mettre en valeur. Cette violation des limites de parcelles concédées engendre des empiètements et des installations d'autres migrants parfois à l'issue du donateur.

Les sources historiques, les références d'informations orales et les notes explicatives sont numérotées en série continue et présentées en bas de page. Les divers éléments d'une référence bibliographique sont présentés comme suit :

- Nom et Prénom (s) de l'auteur, Année de publication, Zone titre, Lieu de publication, Zone Éditeur, les pages (pp.) des articles pour une revue.

Dans la zone titre, le titre d'un article est présenté en romain et entre guillemets, celui d'un ouvrage, d'un mémoire ou d'une thèse, d'un rapport, d'une revue ou d'un journal est présenté en italique. Dans la zone Éditeur, on indique la Maison d'édition (pour un ouvrage), le Nom et le numéro/volume de la revue (pour un article). Au cas où un ouvrage est une traduction et/ou une réédition, il faut préciser après le titre le nom du traducteur et/ou l'édition (ex : 2ndeéd.). Les références bibliographiques sont présentées par ordre alphabétique des noms d'auteur.

Références bibliographiques Article

dans revue

GIBIGAYE Moussa, HOUINSOU Auguste, SABI YO BONI Azizou, HOUNSOUNOU Julio, ISSIFOU Abdoulaye et DOSSOU GUEDEGBE Odile, 2017, Lotissement et mutations de l'espace dans la commune de Kouandé. *Revue Scientifiques Les Cahiers du CBRST*, **12**, 237-253

Ouvrages, rapport

IGUE Ogunsola John, 2019, *les activités du secteur informel au Bénin : des rentes d'opportunité à la compétitivité nationale*, Paris, France, Karthala, 252 p.

Articles en ligne

BOUQUET Christian et KASSI-DJODJO Irène, 2014, « Déguerpir » pour reconquérir l'espace public à Abidjan. In : *L'Espace Politique*, mis en ligne 17 mars 2014, consultée le 04 août 2017. URL : <http://espacepolitique.revues.org/2963>

Chapitre d'ouvrage

OFOUEME-BERTON Yolande, 1993, Identification des comportements alimentaires des ménages congolais de Brazzaville : stratégies autour des plats, in Muchnik, José. (coord.). *Alimentation, techniques et innovations dans les régions tropicales*, 1993, Paris, L'harmattan, 167-174.

Thèse ou mémoire :

FANGNON Bernard, 2012, *Qualité des sols, systèmes de production agricole et impacts environnementaux et socioéconomiques dans le Département du Couffo au sud-ouest du Bénin*. Thèse de Doctorat en Géographie, EDP/FLASH/UAC, p.308

Frais d'inscription

Les frais de soumission sont fixés à 50.000 FCFA (cinquante mille Francs CFA).

Conformément à la recommandation du comité scientifique du Journal de Géographie Rurale Appliquée et Développement (*J_GRAD*), les soumissionnaires sont priés de bien vouloir s'acquitter de leur frais de publication dès la première soumission sur la plateforme de gestion des publications du Journal. Les articles ne seront envoyés aux évaluateurs qu'après paiement par les auteurs des frais d'instruction et de publication qui s'élèvent à cinquante mille francs (50.000 F CFA) par envoi RIA, MONEYGRAM ou par mobile money (**Préciser les noms et prénoms**) à **Monsieur SABI YO BONI Azizou** au numéro +229 97 53 40 77 (WhatsApp). Le reçu doit être scanné et envoyé à l'adresse suivante <journalgrad35@gmail.com> avec copie à Monsieur **Moussa GIBIGAYE** <moussa_gibigaye@yahoo.fr>.

Contacts

Pour tous autres renseignements, contacter l'une des personnes ci-après,

- Monsieur Moussa GIBIGAYE +229 95 32 19 53
- Monsieur FANGNON Bernard +229 97 09 93 59
- Monsieur SABI YO BONI Azizou +229 97 53 40 77