

**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 mudanças morfológicas 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 mudanças 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

Susceptibilidade 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

## Cartografia da sensibilidade à degradação dos solos na bacia hidrográfica do oued El Abid: aplicação do modelo MEDALUS

*Mapping Sensitivity to Land Degradation in the Wadi El Abid Watershed: A MEDALUS-Based Assessment*

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

### Resumo

A degradação do solo representa um dos principais desafios ambientais na bacia hidrográfica do Oued El Abid, em Marrocos. A sensibilidade à degradação do solo foi avaliada utilizando a metodologia MEDALUS, integrada com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Quatro índices, nomeadamente clima, solo, vegetação e gestão, foram combinados para produzir um índice global de sensibilidade. Os resultados indicam que mais de 60% da bacia apresentam vulnerabilidade que varia de “frágil” a “crítica”, principalmente devido às condições de seca, à baixa cobertura vegetal e às pressões antrópicas. Esta abordagem integrada constitui uma ferramenta eficaz para mapear e promover a gestão sustentável das terras em áreas sensíveis.

Palavras-chave: Degradação do solo; Sensibilidade ambiental; Metodologia MEDALUS; Bacia hidrográfica do Oued El Abid.

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

**Fatima El Bchari**

Département of Géographie, Faculté Polydisciplinaire, Université Cadi Ayyad, Safi, Maroc



0009-0000-3070-9764  
0000-0003-0942-1015

### Abstract

Soil degradation represents one of the main environmental challenges in the Oued El Abid watershed, Morocco. The sensitivity to land degradation was assessed using the MEDALUS methodology integrated with Geographic Information Systems (GIS). Four indices, namely climate, soil, vegetation and management, were combined to produce a global sensitivity index. The results indicate that more than 60% of the basin exhibits vulnerability ranging from “fragile” to “critical,” mainly due to drought conditions, low vegetation cover and anthropogenic pressures. This integrated approach provides an effective tool for mapping and promoting sustainable land management in sensitive areas.

Keywords: Land degradation; Environmental sensitivity; MEDALUS; Oued El Abid watershed.

## Introduction

La dégradation des sols constitue une menace majeure pour l'humanité et l'environnement au XXI<sup>e</sup> siècle, à toutes les échelles (World Bank, 2002 ; Vieira et al., 2015). Elle engendre des crises écologiques, alimentaires, socio-économiques et politiques (Vieira et al., 2015). Le phénomène de désertification, tel que défini par le PNUE (1991) et le CNUED (1992), affecte les zones arides, semi-arides et subhumides sèches. Il résulte de multiples facteurs climatiques, anthropiques, édaphiques et biotiques (UNCCD, 1994 ; Mokhtari, 2016). Ce processus entraîne des transformations du couvert végétal et des sols, allant jusqu'à leur disparition, où la productivité biologique devient quasi nulle. La lutte contre la désertification et la dégradation des terres est une priorité internationale, touchant plus d'un milliard de personnes (Rubio & Recatala, 2006) ; environ 25 % des terres mondiales sont gravement dégradées (UNCCD, 2015). Ce phénomène est amplifié par les sécheresses répétées, la croissance démographique et la surexploitation des ressources naturelles, posant un défi durable pour les décideurs, les populations locales et les chercheurs.

Bien qu'il soit mondial, certaines régions comme le bassin méditerranéen, le Sahel, la Mésopotamie et la région du loess en Chine sont particulièrement critiques (Dregne, 2002). En Afrique, 46 % des terres sont affectées par la désertification. Au Maroc, cette problématique touche plus de 90 % du territoire en raison du climat aride et de sols vulnérables à l'érosion (Ghanam, 2003 ; Hammouzaki, 2013). L'exploitation excessive des ressources par les populations rurales, souvent en réponse à des conditions de vie précaires, aggrave cette dégradation (Ghanam, 2003 ; Ait Lamqadem et al., 2018). Les outils géospatiaux et la télédétection permettent désormais une surveillance rapide et efficace des terres, complémentaire aux études de terrain (Gao et al., 2008 ; Bakr, 2012). Des approches variées, intégrant des indicateurs biophysiques et anthropiques, ont été développées

pour identifier les zones dégradées, notamment celles proposées par FAO/UNEP, DSPIR, MEDALUS, LADA et DRAST (Xu, 2009 ; Lamchin, 2016).

La méthode MEDALUS, en particulier, est reconnue pour évaluer la sensibilité à la désertification en raison de sa simplicité et flexibilité. Elle a été appliquée avec succès dans des contextes méditerranéens, notamment en Italie (Smiraglia et al., 2019), Espagne (Lavado Contador et al., 2009), Roumanie (Prăvălie et al., 2020), Turquie (Budak et al., 2018 ; Uzuner et Dengiz, 2020) et dans des pays africains méditerranéens comme l'Égypte (Bakr et al., 2012), l'Algérie (Boudjemline & Semar, 2018), la Tunisie (Chandoul et al., 2014) et le Maroc (Ait Lamqadem et al., 2018).

Cet article vise à analyser, cartographier et identifier les zones sensibles à la dégradation dans le bassin versant de l'Oued Laabid à l'aide du modèle MEDALUS, en s'appuyant sur quatre indicateurs principaux : sol, climat, végétation et gestion des terres.

## Présentation de la Zone d'Étude

Le bassin versant de l'Oued El Abid, situé en amont du barrage de Bin El Ouidane, appartient au grand bassin versant de l'Oum Er Rbia (Figure. 1-B). Localisé dans le Haut Atlas central, au cœur du Maroc, il s'étend entre les latitudes nord 31°43' et 32°36' et les longitudes ouest 5°13'39» et 6°33'. Ce bassin est principalement drainé par deux cours d'eau majeurs, l'Oued El Abid et l'Assif Ahançal, qui convergent vers le lac artificiel de Bin El Ouidane, avant de rejoindre l'Oued Oum Er Rbia. Administrativement, cette région est partagée entre les provinces d'Azilal et de Béni-Mellal. La zone d'étude se distingue par une topographie accidentée et variée, composée principalement de montagnes, de crêtes, de hauts plateaux, de dépressions et de vallées. Les altitudes prédominantes se situent entre 1500 m et 2500 m, représentant 62,9 % de la superficie totale, confirmant le caractère fortement montagneux du bassin versant (Figure.

1-C). Le climat méditerranéen de la région est marqué par une saison pluvieuse, de novembre à avril, et une saison sèche, de mai à octobre. La couverture végétale est dominée par des chênes verts et des genévriers, accompagnés d'autres espèces et formations forestières, dont la répartition dépend des altitudes et des conditions climatiques (Figure. 1-D).

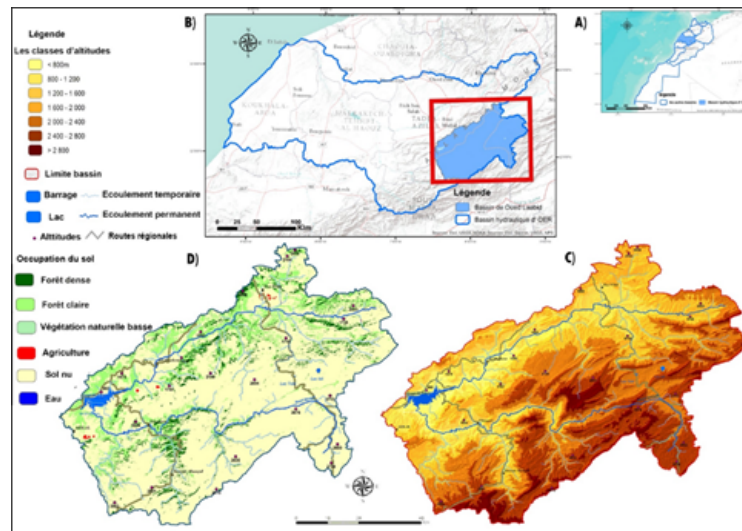


Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude (A) : Localisation de bassin versant Oum Er Rbia, (B) : Situation géographique du bassin versant l'amont du Barrage Bin El Ouidane, (C) : Carte hypsométrique du bassin versant, (D) : Occupation du sol du bassin versant.

### Methodologie

La réponse d'un bassin versant aux processus de dégradation des sols dépend de ses caractéristiques géophysiques et anthropiques. L'érosion hydrique constitue un facteur clé de la désertification, influencée par des éléments comme l'érosivité des précipitations, l'érodabilité du substrat et les agents limitant l'érosion. Une analyse approfondie de ces facteurs est essentielle pour évaluer la dynamique érosive et la dégradation

des terres. Dans le bassin versant de l'oued El Abid, la préservation des ressources naturelles (sol, eau et végétation) nécessite des aménagements spécifiques pour limiter l'impact de la désertification, un phénomène qui pourrait s'étendre aux sous-bassins de l'oued Oum Er-Rbia, dépendant du climat et des activités humaines.

Pour délimiter les zones sensibles à la dégradation des sols, l'approche ESA (projet MEDALUS) est utilisée. Ce modèle, conçu pour évaluer la sensibilité à la désertification dans la région méditerranéenne, intègre quatre indices principaux : qualité du climat (IQC), du sol (IQS), de la végétation (IQV) et des systèmes d'aménagement (IQSA), ce dernier reflétant l'impact des activités humaines (Kosmas et al., 1999). La combinaison géométrique de ces indices produit un Indice de Sensibilité à la Désertification (ISD) permettant de cartographier les zones sensibles.

Les données spatiales s'effectuent à l'aide des SIG, en utilisant des informations issues de plusieurs tableaux (Table. 1, 2, 3 et 4). Cette approche fournit une base solide pour comprendre et lutter contre la désertification. L'ISD est calculé comme la moyenne géométrique des quatre indices:

$$ISD = (IQC \times IQS \times IQV \times IQSA)^{1/4}$$

### 1. Indice de Qualité du Climat (IQC)

IQC évalue les conditions climatiques influençant la dégradation des sols. Il est obtenu à partir des précipitations moyennes annuelles (PP), de l'indice d'aridité (IA) et de l'exposition (OR), selon la formule :  $IQC = (PP \times IA \times OR)^{1/3}$

Indicador	Parâmetro	Classe	Description	Score
<b>IQC</b>	Précipitations (mm)	1	<300	2
		2	480 - 537	1,8
		3	537 - 600	1,5
		4	>600	1
	Indices d'aridité	1	< 50	1
		2	50 à 100	1,15
		3	100 à 150	1,6
		4	> 150	2
	Aspect	1	N, NE, NW, FLAT	1
		2	S, SE, SW, E	2

Table 1. Classes, description et indices de pondération attribués pour les paramètres utilisés pour la définition de l'indice de qualité du climat (IQC).

## 2. Indice de Qualité des Sols (IQS)

IQS reflète la vulnérabilité des sols à la dégradation, en tenant compte du matériau parental (**MP**), de la texture (**T**), de la profondeur des sols (**P**) et des pentes (**Pe**) :

$$IQS = (MP \times Pe \times P \times T)^{1/4}$$

Indicador	Parâmetro	Classe	Description	Score
<b>IQS</b>	Indice du Matériau Parental	Matériaux cohérents	Calcaire, Calcaire marneux, Conglomérats dolomie, Conglomérat poudingues, Calcaire lacustre, Grès	1
		Moyennement cohérents	Calcaire marneux, Grès friable	1,5
		Matériel Tendre	Alluvions moyennes grossier, Argile rose	2
	Texture	Texture très Fine	Argile et Limons	2
		Texture Fine	Sable, Argile et Limons	1,5
		Texture Équilibrée	Limons	1
		Très profonds	>40cm	1
		Indice de profondeur des sols (P)	Profonds	Entre 40 et 20 cm
	Pente	Peu profonds	<20	2
		/Squelettiques		
		Faible	<5%	1
		Moyenne	Entre 5% et 15%	1,33
		Forte	15% et 25%	1,66
		Très forte	>25%	2

Table 2. Paramètres utilisés pour la définition de l'indice de qualité des sols (IQS).

## 3. Indice de Qualité de la Végétation (IQV)

IQV mesure la résilience du couvert végétal face à la dégradation. Il est calculé à partir de quatre paramètres : protection contre l'érosion (**PE**), résistance à la sécheresse (**RS**), risque d'incendie (**RI**) et couverture végétale (**CV**).

$$IQS = (MP \times Pe \times P \times T)^{1/4}$$

#### 4. Índice de Qualité du Système d'Aménagement (IQSA)

L'IQSA évalue les pressions anthropiques à travers six paramètres : intensité des usages agricoles, infrastructures, urbanisation, gestion de l'eau, déforestation, et érosion. Les données proviennent des bases statistiques nationales et de relevés SIG.

$$IQV = (RI \times PE \times RS \times CV)^{1/4}$$

Indicateur	Paramètre	Classe	Description	Score				
IQV	Couverture végétale	1	Élevée	1				
		2	Moyenne	1,33				
		3	Faible	1,66				
		4	Très faible	2				
	Faible	Sols nus, cultures pluriannuelles, cultures annuelles Acacia saharienne Reboisements Feuillus Cèdre, Cèdre Mélangées	Faible	Sols nus, cultures pluriannuelles, cultures annuelles Acacia saharienne, Reboisements Feuillus Cèdre, Cèdre Mélangées	1			
						Modéré	Mélange de végétation méditerranéenne, Pins, Pins Mélangées, Autres Feuillus Mélangées	1,33
	Très élevée	Forêt du Chêne Vert, Chêne Vert Mélangées	Très élevée	Forêt du Chêne Vert, Chêne Vert Mélangées	2			
						Très élevée	Forêts de pins, Pins Mélangées thuya Thuya Mélangée Génévriers	1
	Protection contre l'érosion par la végétation (PE)	Forêt du Chêne Vert, Chêne Vert Mélangées, Cèdre, Cèdre Mélangées	Élevée	Forêt du Chêne Vert, Chêne Vert Mélangées, Cèdre, Cèdre Mélangées	1,33			
						Modérée	Végétation méditerranéenne mixte	1,66
	Très élevée	Forêts de pins, Pins Mélangées thuya Thuya Mélangée Génévriers	Très élevée	Forêts de pins, Pins Mélangées thuya Thuya Mélangée Génévriers	1			
						Élevée	Forêt du Chêne Vert, Chêne Vert Mélangées, Cèdre, Cèdre Mélangées	1,33
	Résistance à la sécheresse (RS)	Mélange de végétation méditerranéenne	Modérée	Mélange de végétation méditerranéenne	1,66			
						Élevée	Forêt du Chêne Vert, Chêne Vert Mélangées, Cèdre, Cèdre Mélangées	1,33
Faible								

Table 3. Paramètres utilisés pour la définition de l'indice de qualité de végétation (IQV).

Indicateur	Paramètre	Classe	Description	Score				
IQSA	IUTP	4	Très élevé > 2/ha	2				
		3	Élevé 1 - 2/ha	1,66				
		2	Modéré 0,5 - 1/ha	1,33				
		1	Faible < 0,5/ha	1				
	IUTA	4	Très élevé / agriculture intensive	Très élevé / agriculture intensive	2			
						3	Élevé / semi-intensive	1,6
	DP	1	Faible / non agricole	Faible / non agricole	1			
						4	Très élevé (Habitants/km <sup>2</sup> )	2
2	Modéré (Habitants/km <sup>2</sup> )	2	Modéré (Habitants/km <sup>2</sup> )	1,33				
					1	Faible (Habitants/km <sup>2</sup> )	1	

Table 4. Paramètres utilisés pour la définition de l'indice de qualité Indice de qualité de système d'aménagement (IQSA).

#### Resultats

La présente étude a permis d'évaluer la vulnérabilité à la dégradation des terres dans la zone étudiée en se basant sur l'approche MEDALUS. Cette méthodologie intègre quatre indices principaux : la qualité du climat, des sols, de la végétation et du système d'aménagement. L'analyse spatiale de ces indices a permis de mieux comprendre la distribution des zones sensibles et de mettre en évidence les facteurs les plus déterminants dans les processus de dégradation. En ce qui concerne l'indice de qualité du climat (IQC), les résultats montrent une prédominance de zones de faible qualité (44,82 %), suivies par des zones de qualité moyenne (39,86 %). Seules 15,30 % de la superficie totale bénéficient d'un climat favorable (Figure 2). Ces données traduisent des conditions globalement défavorables, notamment en raison de la faible pluviométrie et d'un indice d'aridité

caractéristiques d'un climat limitant pour la préservation des terres.

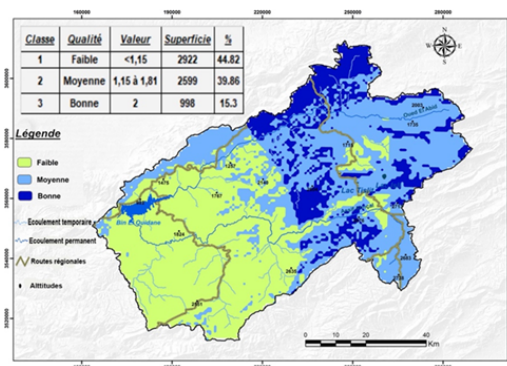


Figure 2. Distribution spatiale de la qualité du climat

Pour l'indice de qualité de la végétation (IQV), les zones de très faible qualité dominent largement, couvrant 62,62 % de la superficie. Ces zones correspondent principalement à des terres nues ou à une couverture végétale insuffisante, aggravée par la vulnérabilité des forêts de chênes verts aux incendies. La végétation de qualité moyenne représente 29,98 %, tandis que seulement 3,09 % des terres affichent une végétation de bonne qualité, mettant en évidence une pression importante sur cet élément clé de la résilience environnementale (Figure 3)

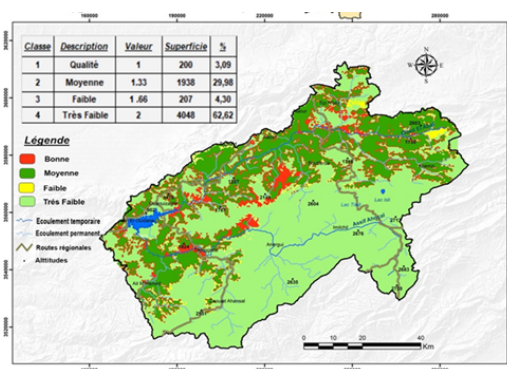


Figure 3. Distribution spatiale de la qualité de végétation

En ce qui concerne la qualité des sols (IQS), l'étude révèle que 58,41 % des terres présentent une qualité moyenne, caractérisée par une profondeur et une texture modérée, mais aussi par une vulnérabilité accrue dans les zones situées sur des pentes ou à proximité des cours d'eau. Les sols de qualité élevée occupent 30,11 % de la superficie, tandis que 11,48 % des terres sont caractérisées par une faible qualité, soulignant des zones particulièrement exposées à la dégradation (Figure 4).

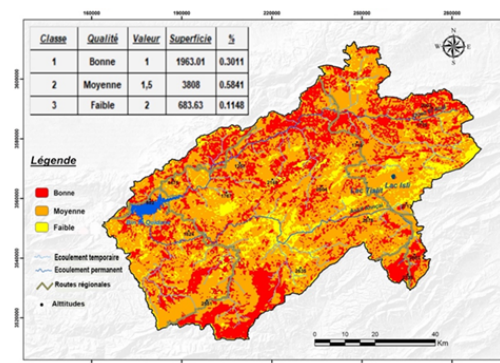


Figure 4. Distribution spatiale de la qualité des sols

Enfin, l'indice de qualité du système d'aménagement (IQSA) met en évidence que 36,15 % de la zone bénéficie d'une gestion modérée, alors que 22,73 % des terres affichent une qualité élevée. Toutefois, les zones à faible qualité d'aménagement restent préoccupantes en raison de la pression anthropique et de l'intensité de l'utilisation des terres agricoles et de parcours (Figure 5).

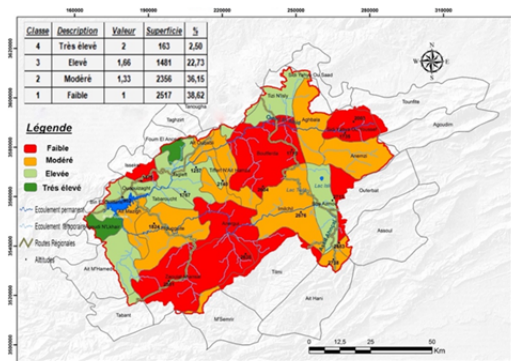


Figure 5. Distribution spatiale de la qualité système d'aménagement

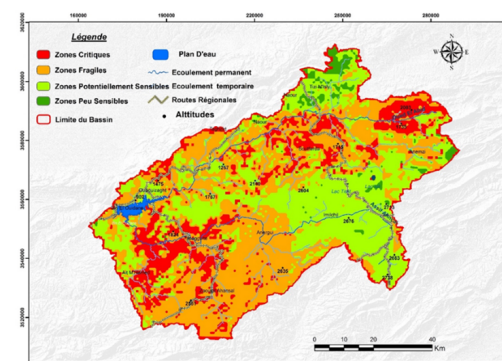


Figure 6. Carte de sensibilité à la dégradation selon l'approche MEDALUS

L'indice final de sensibilité à la dégradation (ISD) montre que 44,48 % de la zone étudiée se situent dans la classe « fragile », et 38,19 % sont classées comme « zones potentiellement sensibles ». Ainsi, plus de 60 % du territoire est classé comme « critique à fragile », soulignant l'urgence d'interventions spécifiques pour limiter la dégradation des terres et protéger les ressources naturelles de la région (Figure 6, Table 5).

TYPE	ISD	SUPERFICIE	%
Zones Critiques	<1,3	962	14,75
Zones Fragiles	1,3 - 1,4	2900	44,48
Zones Potentiellement sensibles	1,4 - 1,5	2490	38,19
Zones peu sensibles	>1,5	167	2,5

Table 5. Superficie des quatre classes de sensibilité à la dégradation (ISD).

### Conclusion et Discussion

La méthodologie MEDALUS a été appliquée pour la première fois à des zones méditerranéennes sensibles à la dégradation des sols, évoluant ensuite pour inclure des contextes méditerranéens et non méditerranéens. Initialement confrontée à des limites liées à l'intégration des facteurs anthropiques, cette approche a progressivement intégré des adaptations en fonction des données disponibles. Dans le bassin versant d'Oued Laabid, l'application de la méthodologie MEDALUS a permis de cartographier la sensibilité à la dégradation des sols. Les résultats indiquent que 59 % du bassin, principalement les plateaux et dépressions, sont dans des états fragiles à critiques, tandis que les zones montagneuses couvrant 40 % du bassin sont peu à potentiellement sensibles. Les facteurs climatiques, notamment l'augmentation des températures et la sécheresse (confirmée par un SPI atteignant 70 % entre 1984 et 2018), apparaissent comme les principaux moteurs de dégradation. Ces changements induisent une diminution du couvert végétal, augmentant ainsi l'érosion et la salinisation des sols.

L'action anthropique contribue également de manière significative, par le surpâturage, le déboisement, et l'exploitation excessive des terres, aggravant la dégradation des sols. Ces pressions,

exacerbées par la croissance démographique et des pratiques socio-économiques inadaptées, réduisent la matière organique des sols, perturbent leur équilibre hydrique et augmentent leur vulnérabilité à l'érosion hydrique. En conclusion, la conjugaison des pressions climatiques et anthropiques dans le bassin d'Oued Laabid met en évidence la nécessité d'adopter des stratégies de gestion durable pour préserver les ressources naturelles et atténuer les impacts de la dégradation des sols.

### References

AIT LAMQADEM, A., PRADHAN, B., SABER, H., RAHIMI, A., (2018). Desertification Sensitivity Analysis Using MEDALUS Model and GIS: A Case Study of the Oases of Middle Draa Valley, Morocco. *Sensors* 18, 2230. <https://doi.org/10.3390/s18072230>

AIT LAMQADEM, A., PRADHAN, B., SABER, H., RAHIMI, A., (2018). Desertification Sensitivity Analysis Using MEDALUS Model and GIS: A Case Study of the Oases of Middle Draa Valley, Morocco. *Sensors* 18, 2230. <https://doi.org/10.3390/s18072230>

BAKR, N., WEINDORF, D.C., BAHNASSY, M.H., EL-BADAWI, M.M., (2012)a. Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators. *Ecological Indicators* 15, 271-280. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.034>

BAKR, N., WEINDORF, D.C., BAHNASSY, M.H., EL-BADAWI, M.M., (2012)b. Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators. *Ecological Indicators* 15, 271-280. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.034>

BOUDJEMLINE, F., SEMAR, A., (2018). Assessment and mapping of desertification sensitivity with MEDALUS model and GIS - Case study: basin of Hodna, Algeria. *Journal of Water and Land Development* 36, 17-26. <https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0002>

BUDAK, M., GÜNAL, H., ÇELİK, İ., YILDIZ, H., ACIR, N., ACAR, M., (2018). Environmental sensitivity to desertification in northern Mesopotamia; application of modified MEDALUS by using analytical hierarchy process. *Arab J Geosci* 11, 481. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3813-y>

CNUED, (1992). Rapport sur la conférence des Nations-Unies sur l'environnement et le développement (Agenda 21). Rio.

DREGNE, H.E., (2002). Land Degradation in the Drylands. *Arid Land Research and Management* 16, 99-132. <https://doi.org/10.1080/153249802317304422>

GAO, J., LIU, Y., (2008). Mapping of land degradation from space: a comparative study of Landsat ETM+ and ASTER data. *International Journal of Remote Sensing*.

GHANAM, M., (2003). La désertification au Maroc-Quelle stratégie de lutte. 2nd FIG Regional Conference Marrakech.

LAMCHIN, M., LEE, J.-Y., LEE, W.-K., LEE, E.J., KIM, M., LIM, C.-H., CHOI, H.-A., KIM, S.-R., (2016). Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Advances in Space Research* 57, 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.10.006>

LAVADO CONTADOR, J.F., SCHNABEL, S., GÓMEZ GUTIÉRREZ, A., PULIDO FERNÁNDEZ, M., (2009). Assessing the environmental sensitivity to land degradation. A validation of the MEDALUS method in SW Spain. EGU General Assembly 2009, held 19-24.

MOKHTARI, N., (2016). Étude de la dynamique de la désertification dans le bassin versant de la Moulouya en intégrant les données issues de la télédétection et les données socio-économiques. Université de Liège, Liège, Belgique.

PNUE, (1991). Situation en ce qui concerne la désertification et la mise en œuvre du plan d'action des Nations Unies pour lutter contre la désertification. Rapport du Directeur Exécutif, UNEP/GCSS.III/S. Nairobi, Kenya. p94.

PRĂVĂLIE, R., PATRICHE, C., SĂVULESCU, I., SÎRODOEV, I., BANDOȘ, G., SFÎCĂ, L., (2020). Spatial assessment of land sensitivity to degradation across Romania. A quantitative approach based on the modified MEDALUS methodology. CATENA 187, 104407. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104407>

RUBIO, J.L., RECATALÁ, L., (2006). the relevance and consequences of mediterranean desertification including security aspects, in: Kepner, W.G., Rubio, Jose L., Mouat, D.A., Pedrazzini, F. (Eds.), Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue, NATO Security Through Science Series. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 133-165. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3760-0\\_05](https://doi.org/10.1007/1-4020-3760-0_05)

UNCCD, (2015). climate change and land degradation: bridging knowledge and stakeholders. In Proceedings of the 3rd Scientific Conference on Outcomes From the UNCCD, Cancún, Mexico.

UNCCD, (1994). Elaboration of an International Convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa.

UZUNER, Ç., DENGİZ, O., (2020). Desertification risk assessment in Turkey based on environmentally sensitive areas. Ecological Indicators 114, 106295. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106295>

World Bank, (2002). World Development Report 2003: Sustainable Development in a Dynamic World: Transforming Institutions, Growth, and Quality of Life. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-8213-5150-8>

XU, D., KANG, X., QIU, D., ZHUANG, D., PAN, J., (2009). Quantitative Assessment of Desertification Using Landsat Data on a Regional Scale - A Case Study in the Ordos Plateau, China. Sensors 9, 1738-1753. <https://doi.org/10.3390/s90301738>

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

