MODÉLISATION SPATIALE MULTICRITÈRE DE L'ÉROSION HYDRIQUE PAR MNT ET RÉANALYSE CLIMATIQUE À ZINIARÉ (BURKINA FASO)

MULTI-CRITERIA SPATIAL MODELLING OF WATER EROSION USING DEM AND CLIMATE REANALYSIS IN ZINIARÉ (BURKINA FASO)

OUEDRAOGO Ibrahim[1], GUELBEOGO Sidiki[2], KARAMBIRI Sheila Médina[1], YANOGO Pawendkisgou Isidore[3]

[1] Centre Universitaire de Ziniaré, Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso, ouedra.ibra16@gmail.com ; ksheilamedina@gmail.com
[2] Université Sib Sié Faustin, Gaoua, Burkina Faso, gsidiki76@gmail.com
[3] Université Norbert ZONGO, Koudougou, Burkina Faso, yanogoisi@gmail.com
Auteur de correspondance : OUEDRAOGO Ibrahim, ouedra.ibra16@gmail.com, +226 70 65 03 60

Résumé

La dégradation des terres pèse lourdement sur les systèmes agraires sahéliens, où la faiblesse du relief masque souvent des dynamiques érosives bien actives. À Ziniaré, le cumul annuel des pluies varie peu, mais leur agressivité semble croître. Sur un terrain presque plat, ce changement suffit-il à étendre les surfaces exposées à l'érosion hydrique ? L'étude vise à cartographier la susceptibilité à l'érosion hydrique de la commune et à mesurer son évolution sous le seul effet du forçage pluviométrique. Le produit Copernicus GLO-30 fournit la pente, le facteur topographique LS et la courbure de profil ; un indice topographique d'humidité complète ce jeu après routage hydrologique. Les précipitations journalières de la réanalyse ERA5-Land (1991-2025) servent au calcul de l'indice de Fournier modifié et du facteur d'érosivité R. Une pondération multicritère hiérarchique combine ces cinq critères, avec un ratio de cohérence de 0,016. L'agressivité pluviométrique augmente nettement : l'indice de Fournier modifié passe de 118,1 à 152,1 entre 1991-2008 et 2009-2025. Les surfaces classées en susceptibilité forte et très forte progressent de 38,6 à 42,5 % du territoire communal, soit près de 2 500 hectares gagnés. Sur ce relief peu contrasté, des pluies plus concentrées suffisent donc à aggraver le risque, ce qui appelle des mesures de conservation des eaux et des sols ciblées sur les versants de transfert.

Mots-clés : Érosion hydrique, géomatique, modèle numérique de terrain, agressivité pluviométrique, Ziniaré.

Abstract

Land degradation weighs heavily on Sahelian farming systems, where subdued relief often masks genuinely active erosion dynamics. In Ziniaré, annual rainfall totals vary little, yet rainfall aggressiveness appears to be rising. On almost flat terrain, is this change enough to extend the areas exposed to water erosion? The study aims to map water erosion susceptibility in the commune and to measure how it evolves under rainfall forcing alone. The Copernicus GLO-30 product supplies slope, the LS topographic factor and profile curvature; a topographic wetness index completes this set after hydrological routing. Daily precipitation from the ERA5-Land reanalysis (1991-2025) feeds the computation of the modified Fournier index and the R erosivity factor. An analytic hierarchy process weighting combines these five criteria, with a consistency ratio of 0.016. Rainfall aggressiveness increases markedly: the modified Fournier index rises from 118.1 to 152.1 between 1991-2008 and 2009-2025. Areas classified as highly and very highly susceptible grow from 38.6 to 42.5 % of the communal territory, a gain of nearly 2,500 hectares. On such subdued relief, more concentrated rainfall is therefore enough to raise the risk, which calls for soil and water conservation measures targeting transfer slopes.

Keywords: water erosion, geomatics, digital elevation model, rainfall aggressiveness, Ziniaré.

Introduction

La dégradation des sols pèse lourdement sur les économies rurales du Sahel. Les surfaces encroûtées gagnent du terrain, les rendements céréaliers stagnent, et les aménagements antiérosifs peinent à suivre le rythme de la pression foncière. Rien de nouveau au Burkina Faso. Le constat s'est pourtant compliqué ces dernières décennies d'un facteur que les travaux classiques abordaient peu : la transformation du régime pluviométrique, dans sa répartition comme dans son intensité.

L'érosion hydrique naît de la rencontre entre une énergie et une sensibilité. L'énergie vient de la pluie : son intensité détache les particules de sol, son volume alimente le ruissellement. La sensibilité tient au terrain, à sa pente, à la longueur de ses versants, à la manière dont l'eau y converge ou s'y disperse. E. ROOSE (1994, p25) rappelait déjà que dans les zones soudano-sahéliennes, l'intensité des averses dépasse largement la capacité d'infiltration de sols souvent battants et instables. Le relief n'a donc nul besoin d'être vigoureux pour que l'érosion opère. Les *zipellés*, ces surfaces dénudées et encroûtées caractéristiques du plateau mossi, témoignent d'une dégradation bien réelle.

Les travaux récents menés au Burkina Faso confirment l'actualité de la question. Dans la commune d'Arbollé, en zone nord-soudanienne, T. H. OUÉDRAOGO et al. (2026, p888) établissent que les pratiques agricoles conditionnent fortement les risques d'érosion hydrique sur des versants pourtant peu inclinés, ce qui conforte l'idée qu'un relief modeste n'exclut nullement une dynamique érosive active. Deux évolutions techniques permettent aujourd'hui de reprendre la question autrement. Les modèles numériques de terrain librement accessibles ont d'abord gagné en précision, à l'image du produit Copernicus GLO-30 issu de l'interférométrie radar. Les réanalyses climatiques globales offrent ensuite des séries longues et continues là où les stations météorologiques manquent ou présentent des lacunes. Croiser les deux ouvre la voie à une cartographie du risque qui intègre à la fois la structure du terrain et la dynamique récente des précipitations.

La cartographie du risque érosif s'est longtemps appuyée sur l'équation universelle de perte en terre formulée par W. H. WISCHMEIER et D. D. SMITH (1978, p4), dont les six facteurs se prêtent bien à un traitement en système d'information géographique. Son application aux milieux tropicaux a néanmoins buté sur des difficultés tenaces. Les coefficients d'érodabilité y sont rarement disponibles, les parcelles expérimentales de référence font défaut, et le facteur climatique réclame des enregistrements pluviographiques à pas de temps fin que les réseaux d'observation ouest-africains fournissent peu. D'où l'intérêt des approches multicritères, qui renoncent à chiffrer une perte en sol pour hiérarchiser les secteurs selon leur susceptibilité relative.

La méthode d'analyse hiérarchique développée par T. L. SAATY (1980, p18) s'est imposée dans ce registre. Elle rend explicite le raisonnement de l'analyste : chaque comparaison entre critères devient vérifiable, et la cohérence logique de l'ensemble se teste. Sa faiblesse est symétrique. Les pondérations dépendent d'un jugement d'expert, si bien que deux chercheurs peuvent aboutir à des cartes différentes à partir des mêmes données. La transparence sur les choix effectués devient dès lors une exigence méthodologique, non une précaution de style.

Ziniaré illustre bien ce paradoxe. La commune s'étend sur un plateau aux pentes presque nulles, et les surfaces dénudées y restent pourtant bien visibles. Le régime des pluies y a-t-il changé de nature, au point d'accroître l'énergie disponible pour l'érosion ? Si tel est le cas, cette seule évolution climatique suffit-elle, sur un relief aussi peu contrasté, à étendre les surfaces exposées ? Et quels secteurs du territoire communal concentrent alors le risque ? Ces questions guident le présent travail.

Pour y répondre, cette étude poursuit un objectif général : cartographier la susceptibilité à l'érosion hydrique dans la commune de Ziniaré en couplant paramètres topographiques et agressivité climatique des pluies. Trois objectifs spécifiques en découlent. Le premier consiste à caractériser l'évolution de l'agressivité pluviométrique sur la période 1991-2025. Le deuxième vise à dériver et hiérarchiser les critères topographiques qui conditionnent le ruissellement et le détachement des particules. Le troisième évalue l'évolution spatiale de la susceptibilité entre deux sous-périodes climatiques contrastées.

L'intérêt scientifique de la démarche tient à cette articulation entre une échelle communale, où se décident les aménagements, et un signal climatique dont la portée est régionale. L'intérêt socio-économique est plus direct encore : identifier les secteurs les plus exposés permet de cibler les investissements en conservation des eaux et des sols, dont le coût à l'hectare interdit toute intervention généralisée.

1. Outils et méthodes

1.1. Présentation de la zone d'étude

La commune de Ziniaré occupe la province du Bassitenga, région de l'Oubri, à une trentaine de kilomètres au nord-est de Ouagadougou. Elle s'étend approximativement entre 12°29' et 12°44' de latitude nord et entre 1°05' et 1°31' de longitude ouest. Le découpage administratif adopté en juillet 2025 a porté le pays à dix-sept régions et rebaptisé les circonscriptions selon des toponymes endogènes : l'ancienne région du Plateau-Central est devenue la région de l'Oubri, et la province de l'Oubritenga celle du Bassitenga.

La figure 1 situe la commune dans son cadre administratif et régional. Le secteur relève du domaine climatique nord-soudanien, marqué par une saison des pluies unimodale de juin à septembre et une longue saison sèche. Développé sur socle cristallin birimien, le relief se compose de glacis à faible pente qu'entrecoupent quelques buttes cuirassées, drainés par un réseau hydrographique temporaire tributaire du Nakanbé. L'emprise retenue pour l'analyse couvre 623,68 km² ; après rastérisation des limites à quatre-vingt-dix mètres, la surface effectivement traitée atteint 626,1 km², valeur qui sert de référence aux tableaux 2 et 4.

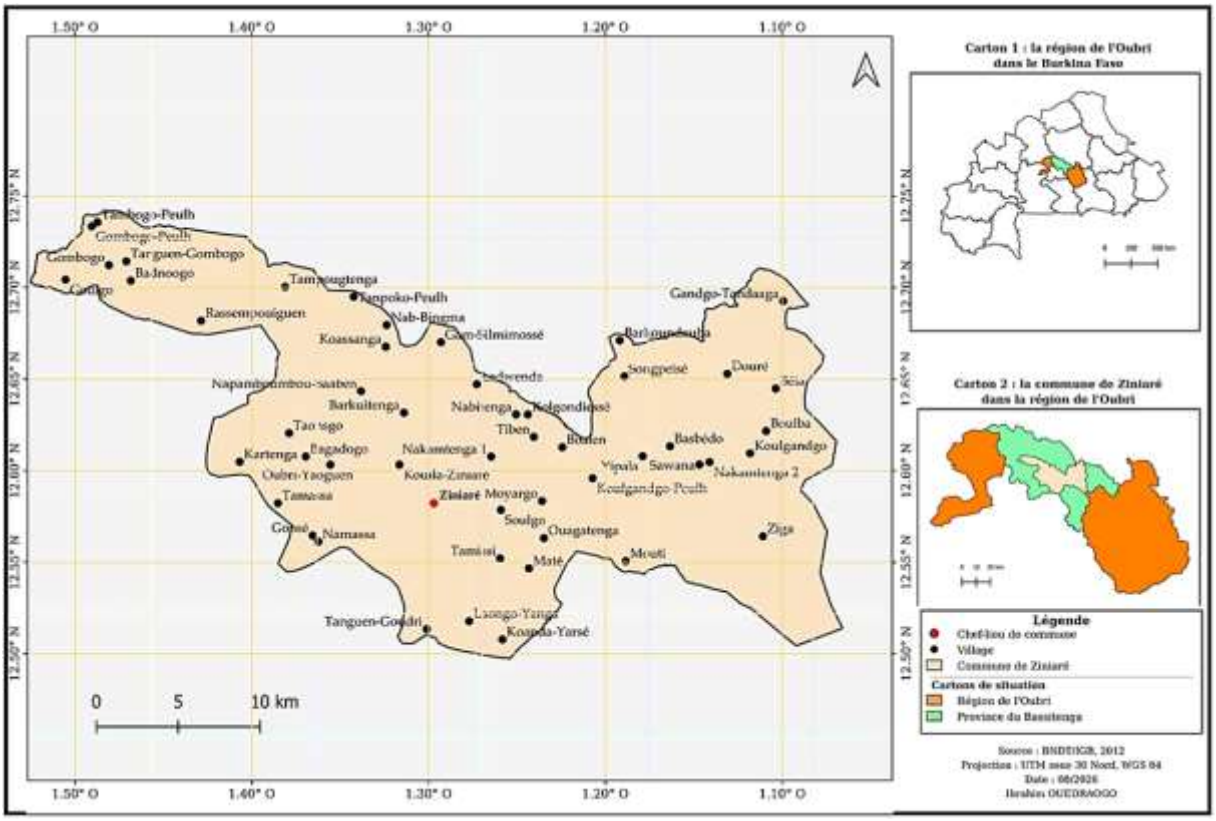


Figure 1 : Carte de localisation de la commune de Ziniaré dans la région de l'Oubri
Source : BNDT/IGB, 2012. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

1.2. Données mobilisées

Le modèle numérique de terrain provient du produit Copernicus GLO-30, dérivé de la mission TanDEM-X et distribué par l'Agence spatiale européenne à une résolution native de trente mètres. Il a été préféré au SRTM, dont le bruit instrumental crée de fausses micro-pentes en terrain plat. Le modèle a été rééchantillonné à quatre-vingt-dix mètres afin de disposer d'une grille commune à l'ensemble des critères, indice topographique d'humidité compris, avec un tampon de deux kilomètres afin que le routage hydrologique ne se trouve pas tronqué aux limites communales.

Les données climatiques proviennent de la réanalyse ERA5-Land du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (J. MUÑOZ-SABATER et al., 2021, p4352). Les précipitations et les températures de l'air à deux mètres ont été extraites au pas journalier. La série

journalière couvre 1991-2025, soit trente-cinq années complètes sans lacune, extraites au point de coordonnées 12,548° N et 1,302° O. Le fond administratif est issu de la Base nationale de données topographiques de l'Institut géographique du Burkina, édition 2012. Tous les traitements ont été conduits dans le système de projection UTM zone 30 Nord (EPSG : 32630).

1.3. Traitement climatique

L'agressivité des pluies a été quantifiée par l'indice de Fournier modifié. H. M. J. ARNOLDUS (1980, p128) l'a proposé pour dépasser les limites de l'indice initial de Fournier, qui ne retenait que le mois le plus pluvieux. L'indice modifié somme, sur les douze mois, le rapport entre le carré des précipitations mensuelles et le cumul annuel :

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \qquad \textbf{Équation 1}$$

où P_i désigne les précipitations du mois i et P le cumul annuel, exprimés en millimètres. Le facteur d'érosivité R en découle par la relation linéaire établie par H. M. J. ARNOLDUS (1980, p130) :

$$R = 4,17 \times IFM - 152 \qquad \textbf{Équation 2}$$

Les tendances ont été testées par la méthode non paramétrique de H. B. MANN (1945, p248) et M. G. KENDALL (1975, p65), adaptée aux séries pluviométriques qui ne suivent pas une distribution normale ; la pente a été estimée selon P. K. SEN (1968, p1381).

Plusieurs indices climatiques extrêmes ont enfin été calculés selon les définitions standardisées de l'*Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) : pluie maximale journalière annuelle, cumul maximal sur cinq jours consécutifs, nombre de jours dépassant dix puis vingt millimètres, intensité moyenne des jours pluvieux et durée maximale des séquences sèches consécutives. Ces indices renseignent sur la structure des pluies là où le cumul annuel reste muet.

1.4. Dérivées topographiques

Le traitement hydrologique a comporté le remplissage des dépressions, le calcul des directions d'écoulement et l'accumulation de flux. La pente a été dérivée par gradient sur le modèle corrigé, puis convertie en pourcentage. Le facteur topographique LS, qui combine longueur et inclinaison de versant, suit la formulation de I. D. MOORE et G. J. BURCH (1986, p1295) :

$$LS = \left(\frac{A_s}{22,13}\right)^{0,4} \times \left(\frac{\sin\beta}{0,0896}\right)^{1,3} \qquad \textbf{Équation 3}$$

où A_s représente la surface drainée amont par unité de largeur et β l'angle de pente. L'indice topographique d'humidité, défini par K. J. BEVEN et M. J. KIRKBY (1979, p46), a été calculé à partir de la surface drainée spécifique et de la tangente de la pente ; il localise les zones de convergence des écoulements et de saturation potentielle. La courbure de profil, dérivée seconde de l'altitude dans le sens de la pente, distingue enfin les segments concaves où l'écoulement décélère des segments convexes où il s'accélère.

1.5. Pondération multicritère et reclassification

Les cinq critères ont été hiérarchisés par la méthode d'analyse multicritère hiérarchique de T. L. SAATY (1980, p54). Une matrice de comparaison par paires a été construite selon l'échelle fondamentale à neuf degrés, la pente recevant le poids le plus élevé au motif qu'elle commande directement l'énergie du ruissellement. Le vecteur propre principal de cette matrice fournit les pondérations, dont le ratio CR = CI / RI vérifie la cohérence.

Chaque critère a été reclassé en cinq classes selon les quintiles de sa distribution locale, plutôt que selon les seuils absolus proposés dans la littérature. La carte produite exprime donc une susceptibilité relative au sein de la commune.

La reclassification de l'indice topographique d'humidité a par ailleurs été traitée de manière non monotone. Un indice très élevé signale en effet un bas-fond saturé, où les matériaux se déposent

plutôt qu'ils ne s'arrachent. Ce sont les valeurs intermédiaires, celles des versants de transfert, qui présentent le potentiel érosif le plus marqué. La note maximale leur a donc été attribuée.

L'indice de susceptibilité résulte de la somme pondérée des cinq critères reclassés, puis d'un découpage en cinq classes à intervalles égaux. Deux cartes ont été produites, l'une avec le facteur R moyen de 1991-2008, l'autre avec celui de 2009-2025, afin d'apprécier l'effet de l'évolution climatique à structure topographique constante. Ces deux sous-périodes, de dix-huit et dix-sept ans, partagent la série en deux moitiés de durée comparable ; le découpage ne repose pas sur un test de rupture et compare deux phases de la série plutôt que deux régimes statistiquement distincts. Extrait en un point unique, le facteur R prend par ailleurs une valeur uniforme sur toute la commune pour chaque sous-période. Sa variation relève l'indice de l'ensemble des pixels sans modifier sa structure spatiale, et c'est parce que les bornes des cinq classes sont restées identiques pour les deux cartes que ce relèvement se traduit par des changements de classe.

2. Résultats

2.1. Régime pluviométrique et évolution de l'agressivité des pluies

Le diagramme ombrothermique de la figure 2 révèle un régime pluviométrique nettement unimodal. Les précipitations se concentrent de juin à septembre, avec un maximum d'août atteignant 193,7 millimètres, tandis que les mois de novembre à mars restent pratiquement secs. Le cumul annuel moyen s'établit à 521,0 millimètres sur 1991-2025, pour un écart-type de 139,3 millimètres et un coefficient de variation de 26,7 pour cent. La figure 3 retrace l'évolution de ce cumul. La variabilité interannuelle y apparaît considérable : l'année 2004 n'a reçu que 309,2 millimètres, contre 917,0 millimètres en 2022.

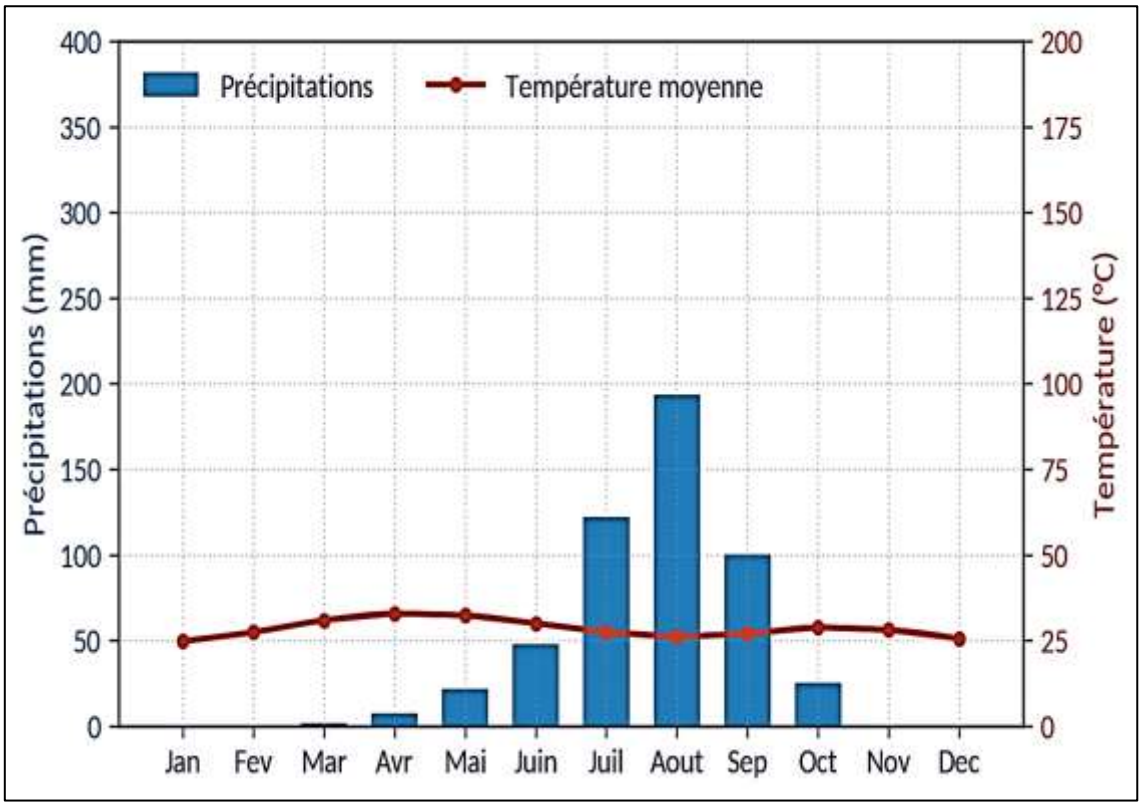


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Ziniaré (1991-2025)
Source : ERA5-Land, ECMWF/Copernicus C3S. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

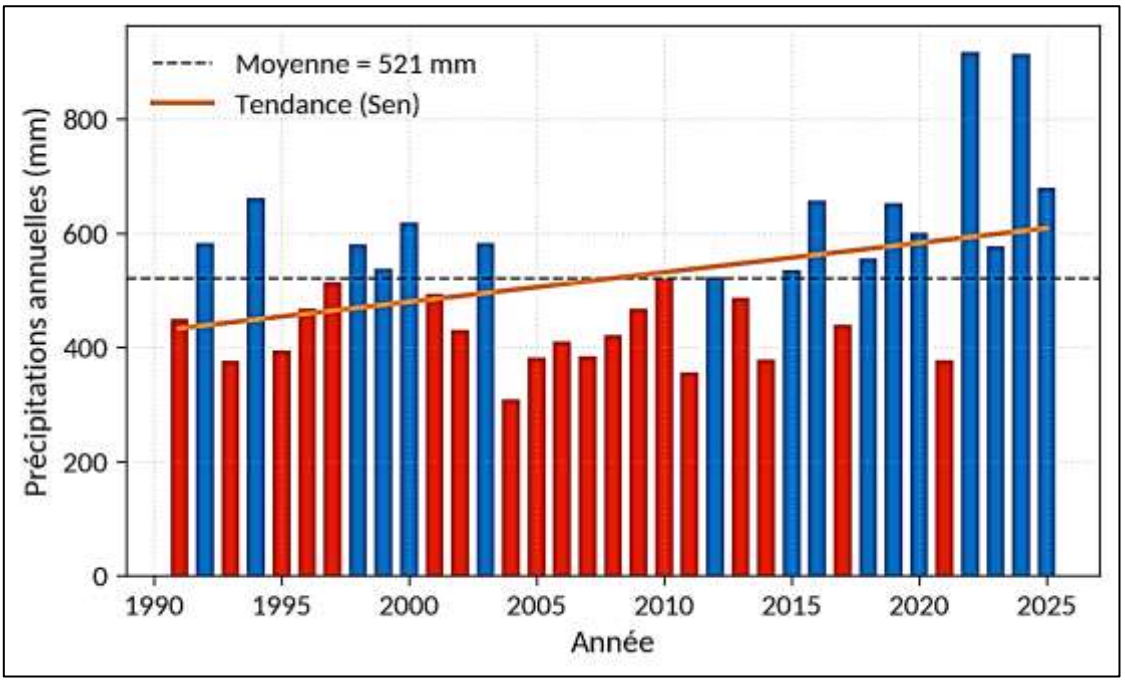


Figure 3 : Variabilité interannuelle des précipitations à Ziniaré (1991-2025)
Source : ERA5-Land, ECMWF/Copernicus C3S. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

La chronique fait apparaître une alternance de séquences déficitaires et excédentaires, sans périodicité marquée. Les années 1990 et le début des années 2000 concentrent les déficits les plus prononcés ; la dernière décennie enregistre à l'inverse plusieurs excédents notables, en 2018, 2021 et 2022. Cette reprise creuse un écart de 18,6 pour cent entre les moyennes des deux sous-périodes : 477,7 millimètres pour 1991-2008 contre 566,8 millimètres pour 2009-2025.

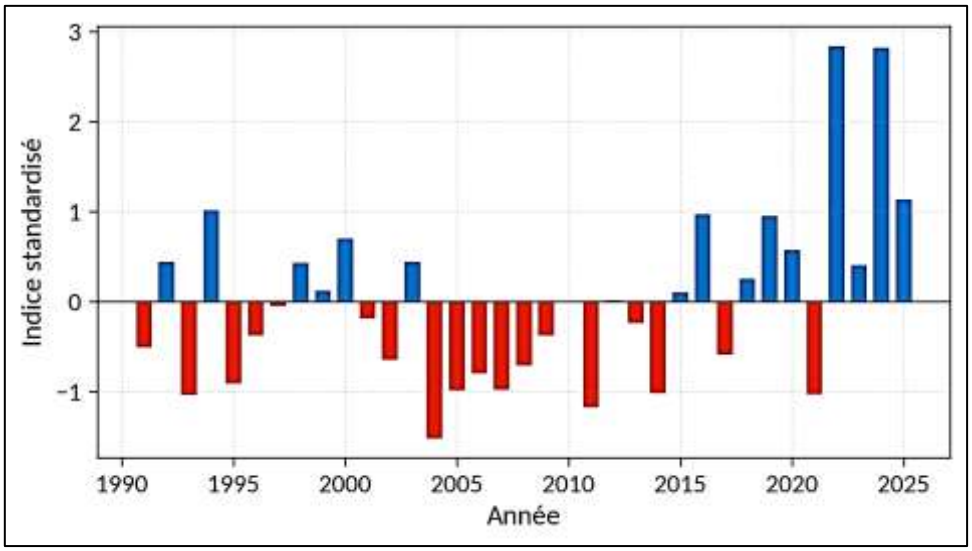


Figure 4 : Indice d'anomalie pluviométrique standardisé à Ziniaré (1991-2025)
Source : ERA5-Land, ECMWF/Copernicus C3S. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

L'indice d'anomalie standardisé de la figure 4 fait ressortir la structure de cette alternance. La séquence déficitaire la plus longue s'étend de 2004 à 2014 : sur ces onze années, neuf restent sous la moyenne, et les deux autres, 2010 et 2012, s'en écartent à peine. À l'inverse, huit des dix dernières années sont excédentaires. Sans constituer une rupture au sens statistique, cette bascule marque une réorganisation nette du régime.

Les tests de tendance révèlent un ensemble de signaux convergents (tableau 1). Le cumul annuel n'affiche pas de tendance significative, ce qui pourrait rassurer. L'examen des indices extrêmes

conduit pourtant à une lecture bien différente. La pluie maximale journalière annuelle augmente très nettement, avec une probabilité de 0,0002, tout comme le nombre de jours dépassant vingt millimètres. Le volume total varie donc peu, mais sa distribution se modifie : les pluies se concentrent en événements plus violents.

Variable	Tendance	Z	p-value	Pente de Sen
Précipitations annuelles (mm)	Aucune	1,747	0,0806	+4,053
Indice de Fournier modifié	Hausse	2,613	0,0090	+2,054
Facteur R (MJ.mm/ha/h/an)	Hausse	2,613	0,0090	+8,563
Pluie maximale journalière (mm)	Hausse	3,664	0,0002	+0,664
Jours de pluie > 20 mm	Hausse	2,888	0,0039	+0,125
Séquences sèches consécutives (j)	Aucune	0,057	0,9547	0,000

Tableau 1 : Résultats des tests de Mann-Kendall sur la période 1991-2025
Source : traitement des données ERA5-Land. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

L'indice de Fournier modifié, porté sur la figure 5, traduit directement cette concentration. Sa valeur moyenne de 134,6 le range parmi les agressivités élevées, et sa progression est statistiquement significative au seuil de un pour cent. Le facteur R suit logiquement : sa moyenne passe de 340,5 sur 1991-2008 à 482,4 MJ.mm/ha/h/an sur 2009-2025, soit une hausse de 41,7 pour cent.

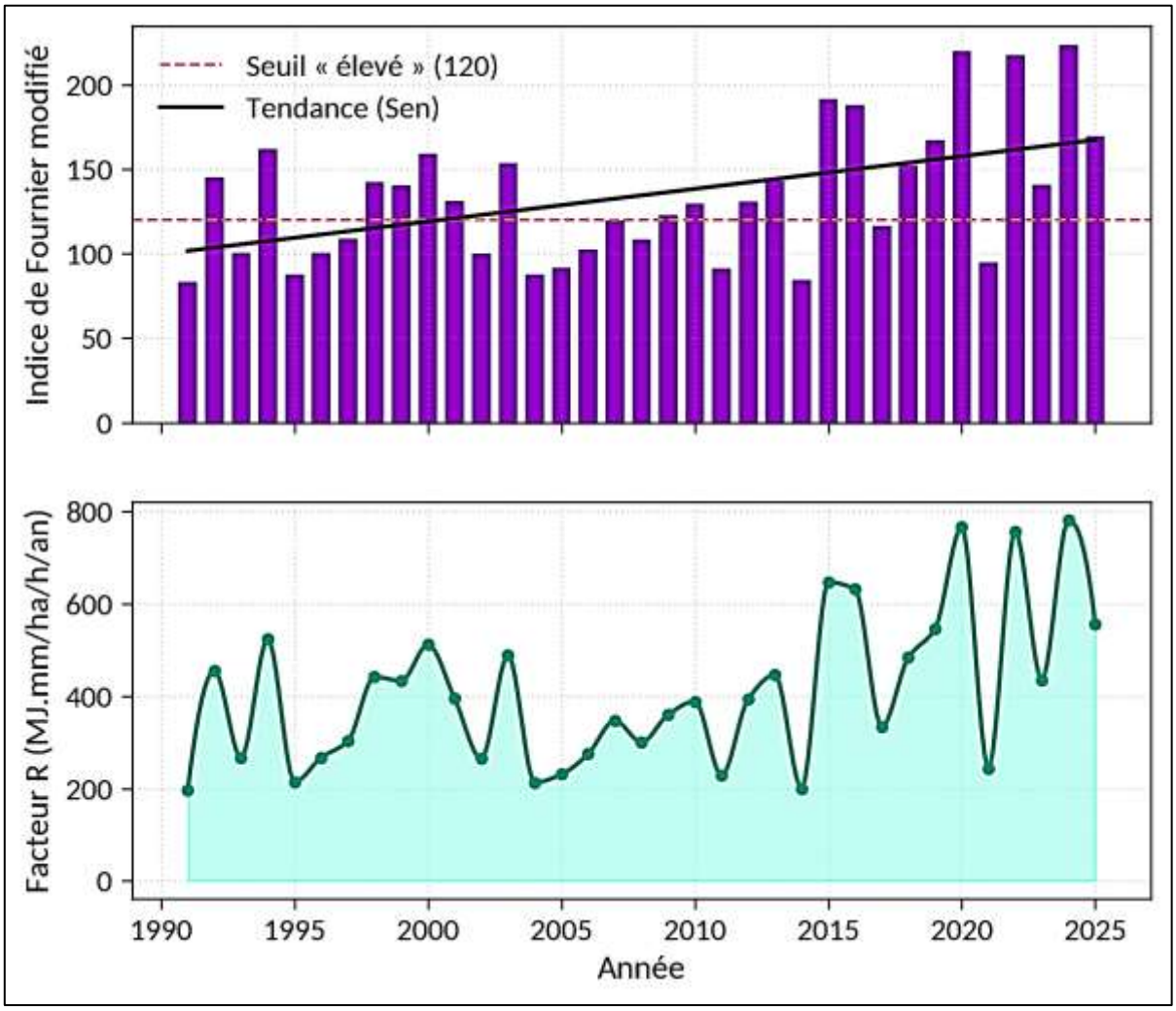


Figure 5 : Agressivité pluviométrique et érosivité des pluies à Ziniaré (1991-2025)
Source : ERA5-Land, ECMWF/Copernicus C3S. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

Les indices extrêmes, reportés sur la figure 6, précisent cette lecture. Le nombre de jours dépassant vingt millimètres augmente de 0,125 jour par an, soit environ quatre jours supplémentaires sur les trente-cinq années. La pluie maximale journalière gagne 0,664 millimètre par an, ce qui représente plus de vingt millimètres sur la période. Deux années se détachent nettement : 2016, avec 168,4 millimètres en un seul jour, et 2000, avec 92,8 millimètres. La durée maximale des séquences sèches consécutives, en moyenne de 91,8 jours, ne présente en revanche aucune tendance : la structure saisonnière du régime demeure inchangée. Ce qui évolue, c'est l'intensité des événements à l'intérieur de la saison des pluies.

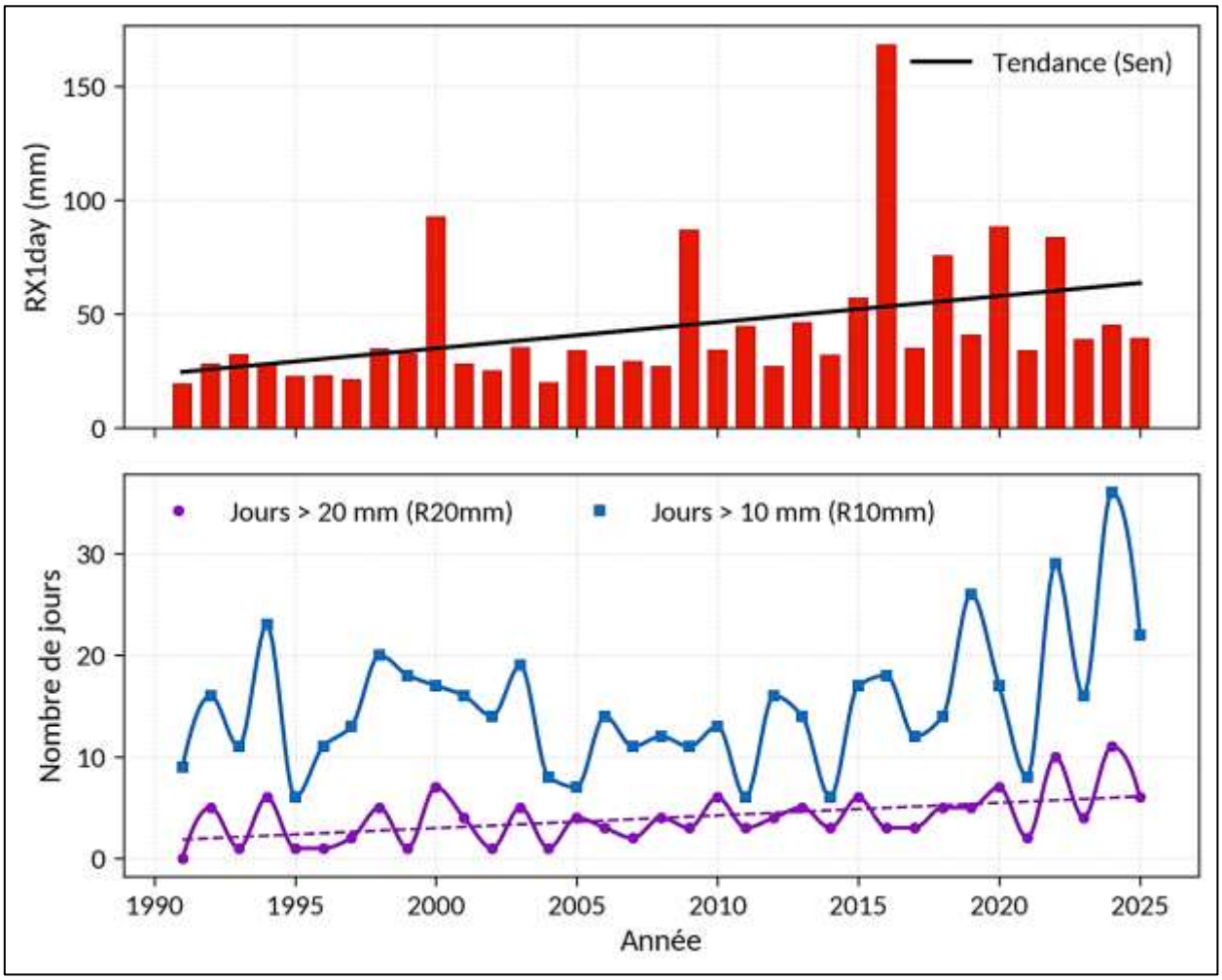


Figure 6 : Évolution des précipitations extrêmes à Ziniaré (1991-2025)
Source : ERA5-Land, ECMWF/Copernicus C3S. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

Le volet thermique complète ce tableau. Les températures moyennes annuelles se maintiennent autour de 28,5 degrés, les maximales autour de 34,6 et les minimales autour de 23,1. Aucune de ces trois séries ne présente de tendance significative sur la période, ce que traduit la quasi-horizontalité des droites de régression de la figure 7. Seule l'année 2022 se singularise par un net fléchissement, cohérent avec le record pluviométrique enregistré cette année-là.

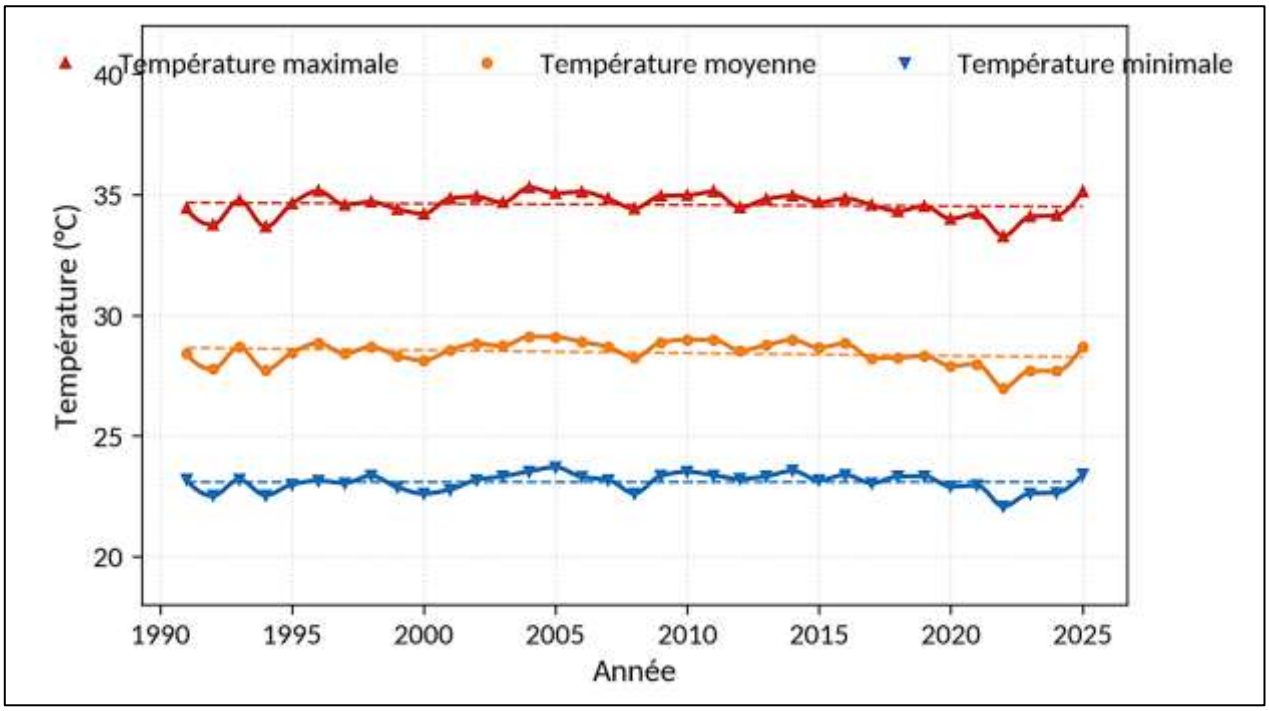


Figure 7 : Évolution des températures annuelles à Ziniaré (1991-2025)
Source : ERA5-Land, ECMWF/Copernicus C3S. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

2.2. Caractérisation topographique

Le relief communal confirme la platitude attendue. L'altitude varie de 265 à 362 mètres, soit une amplitude de 97 mètres sur près de cinquante kilomètres d'extension est-ouest. La pente moyenne atteint 1,01 pour cent et 60,4 pour cent du territoire se situe sous un pour cent d'inclinaison. Le tableau 2 en donne la répartition détaillée. Les pentes supérieures à cinq pour cent ne couvrent que 0,62 pour cent de la surface, cantonnées aux abords des buttes cuirassées du nord-ouest et du centre-sud.

Classe de pente	Surface (ha)	Part (%)
0 à 1 %	37 831,1	60,42
1 à 2 %	21 237,4	33,92
2 à 5 %	3 151,7	5,03
5 à 10 %	336,2	0,54
Plus de 10 %	52,7	0,08

Tableau 2 : Répartition des classes de pente dans la commune de Ziniaré
Source : MNT Copernicus GLO-30, 2023. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

La figure 8 présente l'indice topographique d'humidité, dont les valeurs s'échelonnent de 6,04 à 25,98 pour une moyenne de 10,67. Elle révèle une organisation hydrologique bien structurée. Le réseau de drainage apparaît nettement, avec une arborescence dendritique dense et des bas-fonds étendus dans la partie orientale de la commune, là où les altitudes sont les plus basses. Cette lisibilité du réseau malgré la faiblesse du relief justifie *a posteriori* le recours à cet indice plutôt qu'à la seule pente.

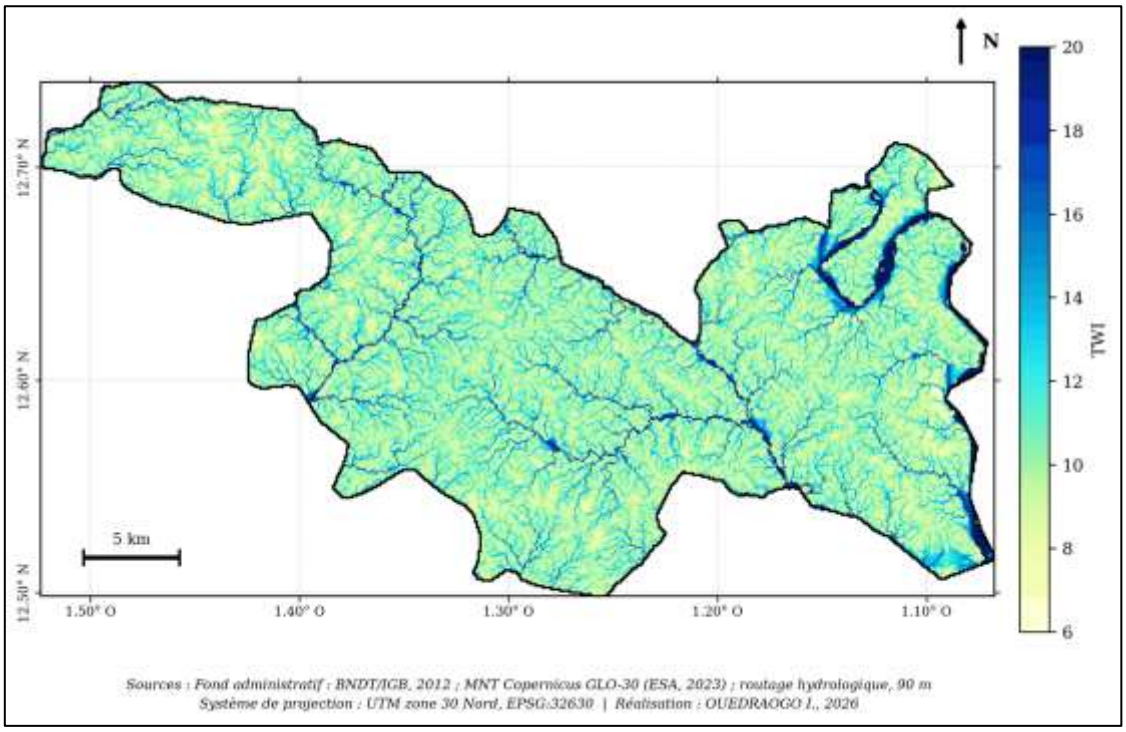


Figure 8 : Indice topographique d'humidité de la commune de Ziniaré

Source : MNT Copernicus GLO-30, 2023. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

La figure 9 rassemble les quatre critères dérivés du modèle numérique de terrain. Le facteur LS présente une moyenne faible, de 0,21, avec un quatre-vingt-quinzième percentile à 0,58. Ces valeurs restent modestes au regard de celles rapportées en milieu montagneux, ce qui n'a rien de surprenant. Leur distribution spatiale demeure toutefois informative : les valeurs les plus élevées se concentrent le long des axes de concentration des écoulements, dessinant un réseau qui recoupe celui de l'indice d'humidité.

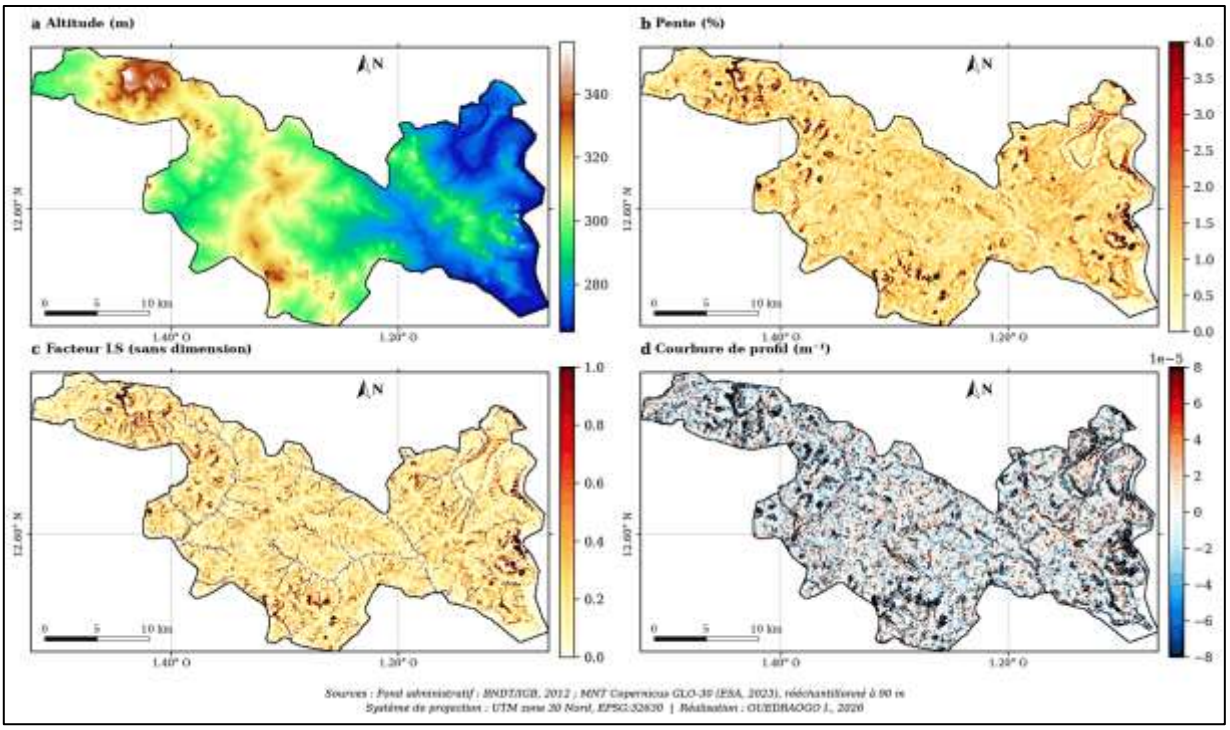


Figure 9 : Critères topographiques dérivés du modèle numérique de terrain : a) altitude ; b) pente ; c) facteur LS ; d) courbure de profil

Source : MNT Copernicus GLO-30, 2023. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

2.3. Pondération des critères

Le tableau 3 récapitule les pondérations obtenues. La matrice de comparaison par paires attribue à la pente le poids dominant, suivie du facteur LS. Le ratio de cohérence s'établit à 0,016, très en deçà du seuil de 0,10 fixé par T. L. SAATY (1980, p21), ce qui valide la structure de préférence retenue.

Critère	Poids	Justification
Pente	40 %	Énergie du ruissellement et détachement
Facteur LS	25 %	Longueur et inclinaison des versants
Indice d'humidité	16 %	Concentration des écoulements
Facteur R	10 %	Forçage climatique
Courbure de profil	9 %	Convergence ou divergence

Tableau 3 : Pondération des critères issue de l'analyse multicritère hiérarchique
Source : matrice de comparaison par paires, CR = 0,016. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

2.4. Susceptibilité à l'érosion hydrique et son évolution

La figure 10 fait apparaître une organisation spatiale cohérente avec la structure du drainage. Les classes les plus élevées épousent les axes de concentration des écoulements et les ruptures de pente en bordure des buttes. Les valeurs faibles occupent quant à elles les interfluves plans ainsi que les bas-fonds saturés de la partie orientale, où le dépôt l'emporte sur l'arrachement.

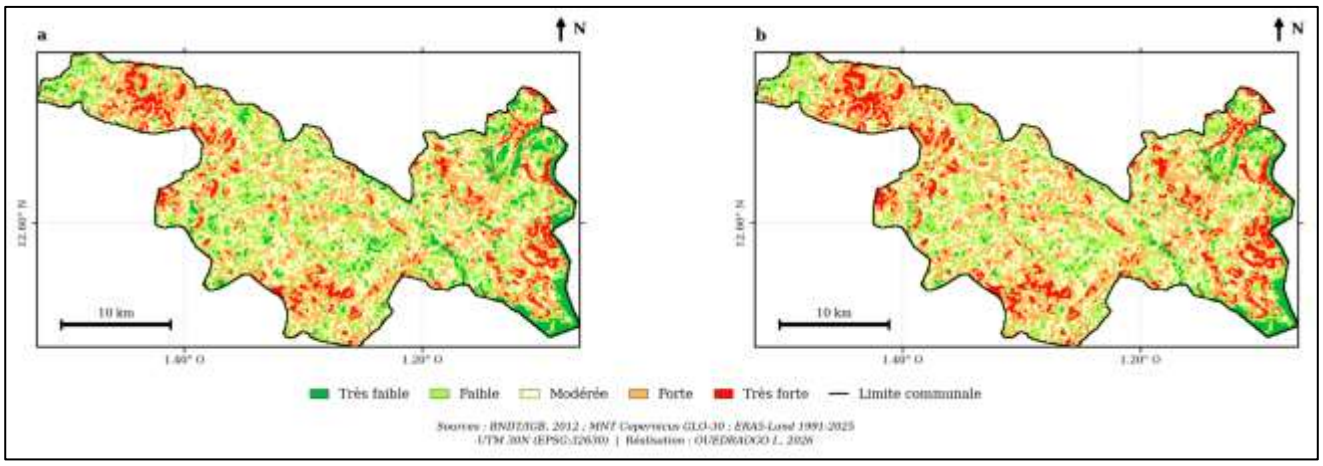


Figure 10 : Susceptibilité à l'érosion hydrique de la commune de Ziniaré : a) 1991-2008 (R = 340,5) ; b) 2009-2025 (R = 482,4)
Source : BNDT/IGB, 2012 ; MNT Copernicus GLO-30, 2023 ; ERA5-Land (ECMWF/Copernicus C3S), 1991-2025. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

Le tableau 4 chiffre l'évolution des surfaces. La comparaison des deux périodes met en évidence une aggravation nette. Les surfaces classées en susceptibilité très forte progressent de 7 153,9 à 8 607,1 hectares, soit un gain de 1 453,2 hectares ; celles en susceptibilité forte gagnent 1 040,0 hectares. À l'inverse, les classes très faible et faible reculent respectivement de 1 658,9 et 1 220,7 hectares. Au total, les deux classes supérieures passent de 38,56 à 42,54 pour cent du territoire communal.

Classe	1991-2008 (ha)	Part (%)	2009-2025 (ha)	Part (%)	Évolution (ha)
Très faible	6 457,3	10,31	4 798,4	7,66	−1 658,9
Faible	14 293,3	22,83	13 072,6	20,88	−1 220,7
Modérée	17 721,2	28,30	18 107,6	28,92	+386,4
Forte	16 983,3	27,13	18 023,3	28,79	+1 040,0
Très forte	7 153,9	11,43	8 607,1	13,75	+1 453,2

Tableau 4 : Évolution des surfaces par classe de susceptibilité entre les deux périodes
Source : traitement des données Copernicus GLO-30 et ERA5-Land. Réalisation : OUEDRAOGO I., 2026

Cette évolution est entièrement imputable au facteur climatique, puisque la structure topographique est restée constante entre les deux simulations. Elle traduit donc l'effet mécanique d'une hausse de 41,7 pour cent de l'érosivité des pluies sur un terrain dont la sensibilité intrinsèque n'a pas varié.

3. Discussion

Le résultat central tient dans une dissociation : le cumul pluviométrique annuel n'évolue pas significativement, mais l'agressivité des pluies augmente nettement. Ce constat n'est pas propre à Ziniaré. Il rejoint les constats établis à l'échelle sahélienne depuis la reprise pluviométrique des années 1990, où le retour des cumuls s'est accompagné d'une concentration accrue des événements (G. PANTHOU et al., 2014, p3998). Pour l'érosion, la nuance est décisive : c'est l'intensité des averses, non leur total annuel, qui détermine l'énergie disponible pour détacher les particules. C'est précisément ce que traduit, à Ziniaré, la hausse conjointe de la pluie maximale journalière et du nombre de jours dépassant vingt millimètres.

À l'échelle locale, la commune voisine de Loumbila offre un parallèle direct : J. B. OUEDRAOGO et al. (2026, p565) y relèvent une aggravation du stress hydrique des cultures maraîchères entre 1992 et 2022, alors que les cumuls annuels y demeurent globalement stables.

La faiblesse des valeurs absolues du facteur LS, avec une moyenne de 0,21, pourrait laisser croire à un risque négligeable. Une telle lecture serait trompeuse. À Arbollé, T. H. OUÉDRAOGO et al. (2026, p888) observent une érosion active sur des versants tout aussi peu inclinés. Le processus dominant en contexte sahélien n'est pas l'érosion linéaire liée aux fortes pentes, mais bien l'érosion en nappe, qui opère sur des inclinaisons très faibles dès lors que le sol est encroûté et le couvert végétal discontinu. La pente conserve son rôle discriminant à l'échelle locale, même quand son amplitude est réduite.

L'absence de tendance thermique significative à Ziniaré sur 1991-2025 ne doit pas être surinterprétée. À partir de modèles autorégressifs appliqués aux séries mensuelles, I. OUEDRAOGO (2026, p228) projette une poursuite du réchauffement au Burkina Faso jusqu'en 2050. Le signal local reste peut-être trop faible pour ressortir d'une série de trente-cinq ans, d'autant que la hausse récente des pluies a pu atténuer les températures de saison humide, comme le suggère l'année 2022. Un renforcement de la demande évaporatoire à moyen terme ne peut donc pas être écarté.

Le choix d'une reclassification par quintiles appelle une discussion franche. Les seuils absolus de la littérature, calibrés sur des reliefs contrastés, auraient concentré plus de quatre-vingt-quinze pour cent du territoire dans les deux classes les plus basses et laissé la classe la plus élevée vide. En contexte sahélien, ils perdent tout pouvoir discriminant. Les quintiles améliorent considérablement la lisibilité de la carte, mais ils déplacent la nature de l'information produite. Ce qui est cartographié n'est plus un niveau de risque absolu, transposable d'un territoire à l'autre, mais une hiérarchie interne à la commune. Pour prioriser des aménagements, cette hiérarchie suffit largement. Pour une comparaison interrégionale, elle serait insuffisante et exigerait un recalage sur des seuils communs.

Le traitement non monotone de l'indice topographique d'humidité constitue le second choix méthodologique discutable. Il repose sur une hypothèse défendable : les bas-fonds saturés relèveraient de la sédimentation plutôt que de l'ablation. Encore faudrait-il le vérifier sur le terrain. Une reclassification croissante simple aurait produit une carte différente, exprimant alors une susceptibilité au ruissellement plutôt qu'à l'érosion proprement dite.

La comparaison des valeurs d'érosivité obtenues avec celles rapportées ailleurs demande de la prudence. Le facteur R moyen de 409,4 MJ.mm/ha/h/an calculé ici procède d'une relation empirique linéaire calée sur des jeux de données extérieurs à la zone. H. M. J. ARNOLDUS (1980, p130) soulignait lui-même que les paramètres de cette relation varient régionalement et gagnent à être ajustés localement. Faute de mesures pluviographiques à Ziniaré, la valeur absolue doit donc être tenue pour un ordre de grandeur ; son évolution relative entre deux périodes, calculée avec la même relation, reste en revanche robuste.

La formulation du facteur topographique appelle une remarque de même nature. Celle de I. D. MOORE et G. J. BURCH (1986, p1296) suppose un écoulement organisé en versants réguliers, là où P. J. J. DESMET et G. GOVERS (1996, p429) calculent la surface drainée cellule par cellule. Sur un terrain aussi peu contrasté, l'écart entre les deux approches reste probablement modeste, mais mériterait d'être testé.

Trois limites doivent être signalées. La première tient aux données pluviométriques. Le cumul annuel moyen de 521 millimètres calculé à partir de la réanalyse paraît faible pour une commune du domaine nord-soudanien. Les réanalyses restituent mal les pluies convectives sahéliennes, dont le caractère très localisé échappe partiellement à leur résolution spatiale. Ce biais étant systématique, il affecte peu les tendances relatives sur lesquelles repose l'essentiel de l'analyse ; il interdit en revanche d'utiliser les valeurs absolues du facteur R sans calibration préalable sur des relevés de station.

La deuxième limite tient à la résolution. Un modèle à quatre-vingt-dix mètres ne restitue pas les micro-formes qui commandent localement le ruissellement, en particulier les cordons pierreux et les diguettes antiérosives. Nombreux sur le plateau mossi, ces ouvrages restent invisibles à cette échelle alors qu'ils modifient réellement les trajectoires d'écoulement. La même remarque vaut pour le facteur R, extrait en un point unique : sa valeur uniforme ignore les contrastes pluviométriques internes à la commune, que la grille d'ERA5-Land, d'environ neuf kilomètres, permettrait en partie de restituer.

La troisième limite est l'absence de validation de terrain. La cohérence spatiale entre la carte et l'organisation du drainage constitue un argument interne, mais ne remplace pas une confrontation avec des zones d'érosion observées. Un croisement avec une classification des états de surface, notamment avec les zipellés identifiables sur imagerie Sentinel-2, offrirait une validation quantitative accessible et constitue la perspective la plus immédiate de ce travail.

Ces réserves posées, l'apport principal demeure. En isolant l'effet du facteur climatique sur une structure topographique constante, la démarche quantifie ce que la seule évolution des pluies fait au risque érosif d'un territoire. Près de deux mille cinq cents hectares basculent vers les classes supérieures sans qu'aucune modification du terrain ou de son usage n'intervienne. Voilà un ordre de grandeur qui mérite d'être versé au débat sur la planification des aménagements de conservation des eaux et des sols.

Conclusion

Sur un relief aussi plat que celui de Ziniaré, l'évolution des pluies suffit-elle à étendre les surfaces exposées à l'érosion hydrique ? Pour répondre à cette question, cette étude a cartographié la susceptibilité à l'érosion hydrique dans la commune de Ziniaré en couplant cinq critères topographiques et climatiques par pondération multicritère hiérarchique. Le relief se révèle très peu contrasté : une pente moyenne de 1,01 pour cent, et 60,4 pour cent du territoire sous un pour cent d'inclinaison. Cette platitude a imposé un ajustement méthodologique. Les seuils absolus de la littérature ne discriminant rien, une reclassification par quintiles de la distribution locale a été retenue, au prix d'un passage d'une susceptibilité absolue à une susceptibilité relative.

L'analyse climatique de 1991-2025 met en évidence une hausse significative de l'agressivité pluviométrique. L'indice de Fournier modifié progresse au seuil de un pour cent, tout comme la pluie maximale journalière annuelle et le nombre de jours de fortes pluies, alors que le cumul annuel reste stable. Le facteur d'érosivité passe de 340,5 à 482,4 MJ.mm/ha/h/an entre les deux sous-périodes.

La traduction spatiale de cette évolution est nette. Les classes de susceptibilité forte et très forte gagnent près de deux mille cinq cents hectares, passant de 38,56 à 42,54 pour cent du territoire communal, sous le seul effet de l'évolution de l'agressivité des pluies et à structure topographique inchangée. La question posée en introduction trouve là sa réponse : sur ce plateau, des pluies plus concentrées suffisent à aggraver le risque érosif.

Deux prolongements s'imposent : une validation par croisement avec les états de surface dégradés identifiables par télédétection, et une calibration des séries de réanalyse sur les relevés de la station de référence la plus proche, qui permettrait de passer de tendances relatives à des valeurs absolues d'érosivité. Sur le plan opérationnel, les résultats invitent à concentrer les aménagements antiérosifs sur les versants de transfert plutôt que sur les bas-fonds, où les processus de dépôt dominent.

Références bibliographiques

ARNOLDUS Henri Marie Jean, 1980, « *An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation* », in DE BOODT Marcel et GABRIELS Donald (éd.), *Assessment of Erosion*, Chichester, John Wiley and Sons, p. 127-132.

BEVEN Keith John et KIRKBY Michael John, 1979, « *A physically based, variable contributing area model of basin hydrology* », Hydrological Sciences Bulletin, 24, 1, p. 43-69.

DESMET Philippe Jean Jacques et GOVERS Gerard, 1996, « *A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units* », Journal of Soil and Water Conservation, 51, 5, p. 427-433.

KENDALL Maurice George, 1975, *Rank correlation methods*, Londres, Charles Griffin.

MANN Henry Berthold, 1945, « *Nonparametric tests against trend* », Econometrica, 13, 3, p. 245-259.

MOORE Ian Douglas et BURCH Gregory John, 1986, « *Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation* », Soil Science Society of America Journal, 50, 5, p. 1294-1298.

MUÑOZ-SABATER Joaquín, DUTRA Emanuel, AGUSTÍ-PANAREDA Anna, ALBERGEL Clément, ARDUINI Gabriele, BALSAMO Gianpaolo, BOUSSETTA Souhail, CHOULGA Margarita, HARRIGAN Shaun, HERSBACH Hans, MARTENS Brecht, MIRALLES Diego, PILES Maria, RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ Nemesio, ZSOTER Ervin, BUONTEMPO Carlo et THÉPAUT Jean-Noël, 2021, « *ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications* », Earth System Science Data, 13, 9, p. 4349-4383.

OUEDRAOGO Ibrahim, 2026, « *Arima-based modeling and forecasting of monthly temperature variability in Burkina Faso under climate change scenarios up to 2050* », Glasnik Srpskog geografskog društva, Belgrade, 106, 1, p. 217-234.

OUEDRAOGO Jean Baptiste, OUEDRAOGO Ibrahim et YANOGO Pawendkisgou Isidore, 2026, « *Climate Variability and Water Stress in Vegetable Crops in Loumbila, Burkina Faso (1992-2022)* », Journal of Advances in Biology and Biotechnology, 29, 5, p. 558-571.

OUÉDRAOGO Tegwendé Habibou, OUÉDRAOGO Blaise, GUELBEOGO Sidiki et OUÉDRAOGO Lucien, 2026, « *Effets des pratiques agricoles sur les risques d'érosion hydrique dans la commune de Arbollé, Burkina Faso* », International Journal of Biological and Chemical Sciences, 20, 2, p. 886-902.

PANTHOU Gérémy, VISCHEL Théo et LEBEL Thierry, 2014, « *Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel* », International Journal of Climatology, 34, 15, p. 3998-4006.

ROOSE Eric, 1994, *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*, Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Bulletin pédologique 70. https://www.fao.org/4/t1765f/t1765f00.htm, consulté le 4 septembre 2026.

SAATY Thomas Lorie, 1980, *The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation*, New York, McGraw-Hill.

SEN Pranab Kumar, 1968, « *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau* », Journal of the American Statistical Association, 63, 324, p. 1379-1389.

WISCHMEIER Walter Henry et SMITH Dwight David, 1978, *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*, Washington, United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 537. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60600505/RUSLE/AH_537%20Predicting%20Rainfall%20Soil%20Losses.pdf, consulté le 4 septembre 2026.