

**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 Governação 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

**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)*

**El Mehdi El Joumdouni**  
**Abdessamad Charif**  
**Abdelghani Qadem**

**El Outassi B.**  
**Hamila Ait Malek**  
**Mohamed Chaibi**  
**Fatima El Bchari**

### Resumo

Este estudo analisa a variabilidade espacial e temporal da precipitação na região norte de Abda (Província de Safi, Marrocos) entre 1961 e 2020. Utilizando métodos estatísticos como análise de dupla massa, método CUSUM e análise de frequência, os resultados revelam fortes flutuações interanuais e regionais, com alternância de períodos húmidos e secos. Estas variações afetam diretamente os recursos hídricos e as atividades agrícolas num contexto semiárido cada vez mais condicionado pelas alterações climáticas. Os resultados evidenciam a necessidade de estratégias adaptativas de gestão da água para mitigar os impactos da seca e promover a sustentabilidade.

Palavras-chave: variabilidade pluviométrica, alterações climáticas, Marrocos, região semiárida, recursos hídricos.

**El Mehdi El Joumdouni**

[eljoumdouni.elmehdi.phd@usms.ac.ma](mailto:eljoumdouni.elmehdi.phd@usms.ac.ma)

**Abdelghani Qadem**

Laboratoire DLRH, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Sultan Moulay Slimane, Beni Mellal, Maroc

**Abdessamad Charif**

[a.charif@uca.ac.ma](mailto:a.charif@uca.ac.ma)

**El Outassi B.**

[b.eloutassi.ced@uca.ac.ma](mailto:b.eloutassi.ced@uca.ac.ma)

**Hamila Ait Malek**

[h.aitmalek@uca.ac.ma](mailto:h.aitmalek@uca.ac.ma)

### Abstract

This study analyzes the spatial and temporal variability of rainfall in the northern Abda region (Safi Province, Morocco) between 1961 and 2020. Using statistical techniques such as double-mass analysis, the CUSUM method, and frequency analysis, the results reveal significant interannual and regional fluctuations, with alternating wet and dry periods. These variations directly affect water resources and agricultural activities in a semi-arid context increasingly affected by climate change. The findings emphasize the need for adaptive water management strategies to mitigate drought impacts and ensure sustainable resource use.

Keywords: rainfall variability, climate change, Morocco, semi-arid region, water resources.

**Mohamed Chaibi**

[chaibimohamed@gmail.com](mailto:chaibimohamed@gmail.com)

**Fatima El Bchari**

Equipe de recherche GEGEL, Faculté Polydisciplinaire, Université Cadi Ayyad, Safi, Maroc



0000-0002-0185-2593

0000-0003-0942-1015

## Introduction

Le climat joue un rôle fondamental dans les conditions de vie et influence les réponses biologiques et écologiques des écosystèmes à l'échelle mondiale (Root *et al.*, 2003). Son impact s'étend à divers domaines, notamment les ressources en eau, l'agriculture, la sécurité alimentaire, la santé et la stabilité socio-économique. Depuis la fin du XIXe siècle, le climat mondial est marqué par un réchauffement global dont les effets varient selon les hémisphères. D'après le dernier rapport du GIEC (2023), cette évolution climatique accentue la fréquence et l'intensité des événements extrêmes, augmentant ainsi la vulnérabilité des populations. La fréquence des sécheresses, inondations et ouragans souligne la nécessité d'approfondir les recherches sur les variations climatiques, incitant la communauté scientifique à intensifier ses efforts pour mieux comprendre et anticiper ces changements à l'échelle globale et locale.

Par sa situation géographique sur la rive sud de la Méditerranée, le Maroc n'échappe pas aux effets du changement climatique global (Knippertz *et al.*, 2003 ; Sebbar, 2013, Bahou, 2002). Son climat, influencé par les masses d'air maritimes au nord et à l'ouest et par les influences sahariennes au sud, présente une forte variabilité régionale, marquée notamment par une diminution des précipitations en allant du nord vers le sud. Ces variations spatio-temporelles du régime pluviométrique affectent de nombreux secteurs d'activité, notamment l'agriculture, l'industrie, etc..., impactant ainsi la situation socio-économique du pays.

Dans ce contexte, la présente étude vise à analyser la variabilité spatiale et temporelle du régime pluviométrique annuel dans la région nord de Abda (Province de Safi) sur la période 1961-2020. Pour ce faire, l'analyse s'appuie sur les données de cinq stations climatologiques sélectionnées en raison de la continuité et de l'homogénéité de leurs séries de mesures.

## Presentation de la Zone d'Etude

### 1. Contexte géologique et géomorphologique

La zone d'étude, située dans la partie nord de la région de Abda, appartient au domaine mésétien, caractérisé par un socle paléozoïque recouvert de formations mésozoïques et cénozoïques tabulaires bien développées. Administrativement, elle relève de la province de Safi (Région Marrakech-Safi) et couvre les communes de Hrara, Msabih, Bkhati, Goraani, Lahdar, Chahda, Sidi Aïssa, Moul Bergui, Sâadala, Ayir et Beddouza, et le centre urbain de Jemaâ Shaim (Figure 1).

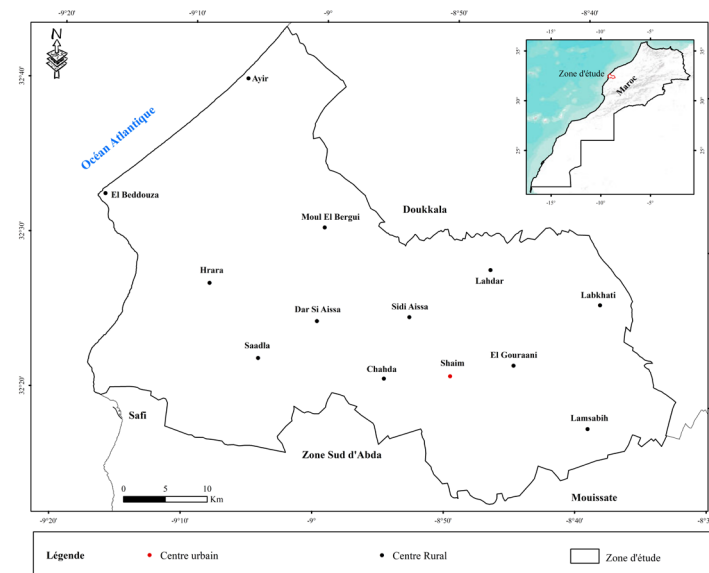


Figure 1 . Localisation du secteur d'étude

D'un point de vue géomorphologique, la zone d'étude se divise en deux grandes unités : l'arrière-pays et la zone littorale. L'arrière-pays est marqué par des plateaux issus d'un comblement par des colluvions anciennes et récentes (Ouada, 1998), présentant une topographie irrégulière ponctuée de dayas et délimitée

par des escarpements d'origine tectonique ou fluviale (Gigout, 1951). Le littoral, quant à lui, se caractérise par un relief ondulé dominé par des dunes consolidées datant du plio-quadernaire, orientées selon un axe NNE-SSW. Les dépressions inter-dunaires y accumulent un sol rouge, issu de la décalcification des dunes, où les eaux de pluie convergent et s'infiltrent. Les côtes présentent une morphologie variée, alternant entre des falaises rocheuses, parmi les plus hautes du Maroc, et des plages sableuses, telles que celles de Karam Daif, Cap El Beddouza et Lalla Fatna. Entre Ayir et Cap El Beddouza, une dépression, appelée Oulja, sépare la falaise morte de la mer (Ouadia, 1998).

## 2. Le contexte climatique

La zone d'étude, située dans la partie nord de la région de Abda, est soumise à un climat semi-aride à influence océanique, caractérisé par des précipitations irrégulières variant entre 250 et 400 mm/an, principalement concentrées entre octobre et avril. Les températures présentent des contrastes saisonniers marqués, avec des maximales dépassant 35 °C en été, notamment lors des épisodes de chergui, et des minimales avoisinant 5 °C en hiver. L'influence océanique se traduit par des vents dominants d'ouest et de nord-ouest, qui atténuent les températures sur le littoral, tandis que les vents sahariens accentuent l'aridité dans l'arrière-pays. L'humidité relative est plus élevée sur la frange côtière, atteignant jusqu'à 80 % en hiver, alors qu'elle diminue à l'intérieur des terres. En raison du fort ensoleillement et des températures élevées, l'évapotranspiration est importante, limitant l'efficacité des précipitations pour l'alimentation des ressources en eau. Ce climat, marqué par une aridité relative tempérée par l'influence maritime, impacte directement les ressources hydriques de la région.

### Methodologie

Afin de définir les caractéristiques climatiques de la zone d'étude, cinq stations météorologiques ont été sélectionnées, disposant de

longues séries d'observations. Le choix de ces stations a été basé sur plusieurs critères, notamment leur localisation, leur proximité avec la zone d'étude, la disponibilité de séries chronologiques longues et la qualité des données.

L'analyse des données a permis d'identifier une période commune entre la majorité des stations, s'étendant de 1960/61 à 2020/21 (soit 61 ans). Cette période a été retenue comme référence pour la caractérisation du régime pluviométrique de la zone d'étude.

Des méthodes statistiques largement appliquées dans les études de la variabilité climatique ont été utilisées, à savoir :

la méthode des doubles cumuls (Kohler, 1949 ; Searcy, & Hardison, 1960) utilisée pour détecter les incohérences et les ruptures dans une série de précipitations en comparant les cumuls des précipitations d'une station donnée avec ceux d'une station de référence. Dans ce contexte, la station de Safi a été choisie en raison de la continuité et de la fiabilité de sa série de données sur une période de 61 ans. Elle servira ainsi de référence pour la comparaison avec les autres stations.

la méthode de CUSUM (Equ.1), proposée par Lettenmeyer en 1976, et adaptée aux données hydro climatiques en France par François Gille et Zumstein en 1993. Cette méthode est définie comme étant l'écart du cumul des valeurs (Cj) avec la droite moyenne, et vise à évaluer l'hétérogénéité interne de la série en se basant sur la définition d'un intervalle de confiance (bande passante Cjx, Équ. 2) (François *et al.*, 1993).

$$\text{Equ.1 : } CUSUM = \sum_{i=1}^j P_i - (P_m \times j)$$

Avec

$\sum_{i=1}^j P_i$  : Somme cumulée des précipitations jusqu'à l'année j.

$P_m$  : Moyenne des précipitations sur toute la période.

j : Rang de l'année en cours dans la série.

**Equ.2 :**

$$Cjx = \pm S \times \left( \frac{u\sqrt{N}}{4} \right) + \frac{u^2}{2\sqrt{2}} + \frac{u^3}{8\sqrt{N}}$$

Avec

**S** : Écart-type des précipitations.

**u** : Variable de Gausse (95 % →  $u=1.69$ ).

**N** : Nombre total d'années.

## Resultats et Discussion

### 1. Homogénéité des totaux annuels des précipitations

La méthode des doubles cumuls a été employée pour vérifier l'homogénéité des totaux annuels de précipitations de la station de Safi choisie comme station de référence en raison de la continuité et la fiabilité de la série de données (1960-61/2020-21). Elle servira de base de comparaison par rapport aux autres stations.

Les résultats obtenus (Figure 2) montrent que les courbes représentant les valeurs cumulatives des précipitations enregistrées par les stations météorologiques retenues suivent une trajectoire quasi rectiligne, avec des coefficients de corrélation ( $R^2$ ) supérieurs à 99%. Cela confirme l'homogénéité des séries à un seuil très significatif et que les mesures pluviométriques annuelles sont exemptes d'erreurs significatives, ou du moins ne présentent pas de données aberrantes

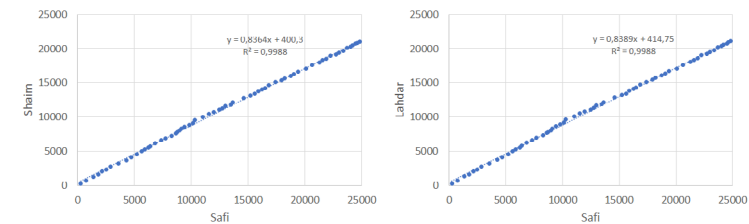
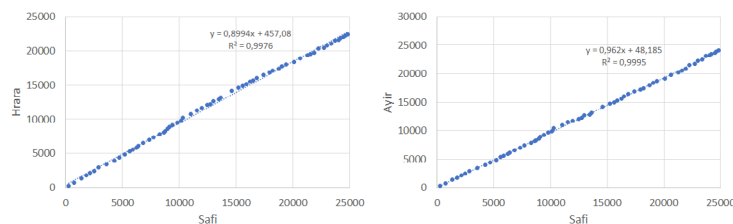


Figure 2. Test d'homogénéité des stations Hrara, Shaim, Ayir et Lahdar par rapport à la station de Safi

## 2. Variabilité des précipitations

L'analyse des précipitations dans la zone étudiée révèle une forte variabilité spatio-temporelle, avec des disparités notables entre les zones côtières et l'intérieur des terres. La moyenne annuelle des précipitations est d'environ 365 mm, alors que sa répartition varie considérablement d'une station météorologique à l'autre.

### 2.1. La variabilité annuelle

La variabilité interannuelle des précipitations dans la région d'étude est mise en évidence à partir des données des stations sélectionnées (Figure 3).

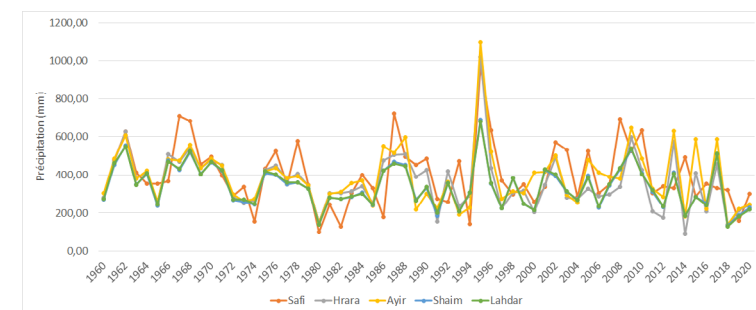


Figure 3 . La variabilité interannuelle des précipitations dans la région d'étude

D'après la figure ci-dessus, on observe une grande irrégularité interannuelle des précipitations. En effet, les précipitations annuelles des cinq stations, présentent des fluctuations remarquables, avec des écarts importants entre les valeurs extrêmes (1095 mm à Ayir et 681 mm à Lahdar) (Cf. Figure 3). La variabilité annuelle des précipitations, est particulièrement marquée à mesure que l'on passe de la zone littorale vers l'arrière-pays. Le coefficient de variation atteint 42.5% à Safi, 41.5% à Ayir et 34% à Shaim (Table 1).

L'analyse des données de précipitations annuelles enregistrées à Safi entre 1960 à 2020 met en évidence une variabilité interannuelle significative, avec des années particulièrement marquées par des précipitations extrêmes. Par exemple, l'année 1995 enregistre une valeur maximale de 971 mm, tandis que 1980 et 1974 affichent des précipitations minimales de 100,4 mm et 155,5 mm respectivement.

	Max	Min	Moy	Ecart-type	Coefficient de variation (%)
<b>Safi</b>	971	100	394,15	167,41	42,47
<b>Hrara</b>	1020	91	355,70	148,85	41,85
<b>Ayir</b>	1095	140	381,73	158,49	41,52
<b>Shaim</b>	690	135	333,94	113,21	33,90
<b>Lahdar</b>	681	130	334,91	112,61	33,62

Tableau 1 . Caractéristiques pluviométriques des 5 stations: Safi, Ayir, Hrara, Shaim et Lahdar.

En effet, la forte variabilité interannuelle est une caractéristique des précipitations méditerranéennes (Driouech, 2010). Cependant, cette variabilité ne permet pas de discerner clairement la succession des années sèches et humides, et l'identification de périodes homogènes s'avère complexe.

Cette variabilité peut être abordée par la méthode du CUSUM dont l'objectif est de déterminer l'hétérogénéité interne de la série étudiée.

Cette méthode illustre clairement les tendances sèches et humides pour les données des précipitations des cinq stations. Les valeurs calculées de  $C_{jx}$  ont permis de fixer le seuil de l'homogénéité qui prend en considération la variation de l'écart type et de la moyenne (Figure 4).

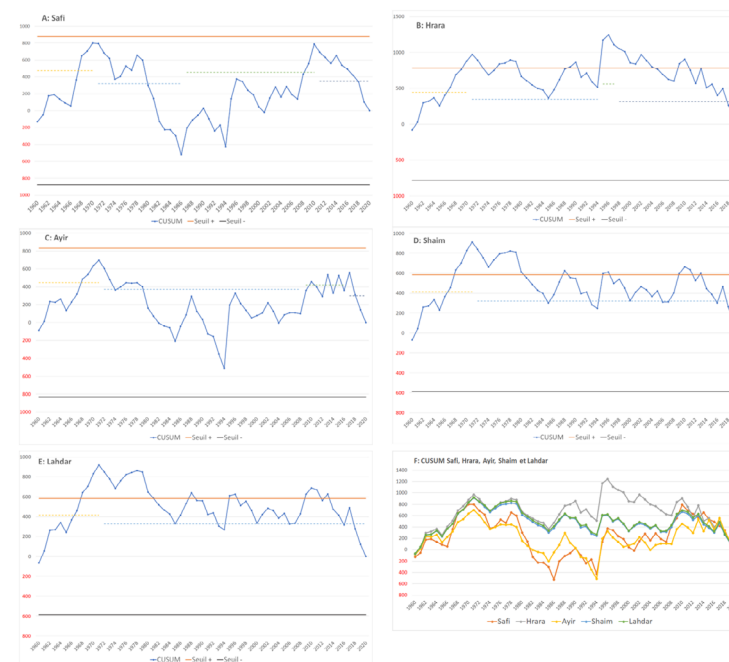


Figure 4 . CUSUM de la série des précipitations observée à la station de Safi, Hrara, Ayir, Shaim et Lahdar entre 1960-61 et 2020-2021.

Les tendances sèches sont représentées par des segments de droite aux pentes négatives, alors que les tendances humides correspondent aux pentes positives. L'allure générale des CUSUM est très proche pour les cinq stations (Figure 4-F), on peut identifier :

- Une succession d'années humides de 1960-61 à 1970-71.

- Une succession d'années sèches de 1971-72 à 2007-08 interrompue par quelques années avec une pluviométrie moyenne et une année exceptionnelle très humide (1995-96).
- Une succession d'années humides de 2008-09 à 2010-11 suivie d'une période sèche depuis 2011 jusqu'à 2020.

En effet, ces intervalles sont similaires à ceux observés dans les études antérieures sur les tendances pluviométriques au Maroc.

## 2.2. Analyse fréquentielle des précipitations annuelles

Une autre approche pour étudier la variabilité d'une série de données est l'analyse fréquentielle. Il s'agit d'une méthode statistique prédictive qui consiste à examiner les événements passés caractéristiques d'un processus donné afin de déterminer les probabilités de leur apparition future (El Ghachi & Morchid, 2015). Cette approche prédictive est particulièrement pertinente dans le cadre des études sur la gestion des ressources en eau.

Les données de la station de Safi ont été ajustées à cinq lois statistiques : loi Normale, loi Log-normale, loi de Gumbel, la loi de Halphen et la loi de Weibul. L'ajustement des distributions empiriques et théoriques a été réalisé à l'aide du test d'adéquation du Khi2. Le meilleur ajustement a été obtenu avec la loi de Gumbel (Figure 5).

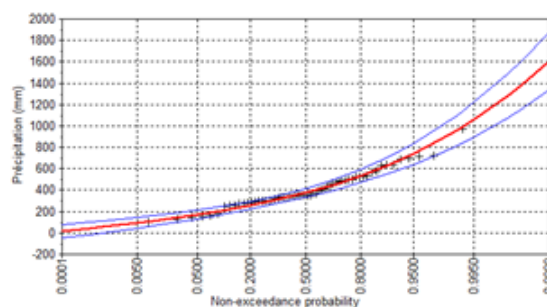


Figure 5 .  
Ajustement statistique des pluies annuelles de la station de Safi (1960 - 2020) - Loi de Gumbel

Cette méthode nous a également permis de déterminer les périodes de retour des précipitations annuelles à la station de Safi (Figure 6 & 7).

L'analyse des précipitations en fonction des périodes de retour révèle des variations marquées entre les années de fortes pluies et celles de sécheresse. L'année 1995, avec un cumul exceptionnel de 970,6 mm, correspond à une période de retour proche de 100 ans, selon les seuils établis (entre 821 mm et 1110 mm). Les années 1987 (721,8 mm) et 2008 (694,8 mm), se situent également dans des classes de retour élevées, estimées entre 10 et 50 ans.

Les précipitations enregistrées en 1967 (710,9 mm), 1978 (579 mm) et 2010 (633,9 mm) sont quant à elles proches des valeurs correspondant à des périodes de retour de 5 à 20 ans, notamment autour du seuil médian de 637 mm observé pour un retour de 10 ans. En revanche, certaines années se distinguent par des déficits pluviométriques très prononcés, notamment 1980 (100,4 mm) et 1974 (155,5 mm), qui se situent bien en dessous des seuils de référence, indiquant des épisodes de sécheresse extrême, probablement associés à des périodes de retour supérieures à 100 ans. De même, les années 1986 (177,1 mm) et 1994 (142,2 mm) présentent des précipitations exceptionnellement faibles, caractéristiques d'événements rares et critiques du point de vue hydrologique.

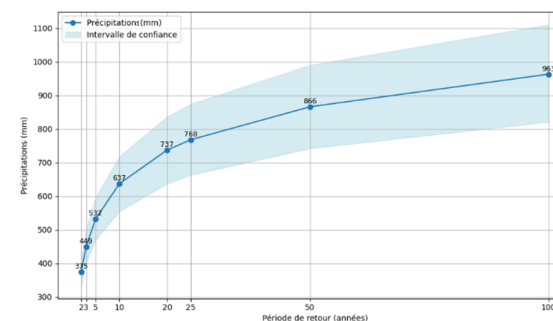


Figure 6 .  
Précipitations extrêmes dans la station de Safi selon la période de retour

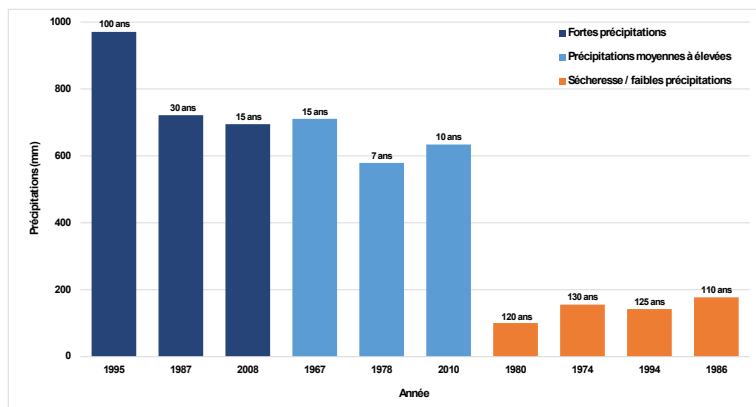


Figure 7 . Précipitations annuelles et périodes de retour estimés

### 2.3. La variabilité mensuelle

L'étude des précipitations moyennes mensuelles permet de mieux comprendre la répartition des pluies au cours d'une année hydrologique.

La figure 8 illustre la variabilité spatio-temporelle des précipitations mensuelles entre 1961 et 2020 dans les cinq stations : Safi, Ayir, Hrara, Shaim et Lahdar.

Les précipitations suivent un régime méditerranéen marqué par une saison humide (octobre-mars) et une saison sèche (avril-septembre). Le pic pluviométrique est atteint en janvier, avec environ 471 mm à Safi, tandis que les autres stations enregistrent des valeurs inférieures mais relativement similaires. La période humide débute en octobre, atteint son maximum en décembre et janvier, puis diminue progressivement à partir de février. En revanche, les mois de mai à août sont caractérisés par des précipitations inférieures à 50 mm, traduisant des conditions arides estivales. Safi, Ayir et Hrara se distinguent par des valeurs plus élevées en raison de l'influence océanique, tandis

que les stations plus continentales enregistrent des précipitations modérées. Cette concentration hivernale des pluies a un impact direct sur la gestion des ressources en eau et l'agriculture locale, tandis que l'analyse des tendances temporelles pourrait révéler d'éventuelles modifications du régime pluviométrique liées au changement climatique.

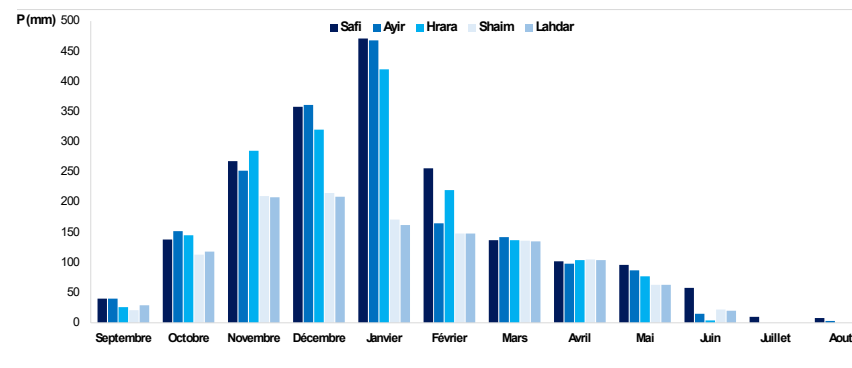


Figure 8 . Distribution mensuelle des précipitations (1960-61/2020-2021)

La répartition spatiale des précipitations dans le secteur d'étude met en évidence clairement l'impact de la situation géographique sur leur distribution. En effet, la zone ouest, littoral, reçoit des précipitations plus importantes, atteignant en moyenne 400 mm. En revanche, la plaine centrale, située à l'est et au sud-est, est plus sèche, avec une moyenne d'environ 340 mm de précipitations (Figure 9).

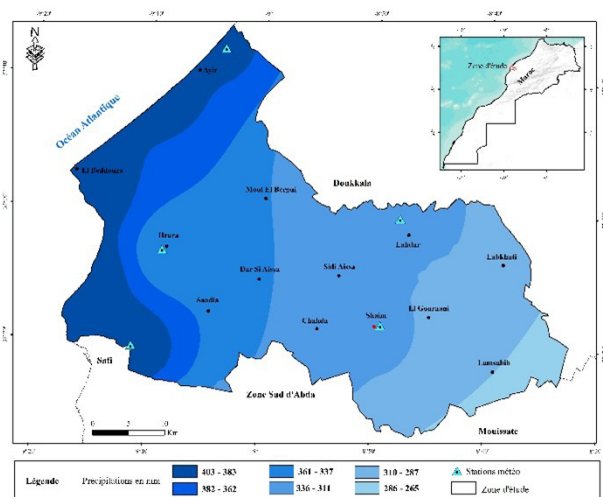


Figure 9 . Carte des précipitations moyennes annuelles sur la période 1960-2020.

### Conclusion

L'analyse de la variabilité spatio-temporelle du régime pluviométrique dans la région nord de Abda (Province de Safi) sur la période 1961-2020 a révélé d'importantes fluctuations des précipitations, caractérisées par une forte variabilité interannuelle et une distribution géographique inégale.

L'analyse des données des cinq stations climatologiques montre des années particulièrement sèches, comme celles de 1974 et 1980, ainsi que des années exceptionnellement humides, telles que 1995. Cette variabilité, accentuée par des facteurs climatiques complexes, a des répercussions directes sur les ressources en eau, particulièrement dans un contexte où l'aridité croissante dans certaines zones, en particulier l'arrière-pays, limite l'efficacité des précipitations pour l'alimentation du système aquifère.

L'application de méthodes statistiques, telles que les doubles cumuls, la méthode CUSUM et l'analyse fréquentielle, a permis de mieux comprendre ces dynamiques climatiques. Ces approches ont mis en évidence des périodes de sécheresse prolongée (1971-2007) et des périodes plus humides (1960-1970 et 2008-2010), identifiant clairement des tendances climatiques ayant un impact sur la disponibilité des ressources en eau. Par exemple, les années de sécheresse extrême, telles que 1974 et 1980, ont été associées à des périodes de retour supérieures à 100 ans, mettant en évidence des événements climatiques rares mais critiques pour la gestion des ressources hydriques.

Les tendances observées soulignent la nécessité de renforcer les capacités d'adaptation et de gestion des ressources en eau dans cette région semi-aride, où les impacts du changement climatique sont déjà visibles. Ainsi, cette étude constitue une contribution importante à la compréhension de la variabilité climatique de la région et à l'élaboration de stratégies visant à atténuer les effets négatifs du changement climatique sur les secteurs vulnérables tels que l'agriculture, la gestion de l'eau et la sécurité alimentaire. Les résultats de cette analyse appellent à une intensification des recherches et à une collaboration accrue entre chercheurs, gestionnaires des ressources en eau et décideurs afin d'anticiper et d'adapter la gestion des ressources naturelles face à ces défis climatiques.

### References

- BAHOU. A (2002). La sécheresse climatique au Maroc : ses caractéristiques et sa relation avec les mécanismes du cycle d'air et son impact sur les céréalicultures. Thèse doctorat en géographie. Université Hassan<sup>II</sup>. Faculté des lettres et Sciences Humaines Mohammadia.
- BRUNET-MORET Y. (1971). Etude de l'Homogénéité des Séries Chronologiques des Précipitations annuelles par la Méthode des Doubles Masse. » In Cah. O.R.S.T.O.M. Vol. II n.° 3, Paris, pp. 147-165.

EL GHACHI, M., & MORCHID, F. Z. (2015). Analyse des tendances pluviométriques dans la ville de khénifra dans un contexte de variabilité climatique. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6, 3346-3358.

FRANÇOIS D, SARY M. ZUMSTEIN J-F AUER J-C. Étude méthodologique de débits d'étiage, Rapport CEGUM". 1994.

GIEC (2023). AR6 Synthesis Report : Climate Change 2023. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

GIGOUT, M. (1951). Essai de géologie marocaine. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, 99, 1–502.

KARROUK, M.S. (2003). Dynamique des Climats du Maroc. France : Presses Académiques francophones. Mauritius ISBN : 978-3-8416-4263-9

KNIPPERTZ, P., CHRISTOPH, M., & SPETH, P. (2003). Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 83(1-2), 67-88.

KOHLER, M. A. (1949). On the use of double-mass analysis for testing the consistency of meteorological records. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 30, 188-189.

LETTENMAIER, D. P. (1976). Detection of trends in water quality data from records with dependent observations. *Water Resources Research*, 12(5), 1037-1046.

OUADIA, M. (1998). Les formations plio-quaternaires dans le domaine mésétien occidental du Maroc entre Casablanca et Safi : Géomorphologie, sédimentologie, paléoenvironnements quaternaires et évolution actuelle. Thèse de doctorat d'État, Université Mohammed V, Rabat, Maroc, 319 pages.

PAGE, E. S. (1954). Continuous inspection schemes. *Biometrika*, 41(1-2), 100-115.

QADEM, Z. (2020). Hydrologie des oueds Fes et Mikkés drainant le plateau de Saiss et ses bordures moyennes atlasiques. Thèse de doctorat en géographie Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculté des lettres et des Sciences Humaines Saiss – Fes.

ROOT, T. L., PRICE, J. T., HALL, K. R., SCHNEIDER, S. H., ROSENZWEIG, C., & POUNDS, J. A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421(6918), 57-60.

SEARCY, J. K., & HARDISON, C. H. (1960). Double-mass curves. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1541-B.

SEBBAR, A. (2013). Variabilité climatique et impacts sur les ressources en eau au Maroc : Analyse des précipitations et des écoulements. Thèse de doctorat, Université Mohammed V, Rabat.

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

