

FUTUROS DA ÁGUA
RESILIÊNCIA,
GOVERNAÇÃO
E ADAPTAÇÃO 

02

fevereiro
2026



FICHA TÉCNICA

AD ASTRA

REVISTA ONLINE DA UNIVERSIDADE ABERTA


Diretora

ANA PAULA AVELAR 
Universidade Aberta (UAb)


EDITORES

ANA PAULA AVELAR 
Universidade Aberta (UAb)

JOÃO SIMÃO 
Universidade Aberta (UAb)

JORGE TRINDADE 
Universidade Aberta (UAb)

Conselho Editorial

CÉLIA DIAS FERREIRA 
Universidade Aberta (UAb)

ISABEL HUET SILVA 
Universidade Aberta (UAb)

JOÃO SIMÃO 
Universidade Aberta (UAb)

MARIA DO ROSÁRIO LUPI BELO 
Universidade Aberta (UAb)

MARIA DO ROSÁRIO ROSA 
Universidade Aberta (UAb)

PEDRO FLOR 
Universidade Aberta (UAb)


PEDRO PESTANA 
Universidade Aberta (UAb)

Conselho Consultivo

BIAGIO D'ANGELO 
Universidade de Brasília (UnB)

DIONÍSIO VILA MAIOR 
Universidade Aberta (UAb)

FERNANDO COSTA 
Universidade Aberta (UAb)

JOÃO LUÍS CARDOSO 
Universidade Aberta (UAb)

KENNETH DAVID JACKSON 
Yale University

LUÍSA LEAL DE FARIA 
Universidade Católica Portuguesa

SANDRA CAEIRO 
Universidade Aberta (UAb)

SORAYA VARGAS CÔRTEZ 
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

TÂNIA FONSECA 
Kingston University

WALTER LEAL 
Hamburg University of Applied Sciences (HAW Hamburg)

PRODUÇÃO

Divisão de Comunicação e Marketing da Universidade Aberta

ISSN

3051-6773

DOI

<https://doi.org/10.34627/adastra.v2i1>

AD ASTRA 2026 by [Universidade Aberta](#) is licensed under [CC BY 4.0](#)





ÍNDICE

EDITORIAL - ANA PAULA AVELAR

DOSSIER TEMÁTICO - FUTUROS DA ÁGUA: RESILIÊNCIA, GOVERNAÇÃO E ADAPTAÇÃO

JORGE TRINDADE

Futuros da água : Resiliência, Políticas de Governança e Adaptação Local

Water Futures: Resilience, Governance, and Community Adaptation

CARLA FERNANDES; FÁTIMA ALVES

Água e desenvolvimento: a importância das percepções sociais em Marrocos

Water and Development: The Importance of Social Perceptions in Morocco

ANDRÉ BUONO SILVEIRA

A economia circular como inovação contra a poluição dos rios Tietê e Pinheiros

Circular economy as an innovation against pollution of the Tietê and Pinheiros rivers

LUÍS MORENO

Rega para agricultores familiares no contexto das alterações climáticas em Portugal: percepções, opções e necessidades

Irrigation for family farmers in the context of climate change in Portugal: perceptions, options and needs

MARIA DA GLÓRIA SALGADO GONÇALVES

Cheias no rio Vez: uma análise social através da Pirâmide de Freytag

Floods in the Vez River: A Social Analysis through Freytag's Pyramid

IDRISS SAMMAA; ALI TAOUS; MOHAMMED YAZAMI ZTAIT; IMAD EL GHALMI

Erosão fluvial e mutações morfométricas do Oued Bouregreg no setor de Maaziz (Planalto Central, Marrocos)

Erosion fluviale et mutations morphométriques de l'Oued Bouregreg dans le secteur de Maaziz (Plateau central, Maroc)

IMAD EL GHALMI; ALI TAOUS; IDRISS SAMMAA; LAHCEN OUIABOUB

Impactos hidro-morfo-sedimentares da barragem de Sidi Chahed e mutações da paisagem fluvial do baixo vale do Mikkès (bacia do Sebou, Marrocos)

Impacts hydro-morphosédimentaires du barrage Sidi Chahed et mutation du paysage fluvial de la basse vallée du Mikkès (bassin du Sebou, Maroc)

LUÍS ALÍPIO GOMES; TÂNIA SUELY AZEVEDO BRASILEIRO; HELANA MIRANDA DA C. GOMES

Sustentabilidade ambiental e o papel do ensino superior: um estudo de caso do rio Tapajós, na Amazônia

Environmental Sustainability and the role of Higher Education: a case study of the Tapajós River in Amazon

BERNARDO SALES; SÉRGIO C. OLIVEIRA; JORGE TRINDADE

Suscetibilidade e exposição à erosão costeira no município de Peniche – evolução recente e futura

Coastal Erosion Susceptibility and Exposure in the Municipality of Peniche – Recent and Future Evolution



ABDELLAH KHOUZ, JORGE TRINDADE, PEDRO PINTO SANTOS,
FATIMA EL BCHARI, SÉRGIO C. OLIVEIRA, RICARDO A. C.
GARCIA, ASMA BOUGAYOU, MUSTAPHA IKIRRI, MOURAD
JADOUD, SAID RACHIDI, AND BLAID BOUGADIR

Contributo de modelos estatísticos na avaliação da
suscetibilidade a cheias na província de Essaouira, Marrocos
*Contribution of statistical models in flood susceptibility assessment
in Essaouira Province-Morocco*

ASMA BOUGAYOU ; ABDELLAH KHOUZ ; FATIMA EL BACHARI;
JORGE TRINDADE; MUSTAPHA IKIRRI; SIHAM AFRAOU; FARID
FAIK; BLAID BOUGADIR

Avaliação do potencial de águas subterrâneas na área de Ait
Abdellah com recurso à deteção remota e SIG

*Assessment of groundwater potential in the Ait Abdellah area by
using remote sensing and GIS*

JOÃO CARRILHO, ABDELLAH KHOUZ, JORGE TRINDADE
Águas subterrâneas na governação do nexo Água-Energia-Ali-
mentação em áreas periurbanas exteriores

*Groundwater in the Water-Energy-Food nexus governance in
outer peri-urban settlements*

GUSTAVO DGEDGE, CELSO CHIVALE, JAIME MAGAIA, JORGE
TRINDADE

Avaliação das áreas suscetíveis a cheias na sub-bacia do rio
Revúboè, Moçambique

*Assessing Flood Susceptibility Areas in the Revúboè river
sub-basin, Mozambique*

ANDREIA ALVES DA SILVA; LUÍS PEDRO ALMEIDA; ANTÓNIO
H.F. KLEIN

Abordagem multiescalar baseada em dados de satélite
para a análise de tendências da linha de costa em Portugal
Continental

*Satellite-driven multi-scale approach for shoreline trend analysis
in Mainland Portugal.*

ANDREIA ALVES DA SILVA, JORGE TRINDADE; JORGE ROCHA
Avaliação do perigo e da exposição à subida do nível do mar
em Portugal Continental

*Hazard and Exposure Assessment to Sea Level Rise in Mainland
Portugal.*

MOHAMED LOUAZANI, ABDERRAFIE EL MAKNISSI

Sistemas de gestão da água nos oásis saariano e o desafio da
sustentabilidade face às alterações climáticas: estudo de caso
dos oásis de Oued-Noun, sul de Marrocos

*The Water Management Systems in Saharan Oases and the
Sustainability Challenge in the Face of Climate Change: A Case
Study of the Oued-Noun Oases, Southern Morocco.*

RICARDO ACÁCIO XAVIER; PEDRO PINTO SANTOS;
JOSÉ MANUEL MENDES

Risco de cheias em Moçambique: estratégias comunitárias para
a redução da vulnerabilidade a partir de dois estudos de caso

*Flood risk in Mozambique: communitarian strategies for
vulnerability reduction from two case studies.*

SUSANA PEREIRA; JORGE TRINDADE; ANDREIA ALVES DA
SILVA; PEDRO PINTO SANTOS; EUSÉBIO REIS; JOSÉ LUÍS
ZÊZERE

Perfis de risco de perigos costeiros em Portugal Continental à
escala da freguesia

*Risk profiles of coastal hazards in mainland Portugal at the civil
parish level.*



CHAIMA IMAM; MOHAMED CHAIBI; FATIMA EL BCHARI
Cartografia da sensibilidade à degradação dos solos na bacia hidrográfica do oued El Abid: aplicação do modelo MEDALUS
Cartographie de la sensibilité à la dégradation des sols dans le bassin versant de l'oued El Abid : Application de MEDALUS

GONÇALO BATISTA; MARIANA CONCEIÇÃO; RICARDO GARCIA, SÉRGIO OLIVEIRA, ANDRÉ TRINDADE, CLÁUDIA VIANA, JORGE ROCHA
Nova cartografia de solos à escala 1:100 000 para Portugal Continental
A New Soil Cartography at 1:100,000 scale for mainland Portugal

MARIANA CONCEIÇÃO, GONÇALO BATISTA, RICARDO GARCIA, SÉRGIO OLIVEIRA, ANDRÉ TRINDADE, CLÁUDIA VIANA, JORGE ROCHA
Delimitação de distritos de solos em Portugal Continental
Delimitation of Soil Districts in mainland Portugal

CHAIMA IMAM, MOHAMED CHAIBI, FATIMA EL BCHARI, MOHAMED AYT OUGOUDAL, ABDESSAMAD CHARIF, HALIMA AIT MALEK
Recuo de arribas costeiras e suscetibilidade ao perigo na região de Safi, Marrocos
Coastal Cliff Retreat and Hazard Susceptibility in the Safi Region, Morocco

SAMIR IDLLALÈNE; ABDESSAMAD AFIFI MOULAY; ALAZALI MOUNIA; MOHAMED MOUCH; BENABDERRAZIK RADIA; LAHCEN OUAHMANE; ABDERRAFIE EL MAKNISSI
Análise dos desafios jurídicos, ambientais e socioeconómicos das autoestradas da água em Marrocos: um estudo de caso
Analyse des enjeux juridiques, environnementaux et socio-économiques des autoroutes de l'eau au Maroc: une étude de cas

EL MEHDI EL JOUMDOUNI; ABDESSAMAD CHARIF; ABDELGHANI QADEM; BRAHIM EL OUTASSI; HALIMA AIT MALEK; MOHAMED CHAIBI; FATIMA EL BCHARI
Análise estatística do impacto das alterações climáticas na distribuição espaço-temporal da precipitação no norte da região de Abda (província de Safi, Marrocos)
Analyse statistique de l'impact des changements climatiques sur la répartition spatio-temporelle des précipitations dans le Nord de la région de Abda (Province de Safi – Maroc)

VARIA

JOÃO CARLOS MARQUES SIMÕES
A importância das grandes florestas tropicais e a segurança ambiental: perspetivas das florestas tropicais na região dos Grandes Lagos
The importance of large tropical forests and environmental security: perspectives on tropical forests in the Great Lakes region

JOSÉ DAS CANDEIAS SALES, SUSANA MOTA
José de Souza Larcher e o domínio inglês do Egipto nas Impressões de Viagem (1901)
José de Souza Larcher and British rule in Egypt in Impressões de Viagem (1901)

GUILHERME OLIVEIRA MARTINS
Vinte anos da Convenção de Faro
Twenty years since the Faro Convention



RECENSÕES

PAULO OSÓRIO

História do Pensamento Linguístico-Gramatical em Portugal e no Brasil de Batista, Ronaldo de Oliveira; Fernandes, Gonçalo; Bastos, Neusa Barbosa & Assunção, Carlos (eds) (2025).

JEFFREY CHILDS

Inventions of a Present: The Novel in its Crisis of Globalization,
by Fredric Jameson

TESTEMUNHO(S)

HERMANO CARMO

Prémio Armando Rocha Trindade

Erosão fluvial e mudanças morfométricas do Oued Bouregreg no setor de Maaziz (Planalto Central, Marrocos)

Erosion fluviale et mutations morphométriques de l'Oued Bouregreg dans le secteur de Maaziz (Plateau central, Maroc)

Idriss Sammaa

Ali Taous

Mohammed Yazami Ztait

Imad El-Ghalmi

Resumo

Este estudo centra-se na análise do processo de erosão fluvial e das consequentes alterações morfométricas no leito do rio Bouregreg, em Maaziz. Os resultados indicam uma erosão intensa, particularmente durante cheias de grande caudal, manifestando-se como erosão na base do leito, deslizamentos e colapsos das margens. Para além desta atividade erosiva, os afluentes laterais e os leques aluviais também contribuem para a metamorfose fluvial. Entre 1970 e 2020, o leito do rio sofreu ligeiras modificações morfométricas, caracterizadas pela preservação do mesmo estilo fluvial, apesar de alterações locais como o estreitamento do canal e a formação de bancos de cascalho.

Palavras-chave: Oued Bouregreg, Maaziz, erosão fluvial, alterações morfométricas.

Idriss Sammaa

sammaaidriss@gmail.com

Ali Taous

ali.taous@usmba.ac.ma

Mohammed Yazami Ztait

mohammed.yazamiztait@usmba.ac.ma

Imad El-Ghalmi

Département de Géographie, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Sais-Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc

elghalmi2014imad@gmail.com

Abstract

This study focuses on analyzing the fluvial erosion process and the resulting morphometric changes in the Bouregreg Riverbed at Maaziz. The results indicate intense erosion, particularly during high-flow floods, manifesting as undercutting, sliding, and bank collapse. In addition to this erosive activity, lateral tributaries and alluvial fans also contribute to fluvial metamorphosis. Between 1970 and 2020, the riverbed underwent slight morphometric modifications, characterized by the preservation of the same fluvial style, despite local changes such as channel narrowing and the development of gravel bars.

Keywords: Oued Bouregreg, Maaziz, fluvial erosion, morphometric changes.

Introduction

A côté du transport de matériaux, le processus d'érosion et de sédimentation jouent un rôle fondamental dans la détermination de la morphologie fluviale (A. Taous, 2005). A l'échelle du lit fluvial, l'intensité des processus d'érosion est variable dans le temps et dans l'espace. Elle dépend de plusieurs facteurs physiques (hydrodynamisme des cours d'eau, leurs profils longitudinaux, leurs styles morphologiques...).

Dans la vallée du Moyen Bouregreg, secteur de Maaziz, le lit fluvial de l'oued est soumis à des processus érosifs qui peuvent s'exercer aussi bien verticalement en profondeur du chenal que latéralement. Ces processus d'érosion s'accroissent manifestement lors des crues torrentielles occasionnées par les averses intenses. Ils sont très variés (modalités et intensités), et ils diffèrent selon les conditions bioclimatiques et les contextes géomorphologiques (A. Taous, 2005). En fait, l'érosion fluviale le long de l'Oued Bouregreg constitue un risque hydro-géomorphologique majeur et délicat du fait de l'ampleur de ses conséquences environnementales et socio-économiques. A l'échelle de la plaine alluviale de Maaziz, l'érosion des berges occasionnent des pertes en sol estimées à environ 78 hectares durant 50 ans (période 1970-2020), soit une dégradation annuelle moyenne de 1,56 hectares.

Sur le plan morphodynamique, l'action de l'érosion par sapement des berges aux moments des crues de forte énergie hydrodynamique, accompagnée d'une forte activité latérale des cônes de déjection, engendre une modification assez profonde des morphologies fluviales. Durant la période 1970-2020, le lit a enregistré un amenuisement de sa largeur d'environ 19% et une augmentation de sa longueur de 6%, ce qui signifie un changement des caractéristiques morphométriques des méandres. L'objectif de cet article est de mettre en évidence l'impact du processus d'érosion fluviale sur la morphométrie du lit fluvial du Moyen Bouregreg dans le secteur de Maaziz, durant la période

1970-2020, tout en analysant les formes d'érosion observées et les changements morphométriques détectés à l'échelle des méandres durant la période étudiée.

Methodologie et Outils du Travail

La méthodologie adoptée dans cet article s'est basée essentiellement sur :

Travail de terrain : il vise à identifier et caractériser le risque d'érosion des berges et son extension spatiale le long du tronçon, à travers l'observation, les mesures morphométriques et la prise des photos.

Exploitation des fonds cartographiques couvrant la zone d'étude : elle a pour objectif de déterminer les caractéristiques physiques de la zone d'étude, étude diachronique du chenal actif et les incidences liées au risque d'érosion des berges (cartes topographiques, 1/25000 et 1/100000, feuilles de Maaziz et Khemissèt, et carte géologique, 1/10000, feuille de Khemissèt), des photos-aériennes (échelle 1/25000, 1970) et images satellitaires (Google Earth : missions 2003 et 2020). Le traitement de ces documents a été effectué à l'aide du logiciel ArcGis 10.4.

Etude de la morphométrie des méandres : elle consiste à caractériser quantitativement et analyser la géométrie de la sinuosité du lit fluvial, en déterminant les principaux paramètres morphométriques (M. J. Selby, 1985) (fig. 1).

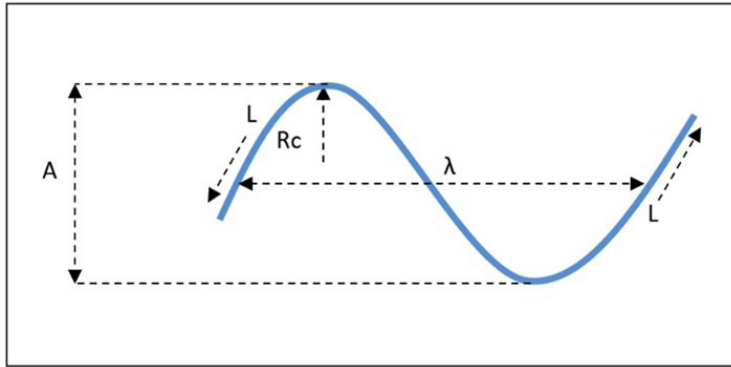


Figure 1 . Principaux paramètres morphométriques des méandres d'un cours d'eau (selon M. J. Selby, 1985)

λ : longueur d'onde, A : amplitude des méandres, L : longueur du talweg entre deux inflexions de même sens, Rc : rayon de courbure, Is : indice de sinuosité (L/λ)

L'amplitude des méandres est mesurée entre deux sommets de sinuosités de phases opposées (M. J. Selby, 1985). Sa valeur est calculée en traçant l'enveloppe externe de méandrage et une perpendiculaire pour obtenir une valeur moyenne correcte (J. R. Malavoi et J. P. Bravard, 2010) ; tandis que le rayon de courbure se mesure en faisant passer un cercle par les deux points d'inflexion d'une sinuosité complète, ou en ajustant l'arc du cercle à la forme la plus proche de la sinuosité si le méandre est tortueux. Les deux paramètres se calculent de préférence dans un méandre homogène.

Présentation de la Zone d'Etude

Le tronçon de cours d'eau étudié se situe dans la moyenne vallée du Bouregreg dans le secteur de Maaziz, où il est développé au sein d'une cuvette à fond large, creusée dans les terrains du plateau inférieur du plateau central marocain (G. Beaudet, 1969). Il s'étend du Sud au Nord sur un linéaire de 12,8km,

depuis la zone d'Ait Brahim jusqu'aux environs du douar d'Ait Azzouz (fig. 2). Le cours de l'Oued Bouregreg dans ce tronçon constitue une limite naturelle séparant le territoire de deux communes territoriales qui appartiennent à la province de Khemissèt. A l'échelle de sa confluence avec l'Oued Tanoubart se termine le territoire de Tiddas (rive gauche) et débute le territoire de Maaziz (rive droite). Ici, l'Oued Bouregreg développe une plaine alluviale large et draine de l'amont vers l'aval les douars de deux communes de Tiddas et Maaziz (Ait Ali Ou Amer, Ait Brahim, Ait Driss Raja...), connues par leurs activités agricoles aussi bien pluviale qu'irriguée, et le pâturage.

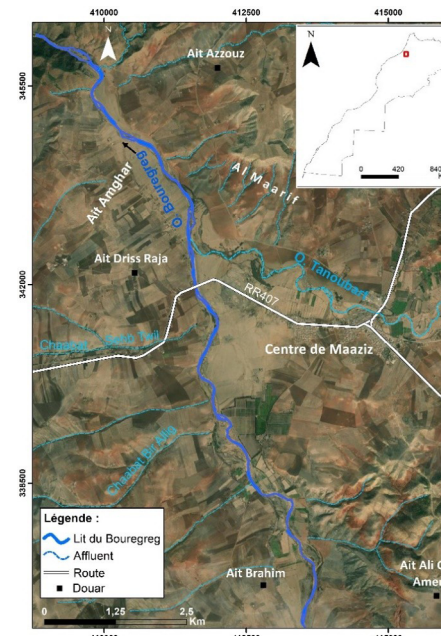


Figure 2 . Localisation géographique du secteur de Maaziz (extrait de l'Images de Google Earth, 1/25000, 07/11/2021)

Dans le secteur de Maaziz, la vallée de Bouregreg est développée principalement dans des terrains secondaires formés d'argiles et basaltes altérés du Trias, surmontées par les marnes, grès et calcarénites du Miocène (fig. 3). La nature tendre des terrains traversés par l'oued permet le développement d'une vallée large caractéristique, dissymétrique de part et d'autre du cours d'eau. L'évasement de la vallée a permis la conservation de véritables héritages quaternaires sous formes des terrasses alluviales, cônes de déjection, glacis et nappes colluviales plus

ou moins épaisses. Dans ce contexte, le cours d'eau présente une pente longitudinale faible (2‰), et reçoit l'affluent nommé Oued Tanoubart sur la rive droite, en aval du centre Maziz. Son tracé est orienté SE-NW, et montre un chenal unique sinueux et divagant dans un fond de vallée à soubassement argilo-basaltique triasique.

Les versants triasiques sont très sensibles aux processus d'érosion et d'altération. Les basaltes interstratifiés n'offrent pas de résistance aux processus érosifs et les terrains montrent par ailleurs de nombreuses formes de ravinement et de solifluxion (A. Benmohammadi, 1991). Des paysages de badlands sont observés de part et d'autre du cours d'eau sur les versants.

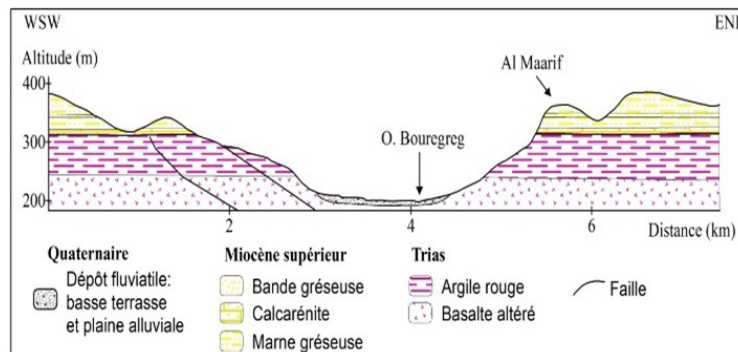


Figure 3 . Coupe géologique de la vallée de Bouregreg à Maaziz (d'après la carte géologique de Khemissèt, 1/100000, 2002 ; et observation du terrain)

Sur le plan hydroclimatique, le secteur d'étude est doté d'un climat méditerranéen semi-aride caractérisé par des fluctuations saisonnières assez importantes (A. Marghich, 2004). La chronique 1980-2016 montre qu'il s'agit d'un régime pluviométrique méditerranéen irrégulier, caractérisé par de fortes variations interannuelles et saisonnières ; les précipitations maximales atteignent 689,8mm à Maaziz (station Lalla Chafia). Les températures mensuelles moyennes oscillent entre 8°C et 27°C

(fig. 4). Ces conditions climatiques contrôlent les écoulements irréguliers de l'Oued Bouregreg, caractérisés par des crues de fort hydrodynamisme et des étiages d'été plus ou moins sévères. Les crues automnales, hivernales et printanières sont souvent violentes et leurs débits de pointe peuvent dépasser 1200 m³/s (exemple : 1296 m³/s le 30 Novembre 2010 à la station Lalla Chafia).

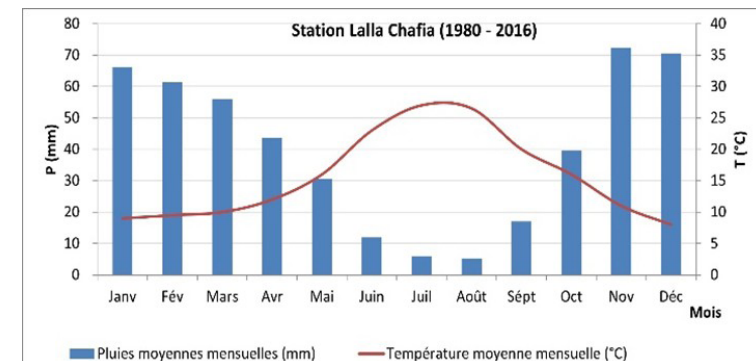


Figure 4 . Diagramme ombrothermique montrant les caractéristiques des précipitations et de température de Maaziz (station Lalla Chafia, 1980-2016)

Resultats et Discussions

Le long du secteur d'étude, le processus d'érosion est fréquent et présente des formes multiples. Il varie selon la nature lithologique des terrains encaissants, l'intensité du courant hydrique et la situation des berges par rapport aux cônes de déjection et affluents latéraux, leur hauteur, leur composition granulométrique, la morphologie du chenal, présence ou absence de la ripisylve... l'étude de terrain a permis d'identifier trois principaux types de processus, à savoir :

Sapement de berges

Il s'agit d'un processus mécanique qui conduit à l'enlèvement de matériaux constitutives des berges et à la modification de leur morphologie, notamment celles situées dans les concavités des méandres. Il s'agit de sapements de berges qui s'activent lors des forts écoulements de l'oued ; par leur menace, ces sapements préoccupent depuis longtemps la population locale et les paysans de la vallée de Bouregreg, vu les pertes en sols et cultures développées sur la plaine alluviale, et leur incidence socio-économique.

Lorsque la morphologie du fond est très large, le sapement associé à la migration des méandres, est généralement très actif. Dans la partie amont de la vallée, à proximité d'Ait Brahim, l'étranglement de la vallée concentre et accélère la vitesse d'écoulement et le sapement des berges est très actif latéralement. Lors des décrues, l'écoulement affecte le pied des berges, ce qui contribue à l'effondrement de ses unités supérieures. Par exemple, à Ait Amghar (Ph. 1), le recul de la berge entaillée dans la basse terrasse est quantifié d'environ 90m durant 50ans (1970-2020). Elle est strictement influencée par les apports transportés par l'Oued Bouregreg, en plus de son affluent Oued Tanoubart.



Photo 1 . Berge fortement sapée en rive gauche du Bouregreg à proximité de douar d'Ait Amghar à Maaziz (26/08/2017).

Glissement de berges

Le glissement de masse des berges est un processus mécanique qui affecte les berges moins stables et relativement cohérentes. Il correspond au déplacement d'une partie de la berge le long d'une surface de cisaillement (Ph. 2). Il se déclenche le plus souvent dans les moments des basses eaux et les décrues, lorsque l'écoulement affecte le pied des talus séparant le lit de l'oued et sa plaine alluviale. Les plus exposées à ce type de dynamique sont les berges situées dans les concavités des méandres et relativement riches en limons et argiles.

La saturation en eau du sol développé au sommet de la berge ou la surcharge de celle-ci par des activités anthropiques (agricultures, constructions...) exercent un poids supplémentaire et influencent son équilibre dynamique. Lors des décrues, l'affouillement des bas de berges implique leur déséquilibre et le déclenchement de glissement, plus particulièrement lorsque les matériaux sont peu drainants puisque riches en argiles et limons. Ce type est observé dans les larges tronçons du Bouregreg, où les berges sont bien développées et façonnées par des méandres de forte sinuosité.



Photo 2 . Berge glissée en rive droite du Bouregreg dans le secteur d'Ait Brahim (26-05-2021)

Effondrement de berges

L'effondrement de la berge correspond au déplacement brutal d'une partie des sédiments des horizons supérieurs de la berge vers son pied. Dans le cas où les berges sont très cohérentes, l'érosion par le courant au pied de la berge peut conduire à la création des zones de surplomb (G. Degoutte, 2002), et favoriser l'effondrement brutal de ses unités supérieures, qui peut alimenter un éboulement. Ces phénomènes se produisent souvent pendant les moments des hautes eaux. Les interventions anthropiques peuvent favoriser l'accélération de ce processus. L'agriculture exercée sur la plaine alluviale et le défrichement de la ripisylve perturbent parfois l'équilibre et la stabilité de la berge et favorise l'effondrement de son horizon supérieur. Aussi, la mise en place des seuils de déviation de l'eau perturbe l'écoulement et favorise la genèse de l'érosion latérale dans le pied de la berge et permet l'effondrement et l'éboulement de ses unités supérieures. Ce type est observé au niveau du tronçon aval de Chaabat Bir Alig en rive droite de Bouregreg, et principalement dans le cas des berges cohérentes, moyennement hautes et à granulométrie limono-sableuse (Ph. 3).



Photo 3 . Effondrement d'une berge en rive droite du Bouregreg en amont du pont de RR 407 (26/05/2021)

En définitif, il ressort de cette analyse que l'évolution des berges reste globalement faible et leur dégradation périodique traduit la réponse du Bouregreg au régime hydrologique. La dynamique des berges dépend aussi des interventions anthropiques multiples à l'échelle de la plaine alluviale et le lit fluvial. Les observations du terrain et l'étude diachronique de la situation des berges, en comparant les années 1970 et 2020, montrent que le recul des berges est relativement lent. Les pertes en sols de terres agricoles durant les cinq dernières décennies sont évaluées de 78 hectares (23 ha sur la rive gauche et 55 ha sur la rive droite). Ainsi, d'après ces résultats, les pertes annuelles moyennes en surfaces des terres agricoles seraient d'environ 1,56 hectares à Maaziz (tab. 1).

Potentiel actuel en terres agricoles (ha)	Pertes rive gauche en 50 ans (ha)	Pertes rive droite en 50 ans (ha)	Pertes totales en 50 ans (ha)	Pertes annuelles moyennes (ha)
675	23	55	78	1,56

Tableau 1 . résultats de l'essai de quantification des superficies des pertes en terres agricoles par sapement des berges dans le secteur de Maaziz entre 1970 et 2020

Impact de l'érosion fluviale sur la morphométrie de l'Oued Bouregreg

Les résultats de l'étude diachronique du lit moyen de l'Oued Bouregreg à Maaziz, et l'essai de quantification des mobilités morphologiques du chenal de l'oued, montrent que ce dernier a subi des changements plus ou moins profonds. Il tend globalement vers le rétrécissement de sa largeur. Durant les années 1970, les valeurs de largeur obtenues sont majoritairement importantes, puisque la valeur maximale enregistrée était 69 m, à proximité de douar Ait Brahim. Cette situation indique sur le plan hydrogéomorphologique, l'importance de l'écoulement fluvial

(succession des crues) d'une part, et l'action érosive latérale d'autre part.

L'évolution durant la période 1970 et 2020, indique en gros une diminution de la largeur puisque les moyennes enregistrées sont respectivement de 44m en 1970 et 36m en 2020, même si certains secteurs ont connu des changements inverses, avec augmentation de la largeur. C'est le cas par exemple des secteurs d'Ait Aissa, ainsi qu'au niveau du pont de la route régionale RR407 et à l'aval du tronçon à proximité du douar Ait Azzouz (fig. 5). L'étude des indices morphométriques des méandres et leur évolution temporelle nous a permis de constater de légères variations dans l'ensemble du tronçon (tab. 2). En effet, la valeur de la longueur d'onde est caractérisée par une régression assez importante, notamment durant la période 1970-2020 (diminution de 21%) ; puisque sa valeur moyenne a passé de 947m à 750m. Quant à l'amplitude des méandres, les moyennes enregistrées durant les trois périodes sont respectivement 230m, 378m et 323m ; c'est-à-dire une augmentation de 64% entre 1970 et 2003, et une diminution de 14% entre 2003 et 2020, et un accroissement de 40% lorsqu'on considère toute la période entre 1970 et 2020.

En ce qui concerne la longueur du talweg entre deux inflexions successives (longueur d'onde), elle a subi en moyenne une augmentation de 16% durant la période 1970-2003 et une régression de 29% dans la période 2003-2020 et 17% entre 1970 et 2020 (tab. 2). Le rayon de courbure présente des valeurs d'évolution négatives ; les moyennes enregistrées sont respectivement 207m, 195m et 142m durant les trois périodes, avec un taux de régression de 6% entre 1970 et 2003, 27% entre 2003 et 2020 et 31% entre 1970 et 2020. L'indice de sinuosité sur l'ensemble du tracé a subi de légères modifications, puisque le taux de variation est de 9,5% entre 1970 et 2003, -3,2% entre 2003 et 2020 et environ 6,1% durant l'ensemble de la période 1970-2020. On a constaté aussi qu'il y a plus de

méandres abandonnés dans le cas de 2020 qu'auparavant, ce qui traduit que le tracé a subi durant les dernières décennies une dynamique latérale relativement importante.

	1970	2003	2020	Taux d'évolution (%) 1970-2020
Longueur réelle (km)	12,1	13,2	12,8	+6
Largeur moyenne (m)	44	32	36	-19
Longueur d'onde (m)	947	940	750	-21
Longueur du talweg (m)	1103	1280	909	-17
Amplitude (m)	230	378	323	+40
Rayon de courbure (m)	207	195	142	-31
Indice de sinuosité	1,15	1,26	1,22	+6

Tableau 2 . Taux d'évolution des indices géométriques et morphométriques des méandres de Bouregreg à Maaziz Durant la période 1970-2020

D'après l'étude diachronique du lit de Bouregreg (fig.5) basée sur la superposition des trois tracés fluviaux durant les trois années 1970, 2003 et 2020, nous pouvons ressortir les remarques suivantes :

- En 1970 : Le lit de Bouregreg correspondait à un chenal unique sinueux, avec un indice de sinuosité qui avoisine 1,15. Sa longueur était de l'ordre de 12,1km et sa largeur oscillait entre 10 à 69m. Nous pouvons également mettre en évidence d'après la photo-interprétation l'existence des portions plus larges à ramification de chenaux secondaires caractérisées par des bancs alluviaux longitudinaux peu végétalisés.
- En 2003 : on constate une migration latérale du lit de Bouregreg. La longueur réelle du lit avoisinait 13,2km et sa largeur variait de 12 à 66m. L'indice de sinuosité est égal à 1,26, ce qui indique un style fluvial plus sinueux et divagant. Durant cette période, le tracé de l'oued est caractérisé par l'apparition des boucles de méandres dans trois sites différents (Ait Aissa, Ait Brahim et l'aval de la confluence avec l'Oued Tanoubart).

— En 2020 : Le rétrécissement du lit de Bouregreg et sa migration latérale ont permis l'apparition de nombreuses barres caillouteuses, généralement longitudinales, riches en galets et parfois en blocs gréseux et basaltiques (observation de terrain). Ces barres fluviales se développent principalement dans des zones à pentes assez fortes. La migration latérale et l'érosion par sapement permettent le développement des méandres, avec parfois l'apparition des chenaux secondaires séparés par des bancs alluviaux. La longueur du lit a atteint 12,8km, et sa largeur moyenne est de l'ordre de 36m. Les taux d'évolution des indices morphométriques des méandres durant la chronique 1970-2020 sont majoritairement négatifs (tab. 2). Notons que la migration du lit peut être expliquée dans certains lieux par l'action des cônes de déjection, qui poussent le chenal de l'oued vers la rive opposée, tel que le cas du sous tronçon situé directement en amont du pont de RR407 (fig. 5). Ici le courant des ravins (chaabats) a engendré l'accumulation des dépôts sur la rive gauche du lit, ce qui a favorisé le rétrécissement de ce dernier et sa migration vers la rive droite. Cette migration est quantifiée d'environ 38m entre 1970 et 2003, 41m entre 2003 et 2020 et environ 103m entre 1970 et 2020 (fig. 5).

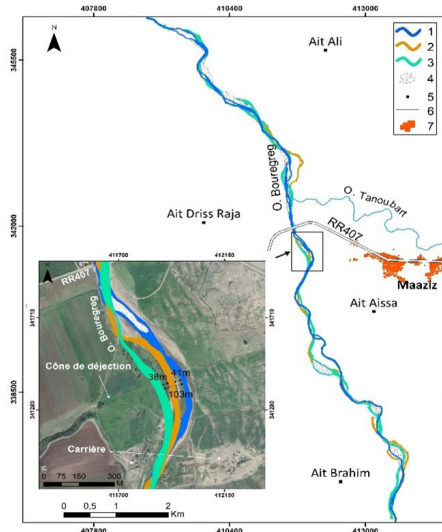


Figure 5 . Evolution spatio-temporelle du tracé du lit de l'Oued Bouregreg à Maaziz durant les années 1970, 2003 et 2020 :

1. Tracé du lit en 2020 ;
 2. Tracé du lit en 2003 ;
 3. Tracé du lit en 1970 ;
 4. Barre alluviale ;
 5. Douar ;
 6. Route ;
 7. Agglomération.
- Sur l'image on observe le détail dans le cas de l'influence du cône latéral en amont du pont de la route RR407.

La comparaison de cette tendance morphométrique avec le cas du tronçon de Larbaa Sehoul dans le Bas Bouregreg montre en gros, la même évolution. Le chenal actif a conservé le même style fluvial, puisque l'indice de sinuosité n'a pas connu un grand changement (de 1,53 en 1970 à 1,49 en 2020). En définitif, malgré de légères modifications, le lit du Bouregreg dans le tronçon de Maaziz n'a pas subi de véritables changements de tracé depuis le début des années 70 jusqu'au 2020, à l'exception de quelques sous tronçons situés essentiellement dans des sites de cônes de déjection et en amont du pont de Maaziz. Les traces des interventions anthropiques ont été observées durant cette période, des constructions et des carrières ont été installées sur les deux rives du Bouregreg, ainsi que le changement du paysage agricole, matérialisé par l'augmentation de la superficie agricole. En gros, ces interventions humaines ont eu de faibles influences localisées sur la morphologie du chenal. Les légers changements du lit observés et quantifiés à l'échelle du tronçon de Maaziz sont généralement liés à l'activité des processus érosifs aux moments des crues torrentielles et à la dynamique latérale des cônes de déjection. Le type de substrat friable et l'absence du couvert végétal jouent un rôle déterminant dans l'accélération de ravinement à l'échelle des versants et contribue à l'évacuation d'importantes quantités de matériaux qui sont déplacés vers le lit fluvial. Cet apport latéral, ajouté à l'apport longitudinal issu de l'amont, implique la perturbation de l'équilibre dynamique et favorise l'évolution du tracé. En revanche, la stabilité relative de certains transects étroits est due à l'influence du substrat géologique et le contexte géomorphologique.

Conclusion

Il apparaît donc, que le processus d'érosion fluviale engendré par la dynamique de Bouregreg dans le secteur de Maaziz est très actif, notamment aux moments des crues de fort hydrodynamisme. Il se manifeste essentiellement par le sapement, le glissement et l'effondrement des berges non cohérentes. Les

processus d'érosion sont influencés également par l'activité des cônes de déjection et affluents latéraux. L'étude diachronique du tracé du Bouregreg depuis 1970 jusqu'à 2020 a permis de retracer l'évolution spatio-temporelle récente du chenal actif. En effet, dans un contexte de sapement de berge et de divagation des méandres, malgré de légères modifications de détail observées localement, le tracé de l'Oued Bouregreg a conservé globalement le même style fluvial, avec un indice de sinuosité proche de 1,2. Ce qui caractérise ce type de cours d'eau évoluant en contexte géomorphologique de plateau. La mise en place des travaux d'aménagement transversaux et longitudinaux le long du cours d'eau (murs de protection, barrages, radiers...) est une priorité pour atténuer le risque lié à l'érosion et conserver les biens de la population locale.

Références

BEAUDET G., 1969. Le plateau central m. et ses bordures : Etude géomorphologique. Inframar. Rabat. 480p.

BENMOHAMMADI A., 1991. Erosion et sédimentation dans le bassin versant de l'Oued Bouregreg. Thèse du 3ème cycle, univ. Mohamed V, Rabat, 244p.

DEGOUTTE G., 2002. Hydraulique et dynamique fluviale, appliquées au diagnostic, à l'aménagement et la gestion des rivières, Col. Ouvr. péd., Ed. ENGREF, 306p.

MALAVOI J. R. et Bravard J. P., 2010. Eléments d'hydrogéomorphologie fluviale. Onema, 224p.

MARGHICH A., 2004. Le bassin versant de Bouregreg (Maroc central) : Etudes hydrologique, hydrogéologique et hydrochimie des eaux. Thèse de Doctorat, Univ. SMBA, FS, Dhar El Mehrz, Fès.

SELBY M. J., 1985. Earth's changing surface. Clarendon press, Oxford, 607p.

TAOUS A., 2005. Géomorphodynamique fluviale : processus morphosédimentaires, ajustements spatio-temporels, paléoenvironnements et mutations récentes des espaces fluviaux. Série thèse et monog. N.º11, 426p.

FUTUROS DA ÁGUA

RESILIÊNCIA,
GOVERNAÇÃO
E ADAPTAÇÃO

