

أعمال الملتقى الجهوي للبحث والابتكار بجهة مراكش أسفي
الجغرافية التطبيقية في خدمة التنمية الترابية بجهة مراكش أسفي:
التحديات والفرص



الجغرافية التطبيقية في خدمة التنمية الترابية بجهة مراكش أسفي:
التحديات والفرص

La géographie appliquée au service du développement territorial
dans la région de Marrakech-Safi : défis et opportunités

متنوعات مهداة إلى الأستاذ
الدكتور أحمد زروال

تنسيق:

محمد الأكلع
طارق العرفي

عبد الجليل الكريفات
ميلود وشالت

2025

Actes du Colloque régional
de la recherche et de l'innovation de la région Marrakech-Safi:
La géographie appliquée au service du développement territorial
dans la région de Marrakech-Safi : défis et opportunités



Mélanges en l'honneur du professeur
Dr. Ahmed ZAROUAL

Coordination:

Abdeljalil Lokrifa
Miloud Ouchala

Mohammed El Aklaa
Tarik El Orfi

2025

**La géographie appliquée au service du
développement territorial dans la région
de Marrakech-Safi : défis et opportunités**



جهة مراكش أسفي
ⵜⴰⴳⴷⴰⵢⵜ ⴰⴳⴷⴰⵢⵜ ⴰⴳⴷⴰⵢⵜ
Région Marrakech Safi



LERMA
مختبر الدراسات حول الموارد، الحركية والجاذبية
Laboratoire des Etudes sur les Ressources,
Mobilité et Attractivité



كلية الآداب والعلوم الإنسانية مراكش
ⴰⴳⴷⴰⵢⵜ ⴰⴳⴷⴰⵢⵜ ⴰⴳⴷⴰⵢⵜ ⴰⴳⴷⴰⵢⵜ
MARRAKECH
جامعة القاضي عياض
UNIVERSITÉ CAADI AYYAD
Faculté des Lettres et Sciences Humaines - Marrakech

La géographie appliquée au service du développement territorial dans la région de Marrakech-Safi : défis et opportunités

Mélanges en l'honneur du professeur Ahmed ZAROUAL

Coordination:

Abdeljalil LOKRIFA

Mohamed ELAKLAA

Miloud OUCHALA

Tarik ELORFI

2025

**La géographie appliquée au service du développement territorial
dans la région de Marrakech-Safi : défis et opportunités**

Mélanges en l'honneur du professeur Ahmed ZAROUAL

Coordination: Abdeljalil LOKRIFA, Mohamed ELAKLAA, Miloud OUCHALA
et Tarik ELORFI

Publication: Laboratoire des Etudes sur les Ressources, Mobilité et
Attractivité -LERMA - Faculté des Lettres et des Sciences Humaines,
Université CADI AYYAD – Marrakech

Edition: 2025

Dépôt légal : 2025MO2439

ISBN: 978-9920-620-15-4

Conception: Tarik ELORFI, Miloud OUCHALA

Editions et Impressions: Bouregreg - Rabat



Editions & Impressions Bouregreg

10, Avenue Alaouiyyine - Hassan - Rabat

Tél: 05 37 20 75 83 / Fax : 05 37 20 75 89

E-mail : editionsbouregreg2015@gmail.com



Ahmed Zaroual est un ancien professeur au Département de Géographie de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Cadi Ayyad de Marrakech. Né le 1er janvier 1954 à El Attaouia, Kelaat Sraghna, il est titulaire d'un Diplôme d'Études Supérieures (DES) en Lettres obtenu en 1987 à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Rabat, et d'une Habilitation Universitaire obtenue en 2015. Ses recherches portent sur la géographie physique en général, et plus particulièrement sur les dynamiques des milieux naturels montagnards ainsi que sur les problèmes de l'aménagement et du développement.

Sommair

Axe 1 : Hydrologie, Changement Climatique et Risques Naturels

Spatio-temporal evolution of rainfall and its impacts on water resources: Case study of the sub-basins of the Al Haouz-Mejjate hydrographic basin 1992-2018 (Morocco)	11
Jalal Aguerd, Meriem Hamid, Youness Bouhafa, Khouldia Nafia, and Mohamed El ghachi	
Analyse des tendances thermiques actuelles et projections futures dans la région Marrakech-Safi	21
Tarik El Orfi, Miloud Ouchala, Mohamed El Ghachi et Chaima Hafid	
Integration of QMNA Analysis into Climate Resilience Planning for Semi-Arid Watersheds: Lessons from Oued Reghaya in the Context of Climate Change	33
Choukri Bahija , El Ghachi Mohamed	
Les inondations dans la vallée de l'Ourika: formation et résilience de la population	41
Ait Zaouit Adil , El Adib Mohamed	
Les crues de référence instantanées dans le bassin versant de l'Oued Zat (Bassin Tensift, Maroc): cas de la crue de 2011	55
Elgzouli Abdelbasset, El Ghachi Mohamed, Lahlou Nadia	
Les stations de dessalement dans la région Marrakech Safi : entre exigences de développement et adaptation au changement climatique	67
El-Louzi Zineb, Mansoum Mohamed	

Axe 2 : Développement Territorial, Gouvernance et Enjeux Socio-économiques

Traditional craft in mountainous areas: an economic backbone between marginalization and the challenge of valuation case study of province Al Haouz, Morocco	85
Soufyane Moussaoui	
Governance of mobility between Tamansourt and Marrakech	101
Loubna Elhoucine	
Construire l'avenir après le séisme : Habitat parasismique, durabilité et préservation du patrimoine dans la province d'AL Haouz	119
Zaineb Lahdachi, Bouazza Sallak, Jihane Lahrour	
La faiblesse de l'appareil économique urbain et ses incidences sur la polarisation territoriale extérieure, l'exemple des quatre petites villes de la zone du Haouz oriental de Marrakech (El'attaouia, Tاملةlet, Sidi Rahal, et Essahrij)	135
El Habbache Nour Eddine	
Vers un indice d'attractivité territoriale institutionnelle : approche mathématique et applications pratiques	151
Laarich Jawad	
Lifelong learning in Mosques and women's socio-economic integration in Morocco, case study of Kelaat Sraghna province	169
Aomar ibourk, kabir elmakhloufi, Mohammed Elaklaa, kabira raziqi , Zakaria elouaourti	

Axe 1 :
Hydrologie, Changement Climatique
et Risques Naturels

Les crues de référence instantanées dans le bassin versant de l'Oued Zat (Bassin Tensift, Maroc): cas de la crue de 2011

Instantaneous Reference Floods in the Oued Zat Watershed (Tensift Basin, Morocco): Case Study of the 2011 Flood

Elgzouli Abdelbasset¹, El Ghachi Mohamed¹, Lahlou Nadia²

¹Laboratoire dynamique des paysages, risque et patrimoine (DPRP), Faculté des lettres et des sciences humaines, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal, Maroc.

²Laboratoire : Société, Territoires, Histoire et Patrimoine (STHP), Faculté des lettres et des sciences humaines, Université Mohamed V, Rabat, Maroc.
Elgzouliabdelbasset@gmail.com

Résumé : Les bassins montagnards sont particulièrement exposés aux extrêmes hydrologiques, notamment aux inondations, dont la fréquence et l'intensité ont fortement augmenté ces dernières années sous l'effet des variations climatiques accrues et des changements climatiques actuels. Pour mieux comprendre ces phénomènes, les hydrologues insistent sur l'importance d'analyser et de caractériser les crues, considérées comme l'élément le plus sensible du régime hydrologique et, par conséquent, le principal facteur déclencheur des inondations.

Cette contribution scientifique porte sur l'analyse des crues instantanées de référence afin de les identifier et les extraire. Elle s'inscrit dans le cadre du bassin versant de l'Oued Zat, situé dans le Haut Atlas (bassin du Tensift, Maroc), un territoire particulièrement exposé aux événements hydrologiques extrêmes. Ces crues résultent d'une combinaison complexe de facteurs naturels et anthropiques, notamment la variabilité des altitudes, les fortes pentes, la dégradation progressive de la couverture végétale et un climat contrasté, caractérisé par des hivers froids et pluvieux ainsi que des étés chauds et secs. Ces conditions, combinées aux interventions humaines, contribuent à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des crues. Sur le plan méthodologique, nous mettons l'accent sur l'analyse statistique en nous appuyant sur les données des débits instantanés fournis par la station hydrométrique de Tafriat sur une période de 58 ans (1965-2022). L'objectif est d'identifier et d'extraire les crues instantanées de référence.

Les résultats de l'analyse de la crue de 2011 soulignent la nécessité de mettre en place des stratégies d'aménagement adaptées ainsi que des mesures préventives visant à protéger les populations et les infrastructures contre ces événements extrêmes.

Mots-clés : Bassin versant de l'Oued Zat, Crues de référence instantanées, Analyse statistique.

Abstract: Mountain basins are particularly prone to hydrological extremes, especially floods, whose frequency and intensity have increased sharply in recent years due to greater climatic variations and ongoing climate change. To better understand these phenomena, hydrologists emphasize the importance of analyzing and characterizing floods, as they are the most sensitive element of the hydrological regime and, consequently, the main trigger of flooding.

This scientific study focuses on the identification and extraction of reference flash floods. It is based on the Oued Zat watershed, located in the High Atlas (Tensift basin, Morocco), a region particularly vulnerable to extreme hydrological events. These floods result from a complex interplay of natural and anthropogenic factors, including varying altitudes, steep slopes, progressive degradation of vegetation cover, and a highly contrasting climate characterized by cold, rainy winters and hot, dry summers. These conditions, combined with human activities, contribute to the increasing frequency and intensity of floods.

Methodologically, this study relies on statistical analysis of instantaneous flow data recorded by the Tafriat hydrometric station over a 58-year period (1965–2022). The objective is to identify and extract reference instantaneous floods.

The analysis of the 2011 flood underscores the urgent need for appropriate development strategies and preventive measures to protect populations and infrastructure from such extreme events.

Keywords: Oued Zat watershed, Instantaneous reference floods, Statistical analysis.

Introduction :

La problématique des extrêmes hydrologiques liés aux changements climatiques, notamment les crues et les étiages, est considérée comme l'un des phénomènes naturels les plus importants que le monde ait connus ces dernières années. (LAHLOU, N. 2021)

Ces extrêmes hydrologiques se manifestent sous forme de phénomènes hydro-climatiques qui varient en fonction des contrastes saisonniers et de leur durée relative, tant en Afrique que dans d'autres régions. En d'autres termes, ils représentent des fluctuations cycliques du régime hydrologique au fil du temps. Ces fluctuations peuvent se traduire par une augmentation, une diminution, voire une stabilité des débits (Q) extrêmes, en fonction de l'évolution temporelle des séries. Ces variables sont cruciales pour évaluer les ressources en eau à différentes échelles temporelles, qu'il s'agisse de l'année, de la saison ou même de plusieurs années. (Nguimalet, C. R. 2017) Dans cette perspective, l'analyse des événements extrêmes, tels que les sécheresses et les crues exceptionnelles, est important pour la gestion des ressources en eau de surface et la planification des aménagements hydrauliques (Rodier, J. 1989).

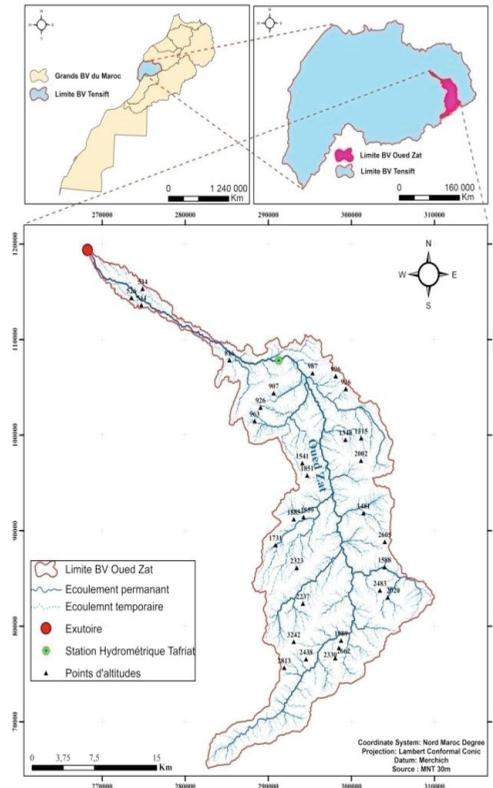
Le Maroc est caractérisé par un climat qui est celui propre à tous les pays du bassin méditerranéen, pluvieux et souvent doux en hiver (perturbations d'ouest) et chaud et sec en été (hautes pressions tropicales). (BELTRANDO et al, 1995) Néanmoins, récemment, le régime pluviométrique et thermométrique montre une distribution spatio-temporelle perturbé. Il est remarquable que les précipitations ne se réalisent plus forcément pendant la saison d'hiver, mais elles ont tendance à s'installer pendant les saisons intermédiaires, surtout en automne, même pour le régime thermique d'où l'installation des vagues de chaleur en dehors de leur saison habituelle (KARROUK, M. S. 2009). Cette perturbation du régime pluviométrique et thermique a un impact direct sur l'écoulement de surface et, par conséquent, ces apports hydrologiques dans un milieu montagnard semi-aride peuvent générer des crues soudaines, violentes et imprévisibles (Chkhami et al., 2023)

Cette contribution scientifique s'inscrit dans ce contexte, à partir de l'identification des crues et de leurs types dans le bassin versant de l'Oued Zat, l'un des sous-bassins du Tensift caractérisé par un climat aride à semi-aride en aval et un climat subhumide en haute montagne (Ait Mlouk et al., 2016), en s'appuyant sur l'analyse des séries statistiques des données hydrologiques enregistrées à la station hydrométrique de Tafriat sur la période 1965-2022, l'étude s'est concentrée sur l'analyse de la crue du 2 Mai 2011 afin de mieux comprendre la dynamique des crues dans le bassin versant de l'Oued Zat.

I. Présentation de la zone d'étude :

Le bassin versant de l'Oued Zat est un petit bassin qui fait partie du bassin versant de Tensift, l'un des bassins hydrographiques les plus importants au Maroc. Il est situé dans le Haut Atlas.

Administrativement, le bassin versant de l'Oued Zat appartient à la province d'Al Haouz et traverse la ville d'Ait Ourir dans sa partie sud, à environ 45 km au sud-est de Marrakech, entre les latitudes 31°30' et 31°45' et la longitude 7°30'. Il est délimité au nord par la plaine de Haouz, au sud par la zone axiale du Haut Atlas, à l'ouest par l'Oued Ourika et à l'est par l'Oued Ghdat. Le bassin versant de l'Oued Zat couvre une superficie d'environ 604 km² et un périmètre de 217 km, avec des altitudes minimales et maximales de 469 m et 3891 m respectivement.



Carte 6 : Présentation de la zone d'étude.

1. Caractéristiques hydro-climatiques de bassin versant de l'Oued Zat

L'étude du fonctionnement hydro-climatique du bassin versant de l'Oued Zat a révélé des variations et des disparités dans ses précipitations et son débit à tous les niveaux : annuel, mensuel, saisonnier et journalier.

En ce qui concerne la répartition annuelle des précipitations, ont montré des valeurs fluctuantes, dépassant souvent la moyenne de 315,51 mm, avec un maximum de 750,60 mm en 1996 et un minimum de 99 mm en 1987. La répartition mensuelle des précipitations est inégale, avec des pics atteignant 51,6 mm et des minima de 3,8 mm, les mois de novembre à mars étant les plus abondants. En termes saisonniers, les mois d'hiver ont enregistré les plus fortes précipitations (121,8 mm), suivis du printemps (110,4 mm), tandis que l'été a vu des valeurs bien plus faibles (18,7 mm).

L'analyse des précipitations a démontré que le bassin versant de l'Oued Zat présente une tendance à la sécheresse ainsi que des événements extrêmes tels que les crues (Bouaida et al., 2021).

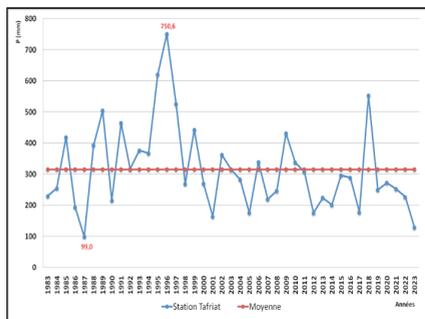


Figure 1 : Précipitations annuelles de la station Tafriat (1983 - 2023).

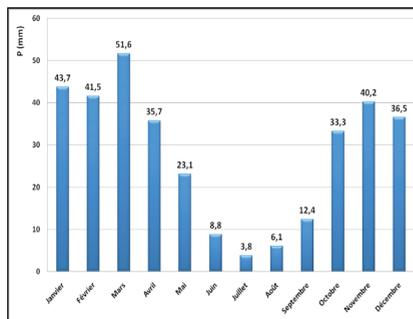


Figure 2 : Moyenne des précipitations mensuelles à la station de Tafriat (1983 - 2023).

À propos de l'étude annuelle des débits, elle a mis en évidence des fluctuations significatives du débit du cours d'eau d'une année à l'autre. Quant à la distribution mensuelle, elle confirme que le système hydrologique du cours d'eau étudié est complexe, influencé par les précipitations en hiver et la fonte de neige en printemps, avec l'apparition de deux périodes distinctes en termes de débit. Enfin, la distribution journalière du débit a confirmé que celui-ci dépasse parfois les 100 m³/s, atteignant au max à 193 m³/s. Cela souligne que les crues sont principalement liées au débit instantané.

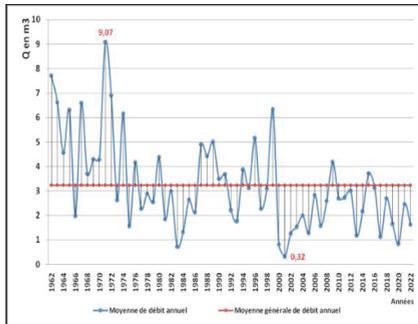


Figure 3 : La variation de la moyenne de débit annuel à la station Tafriat (1962 - 2022).

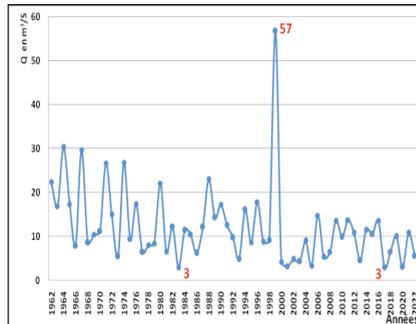


Figure 4 : Débit annuel max à la station de Tafriat (1962 - 2022).

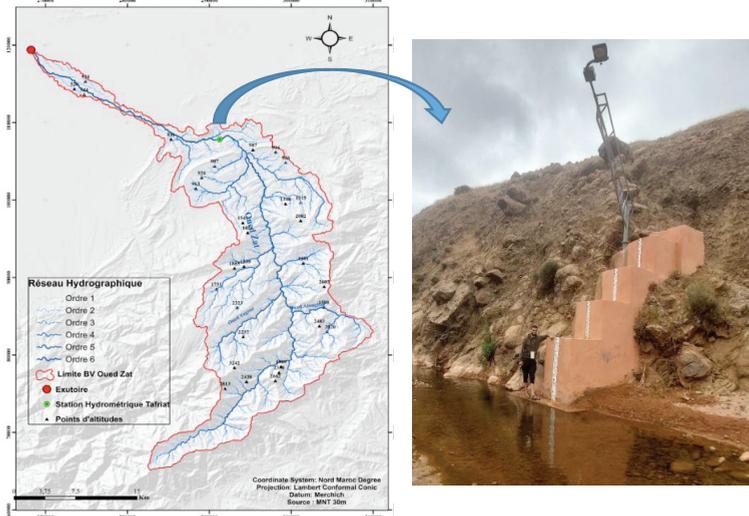
II. Données, Méthodologie et objectifs :

Pour identifier et extraire les crues de référence instantanées, ainsi que pour comprendre leur fonctionnement dans le bassin versant de l'Oued Zat, nous nous appuyons sur les données de débit instantané fournies par la station hydrométrique de Tafriat, au cours de la série statistique (1965-2022).

Cette station hydrométrique est gérée par l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT).

Tableau 1 : Localisation de la station Tafriat et sa chronique

	X(m)	Y(m)	Z(m)	Chronique
Tafriat	29125	1075	760	Débit (1966 – 2022)



Carte 2 : Emplacement de la station Tafriat sur l'Oued Zat

Sur le plan méthodologique, notre approche se concentrera sur l'analyse statistique en s'appuyant sur divers outils et méthodes scientifiques. L'objectif est d'identifier et d'extraire les crues de référence instantanées, puis de les classer selon les critères suivants :

1. Extraction des crues de référence instantanées

L'extraction des crues de référence est une approche hydrologique qui vise à identifier les crues significatives dans un bassin. Cette méthode a pour objectif de fournir une vue d'ensemble des événements majeurs affectant le régime d'écoulement dans un bassin lors des montées des eaux, d'en quantifier les effets, d'évaluer et de représenter les crues hydrologiques résultantes. (Lahlou, N. 2020)

Pour ce faire, Nous nous appuyerons sur le débit de pointe instantané le plus élevé enregistré au cours d'une année pour identifier et extraire les crues de référence instantanées dans le bassin versant de l'Oued Zat, sur toute la période étudiée (1965-2022). Cette analyse sera réalisée à la station de Tafriat située à l'aval de bassin.

III. Résultats et analyse :

1. Détermination et extraction des crues de références instantanées dans le bassin versant de l'Oued Zat (1965 – 2022)

Le débit de pointe des crues (ou débit de crue) est une mesure importante dans l'hydrologie, correspondant au débit maximal d'un cours d'eau observé lors d'une crue.

À partir des résultats obtenus en se basant sur le débit de pointe le plus élevé enregistré dans le bassin de l'Oued Zat durant la période étudiée (1965-2022), 58 crues de référence ont été identifiées à la station de Tafriat.

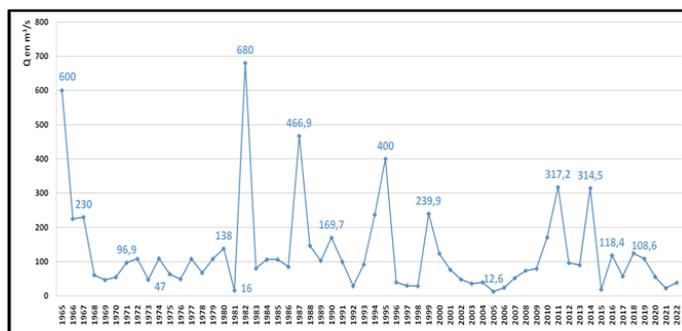


Figure 5 : Débit de pointe instantané annuel de la station Tafriat (1965 – 2022).

Selon la figure n° 5, nous constatons que la station de Tafriat enregistre une grande variation du débit de pointe d'une année à l'autre. Le débit de pointe le plus élevé a été enregistré en 1982, atteignant $600 \text{ m}^3/\text{s}$, tandis que le débit de pointe le plus bas a été enregistré en 2005, ne dépassant pas $12,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Les résultats obtenus indiquent également que les principales crues de référence ont été enregistrées entre 1980 et 2000.

Cette grande variation du débit de pointe peut être due à plusieurs facteurs, notamment les changements climatiques, le régime des précipitations, et peut-être d'autres facteurs tels que les interventions humaines dans le bassin versant.

2. Présentation de la crue de 02 Mai 2011

Après avoir déterminé le nombre total des crues de référence, soit 58 crues, à partir de débit de pointe le plus élevé de chaque année (1965 – 2022), nous allons maintenant procéder à l'analyse de la crue de référence de 2011.

Tableau 2 : La crue du 02 Mai 2011 dans la station de Tafriat

Année	Station	Période	Q de pointe	Durée
2011	Tafriat	02/05/2011 22:00	317,2	04 J 18 h 00 mn
		07/05/2011 08:00		

La figure n° 6 illustre plus clairement la crue du 2 mai 2011 :

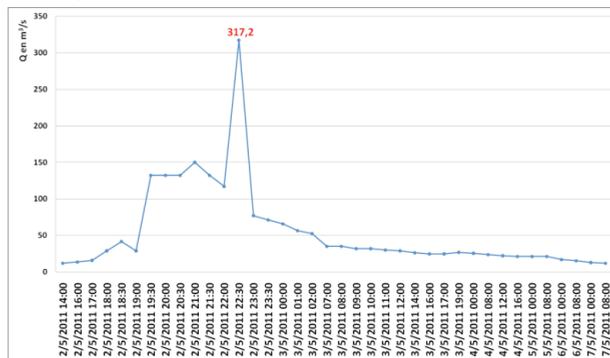


Figure 6 : Hydrogramme de la crue du 02 Mai 2011

Dans la station de Tafriat, la figure n° 6 montre la crue du 02 Mai 2011, une crue rapide avec un pic de 317,2 m³/s à 22h30. La décrue rapide indique un faible effet de rétention du bassin versant, caractéristique des crues éclair en milieu montagneux, probablement causées par des pluies intenses et soudaines.

3. L'analyse de la crue 2011 pour la période (02/05/2011 - 07/05/2011)

- **Débit maximal** : Pendant cette crue, le débit maximal enregistré a atteint 317,2 m³/s, ce qui constitue un pic significatif comparé aux débits annuels moyens habituellement observés dans le bassin.
- **Forme de la crue** : La crue de 2011 présente une forme composée, avec des variations notables dans le profil de montée et de descente des eaux.
- **Durée de la crue** : Cette crue a duré 4 jours et 18 heures, ce qui est considérablement longue par rapport aux autres crues enregistrés dans le bassin étudié.
- **Durée de montée et de descente** : La phase de montée des eaux a duré 8 heures, tandis que la phase de descente a pris 105,5 heures, indiquant une montée rapide et une descente très lente.
- **Distribution saisonnière** : Cette crue s'est produite durant la saison printanière, une période généralement marquée par des températures modérées, des précipitations importantes, y compris des pluies d'orages, et une activité hydrologique accrue due à la fonte des neiges et aux fortes pluies.

4. Les caractéristiques climatiques de l'année 2011

Pour déterminer la nature du débit, il est essentiel de le relier au facteur climatique, car celui-ci est le principal responsable et le régulateur de toutes les variations observées dans le débit. (Lahlou, N. 2021)

Pour cela, nous commencerons par étudier la distribution mensuelle des précipitations enregistrées à la station de Tafriat en 2011.

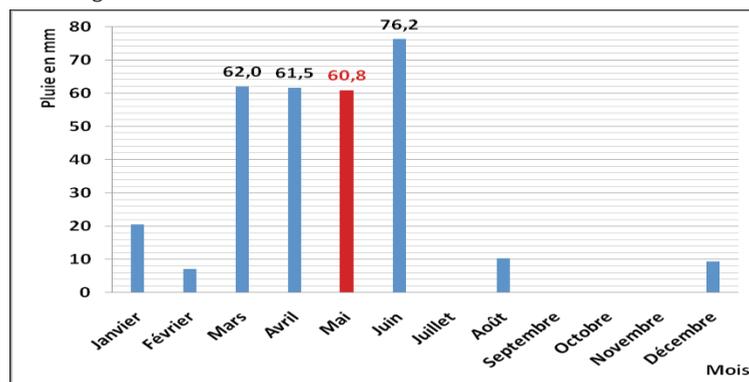


Figure 7: Répartition mensuelle des précipitations de l'année 2011 dans la station de Tafriat (Source : ABHT).

En nous basant sur les résultats obtenus de la figure n° 7, nous constatons que la distribution mensuelle des précipitations enregistrées en 2011 à la station de Tafriat a montré une variabilité notable d'un mois à l'autre. Les précipitations ont varié entre un minimum de 0 mm enregistré en juillet, septembre, octobre et novembre, Le maximum a

été atteint en juin avec 76,2 mm, suivi de mars et avril avec des précipitations importantes respectivement de 62mm et 61,5mm. En 4^{ème} position vient le mois de mai durant lequel la crue étudiée s'est produite avec 60,8 mm.

En conclusion, nous pouvons attribuer la crue de mai 2011 à l'abondance des ressources en eau durant la période de printemps, résultant de la double alimentation en eau due aux précipitations et à la fonte des neiges.

5. Les caractéristiques hydrologiques de l'année 2011

Après avoir étudié les caractéristiques climatiques de l'année 2011 et déterminé la position de la crue étudiée dans ce contexte, nous allons maintenant tenter de relier le cas étudié à la distribution annuelle et mensuelle du débit. Cela nous permettra également de comprendre les particularités hydrologiques de l'année 2011.

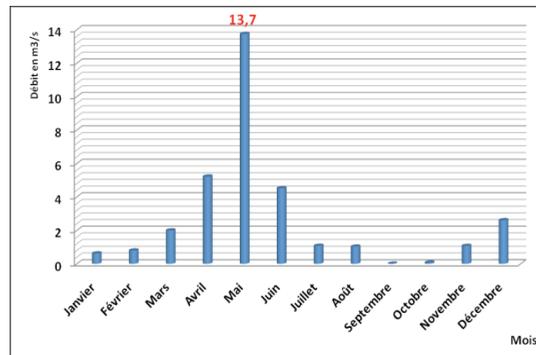


Figure 8 : Répartition mensuelle de débit de l'année 2011 à la station Tafriat (Source : ABHT).

En se référant à la distribution annuelle du débit pour l'année 2011, il est apparu que cette année-là a enregistré un débit très faible de 2,73 m³/s, inférieur à la moyenne annuelle de la série qui est de 3,23 m³/s. Mais à partir des résultats obtenus dans la figure n° 8, il est apparu que le mois de mai, où la crue a été enregistrée, a enregistré la valeur la plus élevée du débit mensuel, avec 13,7 m³/s.

Ainsi, il apparaît clairement que la crue étudiée occupe une position bien définie dans cette distribution. En d'autres termes, la crue de mai 2011 est le résultat de conditions climatiques et hydrologiques particulières, caractérisées principalement par une abondance des ressources en eau et une intensité du comportement hydrologique du cours principal durant cette période.

6. La relation pluie-débit de la crue 2011

Pour une analyse plus approfondie de la crue de mai 2011 dans le domaine d'étude et pour déterminer les principales caractéristiques qui la distinguent des deux cas précédents, nous comparerons la quantité de débit ayant causé cette crue avec les précipitations journalières enregistrées par la station Tafriat pendant la même période. La figure n° 9 nous fournit une illustration détaillée de cette comparaison.

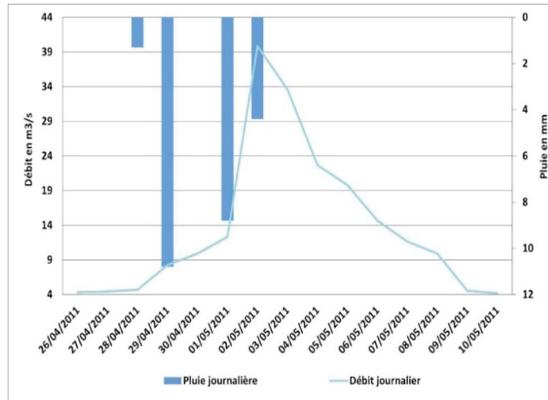
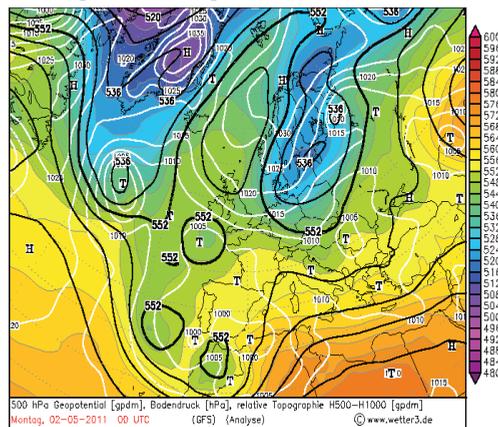


Figure 9 : Relation Pluie-Débit de la crue 2011 à la station de Tafriat (Source : ABHT).

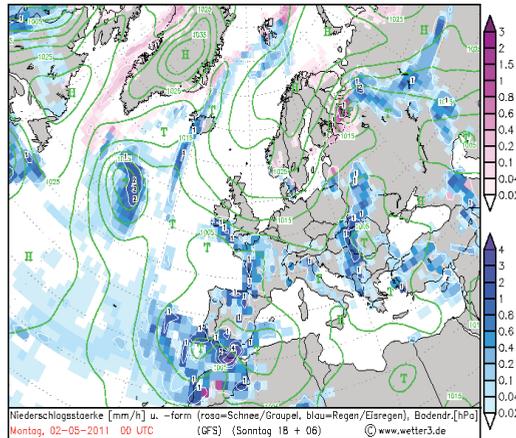
À partir des résultats obtenus, nous pouvons classer la crue du 02 mai 2011 parmi les crues directement liées aux concentration des précipitations dans l'espace, nous observons qu'immédiatement après les précipitations, le débit a augmenté à environ 40 m³/s, pour ensuite diminuer très rapidement en raison de l'absence totale de précipitations pendant cette période.

7. Conditions Météorologiques et Atmosphériques Associées à la Crue du 02 Mai 2011)

Pour mieux comprendre les conditions météorologiques et atmosphériques associées à la crue du 02 Mai 2011, nous avons téléchargé des cartes de pression atmosphérique à 500 hPa et des prévisions de précipitations ('Niederschlagsprognose'). Ces cartes montrent les configurations atmosphériques, telles que les systèmes de haute et basse pression, les dorsales, les creux, ainsi que l'intensité et la répartition des précipitations durant cette période critique.



Carte 3 : La carte de pression atmosphérique à 500 hPa du 02 Mai 2011 (Source : www.wetter3.de).



Carte 4 : La carte d'intensité des précipitations du 02 Mai 2011
 (Source : www.wetter3.de).

Les cartes 3 et 4 du 2 mai 2011 montrent une situation atmosphérique instable en Europe et en Afrique du Nord, pouvant avoir influencé la crue de l'Oued Zat au Maroc. La première figure, représentant la pression à 500 hPa, indique la présence d'une dépression marquée sur l'Atlantique Nord et l'Europe de l'Ouest, avec des creux de basse pression s'étendant vers le sud. Ces conditions favorisent la descente d'air froid vers le Maroc, créant un contexte favorable à une instabilité atmosphérique. La seconde figure, illustrant les précipitations, met en évidence des précipitations significatives sur le bassin méditerranéen et le Maroc, renforçant l'hypothèse d'épisodes pluvieux intenses ayant contribué à la crue du 02 Mai 2011 dans l'Oued Zat.

7. Conclusion :

Nous concluons, à travers cette contribution scientifique, que les crues de référence instantanées enregistrées dans le bassin versant de l'Oued Zat entre 1965 et 2022 sont marquées par une grande complexité, tant au niveau de leur forme que de leur saisonnalité et de la durée des phases de montée et de descente. Les résultats obtenus montrent une forte variabilité de ces crues, avec une montée souvent très rapide, ne durant parfois qu'une journée.

L'analyse de la crue du 2 mai 2011, considérée comme l'une des plus représentatives dans le bassin versant de l'Oued Zat, montre que cette dynamique particulière complique la gestion et la prévention des inondations, nécessitant ainsi des stratégies d'adaptation et une surveillance accrues.

Références bibliographiques :

- Ait Mlouk, M., ALGOUTI, A., Ahmed, A., & Ourhzif, Z. (2016). Utilisation des images satellitaires du Landsat dans l'étude de la dégradation des berges des oueds : Exemple des berges des oueds Rdat, Zat et Tensift lors de la crue de Novembre 2014 (Marrakech, Maroc). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 27, 119-129.
- Beltrando, G., & Chémery, L. (1995). *Dictionnaire du climat*. Larousse.
- Bouaida, J., Witam, O., Ibnoussina, M., Delmaki, A. E. F., & Benkirane, M. (2021). Contribution of remote sensing and GIS to analysis of the risk of flooding in the Zat basin

(High Atlas-Morocco). *Natural Hazards*, 108(2), 1835-1851.
<https://doi.org/10.1007/s11069-021-04758-x>

- Chkhami, K., Idrissi, A., & ELYADARI, S. (2023). La variabilité climatique associée à la genèse des crues dans l'oued Inaouène. *Colloque National « Les zones fragiles : Histoire, dynamiques et formes de gestion spatiale (Cas du bassin versant d'Inaouene) Taza 25-26 Mai 2022*, 20-34.
- El Ghachi, M. (2007). *La Seille : Un système fluvial anthropisé (Lorraine, France)* [These de doctorat, Metz]. <https://theses.fr/2007METZ015L>
- El Ghachi, M. (2020). *Les crues éclairs dans les bassins montagnards non aménagés : Identification, Analyse et Impact, cas du bassin d'ASSIF GZZEF, Haut Atlas Central (Région Béni Mellal Khenifra)*.
- Sibari, H., Haidi, S., & Ait-Fora, A. (2001). Typologie des crues et érosion mécanique dans un bassin versant de zone semi-aride : Bassin versant de l'oued Inaouene, Maroc. *Secheresse*, 12(3), Article 3.
- Lahlou, N., & El Ghachi, M. (2020). What is the role of the hydrometric approach in understanding the emergence and development of flash floods in small Moroccan basins: Case of the watershed of Oued Zemkil (Oum Er-Rbia Basin, Morocco). *International Journal of Environment & Water*, ISSN : 2052-3408.
- Lahlou, N. (2021). *Les crues dans le haut bassin de l'Oum Er-Rbia (Amont station Machraa Edahk) entre 1934-2018: identification, mesure, suivie et extraction (Maroc)* (Thèse de doctorat, Université Sultan Moulay Slimane Béni Mellal (Maroc)).
- Nguimalet, C. R. (2017). Changements enregistrés sur les extrêmes hydrologiques de l'Oubangui à Bangui (République centrafricaine): analyse des tendances. *Revue des Sciences de l'Eau*, 30(3), 183-196. <https://doi.org/10.7202/1044246ar>
- Karrouk, M. S. (2009). Changement climatique, prédiction et retour des précipitations au Maroc: de l'observation et le suivi spatiaux à la modélisation., *Revue de Géographie du Maroc*, N°25, Rabat.
- RODIER, J. (1989). Caractères Généraux de l'Hydrologie Superficielles des Zones Arides et Semi-Arides en Afrique. Leurs conséquences sur les Etudes des Ingénieurs, The State-of-the-Art of the Hydrology and Hydrogeology in the Arid and Semi-Arid Areas of Africa Preceedings of the Sahel Forum, 18-23 February 1989, Ouagadougou, Burkina Faso ; 15-34

