

**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](https://www.aberta.pt) is licensed under [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/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 nexa 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 LOUZANI, 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

## Recuo de arribas costeiras e suscetibilidade ao perigo na região de Safi, Marrocos

*Coastal Cliff Retreat and Hazard Susceptibility in the Safi Region, Morocco*

**Chaima Imam**  
**Mohamed Chaibi**  
**Fatima El Bchari**

**Mohamed Ayt Ougougdal**  
**Abdessamad Charif**  
**Halima Ait Malek**

### Resumo

As falésias costeiras instáveis representam um risco significativo para as infraestruturas e as populações ao longo da costa atlântica marroquina. Este estudo investiga a evolução multidecadal das falésias de Safi (1954–2020) utilizando fotografias aéreas, ferramentas SIG e o modelo Digital Shoreline Analysis System (DSAS) para quantificar as taxas de recuo das falésias. Os resultados revelam um recuo generalizado, variando entre 0,04 e 0,08 m/ano, com os valores mais elevados observados nos setores ricos em argila, suscetíveis a deslizamentos. Os ciclos de precipitação e de saturação agravam essa instabilidade, enquanto a ação marinha desempenha um papel secundário. Estes resultados destacam a necessidade de uma gestão costeira integrada e de uma monitorização contínua para apoiar uma prevenção eficaz dos riscos.

Palavras-chave: Falésias costeiras; Taxas de recuo; Método DSAS; Costa atlântica; Safi; Marrocos.

**Chaima Imam**  
**Mohamed Chaibi**  
[chaibimohamed@gmail.com](mailto:chaibimohamed@gmail.com)


**Fatima El Bchari**  
**Mohamed Ayt Ougougdal**  
**Abdessamad Charif**  
**Halima Ait Malek**

Department of Earth Sciences, Polydisciplinary Faculty of Safi, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco

### Abstract

Unstable coastal cliffs represent a major hazard for infrastructure and populations along the Moroccan Atlantic coast. This study investigates the multi-decadal evolution of the Safi cliffs (1954–2020) using aerial photographs, GIS tools, and the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) to quantify cliff retreat rates. Results reveal a widespread retreat ranging from 0.04 to 0.08 m/year, with the highest values observed in clay-rich sectors prone to landslides. Rainfall and saturation cycles exacerbate this instability, whereas marine action plays a secondary role. These findings highlight the need for integrated coastal management and continuous monitoring to support effective risk prevention.

Keywords: Coastal cliffs; recession rates; DSAS method; Atlantic coast; Safi; Morocco.

 0009-0000-3070-9764  
0000-0003-0942-1015  
0000-0002-7398-5985

## Introduction

Les côtes figurent parmi les environnements les plus dynamiques de la surface terrestre (Mishra et al., 2022). Près d'un quart de la population mondiale et de nombreuses activités économiques sont concentrés dans ces zones littorales (Christopher et Robert, 2003). Cependant, elles sont aujourd'hui confrontées à des perturbations naturelles croissantes et à une dégradation anthropique accrue, notamment l'élévation du niveau de la mer, l'érosion côtière et la surexploitation des ressources (Nassar et al., 2019). L'érosion côtière est particulièrement préoccupante, affectant environ 66 % des côtes mondiales (Luijendijk et al., 2018). Bien que l'attention ait souvent été portée sur l'évolution des plages et des zones humides, les falaises rocheuses, qui représentent 80 % du littoral mondial, ont été relativement peu étudiées (Sunamura, 1992; Stephenson et al., 2013).

Les falaises côtières subissent un recul progressif pouvant menacer les infrastructures situées en haut ou en bas des escarpements, telles que les habitations, les routes et les sites naturels protégés (Prémaillon et al., 2018). Cette prise de conscience a favorisé le développement d'outils de surveillance et de modélisation pour évaluer et anticiper l'évolution du recul des falaises (Zhang, 2011; Nassar et al., 2019). De nombreuses études ont utilisé des cartes historiques et des photographies aériennes pour analyser ce phénomène dans diverses régions (ex.: Californie, Portugal, Royaume-Uni, Italie, Australie, Canada, Inde et France). Cependant, les recherches sur l'évolution des falaises restent quasiment absentes en Afrique, notamment sur le littoral marocain, pourtant caractérisé par certaines des falaises les plus élevées du continent (Weisrock, 1985).

Pour combler ce manque, nous avons étudié l'évolution multidécennale des falaises de la région de Safi, connues pour leurs instabilités naturelles (El Bchari et al., 2019, Ayt Ougougdal et al., 2020). Ces instabilités, particulièrement marquées dans les falaises argileuses, génèrent des risques majeurs (glissements

de terrain, effondrements, chutes de blocs) pouvant entraîner des pertes humaines et des dommages matériels. L'objectif de cette étude est de déterminer les taux et modalités de recul afin d'améliorer la compréhension du comportement érosif de cette zone. En utilisant les Systèmes d'Information Géographique (SIG), nous avons quantifié les taux d'érosion, analysé leurs variations spatiales et identifié les principaux facteurs responsables du recul des falaises depuis 1954. Ces données sont essentielles pour aider les décideurs locaux à mieux gérer les risques liés à l'érosion côtière dans la région de Safi.

## Présentation de la Zone d'Étude

La zone d'étude s'étend sur la côte atlantique du Maroc, du Cap Beddouza au nord jusqu'aux falaises de Jorf Lihoudi au sud, sur une longueur totale d'environ 48 km (Figure 1). La ville de Safi, située au milieu de cette zone côtière (Figure 1), constitue un important pôle urbain accueillant environ 700 000 habitants. Le littoral se caractérise par une dominance de falaises, dont l'existence est principalement liée à la dynamique marine (Weisrock, 1985).

L'évolution morphologique actuelle de la côte de Safi est étroitement associée à l'héritage quaternaire, à la nature et la structure des paléo-formations ainsi qu'à la néotectonique (Ayt Ougougdal et al., 2020). Historiquement, lors des phases transgressives du Quaternaire récent, l'érosion marine a été particulièrement intense (Weisrock, 1985). Au cours du dernier million d'années, cinq transgressions majeures ont été enregistrées sur l'Atlantique marocain (Gigout, 1951; Michard, 1976; Witam, 1988). Ces séquences transgressives ont fortement impacté les hautes falaises de Safi, où l'élévation du niveau de la mer a favorisé une érosion marine intense, comme observé dans d'autres régions côtières (Soldati et al., 2018).

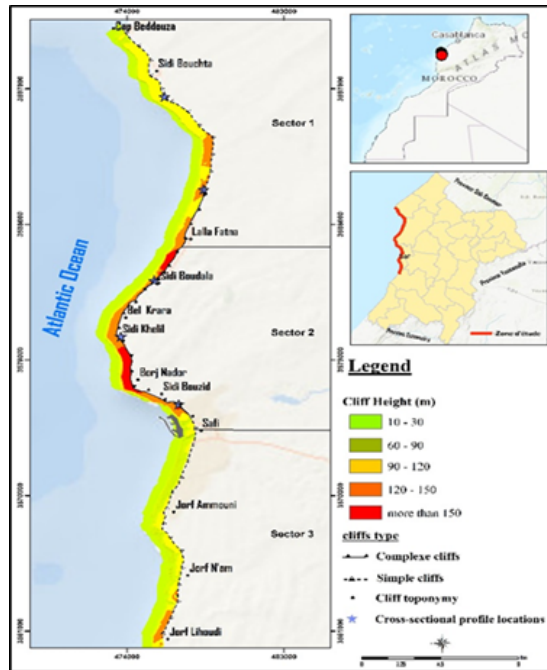


Figure 1. Localisation des falaises côtières étudiées

### Methodologie

L'analyse de la dynamique du recul des falaises dans la région de Safi repose sur une approche diachronique utilisant des outils de télédétection et de géomatique. La méthodologie adoptée comprend plusieurs étapes clés allant de la collecte des données à l'analyse des résultats (Figure 2).

### Collecte des données

La première phase consiste à rassembler des données géospatiales issues de différentes sources (table 1):

- Photographies aériennes historiques (1954 et 1983) permettant une analyse de l'évolution sur

plusieurs décennies.

- Orthophoto récente (2020) servant de référence actuelle pour comparer les changements morphologiques.

Document	Date	Nombre d'images	Échelle	Type d'image	Mission Référence
Photographies aériennes	1954	55	1/10000	Numérique	SHOM
	1983	30	1/17500	noir et blanc	ANCFCC
Orthophotographies Aériennes	2020	1	1/5000	Numérique couleur	ANCFCC
Cartes topographiques	2016/2018	13	1/25000	Numérique couleur	ANCFCC

SHOM : Le service hydrographique et océanographique de la Marine  
ANCFCC : L'Agence Nationale de la Conservation Foncière, du Cadastre et de la Cartographie

Table 1. Synthèse des documents utilisés pour l'analyse diachronique  
Prétraitement des données

Avant toute analyse, les images doivent être préparées afin d'assurer leur compatibilité spatiale et temporelle. Cette étape inclut :

- Le géoréférencement, qui consiste à aligner les images historiques sur une référence cartographique précise (l'orthophoto de 2020), en utilisant des points de contrôle bien identifiés sur le terrain.

- La définition du marqueur de falaise, qui permet de tracer précisément la limite du haut de falaise à chaque date d'analyse.

### Création des données spatiales

Une fois les images préparées, la digitalisation des traits de côte est réalisée à l'aide du logiciel ArcGIS 10.8. Trois éléments sont produits:

- Les lignes de falaises pour chaque période analysée (1954, 1983, 2020).
- Les transects perpendiculaires aux falaises, créés via l'outil DSAS (Digital Shoreline Analysis System).
- Les bases de données associées, regroupant les coordonnées spatiales et les paramètres d'érosion.

### Calculs et analyses

L'évolution des falaises est ensuite quantifiée à l'aide de DSAS, qui permet d'extraire plusieurs indicateurs. Le taux de recul des falaises exprimé par plusieurs métriques :

- EPR (End Point Rate): vitesse moyenne de recul entre deux dates.
- LRR (Linear Regression Rate): tendance moyenne du recul sur l'ensemble des périodes.
- NSM (Net Shoreline Movement): déplacement total du trait de côte.
- L'estimation de la marge d'erreur en prenant en compte les incertitudes liées aux sources de données et aux méthodes de digitalisation (erreur RMS, précision des points de contrôle, distorsion des images anciennes).

### Analyse et interprétation

Les résultats obtenus permettent d'identifier:

- Les variations spatiales du recul des falaises, en mettant en évidence les secteurs les plus vulnérables.
- Les facteurs influençant la dynamique d'érosion, notamment la lithologie, la morphologie des falaises et les conditions marines.
- L'évaluation de la susceptibilité aux risques, en croisant les données d'érosion avec les enjeux humains et les infrastructures situées en bord de falaise.
- Cette méthodologie offre une vision détaillée de l'évolution des falaises de Safi et constitue un outil essentiel pour la gestion des risques côtiers et l'aménagement durable du littoral.

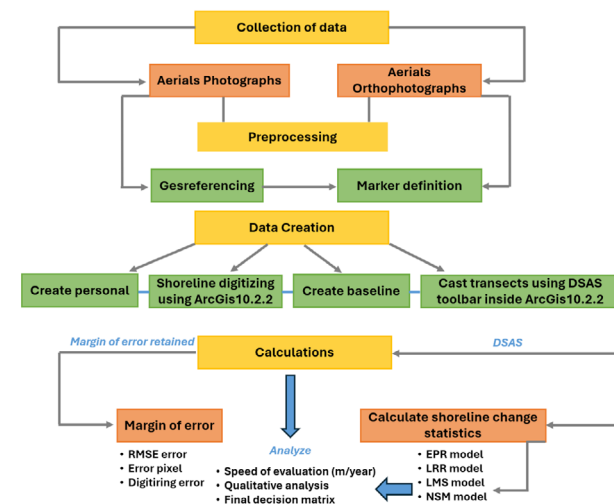


Figure 2. Framework de la méthodologie adoptée

## Resultats

Les résultats montrent que sur une période de 66 ans, l'ensemble des secteurs étudiés le long de la côte de Safi est soumis à une dynamique régressive significative. Environ 70,03 % des transects ont présenté des signes d'érosion, avec des taux moyens de recul variant de 0,07 m/an à 0,08 m/an. Le secteur 2 a enregistré les taux de recul les plus élevés, avec un taux moyen de 0,08 m/an, tandis que le secteur 1 a affiché un taux moyen de 0,07 m/an. Le secteur 3, au sud de Safi, a montré les taux les plus bas, avec un taux de 0,04 m/an. Les indices EPR, LRR et LMS ont révélé des résultats similaires, confirmant la fiabilité de ces indicateurs pour expliquer la dynamique régressive des falaises côtières (Figure 3).

Sur la base de l'analyse des documents en termes de qualité et de résolution, il ressort que les marges d'erreur associées à l'identification des différents marqueurs varient entre  $\pm 0.009$  m et  $\pm 0.01$  m pour les trois secteurs étudiés, entre 1954 et 2020.

Ces faibles valeurs d'erreur témoignent de la précision du processus d'identification, malgré les variations possibles de la qualité des documents. Il est important de noter que, même avec ces marges d'erreur, l'intégration de l'erreur dans le calcul de la moyenne de retrait ou sa soustraction du taux de recul n'affecte pas la cohérence des résultats, ce qui renforce la robustesse des observations. Ces marges d'erreur sont considérées comme raisonnables et assurent la fiabilité des résultats (Table 2).

Secteur	EPR (Mean) (m/yr)	EPR - Error (m/yr)	EPR + Error (m/yr)
Secteur 1	-0.0716	-0.0616	-0.0816
Secteur 2	-0.0842	-0.0742	-0.0942
Secteur 3	-0.0493	-0.0403	-0.0583

Table 2. Effet de l'ajout de l'Erreur sur le Taux de Retrait Moyen.

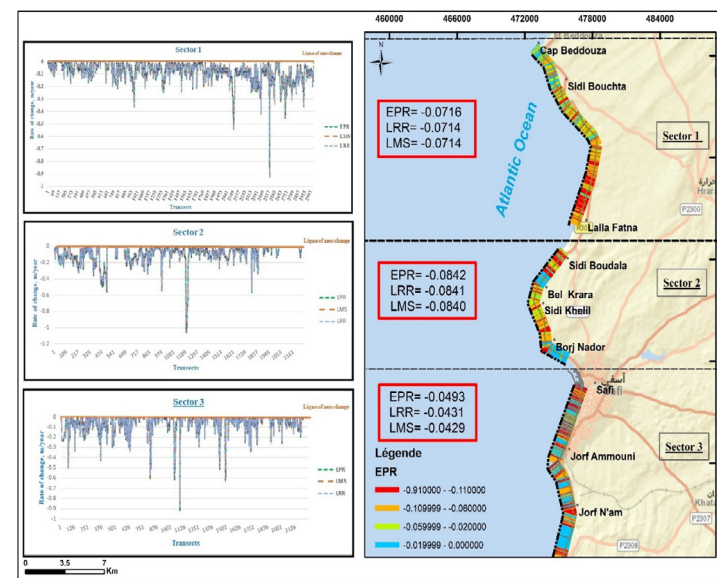


Figure 3. Résultats des vitesses de recul du trait de côte et valeurs de chaque transect pour chaque secteur.

Trois espaces sont distingués comme mentionner avant:

- Un secteur au recul faible 0,04 m/an avec une erreur qui ne dépasse pas 0,009 m le long de secteur 3 au sud de la ville de Safi vers les falaises de Jorf Lihoudi,
- Un secteur à recul modéré 0,07 m/an entre Cap Beddouza et Lalla Fatna au secteur 3 avec une erreur de 0,01 m,
- Un secteur marqué par un recul fort (0,08 m/an) de secteur 2 au milieu de la ligne côtière étudiée avec une erreur de 0,01 m.

Cette représentation révèle une variabilité considérable dans la répartition spatiale et également identifiée pour les périodes intermédiaires: entre 1954-1983, les valeurs apparaissent

beaucoup plus élevées pour la période de 1983-2020 à l'exception du secteur 3, qui a atteint un certain équilibre (Table 3).

Vitesse de recul (m/an)	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3
1954-1983	0,083	0,10	0,0495
1983-2020	0,073	0,079	0,0495
1954-2020	0,07	0,08	0,04

Table 3. Évolution de la Vitesse de Recul du trait de côte par Secteur pour différentes périodes.

## Discussion

Nos résultats montrent que la récession des falaises dans la région de Safi est relativement modérée par rapport à d'autres formations similaires à l'échelle mondiale. Toutefois, l'aléa de recul des falaises demeure une réalité, avec des taux de récession variant en fonction des conditions géologiques et des forçages environnementaux. En effet, les falaises argileuses étudiées présentent des taux de récession plus faibles que ceux documentés ailleurs, où ils oscillent généralement entre -0,15 et -0,30 m/an (Woodroffe, 2002; Hurst et al., 2016).

L'aléa lié à la récession des falaises est conditionné par une combinaison de facteurs géologiques, climatiques et marins. Les comparaisons avec des sites européens, tels que les falaises du Bessin en France (-0,15 à -0,20 m/an sur 150 ans) ou celles du sud de l'Angleterre (0,22 à 0,32 m/an depuis 1870), montrent que la variabilité des taux de récession est fortement influencée par la nature des matériaux et l'exposition aux conditions océaniques. À Safi, la présence de formations argileuses favorise la sensibilité des falaises à cet aléa, notamment sous l'effet des précipitations et des cycles de saturation/sécheresse,

qui facilitent les processus de désagrégation et de glissements (Weisrock, 1985; Ayt Ougougdal et al., 2020).

L'aléa de récession se manifeste également par la diversité des mécanismes de déstabilisation observés. L'action des vagues, bien que présente, est atténuée par la relative résistance des formations rocheuses locales. En revanche, les précipitations intenses et les tempêtes augmentent la fréquence des instabilités, en particulier sur les versants argileux où l'altération des matériaux fragilise les parois et favorise des effondrements par glissements et éboulements (Trenhaile, 2014; Hurst et al., 2016). Ces processus sont souvent amplifiés par la configuration morphologique des falaises, notamment leur hauteur et leur exposition aux vents dominants.

La distribution spatiale des taux de récession le long du littoral de Safi illustre l'hétérogénéité de cet aléa. Les zones où les formations argileuses sont prédominantes enregistrent les taux de récession les plus élevés, tandis que les secteurs composés de calcaires ou de beach-rocks apparaissent plus stables. Cette variabilité est également modulée par des facteurs anthropiques: les aménagements côtiers (digues, urbanisation) modifient les dynamiques naturelles et peuvent, dans certains cas, accentuer localement la récession en perturbant les écoulements et en concentrant les contraintes sur des points vulnérables.

L'aléa de récession des falaises à Safi résulte d'une interaction complexe entre processus naturels et facteurs externes. La variabilité des taux de recul met en évidence l'importance de la composition lithologique et des conditions climatiques dans la dynamique côtière. La prise en compte de ces éléments est essentielle pour une meilleure évaluation des risques et une gestion adaptée du littoral face aux aléas naturels et anthropiques.

## Conclusion

L'étude de la récession des falaises dans la région de Safi met en évidence une dynamique côtière influencée par une combinaison complexe de facteurs géologiques, marins et climatiques. Nos résultats montrent que, bien que les taux de récession observés soient modérés par rapport à d'autres formations similaires à l'échelle mondiale, l'aléa reste significatif et spatialement hétérogène. La nature des matériaux joue un rôle clé: les formations argileuses, plus sensibles à l'altération et aux cycles hydrologiques, enregistrent des taux de recul plus élevés que les secteurs calcaires plus résistants.

L'action des vagues, bien que présente, apparaît comme un facteur secondaire par rapport aux effets des précipitations et des variations climatiques, qui contribuent largement aux processus de déstabilisation. Les événements extrêmes, tels que les tempêtes et les précipitations intenses, accélèrent ponctuellement la récession en augmentant la fréquence des glissements et des effondrements. De plus, les aménagements côtiers peuvent localement intensifier cet aléa en modifiant les dynamiques d'érosion et de sédimentation.

Ces observations soulignent l'importance d'une approche intégrée pour évaluer et gérer les risques côtiers. Une surveillance continue des secteurs les plus vulnérables, combinée à des stratégies d'aménagement adaptées, permettrait d'anticiper les évolutions futures et de mieux protéger les infrastructures et les populations exposées. Enfin, la prise en compte des interactions entre les forçages naturels et les pressions anthropiques est essentielle pour affiner les modèles prédictifs et renforcer la résilience du littoral face aux changements environnementaux à venir.

## References

- AYT OUGOUGDAL, M., CHAIBI, M., MERCIER, D., ET AL. (2020). The typology of slope slides of the cliff coast of Safi-Morocco, and the role of the clay layer in triggering failure. *Journal of African Earth Sciences*, 168, 103878. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103878>
- CHRISTOPHER, J. F., & ROBERT, H. T. (2003). A review of the dynamics of coastal erosion and retreat. *Coastal Management*, 31(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/08920750390119425>
- GIGOUT, M. (1951). Études géologiques sur la Meseta marocaine occidentale (arrière-pays de Casablanca, Mazagan et Safi). *Maroc Matin*, 86, 507.
- HURST, M., GIBSON, R., & JENSEN, M. (2016). A study of coastal retreat rates in temperate regions. *Journal of Coastal Research*, 32(1), 34-44. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00012>
- LUIJENDIJK, A., HAAGSMA, A., & RENIERS, A. (2018). A global analysis of coastal erosion patterns and trends. *Nature Communications*, 9, 1033. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03360-0>
- MICHARD, A. (1976). Éléments de géologie marocaine. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, 252, 408.
- MISHRA, S., KUMAR, S., SINGH, R., & JOSHI, R. (2022). Evaluation of coastal erosion and its impact on shoreline dynamics in the context of climate change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(2), 123. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-9704-3>
- NASSAR, M. F., MAYS, M. L., & IQBAL, M. (2019). Coastal erosion prediction using statistical models and GIS. *Marine Geodesy*, 42(4), 305-324. <https://doi.org/10.1080/01490419.2019.1638934>

PRÉMAILLON, L., GARLAN, T., & DENIS, P. (2018). Long-term shoreline change assessment using remote sensing data and GIS: case study of a rocky coast in Brittany. *Journal of Coastal Research*, 34(5), 1055-1065. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-18-00054.1>

SOLDATI, M., DAPPORTO, S., & BINI, P. (2018). The effect of human interventions on coastal erosion: a review of recent developments. *Geomorphology*, 313, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.03.023>

STEPHENSON, W. J., & GRIFFITHS, M. (2013). Coastal erosion dynamics along high-energy environments: insights and challenges. *Journal of Coastal Research*, 29(6), 1302-1310. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00157.1>

SUNAMURA, T. (1992). *Geomorphology of rocky coasts*. Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-81380-9.50006-2>

TRENHAILE, A. S. (2014). *Coastal geomorphology: an introduction*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118560131>

WEISROCK, A. (1985). The dynamics of coastal retreat: a review of case studies and their implications. *Geographical Journal*, 151(2), 207-218. <https://doi.org/10.2307/634659>

WITAM, O. (1988). *Étude stratigraphique et sédimentologique de la série mésozoïque du bassin de Safi*. Doctorat 3ème cycle, Université Cadi Ayyad, Marrakech

WOODROFFE, C. D. (2002). *Coasts: form, process, and evolution*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511805345>

ZHANG, K. (2011). Estimation of long-term coastal erosion rates using remote sensing data. *Journal of Marine Systems*, 84(1-2), 111-123. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2010.10.005>

**FUTUROS DA ÁGUA**  
RESILIÊNCIA,  
GOVERNAÇÃO  
E ADAPTAÇÃO

