



DÉPARTEMENT D'ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

Thèse

N°/SNV/2026

Présentée par

CHELLIL NOUR ELHOUDA MARIA

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT 3^{ème} CYCLE

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : Protection Des Écosystèmes

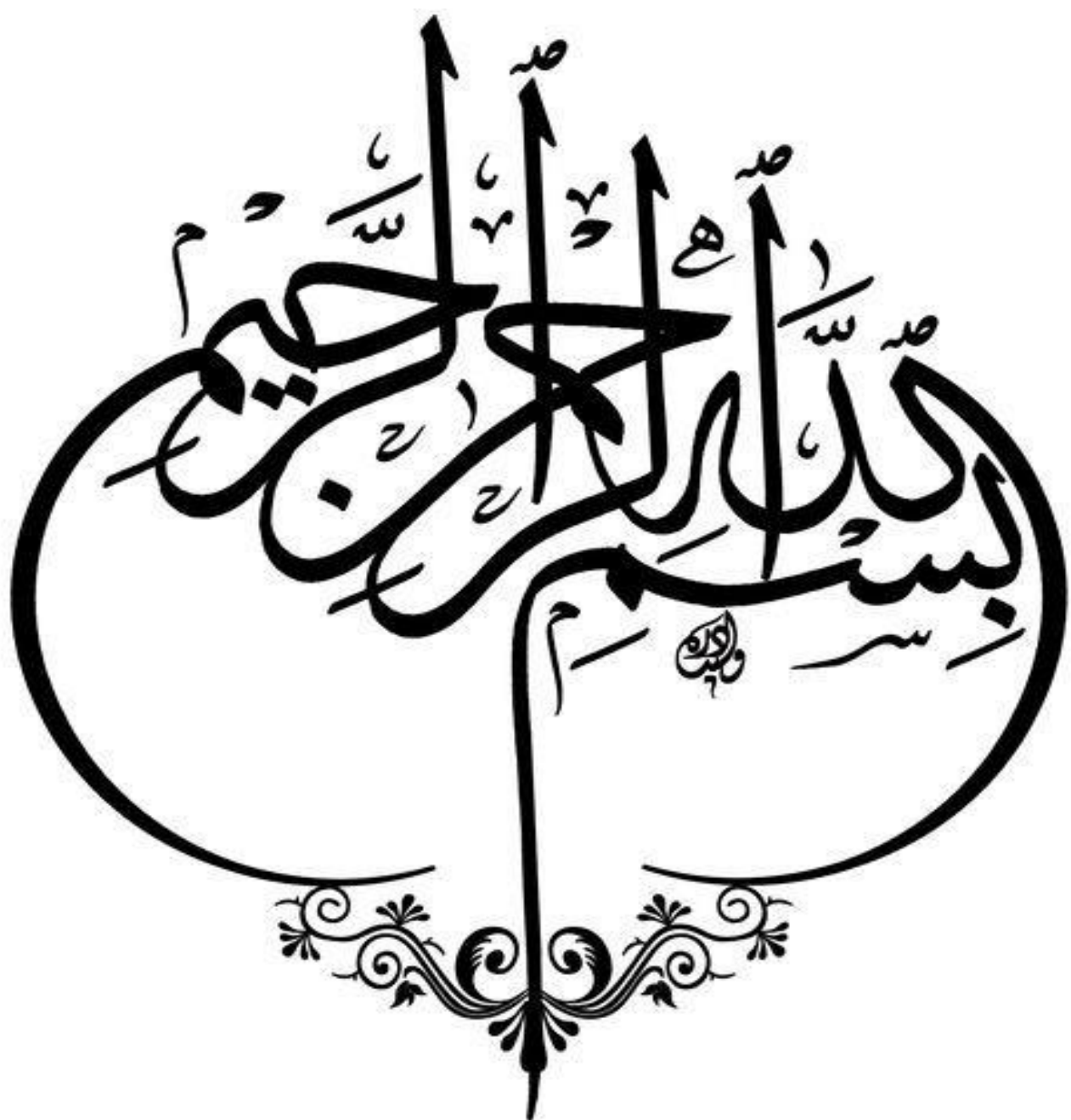
Thème

**Les changements climatiques et la résilience
socio-écologique dans les Hautes Plaines Sétifiennes**

Soutenue publiquement le 25 / 04 / 2026

Devant le jury

Président	M ^{me}	BELDIAZIA Amina	Pr. UFA Sétif 1
Directeur	M ^{me}	CHERMAT Sabah	Pr. UFA Sétif 1
Examineurs	M ^r	BOUNAR Rabah	Pr. UMB M'sila
	M ^r	MISSAOUI Khaled	MCA. UFA Sétif 1
	M ^{me}	KHAZNADAR Mouna	MCA. UFA Sétif 1



REMERCIEMENTS

En préambule à cette thèse, je rends grâce à **ALLAH, le Tout-Puissant** qui m'a guidée, soutenue, et comblée de Sa miséricorde en m'accordant la force morale, la volonté inébranlable, et la patience nécessaire pour mener à terme ces longues années d'étude.

Une thèse est une entreprise dont la réussite n'est possible qu'avec l'aide d'un certain nombre de personnes. Il m'est agréable de remercier vivement et chaleureusement tous ceux qui, grâce à leur aide précieuse, ont permis la réalisation de ce travail.

De prime d'abord, je tiens à exprimer ma sincère gratitude et mon profond respect à ma directrice de thèse, **M^{me} Sabah CHERMAT**, Professeur à l'université de Sétif 1, pour ses conseils judicieux et ses encouragements dont j'ai bénéficié pour élaborer convenablement ce travail. Merci chaleureusement de m'avoir donné la liberté de suivre mes propres idées dans l'aboutissement de cette thèse. Je la remercie aussi pour toute la sympathie qu'elle n'a cessé de manifester à mon égard depuis le début de mon parcours doctoral. Les mots ne suffisent pas pour traduire ma reconnaissance infinie.

Je remercie vivement **M^{me} Amina BELDJAZIA**, Professeur à l'université de Sétif 1, qui a bien voulu m'honorer par sa présence en tant que présidente de ce jury. Je lui avoue ma très vive gratitude pour sa grande générosité scientifique, ainsi que pour l'enthousiasme et la convivialité qu'elle m'a témoignés tout au long de mon parcours universitaire. Je suis éternellement reconnaissante.

Je suis également très honorée que **M^r Rabah BOUNAR**, Professeur à l'université de M'sila, d'avoir accepté de juger cette thèse et d'apporter ses orientations et ses critiques constrictives afin d'améliorer la qualité du travail. Qu'il veuille bien recevoir l'expression de ma sincère reconnaissance et ma respectueuse gratitude pour son temps et son expertise.

Mes vifs remerciements aussi à **M^r Khaled MISSAOUI**, Maître de Conférences à l'université de Sétif 1, pour s'être montré disponible et m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail et d'apporter ses bonnes suggestions. Je tiens à prendre quelques instants pour vous remercier de tout cœur pour votre soutien et votre contribution à mon parcours académique. Je ne puis terminer sans lui témoigner mon entière reconnaissance.

Je tiens également remercier **M^{me} Mouna KHAZNADAR**, Maître de Conférences à l'université de Sétif 1, d'avoir accepté de prendre part au jury de ma soutenance. Ses remarques précieuses me seront profitables. Je lui témoigne ici de ma profonde gratitude et mon plus grand respect pour le temps, l'attention et l'expertise généreusement consacrés à

l'évaluation de ce travail.

Je remercie le conservateur des Forêts de la wilaya de Sétif, pour m'avoir accordé la possibilité d'effectuer les sorties de terrain. Je remercie le personnel accueillant de la circonscription des forêts de l'Eulma et d'Ain Oulmène, et particulièrement Monsieur Sahnoun Azzeddine, Chef de la circonscription, et Madame Saida Ouadeh, ingénieure forestière, de m'avoir aidé, par la documentation, et dans la réalisation des sorties de terrain, lesquelles n'auraient jamais pu être effectuées sans leur précieux soutien ; ainsi que Meriem et Nabil, Riadh et Mjahed qu'ils trouvent ici l'expression de ma reconnaissance.

Un grand merci est adressé aux personnes et la direction de l'environnement et ceux des ressources en eau, des services agricoles et de la programmation et de suivi budgétaire de la wilaya de Sétif pour leur précieuses assistance, de m'avoir fourni toutes les données dont j'avais besoin et les informations qui m'ont été très utiles pour la bonne réussite de cette thèse.

Je veux aussi remercier les citoyens de la région des Hautes Plaines Sétifiennes pour leur contribution sympathie et leur collaboration et partage du questionnaire.

Merci à tout le staff administratif et pédagogique de la faculté des sciences de la nature et de la vie, plus particulièrement celui du département d'écologie et environnement de l'université de Ferhat Abbes -Sétif 1.

J'oublie certainement des gens, qui, d'une manière ou d'une autre, ont participé à l'élaboration de cette thèse. Qu'ils m'en excusent et qu'ils soient remerciés du fond du cœur.

Dédicace

**<< Á cœur vaillant rien d'impossible, Á conscience tranquille
Tout est accessible>>**

J'aimerais dédier ce travail aussi humble que modeste :

À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, mon
soutien moral, ma vie et mon bonheur ;
MAMAN que j'adore. Que dieu te protège
Bonne santé et longue vie.

À l'homme de ma vie, mon exemple éternel, ma source de joie et de bonheur, celui qui
s'est toujours sacrifié pour me voir réussir ;
MON PÈRE. Que dieu te protège.
Bonne santé et longue vie.

À mes *CHÈRES SŒURS*

À mon *FRÈRE DE CŒUR*

Merci d'être toujours à mes coté, par votre présence par votre amour et votre
tendresse. Merci pour donner du goût et du sens à ma vie.
Que dieu nous laisse l'un pour l'autre pour toute la vie.
Je vous souhaite un avenir radieux.

Je dédie cette thèse exclusivement à mon très cher Grand-père regretté *ACHOUR*,
« Allah Yarhmou », Qui nous a quittés au milieu de la finalisation de cette thèse.

À toute ma famille, mes amis et collègues.

À tous mes enseignants qui ont participé à ma formation depuis l'école jusqu'à ce jour.

À tous les chercheurs qui parcourront cette thèse à l'avenir, je confie le fruit de ce
travail en espérant qu'il serve une graine fertile pour vos prochains labours
scientifiques.

الملخص

خلال العقود الأخيرة، تأثرت منطقة الهضاب العليا بسطيف بشكل كبير بالتغير المناخي، مما أدى إلى تأثيرات اقتصادية واجتماعية وبيئية على الزراعة والصحة والصناعة وكذلك على البيئات الطبيعية والحضرية وشبه الحضرية، مما جعل هذه الوضعية تستدعي الحاجة إلى ضرورة تعزيز الصمود الاجتماعي والبيئي وتطوير استراتيجيات فعالة للتخفيف والتكيف مع كل هذه التداعيات. لذلك تقترح هذه الدراسة تحليلاً متكاملًا ومتعدد الأبعاد للهشاشة والمرونة الاجتماعية والبيئية في المنطقة، اعتمادًا على منهجية متشعبة. تم أولاً تقييم الاتجاهات المناخية التي لوحظت بين عامي 1980 و2021 باستخدام اختبارات مان-كيندال، سبيرمان رو، وثايل-سين، أين كشفت عن زيادة ملحوظة في درجات الحرارة السنوية (0.03-0.023 درجة مئوية/سنة) وانخفاض طفيف في كمية الأمطار، لكن دون دلالة إحصائية. في حين تُظهر هشاشة الأراضي، المقدرة من خلال مؤشر مطبق على البلديات، تفاوتًا مكانيًا ودرجة عامة تبلغ 0.44، مما يعادل مستوى متوسط. أما تقييم المرونة البيئية للكتل الغابية في جبل يوسف وجبل بوطالب في الفترة ما بين (1984-2022) أظهر نتائجًا عالية، مع درجات تبلغ على التوالي 2.96 و2.49، مما يعكس ديناميكية بيئية مدعومة بتنوع بيولوجي، هيكلي ووظيفي ملائم لتكيف النظم البيئية. كما أشارت التحقيقات مع السكان المحليين إلى معرفتهم جيدة بالتحديات المناخية واستعدادهم لتبني سلوكيات صديقة للبيئة، على الرغم من القيود الإقليمية في مواجهة الاضطرابات البيئية. في النهاية، أظهرت منطقة الهضاب العليا بسطيف أنها تجمع بين تركيبة ذات حساسية إقليمية معتدلة ومرونة بيئية قوية، مما يوفر لها موقعًا استراتيجيًا يسمح بتطوير سياسات ممنهجة للتكيف مع التغيرات المناخية وإدارة الموارد الطبيعية بشكل مستدام.

الكلمات المفتاحية: التغير المناخي، الهضاب العليا بسطيف، المرونة الاجتماعية-البيئية، جبل يوسف، بوطالب.

Résumé

Au cours des dernières décennies, la région des Hautes Plaines Sétifiennes (HPS) a été affectée de manière significative par le changement climatique, engendrant des impacts économiques, sociaux et environnementaux sur l'agriculture, la santé, l'industrie ainsi que sur les milieux naturels, urbains et périurbains. Cette situation souligne la nécessité de renforcer la résilience socio-écologique afin de développer des stratégies efficaces d'atténuation et d'adaptation. Cette étude propose une analyse intégrée et multi-échelle de la vulnérabilité et de la résilience socio-écologique de la région, fondée sur une approche méthodologique mixte. Les tendances climatiques observées entre 1980 et 2021 ont été évaluées à l'aide des tests statistiques Mann-Kendall, Spearman Rho et Theil-Sen, révélant une augmentation significative des températures annuelles (0,023–0,03 °C/an) et une légère diminution des précipitations, statistiquement non significative. La vulnérabilité territoriale, estimée à travers un indice appliqué aux communes, montre une disparité spatiale et un score global de 0,44, correspondant à un niveau modéré. La résilience écologique des massifs forestiers de Djebel Youcef et Djebel Boutaleb (1984–2022) est évaluée comme élevée, avec des scores respectifs de 2,96 et 2,49, traduisant une dynamique écologique soutenue par une diversité biologique, structurelle et fonctionnelle favorable à l'adaptation des écosystèmes. L'enquête auprès des populations locales indique une bonne connaissance des enjeux climatiques et une disposition à adopter des pratiques éco-responsables, malgré les limites territoriales à absorber les perturbations environnementales. Au final, la région des HPS combine une vulnérabilité territoriale modérée avec une résilience écologique robuste, offrant un profil stratégique pour l'élaboration de politiques d'adaptation et de gestion durable des ressources naturelles.

Mots clés : Changement climatique, Hautes Plaines Sétifiennes, Résilience socio-écologique, Djebel Youcef, Boutaleb.

Abstract

Over the past decades, the Setif High Plains (HPS) region has been significantly affected by climate change, causing economic, social, and environmental impacts on agriculture, health, industry, as well as on natural, urban, and peri-urban environments. This situation highlights the need to strengthen socio-ecological resilience in order to develop effective mitigation and adaptation strategies. This study proposes an integrated, multi-scale analysis of the socio-ecological vulnerability and resilience of the region, based on a mixed-methods approach. Climate trends observed between 1980 and 2021 were assessed using the Mann-Kendall, Spearman Rho, and Theil-Sen statistical tests, revealing a significant increase in annual temperatures (0.023–0.03 °C/year) and a slight, statistically non-significant decrease in precipitation. Territorial vulnerability, estimated through an index applied to municipalities, shows spatial disparity and an overall score of 0.44, corresponding to a moderate level. The ecological resilience of the forested massifs of Djebel Youcef and Djebel Boutaleb (1984–2022) is evaluated as high, with respective scores of 2.96 and 2.49, reflecting an ecological dynamic supported by biological, structural, and functional diversity conducive to ecosystem adaptation. The survey of local populations indicates a good understanding of climate issues and a willingness to adopt eco-friendly practices, despite the territorial limitations in absorbing environmental disturbances. Overall, the HPS region combines moderate territorial vulnerability with robust ecological resilience, offering a strategic profile for the development of adaptation policies and sustainable natural resource management.

Key words: Climate change, Setifian High Plains, Socio-ecological resilience, Djebel Youcef, Boutaleb.

Liste des abréviations

A.I.E	Agence Internationale des Énergies.
B.A.D	Banque Africaine de Développement.
C.F.S	Conservation des Forêts de Sétif.
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques.
CVCC	Indice de Cartographie de la Vulnérabilité au Changement Climatique.
D.I.M	Direction de l'Industrie et des Mines Sétif.
D.P.S.B	Direction de Programmation et de Suivi Budgétaire Sétif.
D.R.E	Direction des Ressources en Eau Sétif.
D.S.A	Direction de Services Agricoles Sétif.
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.
GIEC	Groupe Intergouvernementale d'Évolution sur le Climat.
HPS	Hautes Plaines Sétifiennes.
M.E.E.R	Ministre de l'Environnement et des Energie renouvelables.
MNT	Modèle Numérique de Terrain.
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index.
OMM	Organisation Météorologique Mondiale.
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

Sommaire

REMERCIEMENTS

Dédicace

الملخص

Résumé

Abstract

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION

01

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.	Changement climatique et son évolution au cours du temps	05
1.	Dialectique du concept du changement climatique	05
2.	Aperçu historique du changement climatique	06
3.	Changement climatique contemporain	09
4.	Changement climatique dans la région méditerranéenne	11
5.	Changement climatique en Algérie	13
	5.1. Emissions de gaz à effet de serre en Algérie	15
	5.2. Impacts et des changements climatiques en Algérie	16
II.	Concepts de vulnérabilité, résilience et adaptation	17
1.	Le concept de la vulnérabilité	17
2.	Le concept de résilience	18

CADRE D'ÉTUDE

Mise en contexte	22
I. Cadre d'étude régional : région des Hautes Plaines Sétifiennes	22
1. Contexte physiographique	22
1.1.Situation géographique	22
1.2. Pente	24
1.3. Exposition	25
1.4. Géologie	26
1.5. Pédologie	28
1.6. Hydrologie	30
1.7. Végétation	31

1.8. Climat et bioclimat	32
2. Contexte socio-économique	33
2.1. Socio-démographie	33
2.2. Secteur agricole	33
2.3. Secteur industriel	35
II. Cadre d'étude local : Massifs forestiers de Djebel Youcef et de Djebel Boutaleb	36
1. Choix des massifs forestiers	36
2. Massif forestier de Djebel Youcef	37
2.1.Contexte physiographique	37
2.1.1. Situation géographique	37
2.1.2. Relief	37
2.1.3. Pente	37
2.1.4. Exposition	38
2.1.5. Géologie	39
2.1.6. Pédologie	39
2.1.7. Hydrographie	39
2.1.8. Flore et végétation	39
2.1.9. Étage de végétation	40
2.2.Climat et bioclimat	40
2.2.1. Températures	40
2.2.2. Précipitations	41
2.2.3. Bioclimat	42
2.3.Contexte socio-économique et exploitation humaine	42
3. Massif forestier de Boutaleb	43
3.1.Contexte physiographique	43
3.1.1. Situation géographique	43
3.1.2. Relief	44
3.1.3. Pente	45
3.1.4. Exposition	45
3.1.5. Géologie	46
3.1.6. Pédologie	47
3.1.7. Hydrographie	48
3.1.8. Flore et végétation	48

3.1.9. Étages de végétation	49
3.2. Climat et bioclimat	49
3.2.1. Températures	49
3.2.2. Précipitations	50
3.2.3. Bioclimat	51
3.3. Contexte socio-économique et exploitation humaine	51
Synthèse	53

MATÉRIEL & MÉTHODES

I. Mise en évidence du changement climatique et de la sécheresse	55
1. Choix et description des stations pilotes	55
2. Description de la source des données climatiques « <i>TerraClimate</i> »	56
3. Méthodologie d'analyse de tendance, de magnitude et de rupture dans les séries climatiques	57
3.1. Test de Mann-Kendall	57
3.2. Test de Spearman Rho	59
3.3. Test de tendance de Şen	59
3.4. Approche de Theil-Sen	60
3.5. Test de Pettitt	60
4. Caractérisation de la sécheresse dans la région étudiée	61
4.1. Indices de la sécheresse météorologique	61
4.1.1. Indice Standardisé des Précipitations (SPI)	62
4.1.2. Indice Standardisé d'Évapotranspiration des Précipitations (SPEI)	62
4.1.3. Indice de Gravité de la Sécheresse de Palmer (PDSI)	63
4.1.4. Indice de Reconnaissance de la Sécheresse (RDI)	63
4.2. Paramètres descriptifs de la sécheresse	64
4.2.1. Sévérité de la sécheresse	64
4.2.2. Durée de la sécheresse	64
4.2.3. Fréquence de la sécheresse	65
II. Analyse de la vulnérabilité et de la résilience socio-écologique face au changement climatique	65
1. Description de l'indice de Cartographie de la Vulnérabilité au Changement Climatique (CVCC)	65

2.	Modèle conceptuel pour l'élaboration de l'indice (CVCC)	66
3.	Méthode d'agrégation des composantes en un seul indice composite	68
4.	Sources des données exploitées	69
III.	Analyse de la résilience écologique face au changement climatique	70
1.	Prospection du terrain	71
2.	Cartographie des peuplements végétaux	71
3.	Description de la méthode de métriques de stabilité temporelle de la végétation " Time Series Stability Metrics "	71
3.1.	Les données utilisées	72
3.2.	Détection de l'évènement de stress (sécheresses)	73
3.3.	Analyse de la résilience écologique par type de formations végétales et score global du site	74
IV.	Enquête sur la perception du changement climatique et la résilience sociétale dans la région des HPS	75
1.	Structure de questionnaire	75
2.	Collecte de données	75
RÉSULTATS & DISCUSSION		
Partie I.	Étude spatiotemporelle du climat et de la sécheresse régionale	78
1.	Profil climatique et bioclimatique de la région étudiée	78
1.1.	Analyse des paramètres climatiques	78
1.1.1.	Températures	78
1.1.2.	Précipitations	80
1.1.3.	Variabilité mensuelle, saisonnière et annuelle et des précipitations	81
1.1.4.	Humidité	85
1.1.5.	Vent	85
1.2.	Typologie bioclimatique de la région étudiée	87
1.2.1.	Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	87
1.2.2.	Quotient Pluviométrique et Climagramme d'Emberger	88
2.	Évolution climatique et tendances récentes (1980 – 2021)	89
2.1.	Analyse des tendances climatiques	89
2.1.1.	Tendances thermiques	89

2.1.2. Tendances pluviométriques	93
3. Caractérisation de la sécheresse dans la région étudiée	94
3.1. Analyse interannuelle de la sécheresse	94
3.2. Sévérité et fréquence de la sécheresse	96
3.3. Durée des épisodes de la sécheresse	97
3.4. Évolution décennale des indices de la sécheresse	98
Partie II. Analyse régionale de la vulnérabilité et de la résilience socio-écologique face au changement climatique	99
1. Quantification des composantes de l'indice de vulnérabilité	99
1.1. La composante « Exposition »	99
1.2. La composante « Sensibilité »	100
1.3. La composante « Capacité d'adaptation »	101
1.4. Agrégation des composantes de vulnérabilité	103
1.5. Résultat finale de l'indice composite de vulnérabilité	104
2. Cartographie de la vulnérabilité et de la résilience socio-écologique régionale	105
Partie III. Analyse locale de la résilience écologique face au changement climatique	108
1. Le massif de Djebel Youcef	108
1.1. Typologie et cartographie des formations végétales	108
1.2. Caractérisation de la résilience spatiotemporelle de la végétation entre (1984 et 2022)	115
1.2.1. Analyse de la variabilité temporelle du NDVI (1984-2022)	115
1.2.2. Analyse de la variabilité intra-annuelle du NDVI (1984-2022)	116
1.2.3. Identification des périodes critiques de stress végétatif entre (1984-2022)	117
1.2.4. Résistance de la végétation	118
1.2.5. Récupération de la végétation	119
1.2.6. Résilience de la végétation	119
1.2.7. Niveaux de la résilience écologique par type de formation végétale	122
2. Le massif forestier de Boutaleb	124
2.1. Typologie et cartographie des formations végétales	124
2.2. Vulnérabilité des forêts de Boutaleb face au changement climatique	130
2.3. Caractérisation de la résilience spatiotemporelle de la végétation entre	133

(1984 et 2022)	
2.3.1. Analyse de la variabilité temporelle du NDVI (1984-2022)	133
2.3.2. Analyse de la variabilité intra-annuelle du NDVI (1984-2022)	134
2.3.3. Identification des périodes critiques de stress végétatif entre (1984-2022)	134
2.3.4. Résistance de la végétation	135
2.3.5. Récupération de la végétation	136
2.3.6. Résilience de la végétation	137
2.3.7. Niveaux de la résilience écologique par type de formation végétale	139
3. Typologie croisée de la vulnérabilité socio-écologique régionale et la résilience écologique locale	141
Partie IV. Enquête sur la perception du changement climatique et la résilience sociétale dans la région des HPS	142
1. Profil sociodémographique des enquêtés	142
2. Perception et connaissances sociales du changement climatique	145
3. Perception des incidences du changement climatique au niveau de la région des HPS	146
4. Perception de la résilience sociale et de la transition écologique	147
Discussion	149
1. Discussion des tendances du changement climatique récentes, et de la sécheresse dans la région des HPS entre (1980 et 2021)	149
2. Discussion de la vulnérabilité et de la résilience socio-écologique territoriale face au changement climatique dans la région des HPS entre (1980 et 2021)	151
3. Discussion de la résilience écologique des deux massifs forestiers Djebel Youcef et Djebel Boutaleb face au changement climatique entre (1984-2022)	153
CONCLUSION & PERSPECTIVES	160
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	164
ANNEXES	176

Liste des tableaux

01	Tendances caractéristiques des précipitations et de la température en Algérie (B.A.D., 2018).	14
02	Vulnérabilités sectorielles et impacts du changement climatique en Algérie (M.E.E.R., 2019).	17
03	Distribution de la population autour du massif de Djebel Youcef (D.P.S.B., 2021).	43
04	Distribution de la population autour du massif de Boutaleb (D.P.S.B., 2021).	52
05	Classification des sécheresses selon les valeurs de SPI, SPEI, PDSI et RDI.	64
06	Sources de données utilisées dans le calcul de l'indice CVCC pour les HPS	69
07	Moyennes mensuelles et annuelles des températures en (°C) des stations d'étude pour la période (1980-2021).	78
08	Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations en (mm) des stations d'étude pour la période (1980-2021).	80
09	Caractéristiques de base des précipitations annuelles et saisonnières dans les stations types de la zone d'étude entre 1980 et 2021.	83
10	Vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/s) pendant la période (1981-2017) à la région de Sétif.	86
11	Données de calcul du Quotient pluviothermique pour les stations d'étude durant la période (1980-2021).	88
12	Résultats de l'analyse des tendances thermiques détectées par les tests MK, SR, Theil-Sen et Pettitt au niveau significatif de 5 %.	91
13	Résultats de l'analyse d tendances pluviométriques détectées par les tests MK, SR, Theil-Sen et Pettitt au niveau significatif de 5 %.	93
14	Classification des communes de la région des Hautes Plaines Sétifiennes selon les scores de l'indice de vulnérabilité et de résilience.	104
15	Les valeurs critiques du z-score pour le NDVI du massif de Djebel Youcef pendant les évènements de stress.	117
16	Score moyen pondéré pour chaque formation végétale et score global du massif de Djebel Youcef.	124
17	Les valeurs critiques du z-score pour l'NDVI du massif forestier de Boutaleb pendant les évènements de stress.	134
18	Score moyen pondéré pour chaque formation végétale et score global du massif forestier de Boutaleb.	141
19	Récapitulation des scores de vulnérabilité socio-écologique régionale et de résilience écologique.	142

Liste des figures

01	Évolution de la température terrestre au cours de l'histoire de la Terre (Gassmann, 1998).	07
02	Évolution périodique des taches solaires (Frédéric et Laure, 2012).	09
03	Évolution du réchauffement climatique au cours de la période 1880-2020 dans la région méditerranéenne (PNUE, 2020).	11
04	Émissions de dioxyde de carbone des pays méditerranéens en 2014 (CAIDC, 2019).	12
05	Évolution de la température moyenne de l'air à la surface et des précipitations annuelles en Algérie au cours de la période 1950 à 2022 (Groupe de la Banque Mondiale, 2021).	14
06	Répartition des émissions des GES en Algérie par principaux secteur (A.I.E., 2013).	15
07	Émissions de CO ₂ par pays méditerranéens, et position de l'Algérie en 2000, 2010 et 2014 (PNUE, 2020).	16
08	Schéma conceptuel de la vulnérabilité au changement climatique (National Park Service, 2022).	19
09	Schéma représentatif du caractère interdisciplinaire de la résilience (Géraldine <i>et al.</i> , 2011).	20
10	Carte de situation géographique de la région des Hautes Plaines Sétifiennes.	24
11	Carte des pentes de la région des Hautes Plaines Sétifiennes	25
12	Carte d'exposition de la région des Hautes Plaines Sétifiennes.	26
13	Carte géologique de la région des Hautes Plaines Sétifiennes. (Données de l'US Geological Survey)	28
14	Carte pédologique de la région des Hautes Plaines Sétifiennes. (Données de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO))	30
15	Carte du réseau hydrographique de la région des Hautes Plaines Sétifiennes.	31
16	Carte de pluviométrie de la wilaya de Sétif (Zerroug, 2012).	32
17	Répartition de la S.A.U et du cheptel animal dans les Hautes Plaines Sétifiennes pendant la campagne agricole 2021.	35
18	Situation géographique des deux massifs d'étude au sein de la région des Hautes Plaines Sétifiennes.	36
19	Carte du contexte géographique et morphologique du massif de Djebel Youcef.	38
20	Carte des moyennes annuelles des températures minimales et maximales de Djebel Youcef (1980 – 2021).	41
21	Carte des précipitations annuelles de Djebel Youcef (1980 – 2021).	42
22	Carte du contexte géographique et morphologique du massif forestier de Boutaleb.	46
23	Carte géologique du massif de Boutaleb (C.F.S., 2021)	47

24	Carte des moyennes annuelles des températures minimales et maximales du massif de Boutaleb (1980-2021).	50
25	Carte des précipitations annuelles du massif de Boutaleb (1980 – 2021).	51
26	Localisation de la région des Hautes Plaines Sétifiennes et les Stations choisies.	56
27	Échelle de vulnérabilité et de résilience.	69
28	Travail sur l'interface de Google Earth Engine.	73
29	Questionnaire en ligne sur Google Forms en langue arabe.	76
30	Variation interannuelle des températures moyennes pour les stations Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb au cours de la période (1980-2021).	80
31	Moyenne mensuelle des précipitations dans les stations de Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb (1980-2021).	82
32	Évolution des précipitations annuelles dans les stations de Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb (1980-2021).	84
33	Humidité moyenne mensuelle au cours de la période (1981-2017) dans la région de Sétif (Données de l'ONM Sétif).	85
34	Rose des vents au cours de la période (1981-2017) dans la région de Sétif (Données de l'ONM Sétif).	86
35	Diagramme ombrothermique de trois stations d'étude Sétif, Ain Oulmène, et Boutaleb (1981-2021).	87
36	Emplacement des stations de Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb sur le climagramme d'Emberger dans la période (1980-2021).	89
37	Graphes de tendance de $\bar{S}_{en}$ pour les températures annuelles minimales, maximales et moyennes ($^{\circ}\text{C}$) dans les stations de Sétif (S1), Ain Oulmène (S2), et Boutaleb (S3) pendant la période (1980-2021).	92
38	Graphes de tendance de $\bar{S}_{en}$ pour la pluviométrie annuelle (mm) dans les stations de Sétif (S1), Ain Oulmène (S2), et Boutaleb (S3) pendant la période (1980-2021).	94
39	Les anomalies des précipitations et des indices de sécheresse SPI, RDI, SPEI, et PDSI pour les trois stations Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb de 1980 à 2021. Les lignes horizontales indiquent la valeur seuil des sécheresses modérées pour chaque indice.	95
40	Fréquence de la sécheresse pour chaque classe de sévérité de la sécheresse (D1 modérée, D2 sévère, D3 extrême) pour les trois stations Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb de 1980 à 2021.	96
41	Fréquence des sécheresses météorologiques pour différentes échelles de temps (1, 2-3, 4-5, 6-9, et ≥ 10 mois) pour les trois stations Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb de 1980 à 2021.	97
42	Évolution décennale de différents indices de sécheresse (SPI, SPEI, RDI, et PDSI) dans les trois stations Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb de 1980 à 2021.	98
43	Variation des différentes variables de la composante « Exposition » au sein des 27 communes des Hautes Plaines Sétifiennes.	100

44	Variation des différentes variables de la composante « Sensibilité » au sein des 27 communes des Hautes Plaines Sétifiennes.	101
45	Variation des différentes variables de la composante « Capacité d'adaptation » au sein des 27 communes des Hautes Plaines Sétifiennes.	102
46	Agrégation des trois composantes de l'indice de vulnérabilité CVCC pour les 27 communes des Hautes Plaines Sétifiennes.	103
47	Carte de vulnérabilité socio-écologique des communes territoriales de la région des Hautes Plaines Sétifiennes face au changement climatique.	106
48	Carte de résilience socio-écologique des communes territoriales de la région des Hautes Plaines Sétifiennes face au changement climatique.	107
49	(A) Pinède de Djebel Youcef, (B) Pinède à <i>Juniperus oxycedrus</i> , (B) Pinède à <i>Cupressus sempervirens</i> .	109
50	(A) Matorral arboré à pin d'Alep, (B) Sujets de <i>Pinus halepensis</i> bien régénérés.	110
51	(A) Steppe à <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Launaea acanthoclada</i> , (B) <i>Thymaelea hirsuta</i> , (C) <i>Lygeum Spartum</i> .	111
52	(A) Formation de Steppe à <i>Artemisia herba-alba</i> , (B) <i>Artemisia herba-alba</i> , (C) <i>Calicotome spinosa</i> , (D) <i>Cichorium intybus</i> , (F) <i>Atractylis gummifera</i> L.	113
53	(A) Formation rupicole de Djebel Youcef, (B) <i>Lysimachia arvensis</i> , (C) <i>Helianthemum lippii</i> , (D) <i>Heliotropium europaeum</i> , (E) <i>Phacelia hastata</i> , (F) <i>Marrubium vulgare</i> , (G) <i>Thymelaea passerina</i> .	114
54	Carte de répartition des peuplements végétaux dans le massif de Djebel Youcef.	115
55	Variabilité mensuelle du NDVI au niveau du massif de Djebel Youcef au cours de la période (1984-2022).	116
56	Variabilité intra-annuelle du NDVI au niveau du massif de Djebel Youcef au cours de la période (1984-2022).	117
57	Évolution spatiotemporelle de la résistance de la végétation du massif de Djebel Youcef pendant les épisodes de stress.	118
58	Évolution spatiotemporelle de la récupération de la végétation du massif de Djebel Youcef pendant les épisodes de stress.	119
59	Évolution spatiotemporelle de la résilience de la végétation du massif de Djebel Youcef pendant les épisodes de stress.	121
60	Évolution des paramètres résistance, récupération et résilience pendant les épisodes de stress pour le massif de Djebel Youcef.	122
61	Distribution des niveaux de résilience par type de formation végétale constituant le massif de Djebel Youcef.	123
62	(A) Cédraie de Boutaleb, (B) Pinède de Boutaleb.	125
63	(A) Matorral à chêne vert (<i>Quercus ilex</i> L.), (B) <i>Juniperus oxycedrus</i> L., (C) <i>Juniperus phoenicia</i> L., (D) <i>Pistacia lentiscus</i> L., (E) <i>Phillyrea angustifolia</i> (L. Rouy).	128
64	(A) Steppe à <i>Artemisia herba alba</i> Asso, (B) Steppe arborée.	129
65	Pelouse à <i>Astragalus armatus</i> Willd.	129

66	Carte de répartition des peuplements végétaux dans le massif forestier de Boutaleb.	130
67	Signes de dépérissement chez : (A) <i>Cedrus atlantica</i> Manetti., (B) <i>Pinus halepensis</i> Mill., (C) <i>Cupressus sempervirens</i> L., (D) <i>Quercus ilex</i> L., (E) <i>Juniperus oxycedrus</i> L.,	132
68	Variabilité mensuelle du NDVI au niveau du massif forestier de Boutaleb au cours de la période (1984-2022).	133
69	Variabilité intra-annuelle du NDVI au niveau du massif forestier de Boutaleb au cours de la période (1984-2022).	134
70	Évolution spatiotemporelle de la résistance de la végétation du massif forestier de Boutaleb pendant les épisodes de stress.	135
71	Évolution spatiotemporelle de la récupération de la végétation du massif forestier de Boutaleb pendant les épisodes de stress.	136
72	Évolution spatiotemporelle de la résilience de la végétation du massif forestier de Boutaleb pendant les épisodes de stress.	138
73	Évolution des paramètres résistance, récupération et résilience pendant les épisodes de stress pour le massif forestier de Boutaleb	139
74	Distribution des niveaux de résilience par type de formation végétale constituant le massif forestier de Boutaleb.	140
75	Caractéristiques sociodémographiques des enquêtés.	144
76	Niveau de connaissance sociale du phénomène du changement climatique.	145
77	Les effets perçus du changement climatique dans la région des HPS selon les répondants.	147
78	Perception et comportements des répondants face aux enjeux climatiques.	148

INTRODUCTION

Introduction

À notre époque, il est impossible d'aborder les problèmes et les défis environnementaux majeurs et chroniques sans parler du changement climatique. Ce dernier est généralement décrit comme un phénomène qui affecte notre planète souvent en impactant directement ou indirectement les territoires, les écosystèmes, l'agriculture, la santé humaine et les moyens de subsistance de la société (Sharma *et al.*, 2021).

Comme l'ensemble du bassin méditerranéen, l'Algérie se dresse aujourd'hui au cœur d'une zone climatique sous tension où chaque déséquilibre devient un signal d'alarme. Elle subit de plein fouet les effets du changement climatique dû à son emplacement géographique marqué par une véritable ligne de faille entre le Sahara et la méditerranée. Par conséquent, le pays affronte dans les dernières décennies des fléaux récurrents comprenant des sécheresses sévères, des inondations violentes, des vagues de chaleur et des risques accrus pour la sécurité humaine.

Dans la région des Hautes Plaines Sétifiennes, en raison de sa position dans un contexte du climat semi-aride, les effets du dérèglement climatique se font sentir de manière particulièrement intense. Les écosystèmes qui englobent non seulement la faune et la flore mais aussi les sociétés humaines dévoilent une vulnérabilité profonde et indissociable dans la mesure où le climat constitue un facteur déterminant dans leur structure et leur composition. Cette fragilité à la fois sociale et écologique s'affirme comme une réalité incontournable qui mène une guerre sans merci pour renforcer la résilience des écosystèmes locaux et mitiger des stratégies d'adaptation aux perturbations récurrentes.

Le concept de la résilience a été introduit en écologie pour désigner la capacité dynamique d'un système à retrouver des caractéristiques fonctionnelles et structurelles après une perturbation (Holling (1973)). Cette notion est aussi associée à celle de stabilité d'un système, qui se réfère à la notion de fluctuations temporelles de certaines variables écologiques autour d'un ou plusieurs points d'équilibre en réponse à une perturbation (Blanchet, 2021). En revanche, l'expression des systèmes socio-écologiques (SSE) définit comme des systèmes intégrés couplant des sociétés humaines et des écosystèmes qui présentent des interdépendances et des rétroactions réciproques (Liu *et al.*, 2007). Plus précisément, c'est tout un système qui est défini à plusieurs échelles spatiales, temporelles et organisationnelles, lesquelles peuvent être hiérarchiquement liées à un ensemble de ressources clés naturelles, socio-économiques et culturelles dont les flux et l'utilisation sont régis par régulations écologiques et sociales combinées (Redman et Kinzig, 2003).

Compte tenu la forte interdépendance entre les composantes sociales et écologiques dans la région des Hautes Plaines Sétifiennes, ce projet de recherche interroge la capacité de ce territoire à faire face au changement climatique en analysant la résilience de ses systèmes socio-écologiques. Par ailleurs, l'importance de comprendre la dynamique du changement climatique et ses effets sur les écosystèmes, les territoires et les modes de vie humaine constitue ainsi l'enjeu principal qui oriente notre démarche.

Plus spécifiquement, la présente étude s'articule autour de plusieurs problématiques permettant de cerner la résilience des systèmes socio-écologiques des Hautes Plaines Sétifiennes : « Quelles sont les tendances récentes de l'évolution climatique dans cette région ? », « Dans quelle mesure la vulnérabilité socio-écologique affecte-t-elle les territoires ? », « Quel est le niveau de résilience des écosystèmes locaux ? », et enfin « Comment les sociétés locales perçoivent-elles le changement climatique et quelle est leur responsabilité dans ce processus ? ».

Dans la région des Hautes Plaines Sétifiennes la plupart des travaux scientifiques consacrés au changement se sont concentrés sur la gestion des écosystèmes agraires comme ceux de Bouregaa (2014, 2018), Rouabhi, (2014) ou encore Chourghal (2016). En écologie, Missaoui (2020) a également apporté des éclairages sur le comportement phénologique de quelques formations forestières vis-à-vis le changement climatique.

Cependant, aucun travail n'a jusqu'à présent proposé une analyse globale et structurée de la résilience des systèmes sociaux et écologiques face au changement climatique dans la région. D'où l'importance et l'originalité de notre étude qui offre une analyse fine de la résilience en articulant les échelles régionale et locale et en croisant de manière intégrée les dimensions sociale et écologique.

Les principaux objectifs de cette thèse visent donc à :

- Caractériser les évolutions climatiques récentes dans la région des Hautes Plaines Sétifiennes afin d'identifier les principales tendances et dynamiques en cours.
- Évaluer et cartographier la vulnérabilité et la résilience socio-écologique des territoires en mettant en évidence les facteurs de fragilisation et les zones les plus exposées aux impacts du changement climatique.
- Analyser la capacité de la résilience des écosystèmes locaux en se focalisant sur les deux principaux massifs forestiers de la région Djebel Youcef et Djebel Boutaleb en examinant leurs mécanismes de résistance, de récupération et d'adaptation face aux perturbations climatiques.

- Examiner les perceptions, les attitudes et les responsabilités des sociétés locales vis-à-vis le changement climatique pour comprendre leur rôle dans l'atténuation ou l'aggravation de ce phénomène.

Pour répondre à ces objectifs, notre manuscrit est structuré en quatre chapitre :

- Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique consacré à la description et la définition des concepts du changement climatique, vulnérabilité et résilience.
- Le deuxième chapitre décrit notre milieu d'étude sous différents aspects : physiographique, climatique, bioclimatique et socio-économique appuyé par une approche cartographique.
- Le troisième chapitre explique la démarche méthodologique et les différents approches et outils mobilisés dans ce travail.
- Le quatrième chapitre regroupe l'ensemble des résultats obtenus ainsi que leur discussion.

Enfin, ce travail se terminera par une conclusion synthétique assortie de perspectives.

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Changement climatique et son évolution au cours du temps

1. Dialectique du concept du changement climatique

Pendant de longues années, le changement climatique reste un sujet fréquemment discuté dans les sphères scientifiques et sociaux. Cependant sa définition demeure encore l'apanage des experts.

D'après les GIEC (2001), le changement climatique correspond à une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes (généralement, pendant des décennies ou plus). Ces changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, ou à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres.

D'autre part de manière analogue, la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), dans son Article 1, définit les changements climatiques comme étant des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables (CCNUCC, 2008).

La CCNUCC établit ainsi une déférence entre "les changements climatiques" attribués aux activités humaines affectant la composition de l'atmosphère et "la variabilité climatique" qui résulte des causes naturelles. En effet, la CCNUCC précise que la variabilité climatique fait référence aux variations naturelles du climat, à l'échelle intra et interannuelle, alors que les changements climatiques désignent un changement du climat lié directement ou indirectement aux activités humaines qui altèrent la composition de l'atmosphère globale et qui s'ajoutent à la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes de temps comparables (CCNUCC, 1992).

Plus tard, avec l'augmentation de la température terrestre et la multiplication des événements extrêmes, un nouveau concept a émergé sur la scène mondiale appelé "le réchauffement climatique".

Le réchauffement climatique est une conséquence directe de l'augmentation forcée des gazes à effet de serre, d'origine naturelle, et en particulier, d'origine anthropique ou plus précisément d'origine industrielle. Il s'agit d'un emprisonnement de la chaleur reçu directement du soleil ou bien suite à sa réflexion ou dégagement du sol et d'atmosphère, dits albédo, sous forme de rayonnement infrarouge. A Cet emprisonnement de la chaleur, s'ajoute le pouvoir captif des polluants et des gazes dégagées par les activités humaines. Cet effet conjugué a conduit à un réchauffement climatique anormal marqué par son aspect rapide et fort, à un point que les espèces végétales et animales n'ont pas pu s'y adapter (GIEC, 2014).

Néanmoins, le groupe intergouvernemental d'évolution sur le climat (GIEC) constitue la principale source scientifique crédible en matière de changement climatique, apportant de suivis approfondis et des certitudes sur ce phénomène à travers ces rapports successifs. En effet, les GIEC évaluent régulièrement le changement climatique notamment :

En 1990 : " L'ampleur du réchauffement au cours du dernier siècle est conforme aux prévisions des modèles climatiques, mais elle est également de la même magnitude que de la variabilité climatique naturelle ".

En 1995 : " Dans l'ensemble, les observations portent à croire à une influence humaine sur le climat planétaire ".

En 2001 : " Des observations récentes plus convaincantes indiquent que le réchauffement constaté au cours des cinquante dernières années est attribuable à des activités humaines ".

En 2007 : " L'essentiel de l'augmentation observée des températures moyennes depuis la moitié du XXe siècle est, très probablement dû à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre engendrées par l'homme ".

Malgré les divergences sur l'origine du changement climatique, qu'il soit dû à des causes naturelles ou anthropiques, les scientifiques ne cessent à poursuivre ses efforts pour mieux comprendre ce phénomène et résoudre la controverse sur la responsabilité de l'homme dans le bouleversement climatique de la Terre.

2. Aperçu historique du changement climatique

L'évolution climatique des dernières centaines de milliers d'années est désormais largement documentée. Depuis la formation de la Terre, le climat n'a cessé de varier. Ces changements climatiques, en modifiant directement la biosphère, le cycle de l'eau, la forme des continents et la couverture végétale, les océans et les glaces, ont eu des conséquences multiples sur l'ensemble des êtres vivants (Sylvestre, 1998 ; Petit, 2001 et Parrenin, 2002).

L'histoire climatique de notre planète, durant le Quaternaire, est marquée par une alternance de périodes froides, glaciaires, et de périodes chaudes, interglaciaires (Figure 1). Les variations d'émission solaire, notamment, les minimas des taches solaires, sont associés à des épisodes de refroidissement climatique. Au cours des derniers millénaires, ces variations expliquent les fluctuations climatiques historiques : une période chaude au Moyen Âge (476 à 1453), l'optimum Médiéval entre les XI^e à XIV^e siècles, puis une période froide, le Petit Âge de Glace, de la fin du X^e siècle au milieu du XIX^e siècle (1400 à 1850). Cette période est particulièrement caractérisée en Europe et en Amérique du nord, par des hivers longs et rigoureux et des étés courts et humides, une extension des glaces Arctiques et un refroidissement global de - 1 °C à - 2 °C. Elle a pris fin autour de 1860, coïncidant à peu près avec le début de la révolution industrielle. Depuis cette époque, une ère de réchauffement a émergé (Jones *et al.*, 1988, 1999 ; Henson, 2008 et Rapp, 2008).

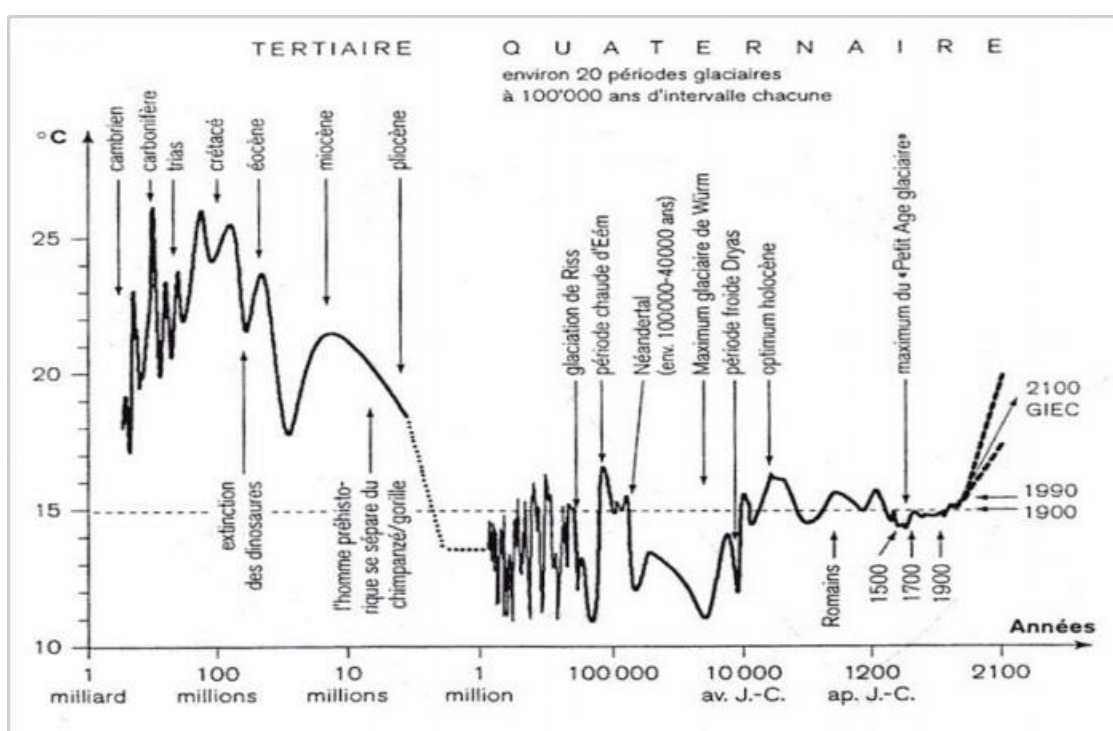


Figure 1. Évolution de la température terrestre au cours de l'histoire de la Terre (Gassmann, 1998).

Grâce à la paléoclimatologie, la science qui reconstitue le climat des époques passées, à partir d'indices trouvés dans les sédiments ou les glaces, les scientifiques ont pu déterminer les principaux facteurs influençant le climat de la Terre à l'échelle des temps géologiques :

- Le mouvement de la Terre par rapport au Soleil (cycles de Milankovitch): Ce mouvement varie très lentement sur des centaines de milliers d'années et affecte la quantité d'énergie que la Terre reçoit du Soleil. Par exemple, l'orbite de la Terre autour du Soleil peut former une ellipse plus ou moins allongée (Nicholas, 2000).
- La position des continents : Les continents se déplacent lentement à travers le mouvement des plaques tectoniques. En fonction de leur position sur le globe, ils peuvent modifier les grands courants océaniques et influencer les courants atmosphériques, ce qui a pour effet de changer le climat global de la planète (Schroeder, 2005).
- La composition de l'atmosphère : Certaines substances de l'atmosphère, appelées "gaz à effet de serre" ont un impact direct sur le climat de la Terre, car elles influencent la quantité d'énergie solaire piégée par l'atmosphère. Cette composition atmosphérique varie en fonction de divers facteurs, tels que les émissions de gaz provenant des éruptions volcaniques, l'absorption ou l'émission de gaz par les plantes ou les océans, etc. (Fall et Nasir, 2011).
- L'intensité de l'activité solaire : Lors des phases d'activité solaire intense, la Terre reçoit une plus de grande quantité d'énergie, ce qui influence les températures terrestres. Cette activité solaire est dépendante des taches solaires (Sun Spots) dont le nombre varie périodiquement tous les onze ans (Theodore, 2007). Cependant, des études récentes (Frédéric et Laure, 2012) ont révélé que l'activité solaire a tendance à diminuer (Figure 2).

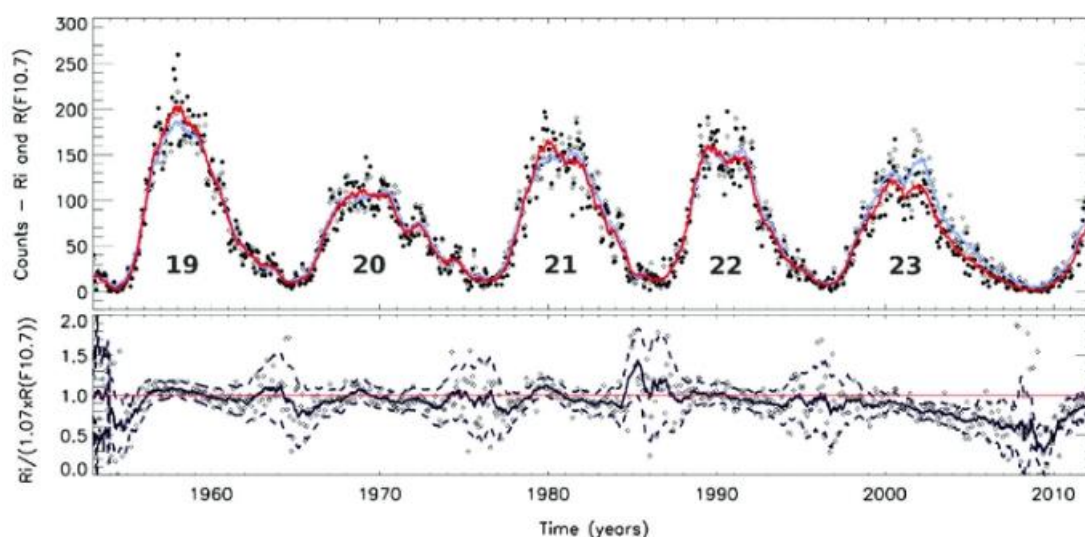


Figure 2. Évolution périodique des taches solaires (Frédéric et Laure, 2012).

3. Changement climatique contemporain

Selon Richard et Camberlin (2005), le changement climatique contemporain se réfère à la période durant laquelle l'activité humaine, en particulier par la modification de la composition chimique de l'atmosphère, devient un facteur majeur influençant le climat à toutes les échelles spatiales. Cet impact est auparavant limité à l'échelle locale, il est désormais global, notamment à travers l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre.

Par ailleurs, de nombreuses études scientifiques et enquêtes climatologiques menées régulièrement par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) ont confirmé que le changement climatique actuel est la conséquence d'une empreinte écologique humaine élevée. En effet, les activités anthropiques, notamment la combustion des énergies fossiles émettent des GES tels que le dioxyde de carbone (CO_2) le méthane (CH_4), les halocarbures et le protoxyde d'azote (N_2O), perturbant ainsi le cycle mondial du carbone et aboutissant à un réchauffement de la planète (GIEC, 2020).

D'après les experts du GIEC, le changement climatique récent n'est pas homogène et se manifeste de multiples façons :

- La température moyenne mondiale a augmenté de 0,6°C à 0,74°C entre 1906 et 2005. Parmi les douze dernières années (1995-2006) onze figurent parmi les plus chaudes depuis 1850. De plus, 1998 reste l'année la plus chaude avec un écart de 0,59 °C par rapport à la normale enregistré durant la période 1961-1990 (GIEC, 2007).
- Les précipitations ne sont pas égales et varient d'une région à l'autre sur le globe. Une augmentation significative des précipitations a été observée dans l'hémisphère Nord à un rythme de 0,5 à 1 % par décennie. En revanche, dans les zones subtropicales les pluies à la surface des terres émergées ont diminué en moyenne d'environ 0,3 % par décennie. De plus, une baisse notable des précipitations a également été constaté dans la Méditerranée, le Sahel, l'Afrique du Sud et en Australie (GIEC, 2007, 2013).
- La température moyenne des océans a augmenté jusqu'à des profondeurs d'au moins 3000 mètres, les océans absorbant plus de 80 % de la chaleur supplémentaire ajoutée au système climatique. En effet, le niveau global moyen de la mer s'est élevé à un rythme moyen de 3,6 mm/an, au cours de la décennie de 2006 à 2015. Ce taux est d'environ 2,5 fois supérieur au rythme annuel de 1,4 mm/an observé entre 1901-1990. L'élévation totale du niveau de la mer au cours du XIXe siècle est estimée à 0,17 mètre (GIEC, 2019).
- La couverture neigeuse a diminué de quelque 10 % depuis la fin des années 1960 dans les moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère Nord. De plus, presque tous les glaciers de montagne observés dans les régions non polaires ont reculé pendant cette période (GIEC, 2007).
- Des sécheresses plus sévères et plus longues ont été observées depuis 1970 sur de vastes territoires, particulièrement dans les régions tropicales et subtropicales de l'Afrique et de l'Asie (GIEC, 2007).
- La teneur moyenne en vapeur d'eau dans la haute troposphère a connu une augmentation significative sur de vastes étendus spatiales. En effet, l'humidité spécifique de cette couche atmosphérique a augmenté depuis 1980, avec une variation estimée à 3,5 % au niveau mondial ces dernières années (GIEC, 2013).
- Les vents d'ouest de moyenne latitude se sont renforcés dans les deux hémisphères depuis 1960. Cela a été accompagné d'une augmentation de l'activité des cyclones tropicaux intenses dans l'Atlantique Nord depuis environ 1970, corrélée avec l'élévation des températures de surface de la mer sous les tropiques (GIEC, 2013).

4. Changement climatique dans la région méditerranéenne

Le bassin méditerranéen est considéré comme un point chaud en terme de changement climatique (PNUE, 2020) dont ses effets se font déjà ressentir et vont s'accroître tout au long du XXI^e siècle.

L'étude des données climatiques à l'échelle de l'Europe et du bassin méditerranéen au cours du XX^e siècle montre déjà des premiers effets perceptibles du changement climatique. Comparativement à la période 1960-1970, la température moyenne en Méditerranée occidentale a augmenté de 1 à 1,5 °C, tandis que les températures estivales moyennes ont augmenté de 1,5 °C en Méditerranée orientale (Sanchis-Ibor *et al.*, 2020). En outre, La fréquence des journées et des nuits chaudes augmente, tandis que celle des jours de gel ainsi que des journées et nuits froides diminue (Blanchet, 2021). Par ailleurs, les événements exceptionnels ou extrêmes se multiplient également, avec une intensification des vagues de chaleur, de précipitations extrêmes, ainsi que de manque d'eau ou de sécheresse (GIEC, 2013; Vicente-Serrano *et al.*, 2014).

Pendant les années 1980 et 1990, le réchauffement a été plus prononcé au niveau du bassin Méditerranéen, avec une hausse plus importante en hiver, surtout en ce qui concerne les températures minimales (Nicholson, 2001 et Collins, 2011). Les précipitations ont diminué avec une baisse de 20 % dans certaines régions (Cislaghi *et al.*, 2005 et Alpert *et al.*, 2008).

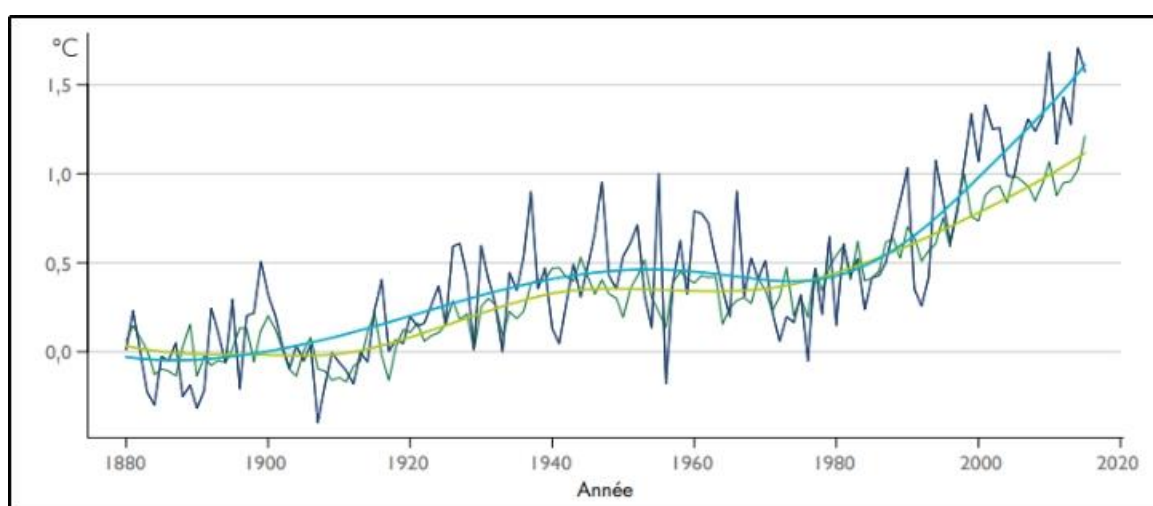


Figure 3. Évolution du réchauffement climatique au cours de la période 1880-2020 dans la région méditerranéenne (PNUE, 2020).

La région méditerranéenne est également vulnérable aux impacts du changement climatique qui aggravent les fragilités et dégradations environnementales préexistantes,

notamment parce que le réchauffement de l'air et de la mer y est plus rapide que la moyenne mondiale, ainsi que par les changements qui affectent les régimes hydriques dans une région où la pénurie de l'eau est déjà une réalité. Par ailleurs, l'acidification par le CO₂ menace ses écosystèmes marins (PNUE, 2020).

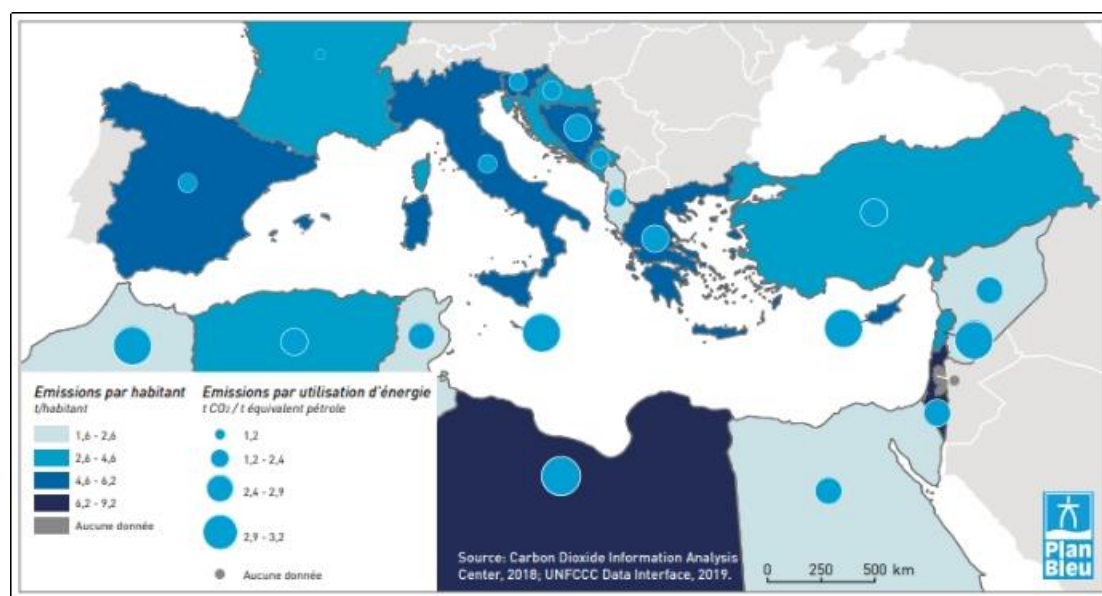


Figure 4. Émissions de dioxyde de carbone des pays méditerranéens en 2014 (CAIDC, 2019).

À l'échelle du Maghreb, le climat a connu un changement brutal à partir de 1973, date qui coïncide avec la sécheresse du Sahel (Tabet-Aoul, 2008). Selon le rapport du GIEC (2013), les experts ont observé que le Meghreb a été confronté à plusieurs problèmes liés au changement climatique tels que :

- Une fréquence accrue des sécheresses survenant une année sur trois.
- Une multiplication des vagues de chaleur à travers toutes les saisons.
- Une augmentation du niveau de la mer.
- La fréquence des incendies de forêts entraînant une perte annuelle de 25000 ha en Algérie et au Maroc.
- L'occurrence de fortes précipitations surtout pendant la période 1975 à 2004 a été l'origine de catastrophes naturelles, telles que les inondations de Janvier 1990 en Tunisie, de Novembre 2001 en Algérie, et de Novembre 2002 au Maroc.

5. Changement climatique en Algérie

A l'instar d'autres pays, l'Algérie, le plus grand pays situé au sud de la Méditerranée présente une grande sensibilité face aux impacts du changement climatique. Son système climatique influencé par des zones arides, semi-arides, subhumides, et humide en fait un pays particulièrement vulnérable à ce fléau.

Au Maghreb et, plus spécifiquement, en Algérie, l'évolution récente du climat montre que le réchauffement climatique est plus important que la moyenne mondiale. En effet, si au niveau mondial la hausse de température au XXe siècle a été de 0,74 °C, celle sur le Maghreb s'est située entre 1,5 et 2 °C selon les régions, soit plus du double que la hausse moyenne planétaire. Quant à la baisse des précipitations, elle varie entre 10 et 20 % (Tabet-Aoul, 2008).

Au niveau de l'Algérie, les tendances liées au changement climatique sont plus contrastées. L'analyse des deux paramètres fondamentaux, à savoir la température et les précipitations au cours du dernier siècle a révélé une augmentation des températures entre 1979 et 2015. La tendance la plus forte se manifeste dans les zones intérieures arides, tandis que les régions du nord enregistrent des tendances plus faibles. Ces évolutions sont toutes statistiquement significatives. D'autre part, les tendances des précipitations annuelles totales à long terme montrent généralement une augmentation, cependant cette évolution n'est ni fortes ni statistiquement significative dans aucune des régions. En ce qui concerne la fréquence des précipitations, les tendances ne sont généralement pas évidentes, tandis que les épisodes de précipitations extrêmes reflètent des tendances positives non statistiquement significatives, en particulier dans les zones plus au nord (B.A.D., 2018).

Le tableau ci-après résume les tendances caractéristiques des précipitations et de la température en Algérie.

Tableau 1. Tendances caractéristiques des précipitations et de la température en Algérie (B.A.D., 2018).

Région	T Moyenne [°C/décennie]	Total des précipitations [mm/décennie]	Nombre de jours de pluie extrêmes [jours/décennie]	Nombre de jours de pluie [jours/décennie]
Côte Méditerranéenne	+0,14	À la hausse	+1,3	Non évident
Atlas Tellien	+0,19	+21,1	+1,3	Non évident
Haut Plateau	+0,19	+17,2	À la hausse	Légèrement à la hausse
Intérieur aride	+0,32	Légèrement à la hausse	Non évident	Non évident

Cependant, les études menées par le Groupe de la Banque Mondiale (2021) en Algérie, révèlent que les températures moyennes annuelles ont augmenté depuis les années 1960. La variabilité interannuelle et décennale indique un réchauffement d'environ 2,7 °C par siècle depuis les années 1900. En revanche, les précipitations ont subi une variabilité décennale et saisonnière très importante, avec une diminution de 12,4 mm par mois chaque siècle depuis les années 1960.

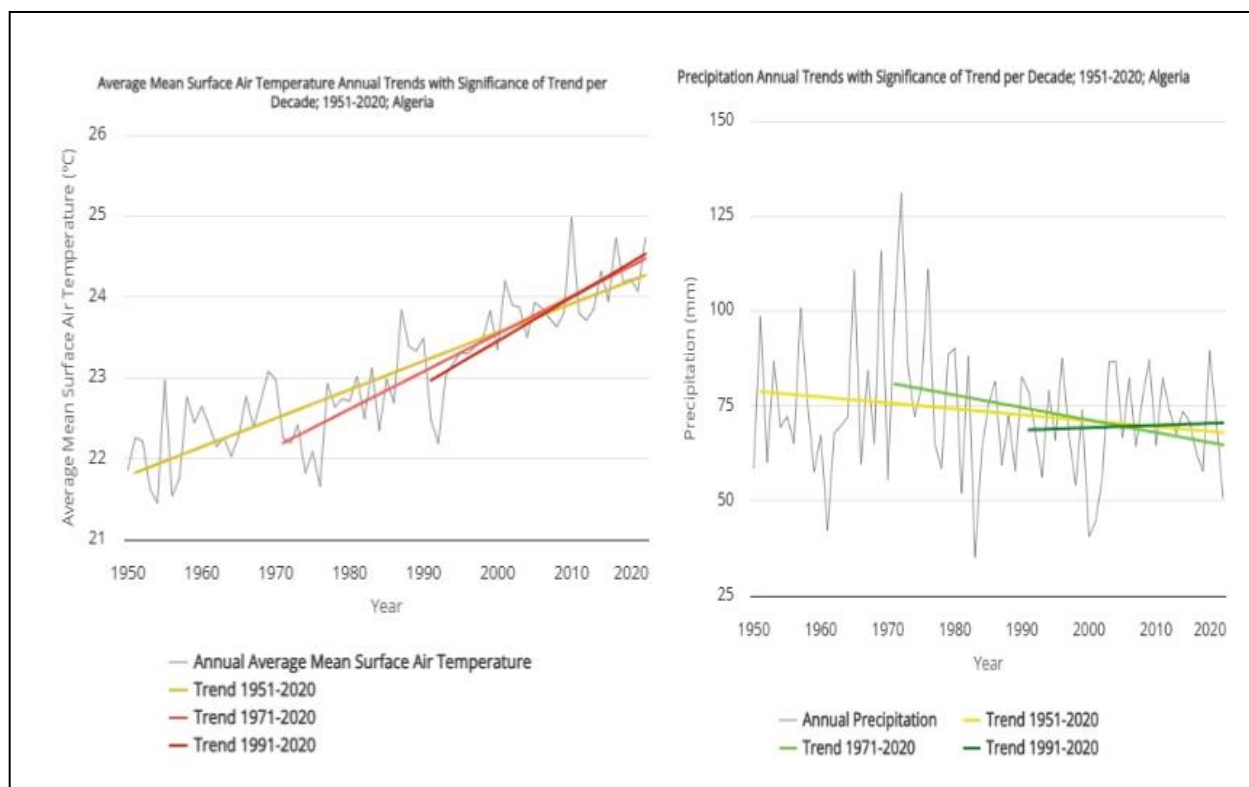


Figure 5. Évolution de la température moyenne de l'air à la surface et des précipitations annuelles en Algérie au cours de la période 1950 à 2022 (Groupe de la Banque Mondiale, 2021).

5.1. Emissions de gaz à effet de serre en Algérie

Les chiffres sur les émissions nationales de gaz à effet de serre ne relèvent entièrement pas de la responsabilité d'un pays. C'est pour cette raison qu'est également utilisé le concept "d'empreinte carbone", qui fait référence à la somme de toutes les émissions d'équivalent CO₂ associées à l'ensemble des produits et services consommés par un pays (PNUE, 2020).

Les émissions totales de GES en Algérie liées principalement à la production et à la consommation d'énergie, avec une empreinte carbone estimée entre 114 et 153 millions de tonnes de CO₂e. Néanmoins, les principales sources d'émissions de GES de l'Algérie issues de la combustion de carburants reflètent la dépendance du secteur énergétique au pétrole et au gaz, contribuant respectivement environ 52 et 61 millions tonnes de CO₂e par an. Par ailleurs, la majeure partie des émissions de carburants proviennent des secteurs suivants : la production d'électricité et de chaleur (31 MT de CO₂e); le transport (37 MT de CO₂e) ; la fabrication et construction (10 MT de CO₂e) ; ainsi que d'autres formes de combustion de carburants (23 MT de CO₂e), dont 18 MT de CO₂e sont attribuables au secteur résidentiel (A.I.E., 2013).

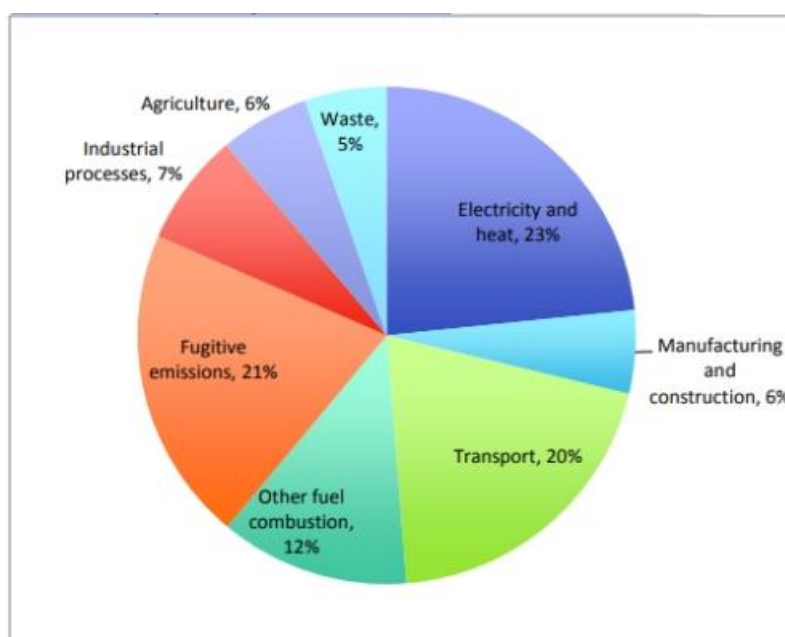


Figure 6. Répartition des émissions des GES en Algérie par principaux secteur (A.I.E., 2013).

Selon les PNUE (2020), les émissions de CO₂ des pays du sud et de l'est de la Méditerranée engendrées par la croissance démographique et le développement économique, augmentent de manière continue depuis les années 1960, et rattrapent celles des pays du Nord

de la Méditerranée. L'Algérie se classe ainsi au sixième rang des pays méditerranéens, avec une empreinte carbone en constante progression entre 2000 et 2014.

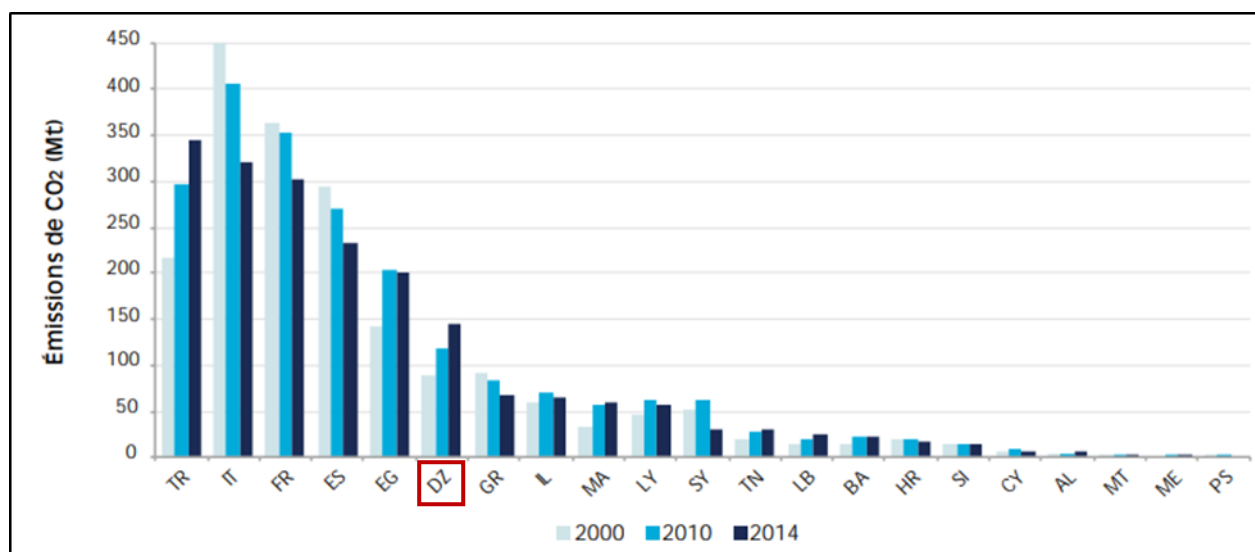


Figure 7. Émissions de CO₂ par pays méditerranéens, et position de l'Algérie en 2000, 2010 et 2014 (PNUE, 2020).

5.2. Impacts et des changements climatiques en Algérie

En Algérie, les risques et les vulnérabilités liés aux changements climatiques sont principalement associés à la hausse des températures, à la diminution des précipitations et à leur inégale répartition sur l'ensemble du territoire national. Ces phénomènes entraînent un accroissement du stress hydrique et une raréfaction des ressources naturelles en général, ce qui pourrait déstabiliser en profondeur des secteurs clés tels que l'agriculture, l'eau, la pêche, la foresterie, l'environnement, la santé humaine ou encore l'industrie (M.E.E.R., 2017).

Le tableau ci-après énumère les principales incidences du changement climatique au niveau de chaque secteur selon les résultats des études récentes de risques et vulnérabilités aux changements climatiques réalisées en Algérie.

Tableau 2. Vulnérabilités sectorielles et impacts du changement climatique en Algérie (M.E.E.R., 2019).

Secteur	Impacts des changements climatiques
L'agriculture	Désertification. Augmentation de l'érosion. Raréfaction des ressources productives : sols et eaux. Besoin croissant de l'irrigation. Baisse de la productivité en raison de la perturbation du cycle végétal. Dégradation de la sécurité alimentaire.

L'eau	Pénurie des ressources hydriques. Dégradation de la qualité de l'eau. Salinisation des eaux souterraines côtières.
La pêche	Baisse des ressources propres à la consommation. Érosion côtière et inondation. Perte de la diversité des espèces aquatiques. Changements dans la croissance du phytoplancton.
La foresterie	Perte de couvert forestier. Érosion de la biodiversité forestière et perturbation des écosystèmes. Perte des biens et services forestiers.
L'environnement	Perturbation des écosystèmes. Destruction des habitats naturels. Eutrophisation des humides. Perte de la biodiversité : raréfaction, migration et disparition des espèces. Modification des cycles de vie de la faune et de la flore.
La santé humaine	Irruption plus fréquente des épidémies. Transmission croissante des maladies infectieuses. Prévalence accrue des maladies à transmission hydrique et des pathologies respiratoires liées à la pollution de l'air. Potentiel accru de perte de vie dû aux inondations croissantes.
L'industrie	Perturbation de la performance du secteur industriel. Accroissement de la demande en énergie. Augmentation des risques sur la sécurité des installations industrielles.

II. Concepts de vulnérabilité, résilience et adaptation

Les liens entre les différents concepts de vulnérabilité, résilience, adaptation et capacité adaptative sont l'objet d'intenses débats et méritent d'être explorés plus avant (Cutter *et al.*, 2008).

1. Le concept de la vulnérabilité

La vulnérabilité renvoie à des conditions déterminées par des facteurs ou processus physiques, sociaux, économiques ou environnementaux qui accentuent la sensibilité d'une collectivité aux conséquences des aléas. Ces facteurs incluent notamment les revenus, le niveau d'éducation, le lieu de vie et l'accès à un hébergement ou à des soins de santé. La vulnérabilité a un impact sur le degré d'adaptation au changement climatique des individus et des écosystèmes. La vulnérabilité dépend de l'exposition, de la sensibilité et des capacités d'adaptation (GIEC, 2014).

L'exposition d'après le GIEC représente la présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de ressources et de services environnementaux,

d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu susceptible de subir des dommages (GIEC, 2014). Globalement, il s'agit du degré auquel les personnes ou les systèmes subissent, ou sont susceptibles de subir, les effets du changement climatique.

La sensibilité est le degré auquel un système ou une espèce est influencée, positivement ou négativement, par la variabilité du climat ou les changements climatiques (GIEC, 2014).

La capacité d'adaptation est la faculté d'ajustement des systèmes, des institutions, des êtres humains et d'autres organismes, leur permettant de se prémunir contre d'éventuels dommages, de tirer parti des opportunités ou de réagir aux conséquences. Il s'agit de la capacité des systèmes sociaux à : (a) s'ajuster afin de répondre mieux aux risques associés au changement climatique, et (b) tirer des enseignements et à s'adapter à un désastre ou à un choc (GIEC, 2014).

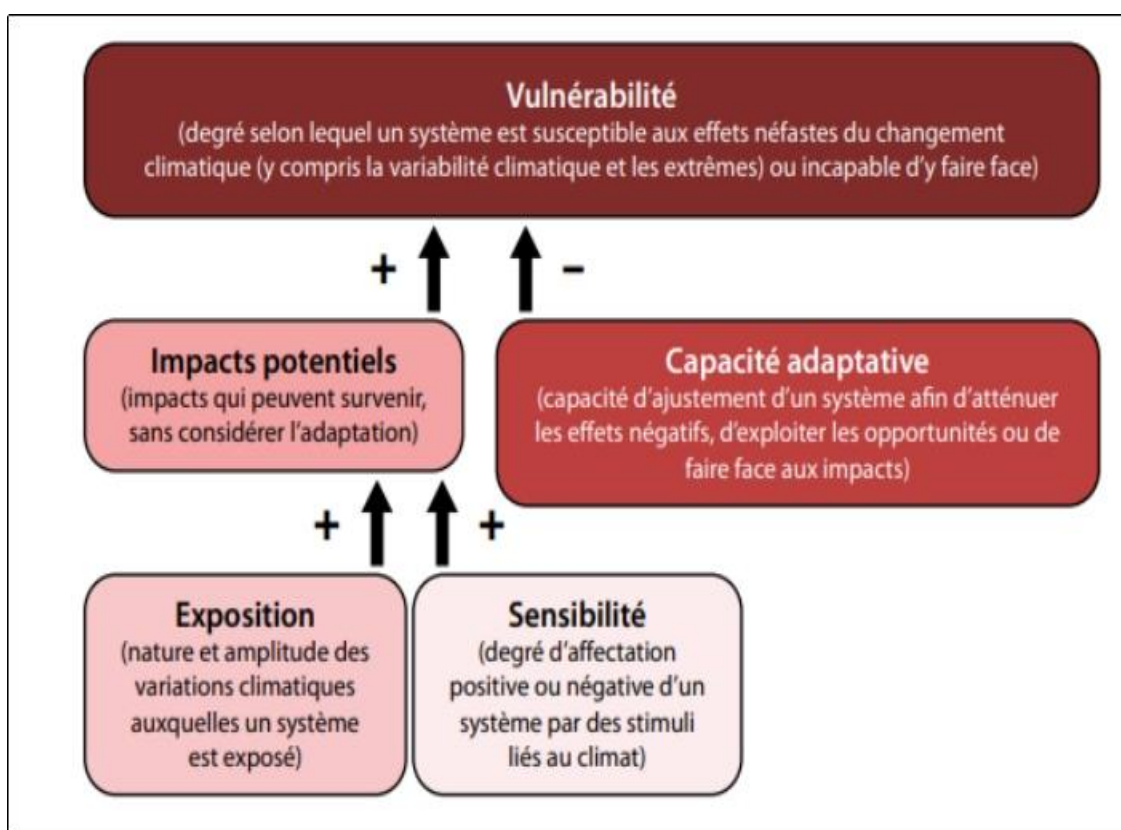


Figure 8. Schéma conceptuel de la vulnérabilité au changement climatique (National Park Service, 2022).

2. Le concept de résilience

Le concept de la résilience s'impose aujourd'hui comme un terme clé largement utilisé dans le domaine des catastrophes naturelles. Comme le soulignent Comfort *et al.* (2010), la résilience est devenue un concept à " la mode " mobilisé aussi bien par les scientifiques que les gestionnaires et les institutions internationales œuvrant à la réduction des risques de catastrophes.

Les différentes études menées sur le sujet ont permis d'affiner la compréhension et l'identification de ce concept. Selon André Dauphiné, la résilience à l'origine issue des sciences physiques, est désormais devenue un concept multidisciplinaire. Le terme de résilience vient du latin *Resilio* qui signifie "rebondir".

Initialement, la résilience désignée en physique la capacité d'un matériau à résister à un choc sans se rompre (Mathieu, 1991). Autrement dit, elle représente la mesure du choc maximal qu'un système peut recevoir avant de casser. Par la suite, ce concept a été transféré à d'autres disciplines, notamment la psychologie et l'écologie. En psychologie, il a servi à étudier la capacité d'individu à se reconstruire après un traumatisme ou à franchir certaines étapes critique comme le passage de l'enfance à l'adolescence (Dauphiné 2003 ; Provitolo 2010).

Selon le plan écologique, les auteurs définissent la résilience comme la capacité d'un écosystème à retrouver son état après une perturbation, sans changement qualitatif de sa structure (Holling, 1973 ; Dauphiné, 2003 ; Provitolo, 2010). Ce concept est également lié à la dimension temporelle, car le retour à l'état d'équilibre demande un certain temps où la résilience peut ainsi être assimilée comme le temps de retour à l'état d'équilibre, ou la vitesse à laquelle un système retrouve son état antérieur (Dauphiné, 2003 ; Provitolo, 2010).

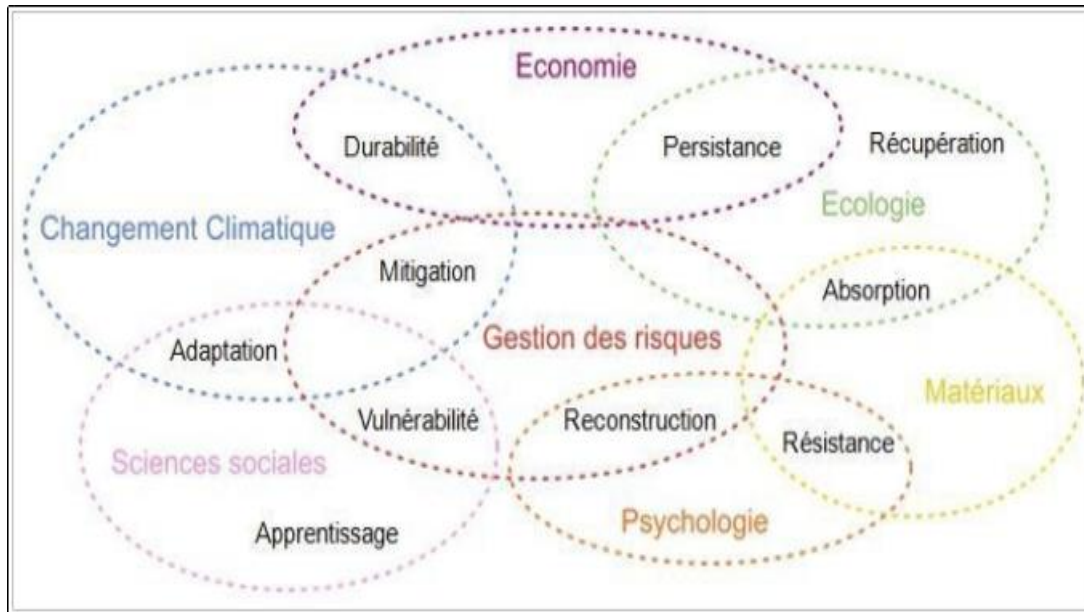


Figure 9. Schéma représentatif du caractère interdisciplinaire de la résilience (Géraldine *et al.*, 2011).

Cadre d'étude

Mise en contexte

Compte tenu des spécificités de la wilaya de Sétif, qui repose d'une structure rigide intégrant de systèmes sociaux, économiques, et écologiques, notre investigation a été menée dans la région emblématique des Hautes Plaines Sétifiennes.

Ce chapitre présente le cadre spatial, social, économique et écologique de l'étude menée. Les zones d'analyses ont été définies à des niveaux d'observation régional et local selon une approche intégrée de la résilience socio-écologique.

L'étude porte ainsi à la fois sur l'ensemble des communes de la région des HPS pour une analyse de résilience socio-écologique territoriale à l'échelle régionale, et sur deux massifs forestiers localisés dans cette même région : Djebel Youcef et Djebel Boutaleb pour une analyse de la résilience écologique plus approfondie à l'échelle locale. Cette double échelle permet d'appréhender la vulnérabilité et la résilience de manière systémique et cohérente, en croisant la dynamique sociale et écologique dans un contexte du changement climatique.

I. Cadre d'étude régional : région des Hautes Plaines Sétifiennes

1. Contexte physiographique

1.1. Situation géographique

Les géographes désignent sous le nom de Hautes Plateaux d'Algérie, ou encore grande steppe algérienne, la vaste plaine qui s'étend depuis l'Atlas tellien au nord jusqu'à l'Atlas saharien au sud, en passant par plusieurs dépressions salines telles que les chotts et les sebkhas. Plus précisément, au cœur de la steppe orientale, se situent les Hautes Plaines Sétifiennes qui forment notre région d'étude.

Les plaines de Sétif, situées dans le nord-est de l'Algérie bénéficient de diverses caractéristiques naturelles qui définissent leurs frontières. Au nord, elles sont bordées par les montagnes de Kabylie de Babor et les plaines littorales de Béjaïa. Au sud, elles sont délimitées par les chaînes montagneuses des Aurès qui descendent vers les grandes plaines de l'Hodna, prolongées jusqu'à M'sila et Djelfa. À l'est, les plaines et les montagnes qui conduisent à la région de Constantine forment la frontière, tandis qu'à l'ouest, elles sont limitées par les montagnes d'Ouarsenis (C.F.S, 2021).

Elle est située entre les latitudes 35° et 36° 9' Nord et les longitudes 5° et 6° Est, et couvre une superficie d'environ 3 971 km². Elle s'attache administrativement à la wilaya de Sétif, où elle occupe principalement la zone centrale jusqu' à la lisière sud de la wilaya. Son relief varie de 800 m à 1300 m d'altitude, avec la présence de quelques formations montagneuses notables telle que Djebel Megress au nord (1737 m), Djebel Youcef (1442 m) au centre et Djebel Boutaleb (1886 m) au sud, entrecoupée par une diversité de chotts et de sebkhas.

La région des Hautes Plaines Sétifiennes est composée de 27 communes réparties sur 9 Daïras, y compris Sétif (chef-lieu de la wilaya), Ouled Si Ahmed, Bir El Arch, Ouled Tebben, Hamma, Guidjel, Ain Lahdjar, El Eulma, Rasfa, Bellaa, Ain Arnet, Ain Oulmène, Beida Bordj, Bazer Sakra, Hammam Sokhna, Mezloug, Bir Haddada, Salah Bey, Ain Azel, Ouled Saber, Guellal, Ksar El Abtal, Guelta Zerga, Boutaleb, Taya, El Ouldja, et Tella. Elle est délimitée territorialement par :

- Les wilayas de Bejaïa et Jijel au Nord
- La wilaya de Mila à l'Est
- Les wilayas de Batna et M'sila au Sud
- La wilaya de Bordj Bou Arréridj à l'Ouest

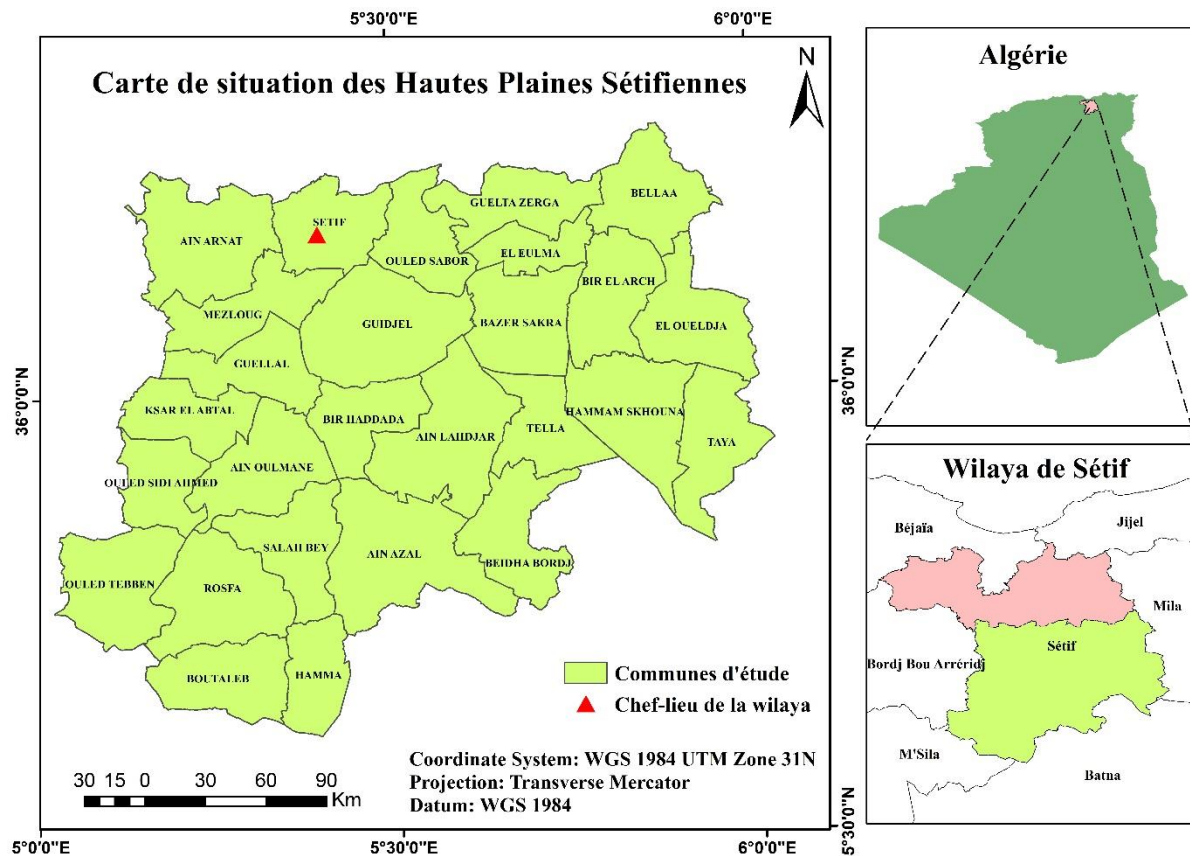


Figure 10. Carte de situation géographique de la région des Hautes Plaines Sétifiennes.

1.2. Pente

La pente est un facteur important qui a une influence sur la vitesse d'écoulement, la qualité du sol, l'accessibilité au terrain et l'installation des espèces végétales (Eddine, 2017). Elle constitue, également, l'inclinaison d'une surface par rapport au plan de l'horizon, elle est exprimée en degrés ou en pourcentage (Nouar, 2020). Pour cet effet, une carte de pente pour la région des Hautes Plaines Sétifiennes a été produite à partir d'un Modèle Numérique du Terrain (MNT).

L'observation de la carte des pentes (Figure 11) montre que la grande partie du terrain au sein des Hautes Plaines Sétifiennes présente une inclinaison inférieure à 16 %, avec quelques zones plus ou moins accidentées autour des points culminants, caractérisées par des pentes atteignant 30 %. Par ailleurs, les fortes pentes variant de 30 jusqu'à 189 % sont également marquées dans les reliefs les plus escarpés tels que les montagnes des Djebel Youssef, Djebel Braou, Djebel Boutaleb.

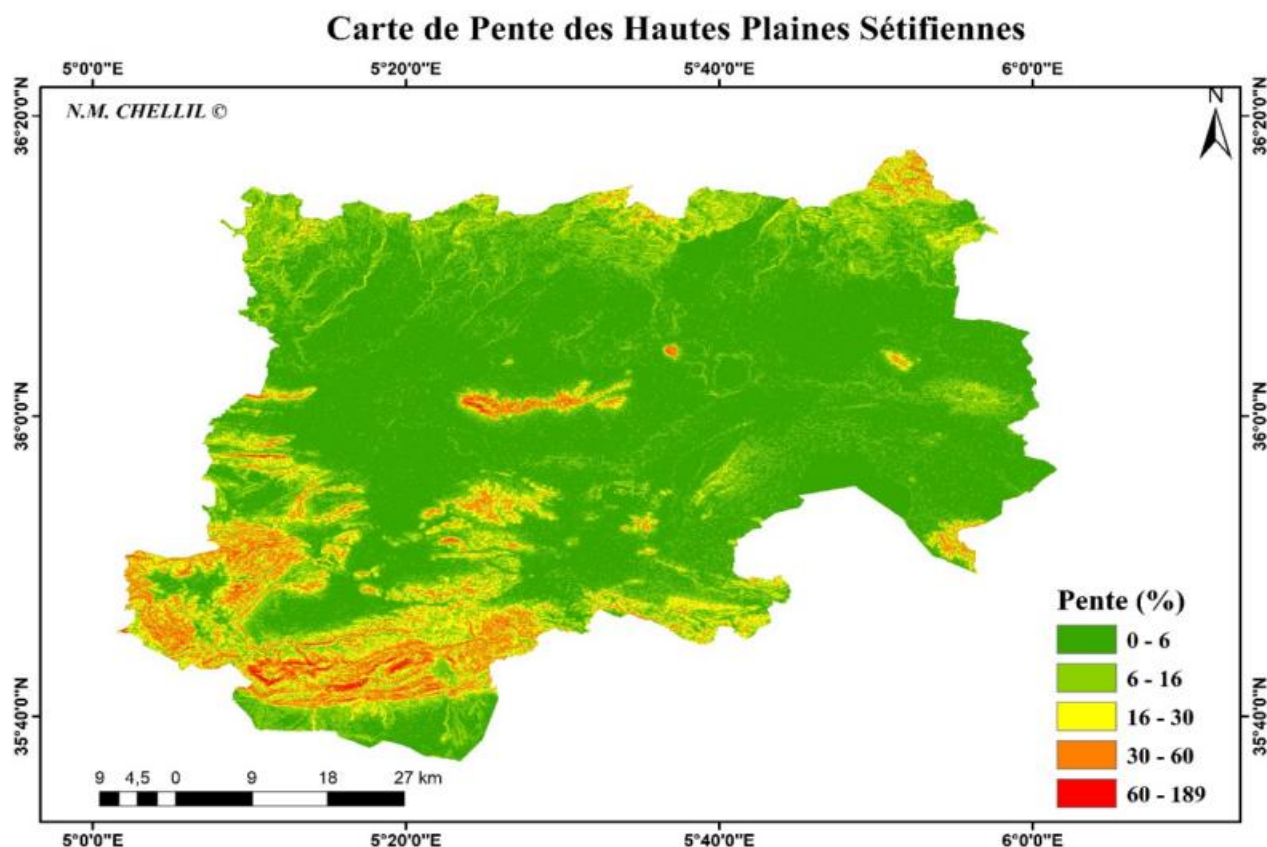


Figure 11. Carte des pentes de la région des Hautes Plaines Sétifiennes.

1.3. Exposition

Étant donné que l'exposition constitue un facteur clé dans la phytochorie, nous avons, ainsi, élaboré une carte d'exposition à partir du MNT. L'examen de cette carte (Figure 12) a révélé que la majorité de la région est orientée vers le versant sud, suivie par le versant ouest, tandis que l'exposition vers le versant nord et est restée relativement faible. Cette configuration explique la prédominance de la végétation steppique dans la région d'étude.

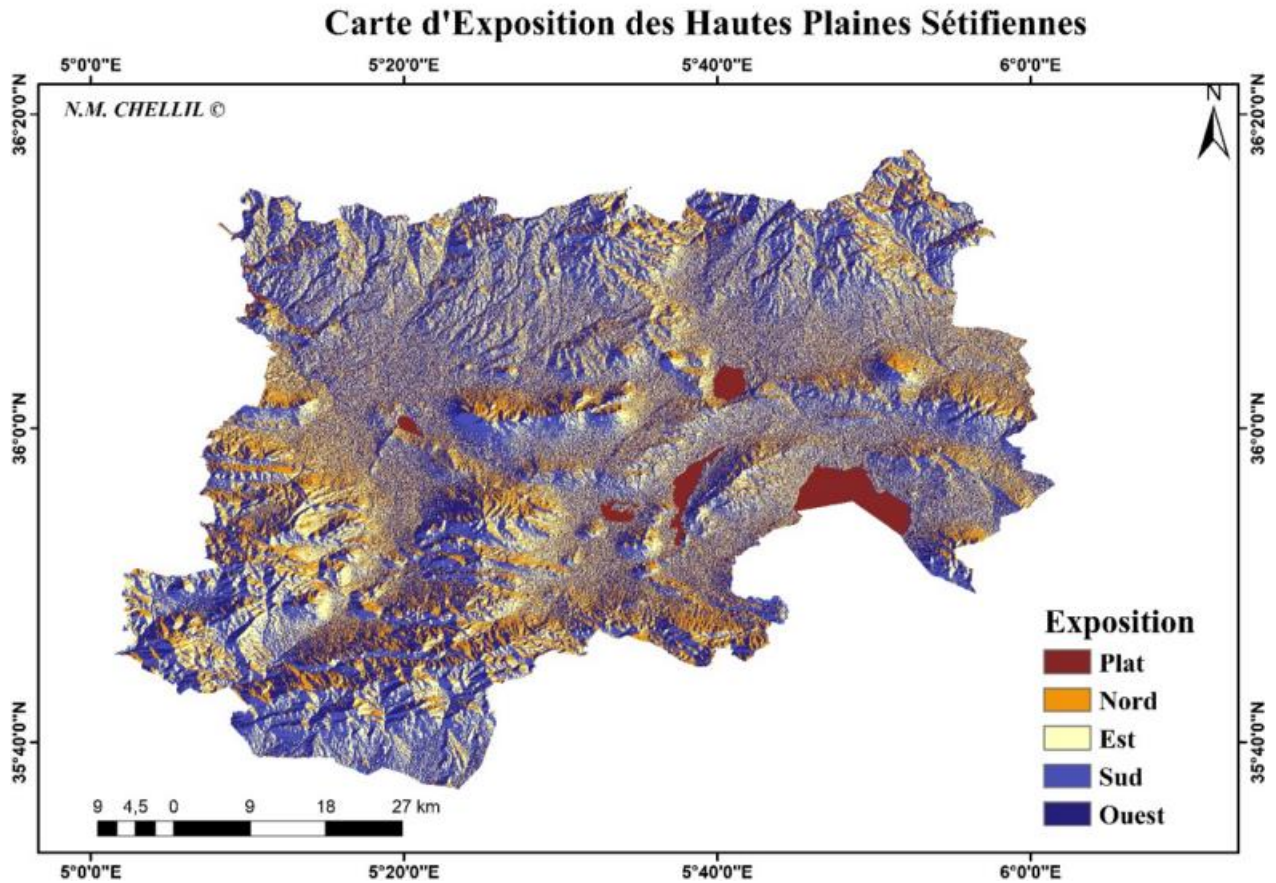


Figure 12. Carte d'exposition de la région des Hautes Plaines Sétifiennes.

1.4. Géologie

La géologie constitue l'un des principaux facteurs influençant l'occupation et l'utilisation du sol. L'évolution du paysage d'une région est largement déterminée par les types de roches sous-jacentes et de leurs structures géologiques (Bhattacharya, 1983). D'après Demdoun (2010), la géologie de notre région d'étude correspondant aux différents domaines situés paléo géographiquement sur la paléomarge africaine.

En raison de la rareté des cartes géologiques propres à notre région d'étude, nous avons jugé pertinent d'exploiter les données de l'US Géological Survey pour établir une carte géologique des Hautes Plaines Sétifiennes.

L'analyse de la carte (Figure 13) montre que la région des Hautes Plaines Sétifiennes se distingue par une diversité de formations géologiques, incluant :

- Les Quaternaires affleurent au cœur de la région d'étude. Il s'agit de formations d'origine continentale, discordantes sur un substratum néogène et parfois paléogène, souvent protégées par des croûtes calcaro-gypseuses (Amroun, 2008).
- Les Tertiaires sont représentées par des niveaux irréguliers, dont les principaux affleurements se trouvent principalement dans la partie nord de la région d'étude.
- Les Crétacés sont moins développés et n'affleurent que dans la partie sud-ouest de la région d'étude. Ces terrains dont l'âge s'échelonne du Crétacé inférieur au Crétacé supérieur, présentent des faciès très variables en fonction du temps et de l'espace (Aini, 2021).
- Les Crétacés inférieurs affleurent, particulièrement, dans la frange sud de la région d'étude, notamment dans les zones montagneuses telles que Djebel Boutaleb et Djebel Ouled Tebben.
- Les Jurassiques sont présentés sous formes de petites taches concentrées au centre et sur les façades est et sud de la région d'étude, souvent caractérisées par le développement des faciès marneux et marno-calcaires.
- Les Crétacés tertiaires sont signalés dans la partie nord de la région sous formes de taches, occupant les sites préhistoriques d'Ain Boucherit et d'Ain Hanech situées au nord de la ville d'El Eulma, où les conglomérats se trouvent sous les calcaires, avec des restes abondants de vertébrés. Ces formations sont composées de calcaires lacustres, de sols à croûtes, et de cailloutis fluviatiles (Demdoum, 2010).

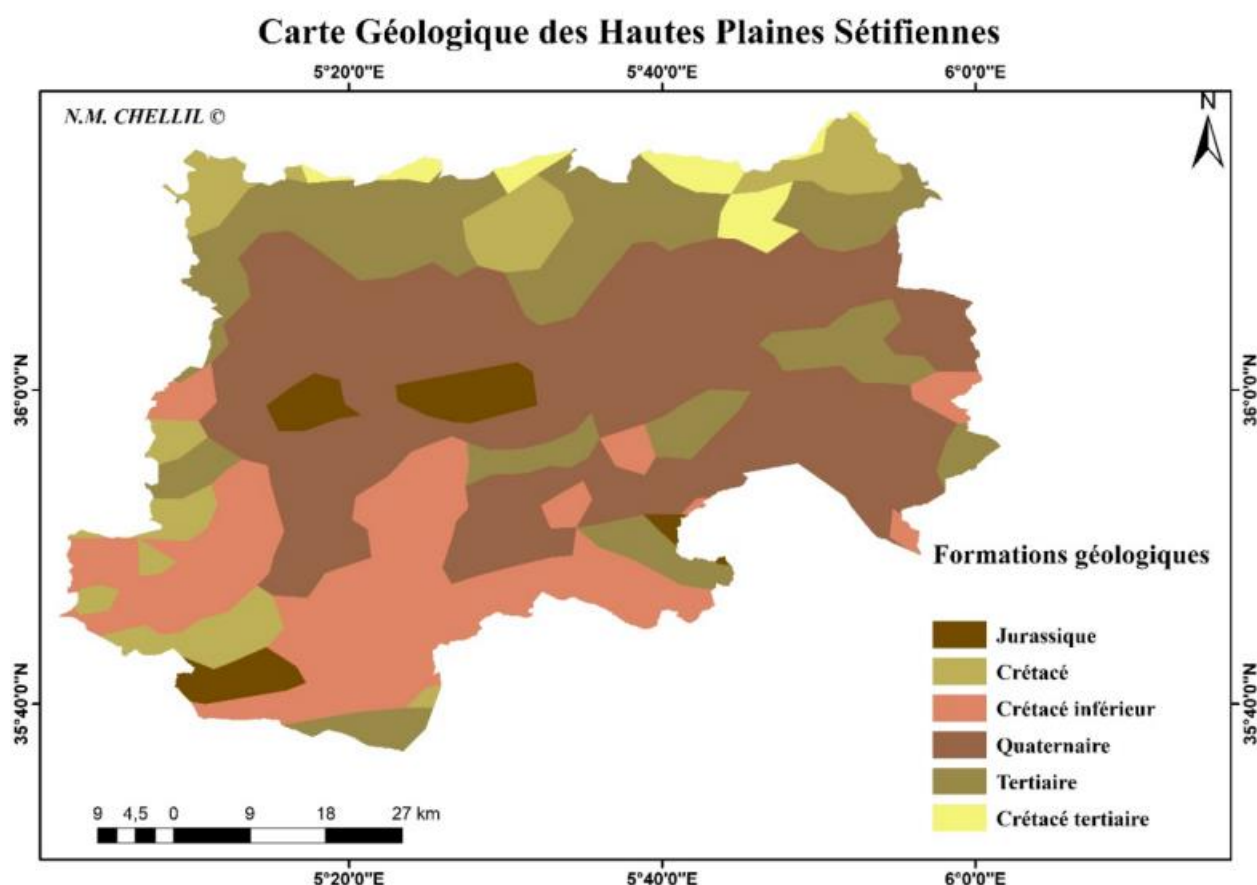


Figure 13. Carte géologique de la région des Hautes Plaines Sétifiennes.

(Données de l'US Geological Survey disponibles sur :

https://services.arcgis.com/v01gqwM5QqNysAAi/ArcGIS/rest/services/Africa_Geology/FeatureServer/2)

1.5. Pédologie

Le sol, en tant que support de la vie, sa composition et sa répartition sont en étroite relation avec le développement de végétation, le maintien des cycles biogéochimiques, et ainsi, le contrôle des flux hydriques et énergétiques.

En s'appuyant sur des données relatives aux types de sol de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), nous avons élaboré une carte pédologique pour la région des Hautes Plaines Sétifiennes. Cependant, l'observation de cette carte (Figure 14) montre que la région des Hautes Plaines Sétifiennes se caractérise par l'existence de formations pédologiques très variées, incluant :

- Les Cambisols calciques s'étalent principalement dans la partie nord de la région d'étude. Il s'agit des sols dépourvus en humus et en argile, mais présentant une teneur relativement élevée en minéraux, et parfois des encroûtements calcaires.

- Les Xérosols couvrent largement la partie centrale de la région d'étude. Ce sont des sols pauvres en humidité et en matière organique, ce qui les rend peu fertiles et ne conviennent pas à l'agriculture sans irrigation.
- Les Lithosols occupent la partie sud-ouest où se concentrent les reliefs les plus escarpés de la région d'étude. Ce sont des sols peu évolués, à profondeur limitée de roches compactes et d'une structure fragile, rendant difficile l'ancrage des racines des végétaux et amplifiant le risque d'érosion.
- Les Solonchaks couvrent une portion importante de la partie sud-est où se trouvent les dépressions salines de la région d'étude telles que Chott El Beida et Sebkhet Bazer. Il s'agit des sols à forte concentration en sel, favorisant l'installation des plantes halophytes. Ce type de sol est relativement caractérisant des régions arides et semi-arides.
- Les Yermosols occupent la frange extrême sud de la région d'étude, notamment autour de Boutaleb. Il s'agit des sols de très faible teneur en eau et en matière organique, mais riches en minéraux argileux. Ces sols typiques aux régions arides et semi-arides, dont leur exploitation à l'agriculture demeure difficile sans irrigation et sans mesures de gestion propice. Néanmoins, ils restent plus adéquats au pâturage, et à la culture des plantes tolérantes à la sécheresse.

Ces types de sol recèlent d'un support édaphique très fragile, induisant une forte vulnérabilité des Hautes Plaines Sétifiennes face aux risques d'érosion et de la sécheresse, ce qui pourrait affecter sérieusement les pratiques agricoles, entraînant ainsi, un risque d'insécurité alimentaire dans la région.

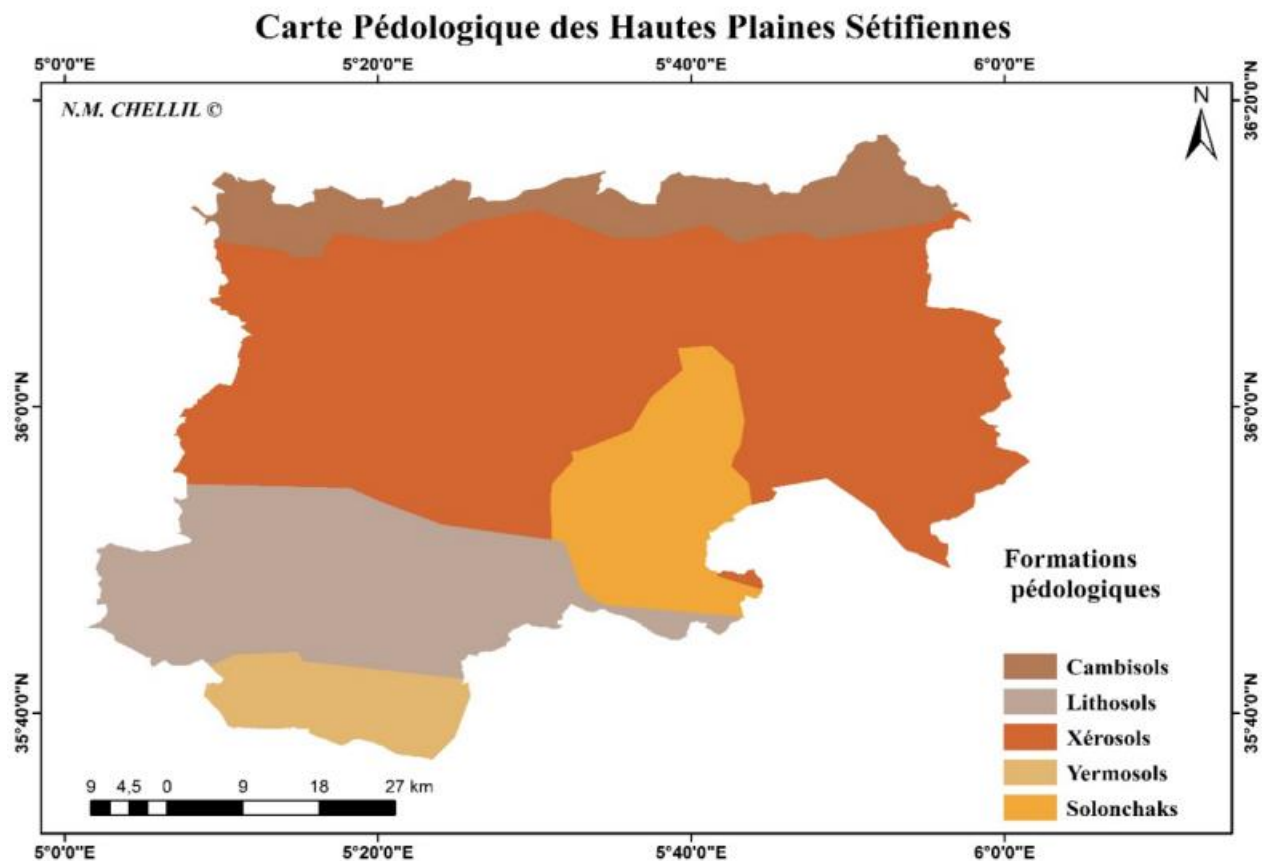


Figure 14. Carte pédologique de la région des Hautes Plaines Sétifiennes.
(Données de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) disponibles sur : <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/en/>)

1.6. Hydrologie

La région des Hautes Plaines Sétifiennes dispose d'une plateforme hydrologique considérable, issue des reliefs montagneux. Elle constitue de plusieurs cours d'eau sans rapport drainant entre eux, dont le principal est l'Oued Boussellam qui se jette dans la Soummam, ainsi que d'autres oueds comme Oued El Kebir, Oued Agrioun, Oued Rhumel, et Oued Bou Salah. Ces oueds forment un réseau hydrographique qui alimente les trois barrages accordés à la wilaya de Sétif : le barrage d'Ain Zada, le barrage de Maouane, et le barrage de Draa Diss, ainsi que les seize retenues collinaires réparties dans la région de Sétif (D.R.E, 2023). Cependant, ces cours d'eau se caractérisent par un écoulement souvent irrégulier, en raison de l'irrégularité des précipitations.

Selon la D.R.E. (2023), les ressources hydriques mobilisées sont de l'ordre de 21,15 Hm³, dont 0,19 Hm³ se fait à partir des eaux souterraines, et 21 Hm³ proviennent des eaux superficielles.

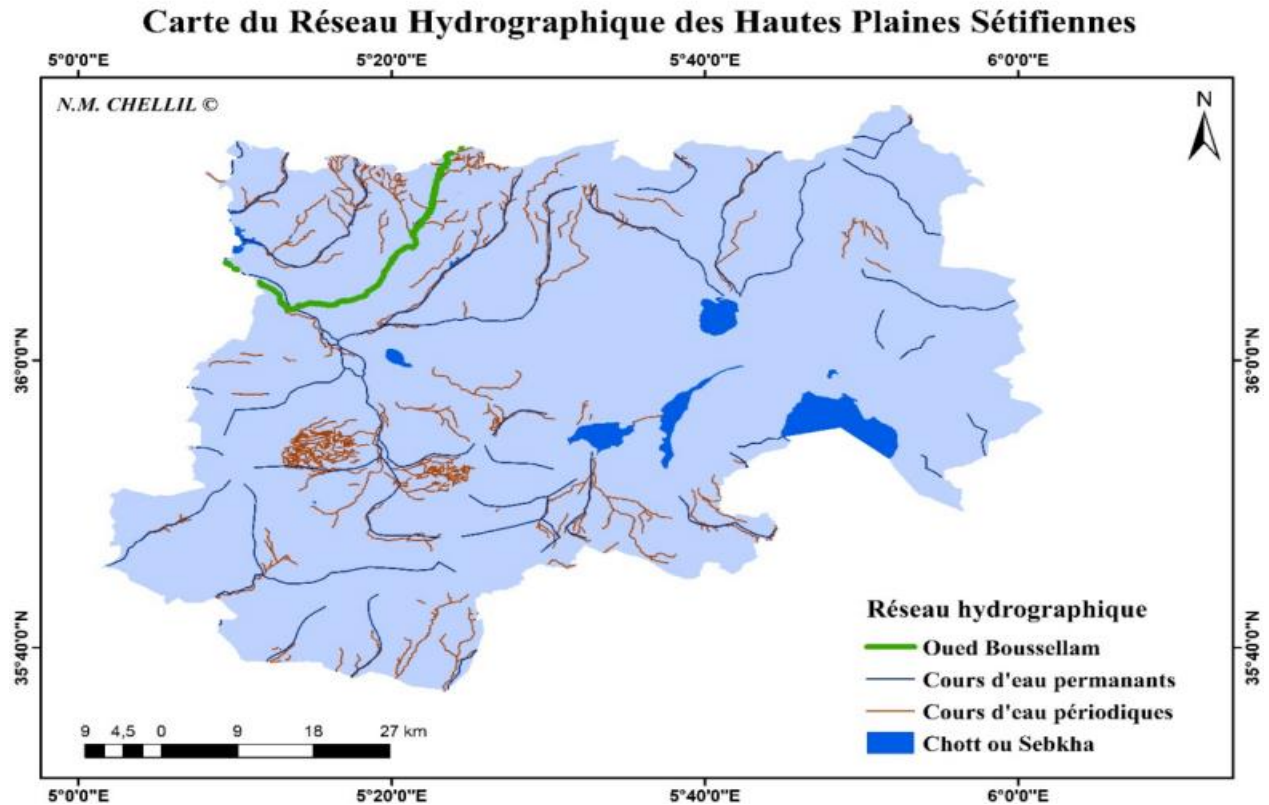


Figure 15. Carte du réseau hydrographique de la région des Hautes Plaines Sétifiennes.
(Source : Carte réalisée sur la base du modèle numérique du terrain (MNT)).

1.7. Végétation

Le couvert végétal de la région des Hautes Plaines Sétifiennes est caractéristique des régions du climat semi-aride. Il regroupe l'ensemble des espèces végétales qui s'y développent spontanément ainsi que certaines espèces acclimatées qui s'y sont bien adaptées.

Les précipitations et l'altitude conditionnent en grande partie l'importance et la variabilité de la végétation. On distingue sur les monts à forte pluviosité et sur les plaines des essences forestières variées telles que : *Pinus halepensis*, *Cedrus atlantica*, *Cupressus dupreziana*, *Quercus ilex*, et *Quercus suber*. Par ailleurs, la zone montagneuse est aussi une région où prolifèrent l'arboriculture pluviale, notamment, l'Olivier et le Figueur.

Les grandes cultures telles que les céréales, les cultures fourragères et le maraichage se développent généralement sur des superficies à moyenne altitude. Tandis que, une partie importante de la superficie de la région se caractérise par une végétation relativement pauvre voire inexistante, notamment au niveau des dépressions ou de sebkhas, où le problème de salinité s'impose, ce qui favorise l'installation d'une végétation constituée principalement de

plantes halophytes telles que *Suaeda fruticosa*, *Atriplex halimus*, *Atriplex glauca*, et *Salsola fruticosa*.

1.8. Climat et bioclimat

Bien que la wilaya de Sétif s'engage au fond des Hautes Plateaux de l'Est algérien, elle reste comprendre des zones climatiques variées, car de nombreux facteurs interviennent dans la détermination de son climat tels que le gradient altitudinal, variant de 600 m jusqu'à plus de 1200 m au niveau des montagnes, et ainsi l'éloignement de la mer méditerranée estimé de 100 km. Cet état de fait laisse la wilaya de Sétif jouir un climat humide au Nord, semi-aride tempéré dans les plaines centrales, et semi-aride au sud (Djelouli *et al.*, 2020).

La wilaya de Sétif à l'instar des autres régions algériennes influencées par un climat méditerranéen, elle se caractérise par des étés chauds et secs et des hivers pluvieux et froids. Cependant, la région enregistre une importante pluviométrie en hiver, mais n'est pas uniforme pour toutes les zones où les précipitations diminuent selon un gradient du nord au sud de la wilaya. En effet, si la zone du Nord reçoit 700 mm annuellement, la zone des hauts plateaux ne reçoit que 400 mm par an, tandis que la zone sud, qui la moins arrosée ne reçoit plus de 300 mm (Rouabhi, 2014) (Figure 16).

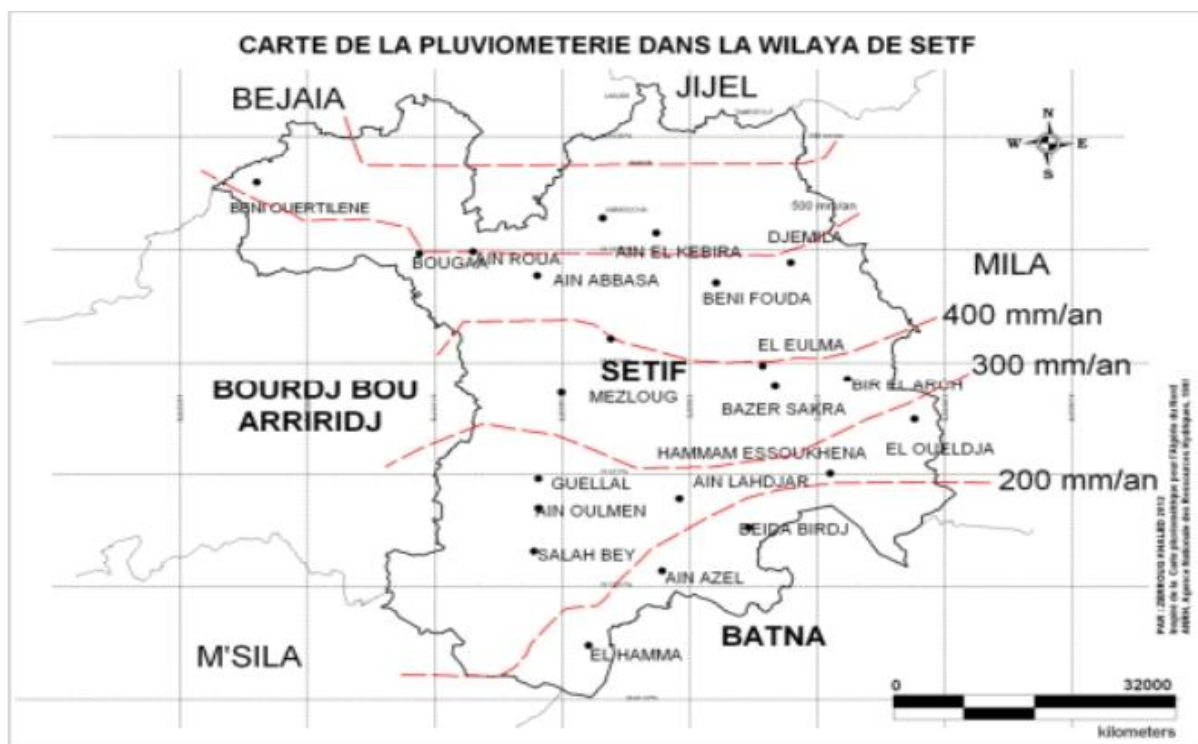


Figure 16. Carte de pluviométrie de la wilaya de Sétif (Zerroug, 2012).

2. Contexte socio-économique

2.1. Socio-démographie

L'étude de la variante humaine nous a semblé nécessaire pour mettre en lumière certaines interrelations multisectorielles, qui influencent la vie des populations présentes sur des sites choisis. Entre autres, l'évolution démographique est toujours qualifiée comme l'un des principaux facteurs qui façonne l'occupation du sol et qu'exerce une pression croissante sur les ressources naturelles des milieux.

Avec une population de 1 426 800 individus, et une superficie de 3 971 km², la région des Hautes Plaines Sétifiennes est, donc, caractérisée par une densité de population moyenne de 427 Hab/ km² (D.P.S.B., 2021). Cette population est répartie sur 27 communes dont on peut distinguer une forte différence de densité entre les zones les plus urbaines et les entités les plus rurales. En effet, la densité est beaucoup plus importante dans le couloir d'urbanisation au centre de la wilaya où elle atteint quelque 3000 habitants/km² dans les communes de Sétif et d'El Eulma.

Dans chaque commune de la région des Hautes Plaines Sétifiennes, la population est fortement agglomérée comme le montre le dernier recensement démographique réalisé en 2021, qui révèle que plus de 59 % de la population réside dans les chefs-lieux des communes, 17 % dans les agglomérations secondaires et 24 % en zones éparses (D.P.S.B., 2021). Cette situation implique une nécessité d'amélioration des infrastructures et des équipements pour permettre à chaque agglomération de répondre aux besoins de sa population et de l'encadrer convenablement, afin de prévenir les problèmes environnementaux majeurs, tel que la pollution, la déforestation et le changement climatique.

2.2. Secteur agricole

Dans la wilaya de Sétif, le secteur agricole reste un élément stratégique en tant qu'il constitue un pilier essentiel de l'économie et un potentiel productif et créateur de richesses. En effet, La pratique agricole au niveau des Hautes Plaines Sétifiennes possède un potentiel en sol très important, avec une superficie agricole de 274527 hectares, dont 238928 hectares de terres utiles, et 26280 de terres irriguées (D.S.A, 2021).

Cette agriculture repose essentiellement sur la céréaliculture localisée particulièrement dans les hautes plaines où à moindres degrés on retrouve aussi les cultures maraîchères et fourragères.

Il est aussi important de signaler que l'élevage, notamment ovin, représente souvent une activité associée à cette culture. Ces dernières années, la région de Sétif a connu une expansion progressive de l'élevage bovin, grâce aux aides publiques destinées à promouvoir la production laitière et la production de viande bovine. Il constitue une source de revenus conséquents pour les agro-éleveurs qui compensent les faibles revenus de l'agriculture.

Généralement, la région centre et Sud de la wilaya détiennent la majeure partie des superficies consacrées au fourrage irrigué et comptent plus de la moitié du cheptel de vaches laitières importées et exploitées pour la production du lait. Par ailleurs, les grandes unités de collecte et de transformation laitière sont installées dans la zone centre, réparties sur les communes de Mezloug, Guellal et Guidjel (D.S.A., 2021).

L'élevage caprin seul est plus répandu loin des villes, dans les zones boisées et accidentées. Dans ces élevages périphériques, le caprin est associé aux ovins; en revanche, la taille des effectifs est très faible et elle ne dépasse pas 10 têtes par éleveur. On le trouve davantage chez les éleveurs privés; il est destiné à la production marchande de viande, tandis que le lait étant autoconsommé (D.S.A., 2021).

L'élevage de volailles connaît un développement rapide, mais avec des systèmes d'élevage très dépendants des intrants, importés en grande partie. Elle est le fait d'élevage domestique, possédé et géré par les femmes et destiné à participer à la couverture des besoins alimentaires de la famille où l'excédent (poulets et œufs) est vendu au marché de la ville pour répondre aux besoins financiers familiales. En plus, il existe l'élevage industriel, qui est plus concentré sur la périphérie des villes et détenu en grande partie par le privé (D.S.A., 2021).

L'élevage apicole est très peu présent dans le paysage agricole de Sétif. Il ne constitue, le plus souvent, qu'une activité de diversification auprès des agriculteurs (D.S.A., 2021).

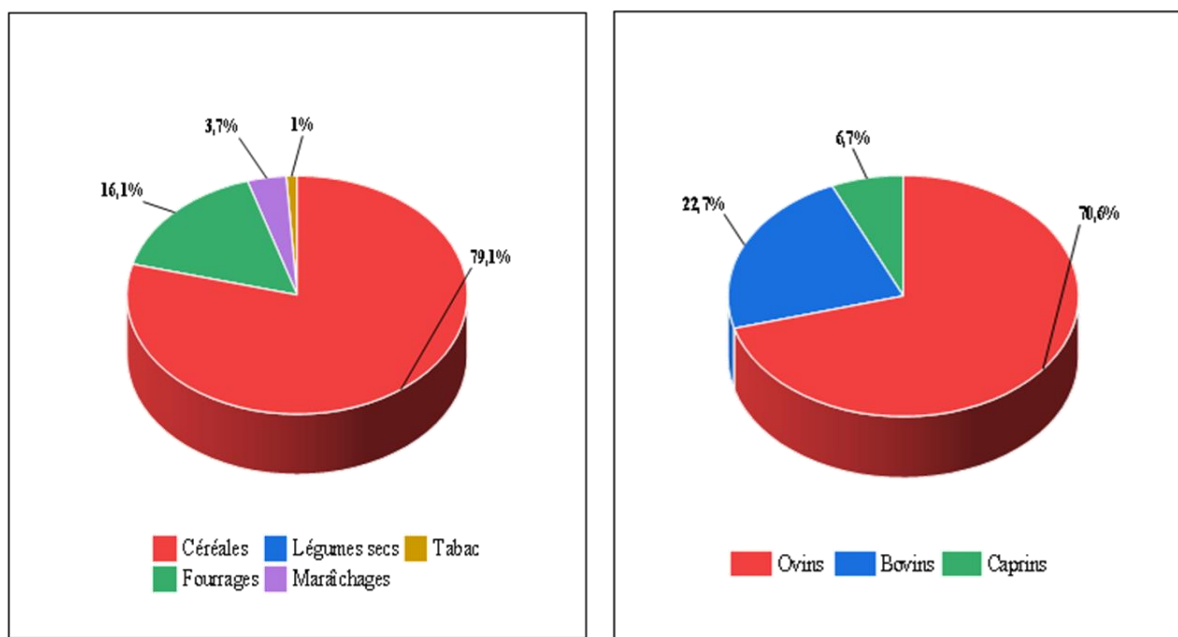


Figure 17. Répartition de la S.A.U et du cheptel animal dans les Hautes Plaines Sétifiennes pendant la campagne agricole 2021.

2.3. Secteur industriel

Les Hautes Plaines Sétifiennes, et la wilaya de Sétif en général est dotée d'une base industrielle tournée essentiellement vers la plasturgie, auquel s'ajoutent quelques industries diverses créées par le privé dans la transformation alimentaire, textiles, matériaux de construction et ce grâce à la création des zones d'entrepôts et d'activité, qui peut permettre d'assurer la diffusion et l'essaimage des activités industrielles.

La wilaya de Sétif dispose de trois zones industrielles aménagées et raccordées aux différents réseaux, la première se situe au chef-lieu de la Wilaya avec une superficie de 421,12 ha et la deuxième à El Eulma avec une superficie de 248 ha et la troisième à Ouled Saber avec une superficie de 696 ha. Comme elle dispose de 41 zones d'activités totalisant une superficie de 1087,48 ha répartis sur 25 communes (D.I.M., 2021).

L'activité commerciale est également très dynamique dont il existe 19 344 entités réparties entre les PME (petites ou moyennes entreprises) et les PMI (petites ou moyennes industries) qui emploient d'environ 52409 salariés. Cela place la wilaya de Sétif au deuxième rang national, après la wilaya d'Alger (D.I.M., 2021).

II. Cadre d'étude local : Massifs forestiers de Djebel Youcef et de Djebel Boutaleb

1. Choix des massifs forestiers

Compte tenu la vaste superficie de la région des Hautes Plaines Sétifiennes, et sa diversité en plusieurs forêts et montagnes, chacun de ces écosystèmes est charmé par des caractéristiques physiques particulières, et une richesse floristique remarquable. Nous avons choisi de parcourir la région des HPS selon un gradient Nord-sud, dont deux grands ensembles forestiers ont ainsi été sélectionnés :

- ❖ Le massif forestier de Djebel Youcef, situé également au centre, et
- ❖ Le massif forestier de Boutaleb au sud.

Le choix de ces deux sites d'étude s'est basé à la fois sur leur richesse floristique, leur importance écologique et socio-économique, ainsi que la pression croissante exercée par le changement climatique et les activités anthropiques.

La forêt de Boutaleb, notamment constitue un écosystème riche et diversifié (Merikhi, 1995 ; Madoui, 1999 ; Sedjar, 2012), tous comme le Djebel Youcef, qui se distingue par la variété de sa flore (Chermat, 2013).

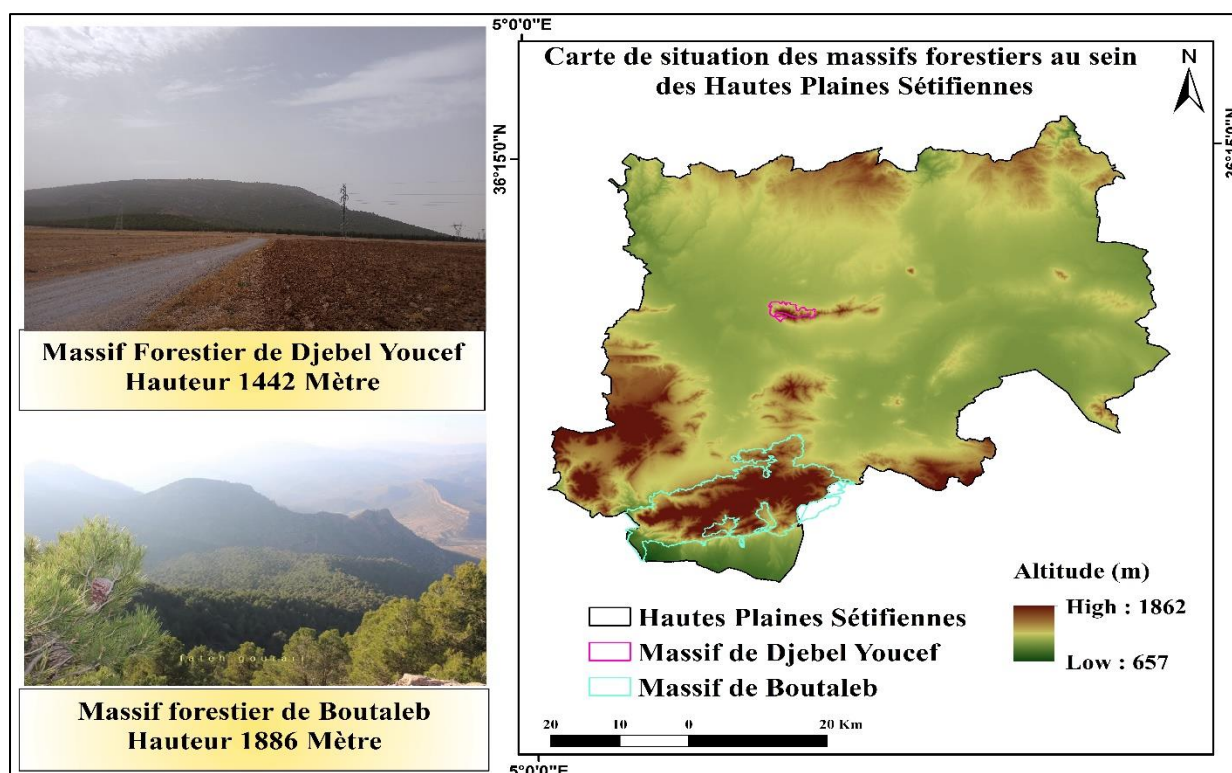


Figure 18. Situation géographique des deux massifs d'étude au sein de la région des Hautes Plaines Sétifiennes.

2. Massif forestier de Djebel Youcef

2.1. Contexte physiographique

2.1.1. Situation géographique

Le Djebel Youcef est localisé sur la partie nord des Hautes Plaines Sétifiennes. Il s'étend entre les latitudes nord 36° 00' et 36° 01' et les longitudes est 5° 25' et 5° 29'. Il est bordé par le Djebel Braou et la sebkha de Bazer à l'est, et par la sebkha de Melloul à l'ouest. Au nord, il est entouré par une vaste plaine traversée par l'oued Guedjel et l'oued Ben Diab, tandis qu'au Sud, il est limité par les dépressions salines de la sebkha Hammiet et le chott EL Fraïn et le Djebel Sekrine.

Le Djebel Youcef couvre une superficie de 557,91 ha, et relève des structures administratives suivantes :

- Wilaya de Sétif.
- Daïra d'Ain Oulmène et d'El Eulma.
- Communes : Guellal, Guedjel, Bir Haddada et Ain Oulmène (Figure 19).

La gestion de ce massif forestier est partagée entre la circonscription de l'Eulma qui couvre les parties nord et est du site, et la circonscription d'Ain Oulmène qui prend en charge sa partie ouest.

2.1.2. Relief

Le massif de Djebel Youcef présente une organisation altitudinale remarquable, s'étendant entre 943 m et 1436 m. Les altitudes y sont réparties selon une structure concentrique indiquant une élévation progressive du relief vers le centre du massif. Les altitudes les plus basses (943 – 1000 m) se situent principalement en périphérie nord et sud-ouest, tandis que les zones les plus élevées occupent le centre du massif (Figure 19).

2.1.3. Pente

La carte de pente met en évidence la variation de la pente du territoire, dont la majorité du massif présente des pentes modérées à fortes où les classes (30 à 45 %) et (45 à 60 %) sont

très présentées. Cependant, les pentes très fortes (60 à 104 %) sont localisées au centre du massif, là où l'altitude aussi la plus élevée.

Par ailleurs, les pentes douces (0 à 15 %) restent en périphérie, indiquant les zones les plus accessibles et potentiellement exploitables (Figure 19).

2.1.4. Exposition

La carte d'exposition du massif de Djebel Youcef présente une forte dominance des versants orientés est et ouest. Les versants nord sont bien représentés, notamment sur les flancs des crêtes centrales. Ces versants reçoivent moins d'ensoleillement direct, ce qui favorise des conditions plus fraîches et plus humides, propices au développement d'espèces végétales. A l'inverse l'exposition sud, plus ensoleillée et sèche, est moins représentée, tout comme les zones plates, suggérant un terrain majoritairement accidenté (Figure 19).

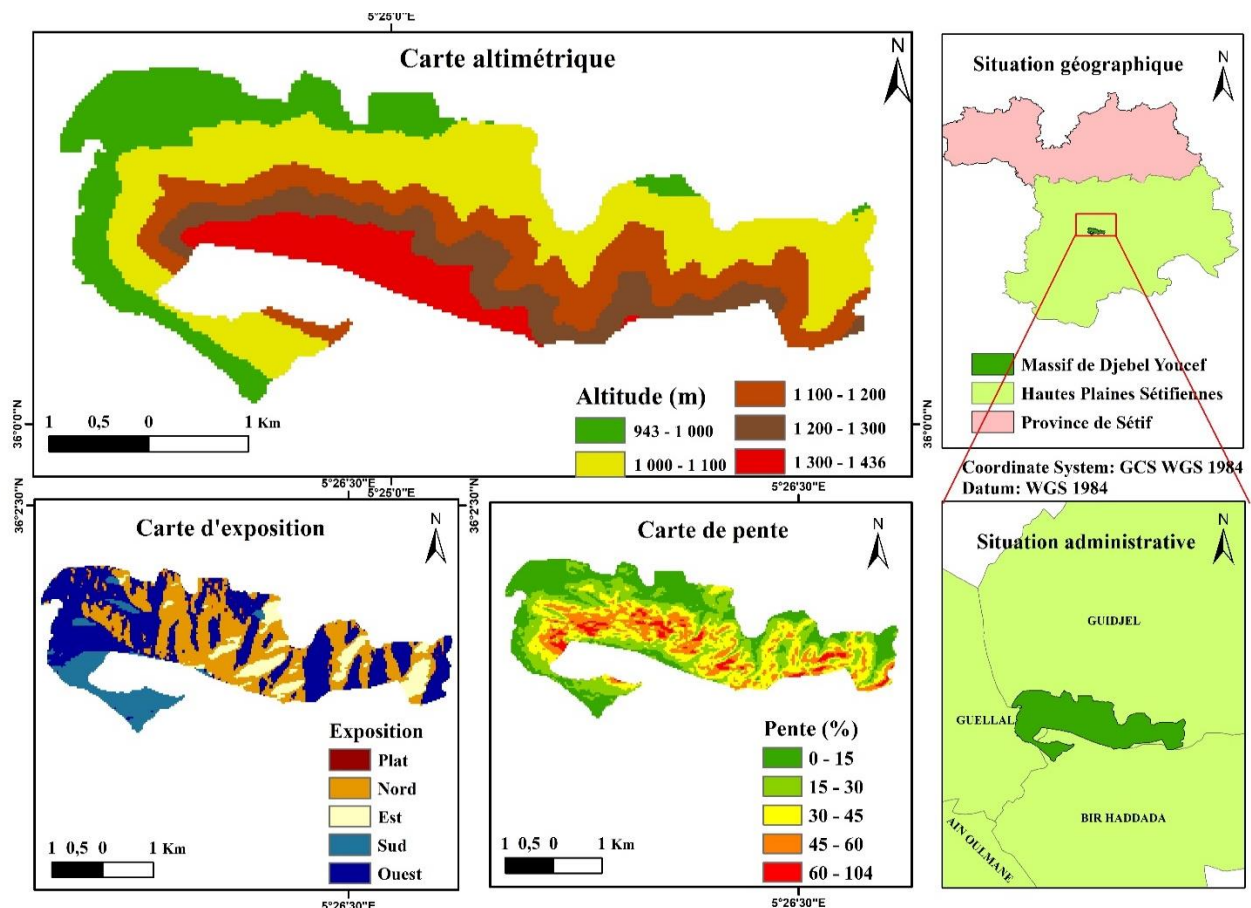


Figure 19. Carte du contexte géographique et morphologique du massif de Djebel Youcef.

2.1.5. Géologie

Le massif de Djebel Youcef, d'origine tertiaire fait partie de l'ensemble allochtone sud-sétifiens. Il présente des formations géologiques variées, allant de Barrémien au Néocomien, avec des affleurements calcaires et dolomitiques jurassiques selon les versants nord-ouest, sud et sud-est. Le reste du massif est recouvert par un glacis polygénique (Chermat, 2013).

2.1.6. Pédologie

Selon les recherches de Lahmar (1993), et Chermat (2013), les sols au niveau du Djebel Youcef sont peu profonds, et riche en pierre, avec souvent des couches dures de calcaire situées près de surface, où on distingue deux types principaux :

- Des dolomites noires en couches, avec des alternances des calcaires marneux à la base, et
- Des calcaires plus compacts vers le sommet.

2.1.7. Hydrographie

La forêt de Djebel Youcef, avec son relief montagneux se caractérise par un réseau hydrographique endoréique. Cependant le site est dépourvu d'une hydrographie superficielle permanente, à l'exception de l'Oued Ben Diab qui traverse le nord du Djebel Youcef et se jette ensuite dans l'Oued Guellal.

Le massif de Djebel Youcef renferme des cours d'eau temporaire qui ne coulent qu'en période de pluie et évacuent l'eau vers les oueds permanents de sous bassin versant d'Oued Boussellam au nord, et vers les dépressions fermées de sous bassin versant du Chott Beida au sud (Chermat, 2013 ; Gharbi, 2024)

2.1.8. Flore et végétation

La flore du Djebel Youcef n'a été étudié en détail que par Chermat (2013), qui a à son époque distinguée trois types de formations végétales réparties selon l'altitude :

- Entre 1270 et 1400 m, un matorral de pin d'Alep occupe les versants nord et nord-ouest,
- Entre 1000 – 1250 m, il y a deux type de steppe: une Steppe à *Artemisia herba-alba* sur le versant nord, et une steppe à *Stipa tenacissima* et *Launaea acanthoclada* sur le versant sud.

- Enfin, des formations rupicoles adaptées au milieux rocheux colonisent les falaises exposées au nord.

Néanmoins, la flore de Djebel Youcef au fil du temps a connu une dynamique marquée par des phases de régression et d'évolution ce qui entraîne des changements dans l'aspect général de la végétation, comme l'ont confirmé par les travaux de Gharbi (2024).

2.1.9. Étage de végétation

La végétation du Djebel Youcef correspond à l'étage méso-méditerranéen semi-aride continental (Chermat, 2013), tel que définie par Ozenda (1975) caractérisé par des steppes à alpha, sparte et armoise blanche entre 900 et 1400 m d'altitude, sous forme de matorrals bas et de steppes arborées ou mixtes.

2.2. Climat et bioclimat

2.2.1. Températures

D'après la figure (20), la moyenne annuelle des températures minimales enregistrée dans le massif de Djebel Youcef varie entre 8,3 °C et 8,7 °C dont les températures les plus basses (8,3 – 8,4 °C) sont observées dans la zone centrale et orientale du massif, notamment autour des altitudes de 1151 m et 1034 m. En revanche les températures minimales les plus élevées (8,5 – 8,7 °C) sont observées dans les zones les plus basses en altitude, situées à l'ouest du massif (957 m et 1007 m).

Par ailleurs, la moyenne annuelle des températures maximales varie entre 20,4 °C et 21,0 °C, dont les valeurs les plus élevées (20,8 – 21,0 °C) se trouvent dans les zones les plus basses, situées autour des altitudes de 957 m et 1007 m, tandis que les températures les faibles (20,4 – 20,6 °C) sont enregistrées dans la zone plus élevée, autour de 1004 m (Figure 20).

L'analyse des températures minimales et maximales au niveau de Djebel Youcef mis en évidence une nette influence de l'altitude sur la répartition thermique : plus on monte, plus il fait frais aussi bien pour les minimas que pour les maximas.

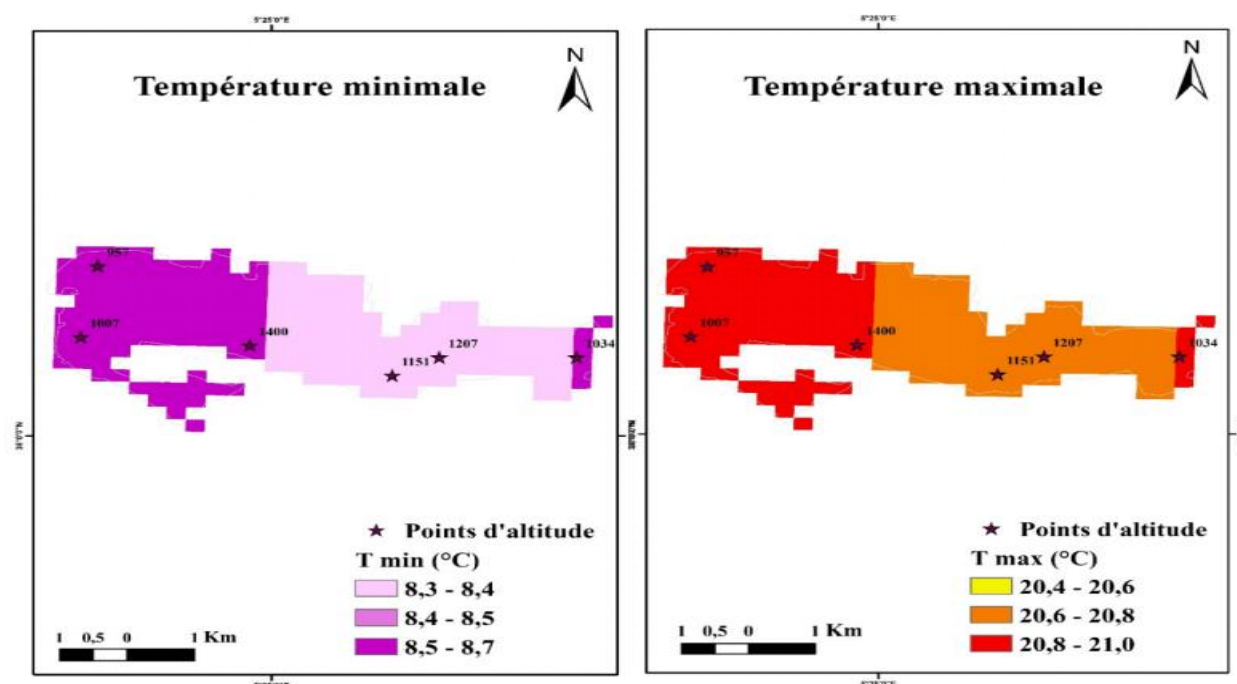


Figure 20. Carte des moyennes annuelles des températures minimales et maximales de Djebel Youcef (1980 – 2021).

2.2.2. Précipitations

La carte pluviométrique de Djebel Youcef montre une répartition inégale des précipitations, fortement influencée par le relief et l'altitude. Les zones les plus arrosées au centre et en est, autour des altitudes 1151 m, 1207 m et 1034 m enregistrent les précipitations les plus importantes, comprises entre 400 et 440 mm/an. A l'inverse, les zones les plus sèches à l'ouest autour de 957 m et 1007 m reçoivent les précipitations les plus faibles, entre 370 et 380 mm/an.

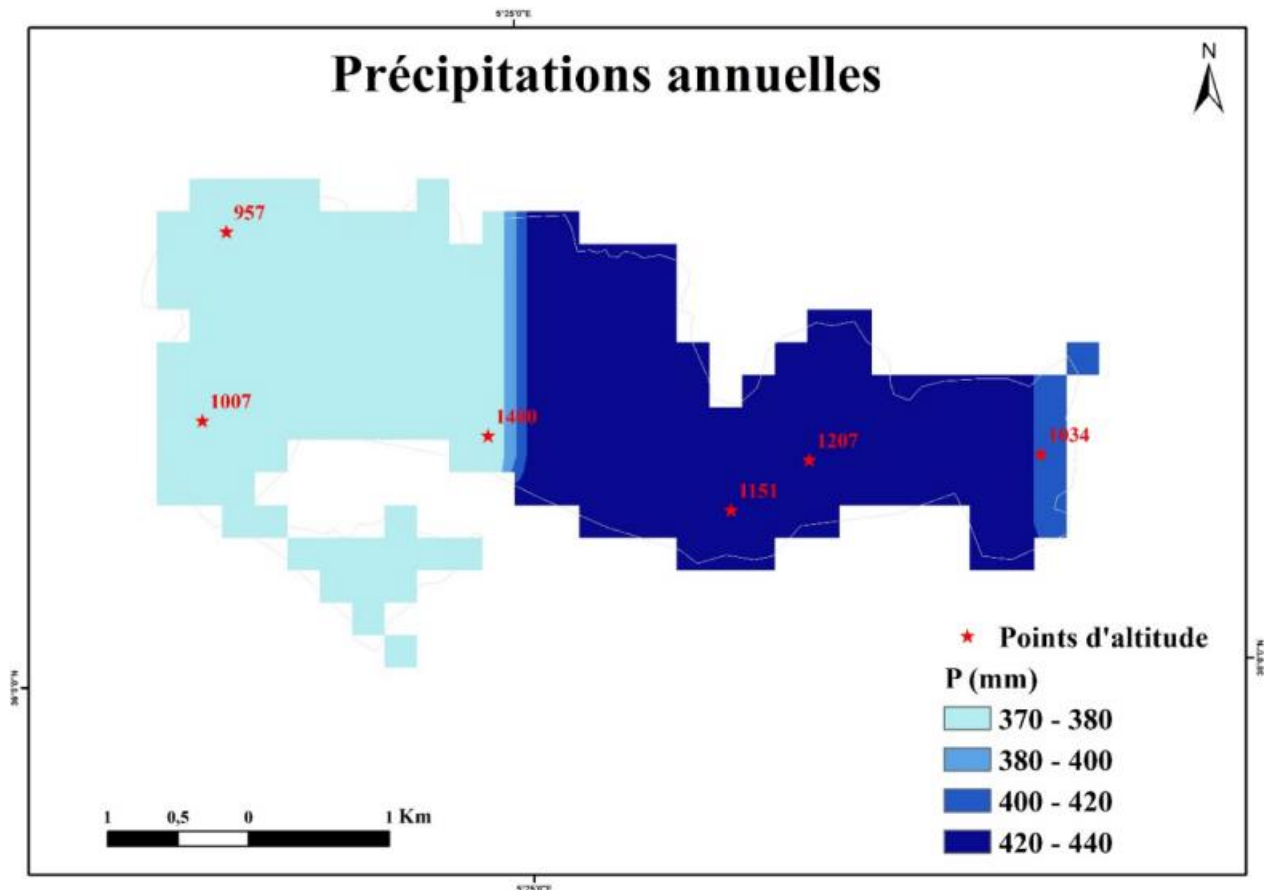


Figure 21. Carte des précipitations annuelles de Djebel Youcef (1980 – 2021).

2.2.3. Bioclimat

Les conditions climatiques de Djebel Youcef le place dans une ambiance bioclimatique e semi-aride inferieur à hiver frais, caractérisé par une saison sèche de quatre mois et demi (Gharbi, 2014), ce qui entraine une influence directe sur la végétation et le fonctionnement des écosystèmes dans le massif.

2.3. Contexte socio-économique et exploitation humaine

Les communes sur lesquelles s'étendent le massif de Djebel Youcef : Guellal, Guedjel, Bir Haddada et Ain Oulmène regroupent une population totale de 210223 individus. Ces communes présentent une grande différence variation de densité de population entre les zones urbaines et les secteurs les plus ruraux (Tab 3). Il ressort que la commune d'Ain Oulmène est la plus peuplée et sa population est plus concentrée en centre urbain, alors que la commune de Guedjel détient la majeure partie de la population éparse du massif.

Tableau 3. Distribution de la population autour du massif de Djebel Youcef (D.P.S.B., 2021).

Commune	Agglomération chef-lieu	Agglomération secondaire	Zone éparse	Total	Densité de la population Hab/km ²
Ain Oulmène	73274	14855	17114	105 244	615
Guedjel	10897	12858	20633	44 389	192
Guellal	3915	9971	15825	29 711	237
Bir Haddada	5985	1458	19897	27 340	240

La majorité de la population qui vit en périphérie de Djebel Youcef pratique l'agriculture de subsistance centrée sur les cultures céréalières du blé et de l'orge, les cultures maraichères, ainsi que la plantation d'olivier.

Le secteur d'élevage est dominé par l'élevage ovin (environ 3000 têtes) et dans une moindre mesure bovine (environ 400 têtes), avec un pâturage pratiqué aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du périmètre forestier (C.F.S, 2021).

Néanmoins, le massif forestier n'est plus loin d'être soumis aux différentes formes de pressions à savoir :

- Les risques d'incendie que ces soit d'origine volontaire ou involontaire.
- Les dépôts illégaux de déchets impactant les sols et les paysages.
- La surfréquentation des visiteurs qui contribue à la faune de la faune, piétinement de la flore et l'érosion des sols.

À cela s'ajoute l'apparition de certaines maladies phytosanitaires comme la chenille processionnaire et le balai de sorcière, ainsi que le dépérissement de pin d'Alep dû au changement climatique ou à des facteurs encore indéterminés.

3. Massif forestier de Boutaleb

3.1. Contexte physiographique

3.1.1. Situation géographique

Le massif de Boutaleb constitue un maillon important et bien individualisé de la partie orientale de la chaîne des monts du Hodna. Il se trouve ainsi situé entre les Hautes Plaines Sétifiennes au nord et le bassin du Hodna au sud (Bertraneu, 1952).

Le massif forestier de Boutaleb se situe au niveau de la wilaya de Sétif sur sa partie méridionale, entre les latitudes nord 35° 40' et 35° 50' et les longitudes est 5° 10' et 5° 30' faisant limite avec la wilaya de M'sila au sud-ouest et celle de Batna au sud-est, occupant une superficie de 28,42717 ha.

Le massif de Boutaleb s'encadre au nord par la cuvette de Salah Bey à l'ouest et celle d'Ain Azel à l'est. Au sud, il est bordé par le synclinal de Barika et la dépression du chott Hodna. À l'Ouest, par la route nationale n° 28 Sétif-Barika en passant par les gorges de Soubella, tandis qu'à l'est c'est par la nouvelle route nationale n° 35 reliant Ain Azel-N'gaous-Barika.

Il s'inscrit d'une manière générale dans la structure administrative suivante :

- Wilaya de Sétif.
- Daïra de Salah bey et d'Ain Azel.
- Communes de : Rasfa, Ain Azel, Boutaleb, Hamma et Salah Bey, mais également les communes : Gosbete (wilaya de Batna) et Magra (wilaya de M'sila).

La gestion forestière est entièrement confiée à la conservation forestière de Sétif, effectivement à la circonscription d'Ain Oulmène même les parties s'étendant sur les territoires des wilayas de Batna et M'sila.

3.1.2. Relief

D'après les données la conservation des forêts de la wilaya de Sétif (2021), le caractère orographique du massif de Boutaleb est typiquement montagnard. Il s'étend de 700 m d'altitude au sud en limite de la forêt, à 1886 m au centre, au Djebel Afghane en passant à 1000 m d'altitude au nord. C'est un secteur de moyenne à haute montagne caractérisé par une disposition parfois désordonnée que l'on peut définir comme une succession de chaînes et chaînons orientés globalement d'est en ouest, donnant ainsi des versants exposés au nord ou au sud. Le massif est jalonné par plusieurs sommets et dont les plus hautes altitudes sont concentrées au centre et au sud-est : Djebel Soubella 1543 m, Djebel Bouich 1644 m, Djebel Bouhellal 1837 m, Djebel afghane 1886 m, Djebel Chehellou 1781 m, Djebel Bourhioul 1632 m, Djebel Aouzourt 1672 m, Djebel Tafeliount 1574 m, Ras Zoubia 1487 m, Ras Chikda 1422 m, Djebel Bourma 1494 m, Djebel Makhrouz 1546 m.

D'une manière générale, l'altitude décroît du nord vers le sud, selon les proportions suivantes:

- 10% des terres forestières ont une altitude inférieure à 1000 m,
- 70% sont comprises entre 1000 et 1400 m d'altitude,
- 20% dont l'altitude est comprise entre 1400 et 1886 m où se trouve le point culminant du massif Djebel Afghan.

La carte ci-dessous (Figure 22) élaborées à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) présente les altitudes de la forêt de Boutaleb.

3.1.3. Pente

La carte de pente mis en évidence un massif à une topographie très prononcée, dominé par des pentes relativement fortes et régulières, dont plus de 60 % du territoire présente une pente supérieure à 30 %. Les zones à faible pente (0 à 13 %) se concentrent notamment dans les parties nord et nord-est indiquant des reliefs modérés à peu accentués. Les pentes moyennes à fortes (13 à 50 %) se concentrent ainsi dans les zones centrales et méridionales. Par ailleurs, les pentes très fortes à extrêmes (50 à plus de 76 %) marquent les secteurs les plus escarpés, souvent associés à des chaînes montagneuses et des sommets (Figure 22).

3.1.4. Exposition

La carte d'exposition du massif de Boutaleb mis en évidence la répartition des versants selon leurs orientations. Cette présentation montre une prédominance des expositions sud et ouest. Les versants nord et est sont présents mais de manière plus fragmentée, tandis que les zones planes sont rarement étendues. Aussi, il arrive parfois que certains micro-reliefs présentent simultanément deux expositions différentes produisant d'effets contraires (Figure 22).

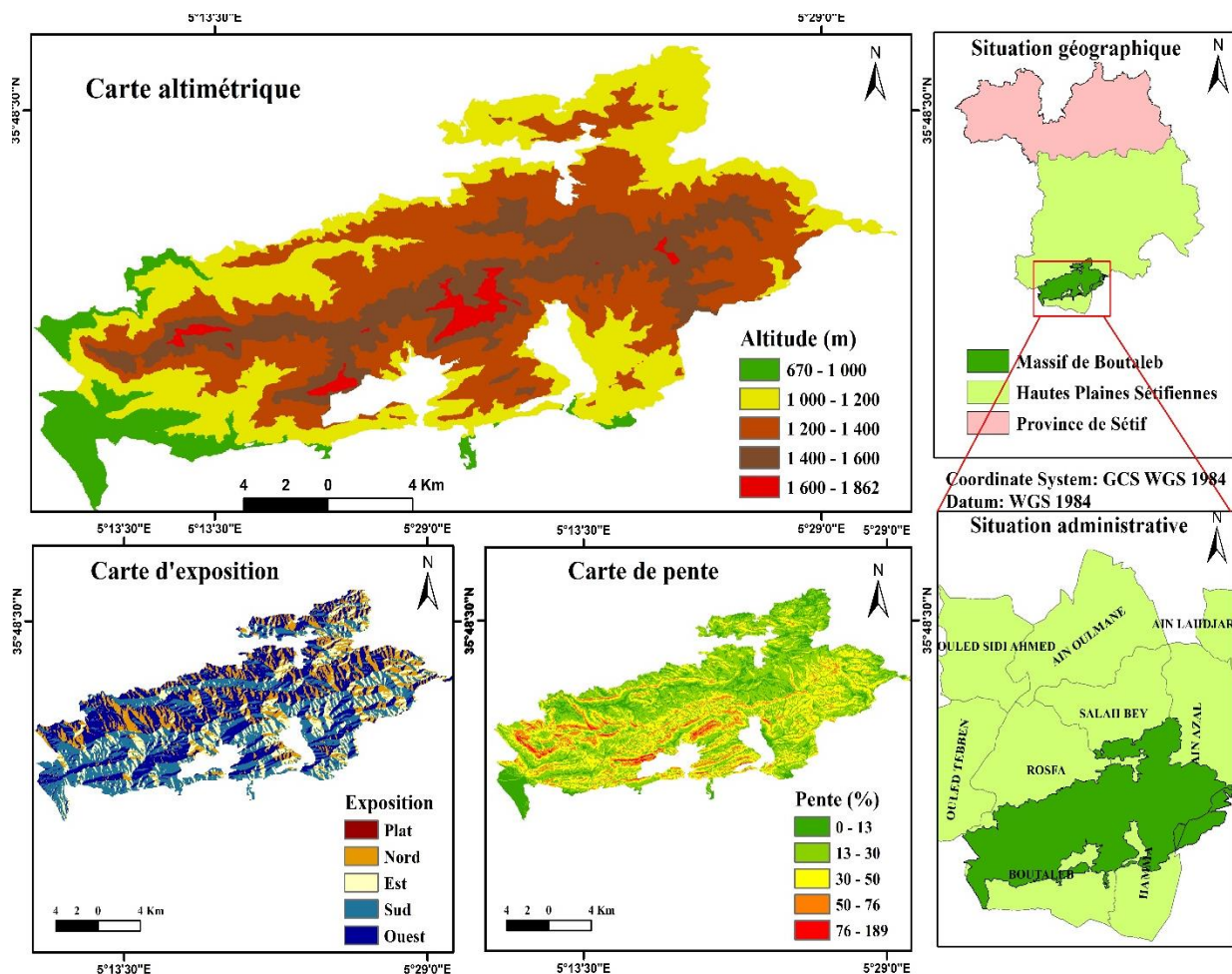


Figure 22. Carte du contexte géographique et morphologique du massif forestier de Boutaleb.

3.1.5. Géologie

Le massif de Boutaleb présente des caractéristiques variables dues essentiellement à sa position charnière entre les Hautes Plaines Sétifiennes au nord et de la chaîne orientale du Hodna au sud. Mais, l'influence prépondérante de cette dernière chaîne est plus marquée dans la forêt de Boutaleb.

La répartition des roches dans le massif de Boutaleb est le résultat des mouvements tectoniques qui ont affecté toute la région lors du plissement alpin à l'ère tertiaire. Dans la partie axiale du massif, ce plissement a en effet, provoqué la remonté en bloc du socle anticlinal orienté est-ouest, allant en s'incurvant légèrement vers l'est-nord-est qui avait été recouvert de sédiments. Cette dynamique a donné lieu à une succession de roches sédimentaires telles que les calcaires, grés, marnes et dolomies. Au sud, au sud-est ainsi qu'au nord-ouest du massif, on retrouve des formations continentales de remblayage constituées de conglomérats, marnes à gypse, calcaire à algues et spatangues. À noter également, l'apparition

du trias en plages réduites à la faveur des structures d'anticlinales faillées (notamment à Abienne, El Hamma et Soubella) sous forme d'argiles bariolées à gypse (C.F.S., 2021).

D'après la stratigraphie des formations géologiques qui constituent la zone d'étude, la plus grande partie du massif de Boutaleb est recouverte par des terrains de l'Aptien supérieur à l'Albien et du Barrémien-Aptien, correspondant respectivement au Crétacé inférieur et Crétacé supérieur (Figure 23).

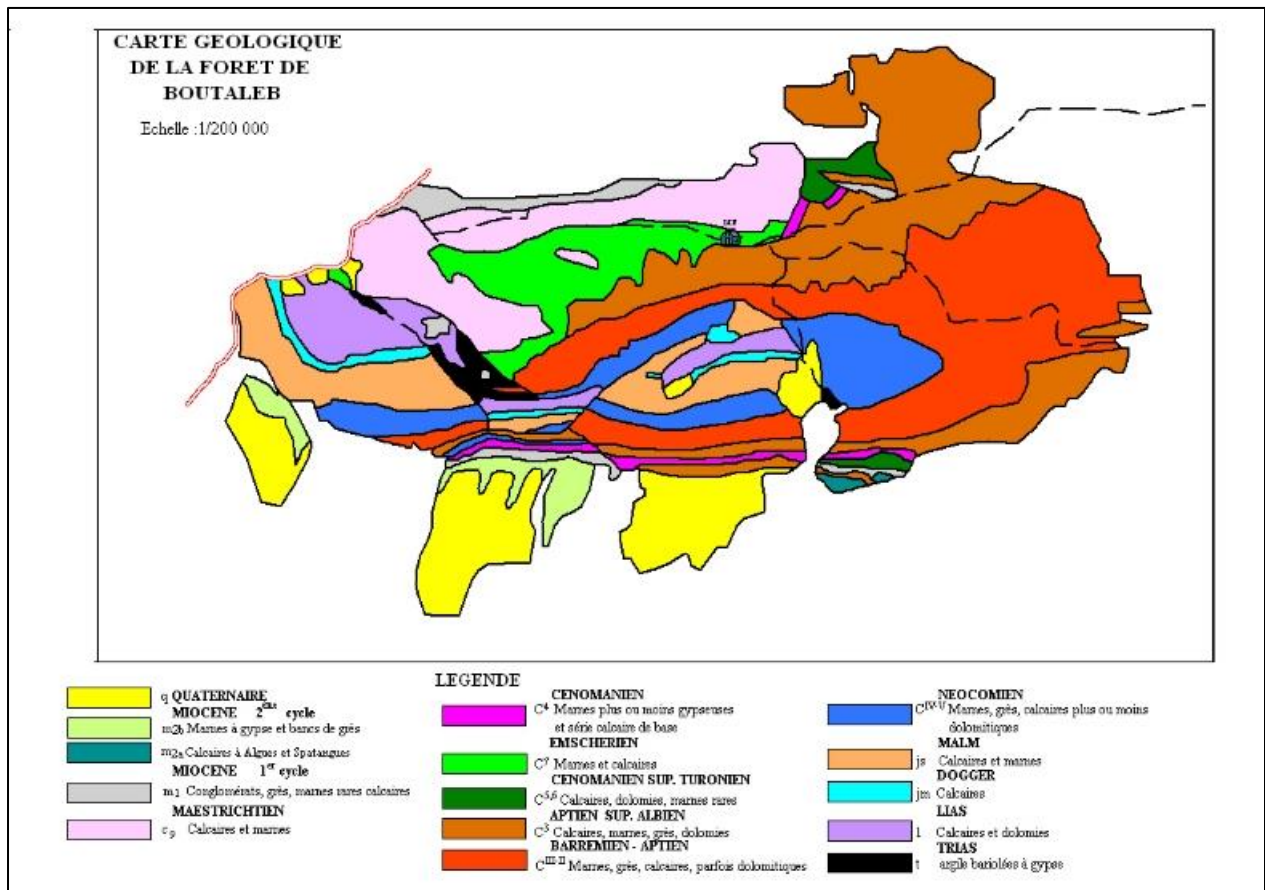


Figure 23. Carte géologique du massif de Boutaleb (C.F.S., 2021)

3.1.6. Pédologie

D'après la Conservation des Forêts de la wilaya de Sétif en s'appuyant sur les travaux de Kanev (1972), les sols de la région de Boutaleb peuvent être scindés en deux grandes séries:

- Les sols minéraux bruts tels que les lithosols et les régosols, développés sur un matériel minéral et subissant une érosion intense et continue. Ces sols sont localisés sur les versants sud et ainsi que sur les versants nord très inclinés.
- Les sols calcimagnésiques scindés en deux types : les sols bruns calcaires présent sur les terrains à pente faible, et les sols bruns calciques moins carbonatés que les premiers, mais occupant une grande partie du massif.

3.1.7. Hydrographie

Selon les données de la conservation des forêts de Sétif (2021), le relief montagneux du massif favorise la présence d'un réseau hydrographique très dense. Cependant, la plupart des cours d'eau sont souvent à sec, à l'exception de l'Oued Faragh qui prend sa source au cœur du massif et rejoint l'Oued Soubella à l'ouest pour se jeter dans le chott Hodna. En général, le débit de ces cours d'eau est tributaire des précipitations. Ils peuvent grossir rapidement et être à l'origine d'inondations dévastatrices.

Plus de 80 % du massif de Boutaleb est inclus dans le bassin versant du Hodna, dont tous les affluents se jettent dans le chott Hodna pendant la période pluvieuse. Ce massif forestier renferme deux sous bassins versants : au sud, celui des monts du Hodna, et au nord, celui des Hauts Plateaux Sétifiens, correspondant au sous bassin versant de l'Oued Boussellam.

3.1.8. Flore et végétation

Le massif de Boutaleb a attiré de prime abord l'attention des plusieurs botanistes et chercheurs comme : Le Houerou *et al.* (1975) ; Merikhi, (1995) ; Madoui, (1999) ; Sedjar, (2012) et Zerroug (2012 et 2020). En se basant sur les travaux des auteurs précités, la végétation du massif de Boutaleb est répartie comme suit :

- La végétation arborescente constituée essentiellement de *Cedrus atlantica* Manetti et *Pinus halepensis* Mill.
- La végétation arbustive représentée dans le massif par des matorrals élevés, denses, troués et clairs à base de *Quercus ilex* L., *Cedrus atlantica* Manetti et *Pinus halepensis* Mill. Ainsi que d'autres matorrals mixtes.
- La végétation herbacée constituées essentiellement de pelouses écorchées, de steppes, et aussi, des ermes qui sont des formations herbacées à dominance de thérophytes.

Par ailleurs, la flore de Boutaleb est très riche renfermant plus de 367 espèces et 226 genres. L'élément endémique est relativement assez représenté avec 8,8 % de la flore de la région, soit environ 32 espèces recensées (Sedjar, 2012).

3.1.9. Étages de végétation

Selon Ozenda (1975), un étage de végétation est un ensemble de groupements végétaux réunis par une affinité écologique dans une même tranche altitudinale. En retenant cette dernière définition et en exploitant les données de la Conservation des Forêts de la wilaya de Sétif (2021), le massif de Boutaleb est couvert par quatre étages de végétation :

- L'étage thermoméditerranéen : il est compris entre 1000 et 1300 m, correspondant à la zone chaude et à l'aire de distribution de pin d'Alep, essence typiquement thermophile et xérophile.
- L'étage mesoméditerranéen : il apparaît entre 1300 et 1500 m coïncidant avec l'aire du chêne vert.
- L'étage oroméditerranéen : allant de 1400 à 1800 m favorable à l'endémisme et dont l'espèce dominante est le cèdre de l'Atlas uniquement en exposition nord. La cédraie y est fragmentaire.
- L'étage altiméditerranéen: individualisé au-delà de 1800 m, cet étage de végétation est dominé par chamaephytes en coussinet épineux tels que l'anhyllide hérissée, le buplèvre et l'astragale.

3.2. Climat et bioclimat

3.2.1. Températures

D'après la figure (24), la moyenne annuelle des températures minimales enregistrée dans le massif de Boutaleb varie entre 6,5 °C et 11,5 °C. Elles sont les plus basses (6,5 – 7,2 °C) dans les zones de haute altitude, notamment autour les points culminants 1523 m et 1854 m. À l'inverse les températures minimales les plus élevées se retrouvent en basses altitudes, notamment à 800 m de 9,2 °C à 11,5 °C.

Les températures maximales, quand elles oscillent entre 19,2 °C et 23,4 °C, dont les zones les plus fraîches (19,2 – 19,7 °C) se situent au centre-est du massif aux altitudes 1455 m à 1854 m, tandis les valeurs maximales les plus élevées (21,4 – 23,4 °C) se trouvent le sud-ouest du massif à 800 m d'altitude (Figure 24).

La répartition spatiale des températures minimales et maximales révèle des gradients thermiques liés à l'altitude, plus l'altitude augmente, plus les températures diminuent.

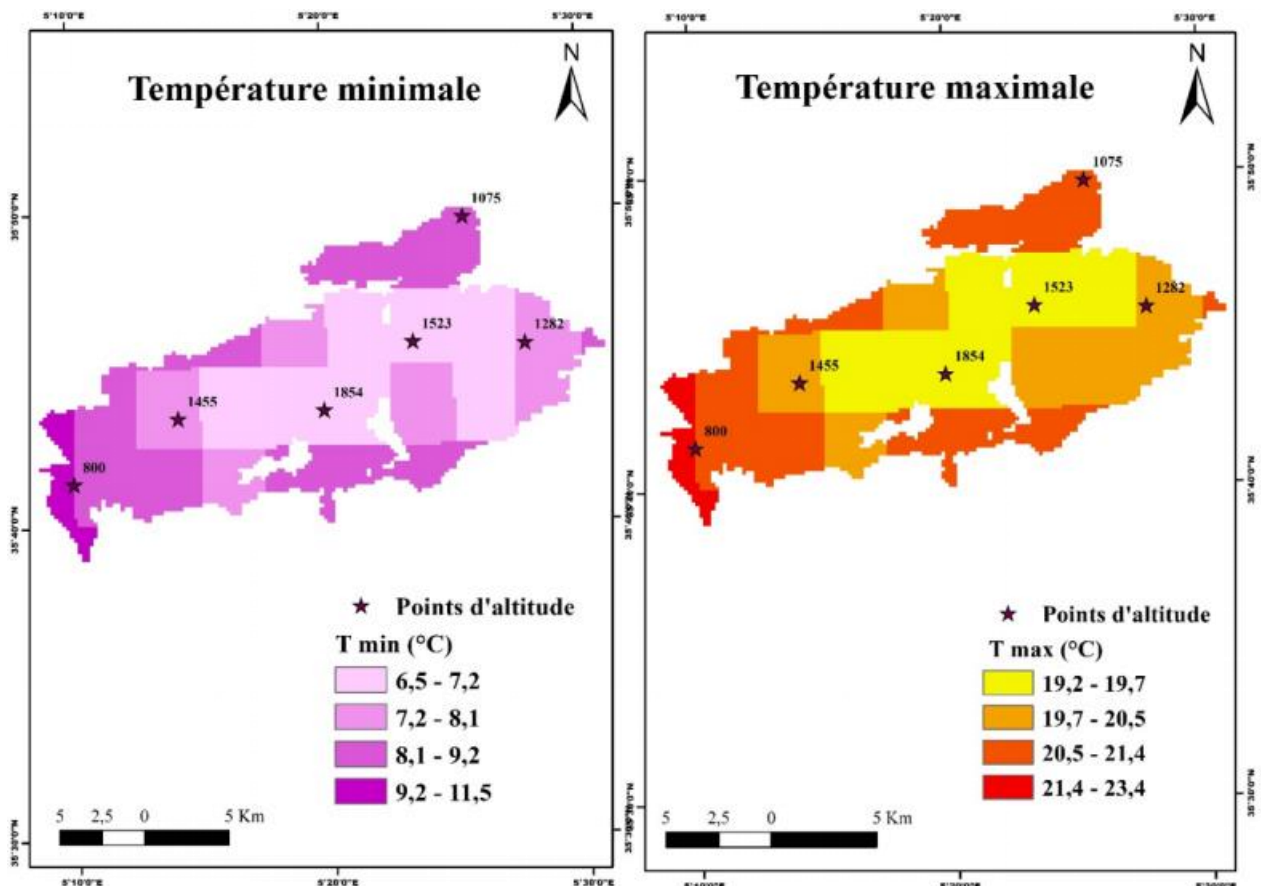


Figure 24. Carte des moyennes annuelles des températures minimales et maximales du massif de Boutaleb (1980-2021).

3.2.2. Précipitations

La carte des précipitations annuelles du massif de Boutaleb révèle une forte variabilité spatiale des apports pluviométriques dans la région liée étroitement avec les reliefs. Les zones en altitude supérieur à 1400 m reçoivent plus de précipitations avec des cumuls annuels supérieur à 500 mm/an, tandis que les zones basses de 800 m sont nettement les plus arides avec un cumul de pluie moins de 300 mm/an. Par ailleurs les zones aux altitudes vers 1075 m et 1282 m reçoivent des précipitations modérément élevées entre 450 et 500 mm/an

Ce gradient pluviométrique est un phénomène typique des régions montagnardes, où les précipitations s'intensifient sur les hauteurs et diminuent sur les plaines.

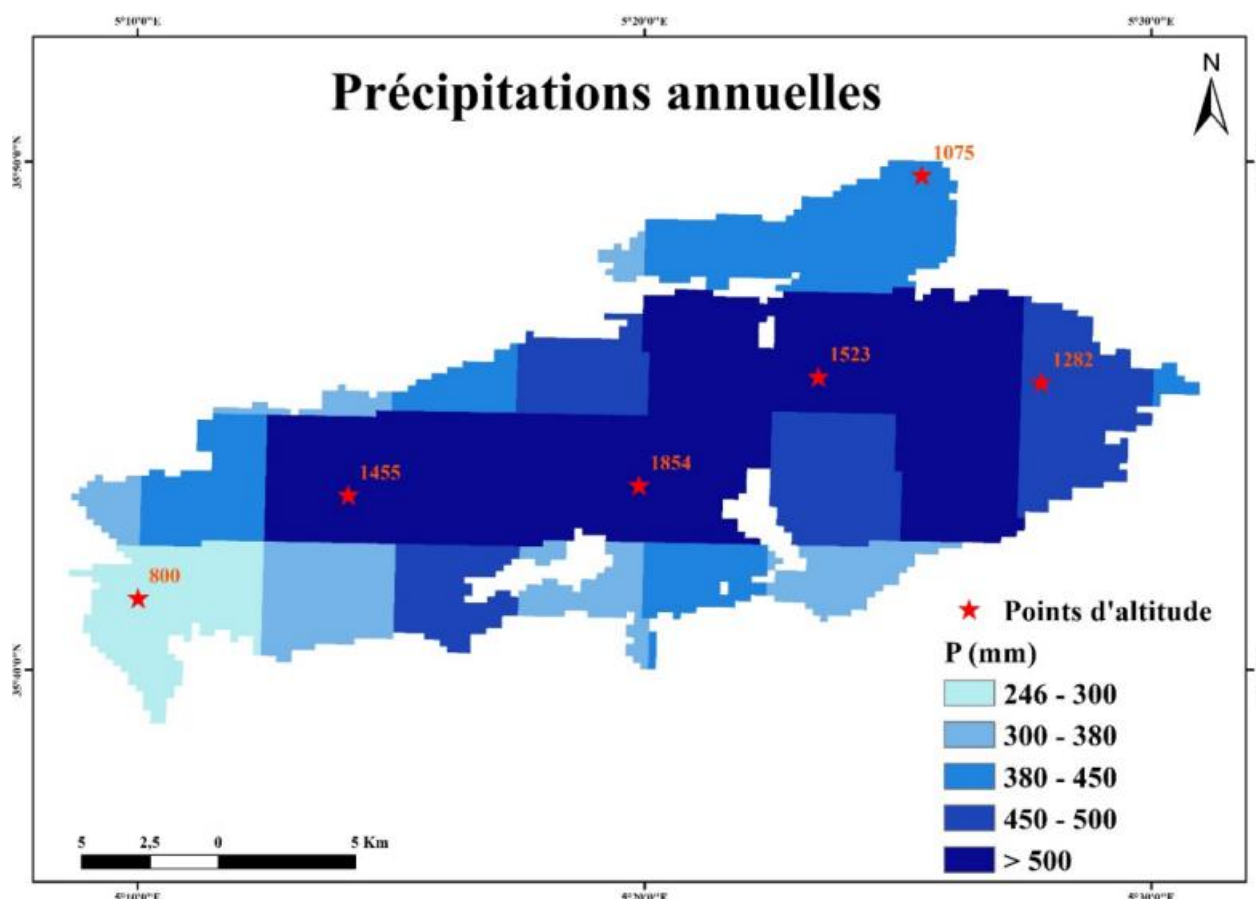


Figure 25. Carte des précipitations annuelles du massif de Boutaleb (1980 – 2021).

3.2.3. Bioclimat

Les caractéristiques climatiques du massif de Boutaleb lui confèrent un étage bioclimatique semi-aride à variante frais sur les versants de 1200 m à 1400 m, et un étage bioclimatique semi-aride à variante froide sur le point culminant 1886 m, avec une saison sèche longue allant de 4 à 5 mois (Bouchelouche, 2024), mettant en évidence la particularité du climat méditerranéen ; il pleut quand la végétation est au repos et il fait sec quand les plantes ont besoin d'eau.

3.3. Contexte socio-économique et exploitation humaine

Les communes dont fait partie le massif de Boutaleb : Salah Bey, Rasfa, El Hamma, Boutaleb et la partie du massif qui relève de la commune d'Ain Azel ont une population de 85381 individus.

La densité de la population des différents communs est variable et sa répartition est différente d'une commune à l'autre (Tab 4). Il ressort que la commune de Salah Bey est la plus

peuplée et sa population est plus concentrée en centre urbain, alors que la commune de Rasfa détient la majeure partie de la population éparsée du massif.

Tableau 4. Distribution de la population autour du massif de Boutaleb (D.P.S.B., 2021).

Commune	Agglomération chef-lieu	Agglomération secondaire	Zone éparsée	Total	Densité de la population Hab/km ²
Salah Bey	25351	8667	726	34744	248
Rasfa	1727	7942	10276	19946	110
El Hamma	11603	5696	105	17405	178
Boutaleb	6472	1180	3713	11365	83
Harguawat (Partie du massif relevant de la commune de Ain Azel)	0	00	567	567	-

Les usages greffés sur la forêt de Boutaleb sont partagés entre les douars et mechtas (riverains et enclavés) qui se localisent généralement aux abords immédiats d massif, mais également à l'intérieur du massif. Cette situation a mené les populations à exercer des activités traditionnelles intensives, à savoir :

- L'agriculture est essentiellement céréalière (blé et orge), dont la production est orientée majoritairement à l'autoconsommation et la constitution des stocks fourragers pour l'élevage.
- L'unité d'élevage ovin constitue la spéculation de base, destinée à alimenter la trésorerie familiale. Les bovins sont plus présents au Nord du massif mais leur effectif par exploitation est très faible. L'élevage caprin constitue une spéculation secondaire et associée chez la majorité des exploitations aux ovins.
- L'aviculture et l'apiculture sont faiblement présentes et situées uniquement à l'Est du massif dans la commune d'El Hamma.
- La culture du tabac, totalement absente dans les statistiques agricoles locales, constitue la base de l'activité agricole dans les exploitations du Nord du massif.
- Les prélèvements du bois de chauffage aux besoins domestiques et les produits des débroussailllements.
- Les Prélèvement de l'écorce de chêne vert pour la fabrication du tanin, ainsi que l'écorce de pin d'Alep, ainsi que la cueillette de l'alfa du diss et d'autre plantes médicinales nécessaires aux besoins domestiques.

- Le pâturage dans les cantons ouverts à l'exercice de cet usage (C.F.S, 2021).

Cette situation a engendré notamment :

- Une surexploitation des ressources naturelles sans commune mesure avec les potentialités offertes par le milieu
- Une dégradation des écosystèmes forestiers, notamment à travers un élevage intensif et un pâturage mal maîtrisé, contribuant à l'émergence des formations végétales dégradées (matorrals, garrigues, et steppes) sur certains versants du massif.
- Des incendies volontaires criminels pour satisfaire soit des besoins matériels, soit pour exprimer des intentions inavouées.

S'ajoutant au phénomène de dépérissement remarqué surtout chez le cèdre de l'Atlas, dont les causes sont fortement dépendant au changement climatique, ou encore restent inconnues.

Synthèse

La présentation de notre cadre d'étude soulève d'une particularité qui se distingue à la fois des avantages et des contraintes influençant ses composantes. Ainsi, elle nous a permis de développer une analyse fine et contextualisée de la résilience en croisant les niveaux d'échelle local et régional et en incluant les dimensions sociales et écologiques. Une telle approche s'avère particulièrement pertinente dans des territoires notamment vulnérables aux impacts du changement climatique où les déséquilibres écologiques peuvent entraîner et aggraver les fragilités sociales et vice versa.

MATÉRIEL
&
MÉTHODES

I. Mise en évidence du changement climatique et de la sécheresse

Afin d'appréhender l'impact des changements climatiques dans la région des HPS, nous proposons d'abord une analyse des séries chronologiques de températures et de précipitations par des tests efficaces qui permettent de renseigner sur la significativité des tendances existées avec leurs magnitudes et d'identifier leurs points ou dates de rupture. Ensuite, nous avons caractérisé le phénomène de la sécheresse dans la région d'étude

1. Choix et description des stations pilotes

Pour tester la pertinence de tendances des paramètres climatiques, des températures et des précipitations, dans la région des Hautes Plaines Sétifiennes. Notre choix est focalisé sur les trois stations pilotes : la ville de Sétif, la daïra d'Ain Oulmène et la commune de Boutaleb. Ces secteurs ont été sélectionnés en fonction de leur répartition spatiale au sein de la région d'étude afin de représenter un transect climatique du nord au sud (Figure 26).

La station de Sétif correspondant au chef-lieu de la wilaya de Sétif située entre $36,15^\circ$ de latitude nord et $5,43^\circ$ de longitude est, avec des altitudes comprises entre 948 et 1224 m. Son choix repose sur sa position stratégique au cœur de la région des Hautes Plaines Sétifiennes. Elle soumise à l'influence climatiques des monts de Babor situés au nord de la wilaya, ce qui la rend pertinente pour représenter les dynamiques climatiques nordiques.

La station d'Ain Oulmène située à $35,9^\circ$ de latitude nord et $5,28^\circ$ de longitude est, avec des altitudes variant de 900 à 1272 m. Cette station a été choisie pour sa position centrale au sein des hautes plaines. Elle occupe une position intermédiaire entre les reliefs montagneux du nord et du sud de la wilaya. Par ailleurs, cette station est qualifiée comme le tissu urbain le plus proche au massif de Djebel Youcef, l'un des sites clés analysé dans le cadre de l'étude de la résilience écologique. Son choix est donc justifié par des considérations tant géographiques qu'écologiques.

La station de Boutaleb situé à $35,66^\circ$ de latitude nord et $5,32^\circ$ de longitude est, avec des altitudes allant de 680 à 1767 m. Elle se trouve dans la frange sud semi-aride de la wilaya. Cette station englobe une portion importante du massif forestier de Boutaleb qui constitue ainsi le principal site de notre étude sur la résilience écologique. Elle représente aussi une

zone de transition biogéographique et climatique, ce qui renforce sa pertinence dans le cadre de recherche.

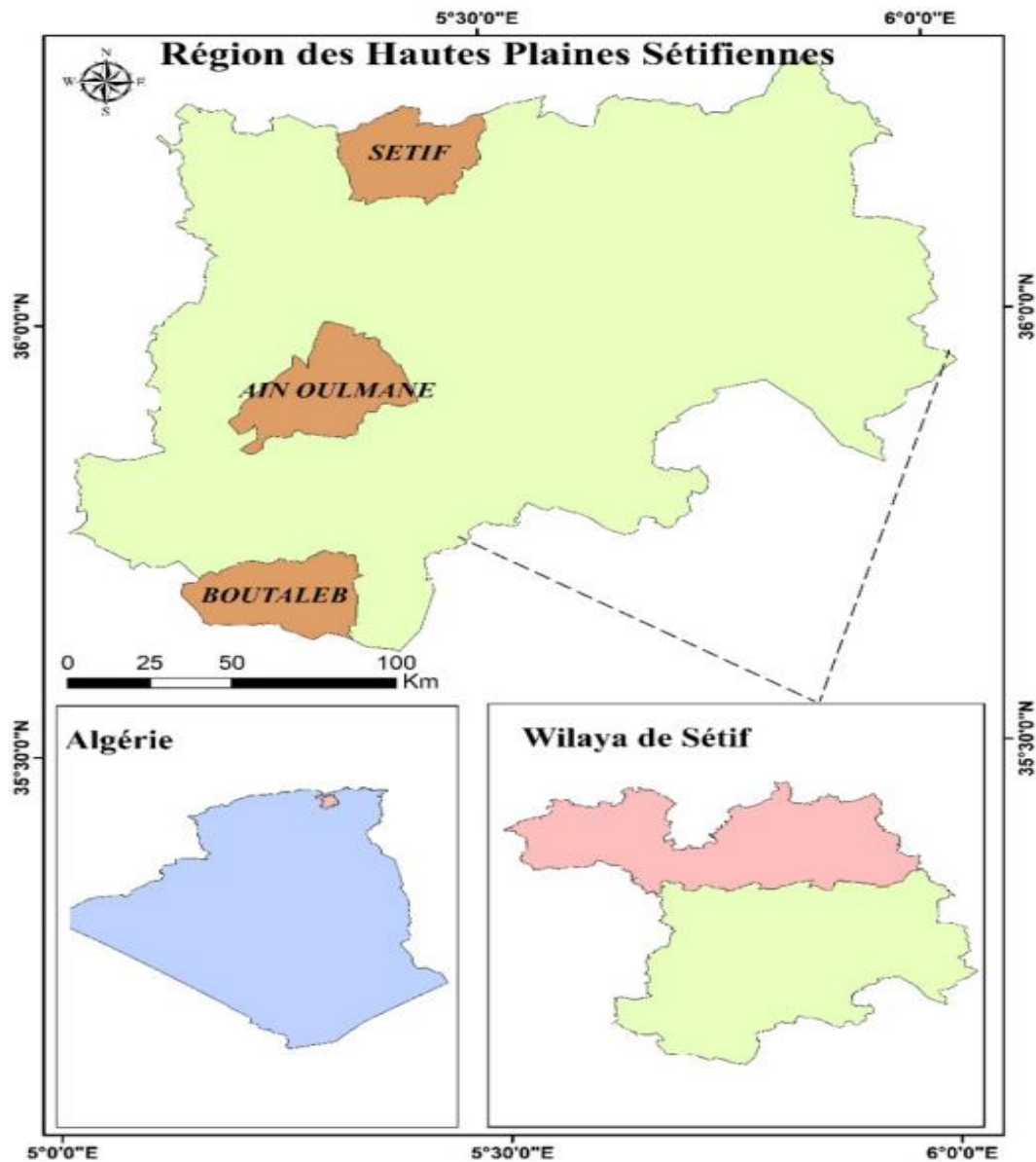


Figure 26 : Localisation de la région des Hautes Plaines Sétifiennes et les Stations choisies.

2. Description de la source des données climatiques « TerraClimate »

Le manque de stations météorologiques combiné à la disponibilité d'une seule station de référence dans la région d'étude, nous a obligé à utiliser des données climatiques à haute résolution spatiale et temporelle pour mieux caractériser le climat local. Notre choix s'est

porté donc sur le "*Dataset TerraClimate*" qui est accessible via la plateforme Google Earth Engine.

Ce jeu de données "*TerraClimate*" à haute résolution spatiale ($1/24^\circ$, ~ 4 km) utilise la méthode d'interpolation climatique multisource, combinant ainsi les caractéristiques de la haute résolution spatiale de WorldClim et de la haute résolution temporelle d'autres sources telles que Climate Research Unit (CRU Ts4.0) et la réanalyse Japonaise sur 55 ans (JRA-55) (Abatzoglou *et al.*, 2018).

"*TerraClimate*" permet d'obtenir pour les surfaces terrestres globales des données mensuelles de climat et de bilan hydrique climatique de différents éléments (précipitations, température maximale et minimale, vitesse du vent, évapotranspiration et rayonnement solaire).

Le choix de cette source de données climatiques se justifie par la bonne qualité de ses enregistrements disponibles de manière mensuelle et contenue depuis 1958 pour de nombreux paramètres climatiques. Cette richesse et cette régularité en font une base particulièrement adaptée aux études climatiques et hydrologiques. Ainsi, sa fiabilité est bien reconnue et validée dans plusieurs travaux scientifiques tels que ceux de Salhi *et al.* (2019), Kessabi *et al.* (2021) et Khan *et al.* (2020).

3. Méthodologie d'analyse de tendance, de magnitude et de rupture dans les séries climatiques

Dans cette étude, différentes méthodes sont adoptées pour évaluer les tendances des séries temporelles annuelles des températures et de la pluviométrie sur une période de 42 ans (1980-2021).

Tout d'abord, les tests statistiques de Mann-Kendall (MK) et de Spearman Rho (SR), ainsi que l'approche graphique de Şen sont utilisés pour détecter l'existence d'une tendance, qu'elle soit à la hausse ou à la baisse. Ensuite, la méthode Theil-Sen (Theil, 1950 ; Sen, 1968) est employée pour trouver l'ampleur (magnitude) appropriée de la tendance. Enfin, le test de Pettitt est appliqué pour détecter le point de changement (rupture) dans les séries temporelles (Pettitt, 1979).

3.1. Test de Mann-Kendall

Il s'agit d'un test non paramétrique bien connu, développé par Mann (1945) et Kendall (1975). Il est également utilisé pour détecter statistiquement les tendances monotones à la hausse ou à la baisse dans une série de données climatiques.

Le test MK repose sur deux hypothèses : l'hypothèse nulle (H_0) exprime l'absence de tendance, ce qui signifie que les données sont distribuées de manière identique, tandis que l'hypothèse alternative (H_1) élucide le fait que la variable suit une tendance significative à la hausse ou à la baisse dans le temps (Shadmani *et al.*, 2012).

Soit $x_1, x_2, \dots, x_n$ représentant n points de données où x_j représente le point de données au temps j . La statistique de Mann-Kendall (S) est alors calculée comme indiqué dans l'équation suivante :

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

Où la fonction de signe est donnée comme suit :

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } x_j > x_k \\ 0 & \text{if } x_j = x_k \\ -1 & \text{if } x_j < x_k \end{cases}$$

X_j et X_k désignent les valeurs séquentielles des données de la série temporelle, n est la longueur de l'enregistrement de l'ensemble des données. Lorsque n est supérieur à 10, la statistique de MK (S) calculée par la variance originale de (S) est la suivante :

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

Où p est le nombre de groupes liés et t_i est le nombre de points de données dans le $p^{\text{ième}}$ groupe.

Une valeur positive très élevée de (S) représente un indicateur de tendance à la hausse, tandis qu'une valeur négative très faible signifie une tendance à la baisse au fil du temps.

Toutefois, pour quantifier de manière statique l'importance de la tendance, il est nécessaire de comparer le niveau significatif alpha avec la valeur de probabilité calculée p-value. Si la valeur p-value tend à être inférieure à 5 %, cela dénote une tendance significative, tandis que l'inverse est vrai si la valeur p-value est supérieure à 5 %, ce qui indique l'absence de tendance dans les données.

3.2. Test de Spearman Rho

Le test de Spearman Rho (SR) initialement proposé en 1904, est un autre test statistique non paramétrique qui peut également être utilisé pour détecter une tendance monotone dans les séries temporelles (Yue *et al.*, 2002). Bien que ce test soit largement utilisé pour vérifier la validité de l'une des deux hypothèses traditionnelles. L'hypothèse nulle (H_0) désigne que toutes les données de la série temporelle sont indépendantes et identiquement distribuées, tandis que l'hypothèse alternative (H_1) désigne qu'il existe une tendance croissante ou décroissante (Shadmani *et al.*, 2012). La statistique SR (D) est donnée par l'équation suivante :

$$D = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_i - i)^2}{n(n^2 - 1)}$$

Où R_i est le rang de la $i^{\text{ème}}$ observation X_i dans la série temporelle et n est la taille de l'échantillon.

Selon la statistique SR (D), les valeurs positives indiquent des tendances à la hausse, tandis que les valeurs négatives indiquent des tendances à la baisse dans la série temporelle. Au niveau de signification de 5 %, si la p-value $\leq 0,05$, l'existence d'une tendance est considérée comme statistiquement significative.

3.3. Test de tendance de Şen

Cette méthode est également appelée la méthode (ITA). Cette approche innovante développée par Şen (2012) vise à extraire la tendance graphiquement. Tout d'abord, afin d'évaluer la tendance des variables météorologiques, les séries temporelles de données sont divisées en deux moitiés égales, puis elles sont classées indépendamment par ordre croissant (ou décroissant) (Wu et Qian, 2017). Dans les applications pratiques, une dispersion des

points le long d'une ligne droite de 1:1 (45°) implique l'absence de tendance et, par conséquent, toute apparition de graphique au-dessus (au-dessous) de cette ligne révèle des tendances croissantes (décroissantes) (Şen, 2012). Pour une interprétation détaillée du graph, le diagramme de dispersion est divisé en trois groupes verbaux : valeurs faibles, moyennes et élevées (Pastagia et Mehta, 2022).

3.4. Approche de Theil-Sen

Cette approche (Theil, 1950 ; Sen, 1968) est couramment utilisée pour calculer l'ampleur (magnitude) de la pente (changement par unité de temps) après la détection de la tendance évaluée par les tests MK et SR dans la série temporelle. Il s'agit d'une autre méthode non paramétrique basée sur la pente médiane, qui peut être calculée par l'équation suivante :

$$\beta = \text{median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] \quad \text{pour tout } i < j$$

Où X_i et X_j représentent les valeurs séquentielles de la série temporelle pour les années i et j , et β est l'ampleur estimée de la pente de la tendance dans la série de données.

3.5. Test de Pettitt

En tant qu'approche non paramétrique typique pour étudier les problèmes de points de changement, la méthode du test de Pettitt (Pettitt, 1979) a été largement utilisée pour détecter un changement brusque dans la valeur moyenne de la distribution des variables hydrométéorologiques (Xie *et al.*, 2013). Lorsqu'une séquence de variables aléatoires avec n de taille simple est divisée en deux échantillons ($X_1, X_2, \dots, X_t$) et ($X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_n$), le point de changement soudain dans l'enregistrement est supposé se produire au moment t . La statistique de test (U_t) peut être générée avec l'équation suivante :

$$U_t = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j)$$

Où la fonction de signe est donnée comme suit :

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

Le point de changement maximal probable et significatif $|U_t|$ affecté principalement à l'instant t , est approximativement, évalué par l'Equation suivante :

$$P(t) = 2 \exp\left(\frac{-6U_t^2}{n^2 + n^3}\right)$$

Notez que si la valeur p-value est inférieure au niveau significatif $\alpha=0,05$, l'hypothèse alternative est acceptée et un point de changement statistiquement significatif existe au temps t .

Dans cette recherche, la signification statistique des tendances avec leurs magnitudes et leurs points de rupture dans les séries temporelles, qui sont analysées par MK, SR, Theil-Sen et le test de Pettitt, est réalisée à l'aide du package *trend* dans RStudio®, tandis que le package *ggplot2* a été utilisé pour tracer les graphiques de la tendance de Şen.

4. Caractérisation de la sécheresse dans la région étudiée

Les sécheresses parmi d'autres phénomènes liés de près aux changements climatiques. Elle peut affecter des espaces assez larges et engendrer de multiples perturbations dont les impacts sont dévastateurs, en particulier pour les systèmes socio-écologiques les plus vulnérables.

La sècheresse, en tant qu'un phénomène météorologique intense et fréquent, dont ses caractéristiques varient d'une région à une autre, son analyse consiste généralement à caractériser sa sévérité, sa durée et son intensité.

Afin de mieux cerner l'état qualitatif de la sécheresse dans la région des HPS, nous nous sommes intéressés à mettre en relief les principaux indices d'appréciation de la variabilité spatiotemporelle de la sécheresse, et d'évaluation de son intensité, sa durée, et sa fréquence à partir de valeurs climatiques ou hydrométéorologiques.

4.1. Indices de la sécheresse météorologique

Dans cette étude, les épisodes de sécheresse dans la région d'étude ont été suivis à l'aide de plusieurs indices de sécheresse, tels que l'indice standardisé des précipitations (SPI), l'indice standardisé d'évapotranspiration des précipitations (SPEI), l'indice de gravité de la sécheresse de Palmer (PDSI) et l'indice de reconnaissance de la sécheresse (RDI).

Tous les indices ont été évalués sur une échelle de temps d'un mois, de 1980 à 2021 pour les trois stations : Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb. Bien que les données mensuelles sur la température et les précipitations soient nécessaires pour simuler les valeurs mensuelles de SPI, SPEI et RDI, les valeurs mensuelles de PDSI ont été directement extraites de la base de données *TerraClimate*.

Ici, Les indices SPI et RDI ont été calculés à l'aide du logiciel DrinC[®], tandis que le SPEI a été réalisé à l'aide du package SPEI du logiciel RStudio[®].

Un bref aperçu sur chacun de ces tests est développé ci-dessous.

4.1.1. Indice Standardisé des Précipitations (SPI)

L'indice standardisé des précipitations développé par McKee *et al.* (1993) est connu comme l'un des outils clés qui fournit une évaluation spatio-temporelle du changement climatique et de la sécheresse. Il permet de quantifier les déficits ou les excédents de précipitations pour plusieurs échelles de temps (par exemple, 1, 3, 12, 24, 72 mois). Dans sa formulation par défaut, l'IPS suppose que les précipitations doivent obéir à la distribution Gamma-skewed, qui est utilisée pour transformer les séries chronologiques de précipitations en une distribution normale (Wang *et al.*, 2019). Résultant de cette méthode, les valeurs négatives de l'IPS indiquent des périodes sèches, tandis que les valeurs positives indiquent des périodes humides.

Au départ, McKee *et al.* (1993) ont établi différentes classes basées sur les valeurs de l'indice SPI, qui prenaient en compte la gravité de la sécheresse. Plusieurs chercheurs ont ensuite mis au point de nouvelles classifications modifiées, notamment Agnew (2000) et Aghrab (2003). Dans cette étude, la classification CPC (2019) a été choisie pour catégoriser la gravité de la sécheresse, comme le montre le tableau.

En raison de sa simplicité et de sa souplesse de calcul, l'indice SPI est largement utilisé pour de multiples applications relatives à la gestion de la sécheresse, en particulier dans les secteurs de l'agriculture et des ressources en eau.

4.1.2. Indice Standardisé d'Évapotranspiration des Précipitations (SPEI)

Le SPEI, développé par Vicente-Serrano *et al.* (2010), est également considéré comme un indice relativement nouveau pour la surveillance de la sécheresse et l'alerte précoce. Il est similaire au concept de l'indice SPI, mais il incorpore la composante de la température pour

combiner l'action de l'évapotranspiration potentielle (PET) et des précipitations dans la détermination de la sécheresse.

Ici, la méthode simple de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) est bien appliquée pour calculer l'évapotranspiration potentielle. Conformément au concept original, l'indice SPEI utilise la distribution de probabilité log-logistique (Yu *et al.*, 2017). Il peut être calculé à différentes échelles de temps, de 1 mois à 48 mois, voire plus.

En raison de son utilité et de sa flexibilité, le SPEI est un indice idéal pour identifier les impacts du changement climatique sur la sévérité de la sécheresse. Dans cette étude, la classification utilisée pour l'indice SPI et l'indice SPEI était la même (Tab 5).

4.1.3. Indice de Gravité de la Sécheresse de Palmer (PDSI)

En 1965, Palmer a développé l'indice PDSI en utilisant le concept de bilan hydrique climatique, qui comprend la température et les précipitations. Il s'agit de l'indice le plus utilisé et le plus reconnu pour fournir des informations sur la sécheresse à long terme. L'indice PDSI est une simplification de l'anomalie de l'humidité du sol basée sur la différence entre le taux d'évaporation potentielle et les précipitations de recharge.

Il est principalement développé pour identifier la fréquence des périodes humides et des sécheresses saisonnières affectant l'agriculture, ainsi que d'autres types d'impacts associés. Les valeurs et les catégories de l'indice PDSI sont détaillées dans le tableau.

4.1.4. Indice de Reconnaissance de la Sécheresse (RDI)

L'indice RDI, développé en 2005 par Tsakiris et Vangelis, est l'un des indices les plus récents pour comprendre l'occurrence de la sécheresse. Selon Cai *et al.* (2015), le RDI est plus sensible que le SPI pour les zones arides et semi-arides. Il peut également prendre en compte les mois sans précipitations (Abubakar *et al.*, 2020). Le RDI est obtenu en calculant le rapport entre les précipitations cumulées et les valeurs d'évapotranspiration potentielle (PET), qui correspondent à la distribution gamma.

Le PET peut être estimé à l'aide de différentes méthodes basées sur la température, telles que Hargreaves, Thornthwaite et Blaney-Criddle. Dans cette étude, la méthode populaire de Thornthwaite a été appliquée pour calculer le facteur PET.

Les classes de sécheresse RDI et SPI sont similaires ; elles peuvent également être classées comme modérées, sévères et extrêmes (les sécheresses légères ne sont pas prises en compte) (Tab 5).

4.2. Paramètres descriptifs de la sécheresse

Dans les études de la sécheresse, il est important d'évoquer certains paramètres qui permettent à décrire et à caractériser la sécheresse, notamment par sa sévérité, sa durée et sa fréquence.

4.2.1. Sévérité de la sécheresse

La sévérité de la sécheresse peut être définie comme étant l'ampleur et la gravité des conséquences du déficit de précipitations. Elle correspond généralement, aux valeurs les plus faibles et continuellement négatives des indices appropriés à la sécheresse. Dans le cas de notre étude, la gravité de la sécheresse a été classée en trois catégories : modérée (D1), sévère (D2) et extrême (D3) en se basant sur la classification des du Climate Prediction Center (CPC) (2019), Palmer (1965), et Tikgas *et al.* (2013) (Tab 5).

Tableau 5. Classification des sécheresses selon les valeurs de SPI, SPEI, PDSI et RDI.

Catégorie de Sécheresse	Description	SPI/SPEI (CPC, 2019)	PDSI (Palmer, 1965)	RDI (Tikgas <i>et al.</i> , 2013)
D1	Sécheresse modérée	-0,8 à -1,29	-2,0 à -2,99	-1,0 à -1,49
D2	Sécheresse sévère	-1,3 à -1,59	-3,0 à -3,99	-1,5 à -1,99
D3	Sécheresse extrême	-1,6 ou moins	-4,0 ou moins	-2,0 ou moins

4.2.2. Durée de la sécheresse

La durée est l'une des caractéristiques importantes de la sécheresse. Elle correspond, généralement, au nombre de jours, de mois voire des années consécutives pendant lesquels le déficit pluviométrique s'est manifesté. Chaque événement de sécheresse a donc une durée définie par son début et sa fin (Soro *et al.*, 2014). Dans notre étude, nous avons adopté les échelles temporelles de Nandintsetseg et Shinoda (2013), qui ont classé les durées de la sécheresse comme suit : court terme (1 mois), moyen terme (2-3 mois et 4-5 mois), et long terme (6-9 mois et ≥ 10 mois).

4.2.3. Fréquence de la sécheresse

La fréquence des sécheresses présente l'avantage supplémentaire de caractériser l'occurrence des épisodes sèches sur une période déterminée. Elle peut être mesurée par le nombre de fois de répétition des événements de sécheresse dans un intervalle donné. En effet, la fréquence reste un paramètre clé pour améliorer l'évaluation et l'atténuation des risques d'une sécheresse installée dans une telle région. Ici, nous avons pris en compte comme variables, la fréquence temporelle de la sécheresse produite sur les différentes échelles de temps précisées auparavant, et ainsi, la fréquence cumulée des différentes classes de sévérité de sécheresse.

II. Analyse de la vulnérabilité et de la résilience socio-écologique face au changement climatique

Dans cette partie, nous tentons, d'abord, à adopter une approche territorialisée qui vise à mesurer la vulnérabilité socio-écologique face au changement climatique dans les différentes communes territoriales de la région des Hautes Plaines Sétifiennes à l'aide d'un indice de vulnérabilité. Et par la suite, ces résultats feront l'objet d'établir une présentation cartographique illustrant les profils vulnérabilité/résilience dans la région d'étude.

1. Description de l'indice de Cartographie de la Vulnérabilité au Changement Climatique (CVCC)

La Banque mondiale a élaboré le nouvel indice de vulnérabilité au changement climatique (CVCC), qui a été publié, en 2011, par la société mondiale de conseil en risques. Il s'agit d'un outil qui propose une approche structurée et objective pour identifier, classer et cartographier la vulnérabilité aux effets du changement climatique à un échelon régional (Messouli *et al.*, 2013).

Au sein de l'indice de (CVCC), la vulnérabilité fait référence aux trois variables principales qui ont été définies de manière précise par le GIEC. C'est, en particulier, l'exposition aux catastrophes naturelles liées au climat, la sensibilité humaine incluant la répartition de la population, le développement, les ressources naturelles, la dépendance agricole et enfin, la capacité d'adaptation du gouvernement et des infrastructures d'un pays pour faire face au changement climatique (Climate-ADAPT, 2022), en incluant des

indicateurs sociaux, économiques et environnementaux pour chacun de ces trois domaines clés (GIEC, 2001).

Cet indice a été, initialement, développé pour le Tadjikistan avant d'être adapté au Mexique avec des ajustements concernant la capacité d'adaptation. Ces applications ont pour l'objectifs de mettre en évidence les zones de préoccupation au sein de l'environnement, et pour une gestion plus efficace des ressources.

Il s'agit d'un indice fondé sur un principe d'une corrélation inverse entre la résilience et la vulnérabilité : moins le système est vulnérable, plus il est résilient (et inversement).

2. Modèle conceptuel pour l'élaboration de l'indice (CVCC)

Pour avoir un score de l'indice de vulnérabilité socio-écologique, les variables employées pour former ses trois composantes : exposition, sensibilité, et capacité d'adaptation doivent être regroupées et converties en indices numériques.

Les étapes clés de l'élaboration de l'indice CVCC pour mesurer la vulnérabilité comprend :

Première étape : Calcul de la composante « Exposition »

Les six variables de la composante exposition évaluent l'exposition à la variabilité et aux variations extrêmes de température et de précipitations, ainsi qu'aux catastrophes naturelles :

- 1) L'écart-type de la température moyenne mensuelle de 1980 à 2021 ;
- 2) L'écart-type des précipitations totales mensuelles ;
- 3) La différence entre le maximum et le minimum de la température moyenne mensuelle.
- 4) La fréquence des mois extrêmement chauds ou extrêmement froids, caractérisée par la fréquence des mois où la température moyenne dépasse 30 °C ou est tombée inférieure à -10 °C ;
- 5) La fréquence des mois extrêmement secs au printemps (moins de 5 ml de précipitations totales par mois) et en été (0 ml de précipitations totales par mois);
- 6) La fréquence des catastrophes liées aux conditions météorologiques entre 1965-2021 (Heltberg et Bonch-Osmolovskiy, 2011 ; Messouli *et al.*, 2013).

L'exposition est calculée par la formule suivante :

$$E = [((ETT1+...+ETT12) /12) + ((ETP1+...+ETP12) /12) + ((D1+...+D12) /12) + (Nchaud+ Nfroid) + (Nsec) + (N catastrophe)] /6$$

Deuxième étape : Calcul de la composante « Sensibilité »

Les cinq variables de la composante sensibilité sont l'agriculture, la démographie, la santé, la pauvreté, ainsi que la sensibilité aux catastrophes liées au CC et à la variabilité. Chacun de ces variables visent à capturer les différents aspects de sensibilité les plus perceptibles.

La sensibilité de l'agriculture face à la variabilité et aux effets du CC est évaluée en utilisant la moyenne de trois variables différentes. Superficie des terres irriguées par habitant, niveau de diversification de l'utilisation des terres de culture mesuré par l'indice Herfindahl, et la densité du cheptel ;

- 1) La sensibilité démographique est évaluée en fonction de la moyenne de la proportion de la population âgée de moins de 5 ans et de plus de 65 ans ;
- 2) La sensibilité aux conséquences néfastes sur la santé est évaluée, ici, en tenant compte de la sécurité hydrique, à savoir la présence ou l'absence de risque de dépendance de ménages aux sources d'eau non protégées ;
- 3) La sensibilité à la pauvreté est mesurée par la moyenne de taux de chômage et le ratio de la richesse des ménages ;
- 4) La sensibilité aux effets des catastrophes naturelles climatiques (par opposition à l'exposition à ces catastrophes) est évaluée en fonction du taux de mortalité naturelle lié aux catastrophes climatiques et de l'estimation des coûts économiques de ces catastrophes par habitant, si les données sont disponibles (Heltberg et Bonch-Osmolovskiy, 2011 ; Messouli *et al.*, 2013).

La sensibilité est calculée, donc, par la formule suivante :

$$S = [((A1+A2+A3)/3) + ((D1+D2)/2) + (S) + ((P1+P2)/2) + (Nmort)] /5$$

Troisième étape : Calcul de la composante « Capacité d'adaptation »

D'après Heltberg et Bonch-Osmolovski (2011) et Messouli *et al.* (2013), la composante de capacité d'adaptation comprend quatre variables qui évaluent la consommation des ménages, la proportion de la population ayant une éducation supérieure aux études secondaires, la diversification des revenus, et enfin, le développement institutionnel et le capital social, mesurés par la moyenne de trois variables : la confiance (proportion de ménages ayant une confiance générale envers les autres); l'absence de corruption et la participation politique (proportion de ménages qui ont participé aux élections).

Dans notre cas d'étude, nous avons tenus des remaniements au niveau du sous-indice capacité d'adaptation par souci de l'absence des données nécessaires pour le calculer à l'échelle de notre région d'étude.

Pour mieux le concevoir, nous avons reconstruit la capacité d'adaptation, en s'appuyant sur d'autres variables adéquates à la région des HPS. Ces variables sont, notamment, tirées de l'approche de Muyambo *et al.* (2024), qui intègrent les variables de ressources naturelles, sociales et infrastructurelles parmi la capacité adaptative.

- 1) Les quatre variables ajustées de la capacité adaptative sont, donc ;
- 2) La superficie de la couverture forestière ;
- 3) La part de la population ayant au minimum un niveau d'étude secondaire ;
- 4) Les ressources infrastructurelles mesurées par la moyenne de trois variables : l'infrastructure hydraulique, les routes en bon état (routes revêtues), et enfin, le taux d'accordement aux ressources énergétiques : gaz et électricité ;
- 5) Le taux d'association citoyenne écologique engagée pour la protection de l'environnement.

La capacité adaptative est calculée, donc, par la formule suivante :

$$CA = [(F) + (E) + ((I1 + I2 + I3) / 3) + (Nassociation)] / 4$$

3. Méthode d'agrégation des composantes en un seul indice composite

Avant d'entamer le processus de rassembler et de combiner les résultats de trois composantes en un seul indice global de vulnérabilité, il est très important de signaler que toutes les variables doivent être normalisées par une transformation linéaire dans l'intervalle 0-1. Plus précisément, on convertit la variable X en X' , où $X' = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$

dont X min et X max représentent respectivement les valeurs minimales et maximales de X dans toute la région (Messouli *et al.*, 2013).

Ensuite, il existe différentes méthodes pour l'agrégation des variables en composantes et des composantes en un seul indice composite tel que la moyenne simple ou la moyenne pondérée. Ici, nous avons opté pour l'équation de National Park Service (2022) pour calculer la vulnérabilité comme suite :

$$\text{Vulnérabilité} = (\text{Exposition} + \text{Sensibilité}) - \text{Capacité d'Adaptation}$$

Les résultats de l'indice de CVCC font l'objet d'une représentation cartographique qui permette aux utilisateurs d'évaluer, instantanément, le degré de vulnérabilité et de résilience globale ou sectorielle d'une région, dont les valeurs attribuées varient sur une échelle allant du score 0 moins vulnérable (plus résilient) au score 1 plus vulnérable (moins résilient) (Figure 27).

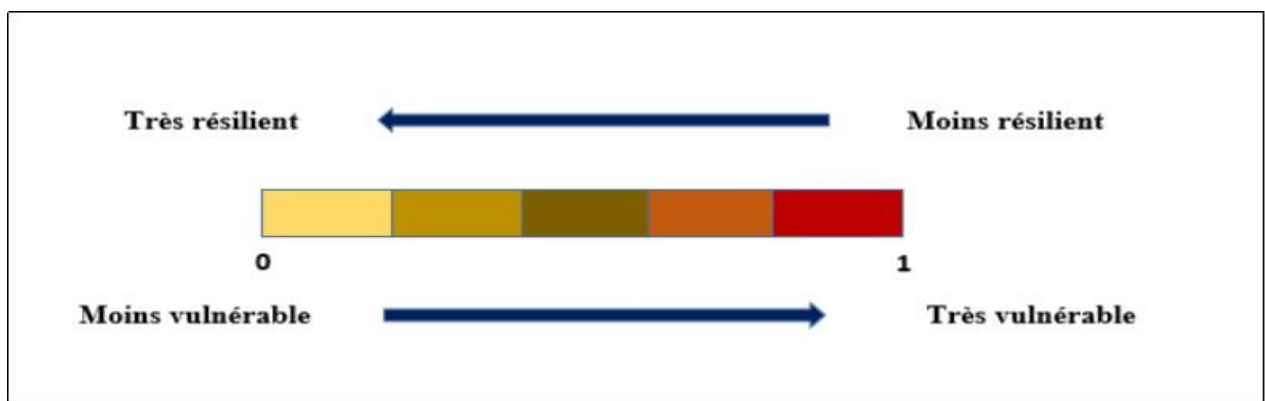


Figure 27. Échelle de vulnérabilité et de résilience.

4. Sources des données exploitées

L'application de l'indice CVCC sur les 27 communes territoriales de la région des HPS, nécessite également, la création d'une base de données solide qui englobe les informations nécessaires pour chaque variable structurelle. Pour cet effet, un large éventail de données a été collecté à partir de différentes sources et institutions :

Tableau 6. Sources de données utilisées dans le calcul de l'indice CVCC pour les HPS.

Composante	Variable	Source des données	Date de référence
Exposition	Température et Précipitations	Base de données "TerraClimate"	1980-2021
	Fréquence des catastrophes liées aux conditions météorologiques	Direction de la protection civile de la wilaya de Sétif	1965-2021
Sensibilité	Sensibilité de l'agriculture	Direction de l'agriculture de la wilaya de Sétif	Année 2021
	Sensibilité démographique	Direction de la programmation et du suivi budgétaires de la wilaya de Sétif	Année 2021
	Sensibilité de l'insécurité hydrique	Direction des ressources en eaux	Année 2021
	Sensibilité à la pauvreté	Direction de la programmation et du suivi budgétaires de la wilaya de Sétif	Année 2021
	Sensibilité aux effets des catastrophes climatiques	Direction de la protection civile de la wilaya de Sétif	1965-2021
Capacité d'adaptation	Superficie de la couverture forestière	Conservation des forêts de la wilaya de Sétif	Année 2021
	Education	Direction de la programmation et du suivi budgétaires de la wilaya de Sétif	Année 2021
	Ressources infrastructurelles	Direction de la programmation et du suivi budgétaires de la wilaya de Sétif	Année 2021
	Taux des Associations écologiques	Direction de l'environnement de la wilaya de Sétif	Année 2023

III. Analyse de la résilience écologique face au changement climatique

Dans cette partie, nous avons focaliser sur deux importants massifs forestiers de Djebel Youcef et de Boutaleb qu'appartiennent à la région des Hautes Plaines Sétifiennes pour mener notre étude de résilience écologique.

Pour cette étude, nous avons engagé d'abord une prospection sur terrains afin d'identifier et cartographier les peuplements végétaux. Ensuite, nous avons effectué une analyse spatiotemporelle de la résilience des écosystèmes forestiers en se basant sur la méthode métrique de stabilité temporelle de la végétation. Enfin, nous avons identifié les groupements végétaux les plus résilients par rapport à d'autre.

1. Prospection du terrain

Afin d'évaluer la résilience écologique des deux massifs forestiers Djebel Youcef et celui de Boutaleb, de nombreuses visites et prospections de terrain ont été réalisées en collaboration avec les agents forestiers des circonscriptions de Ain Oulmène et d'El Eulma.

Ces prospections ont permis d'apprécier le degré de vulnérabilité des écosystèmes face aux effets du changement climatique, ainsi que de relever les coordonnées géographiques des différentes formations végétales constitutives en vue de l'élaboration de cartes de peuplements végétaux pour les deux sites d'études.

Les outils nécessaires pour ce travail sont également :

- Un appareil photos numérique pour les différentes prises d'images sur terrain (formations végétales, espèces caractéristiques, signes de vulnérabilité.... etc.).
- Un GPS (Global Position System) pour déterminer avec précision les coordonnées géographiques des différents points sélectionnés sur le terrain grâce à son système de géolocalisation par satellite.

2. Cartographie des peuplements végétaux

Dans le cadre de la cartographie des peuplements végétaux constitutifs des sites d'étude Djebel Youcef et Djebel Boutaleb, nous avons parcouru à appliquer une classification supervisée à partir des échantillons représentatifs de chaque classe de végétation définie sur terrain.

Cette approche est réalisée par la méthode de Maximum Likelihood Classification (MLC) sur le logiciel Arcmap 10.8 en utilisant l'image satellite Landsat (8-OLI-2021) téléchargée à partir du site du United States Geological Survey où elle est précédée par une prétraitement de correction radiométrique et atmosphérique afin d'améliorer sa qualité des données.

3. Description de la méthode de métriques de stabilité temporelle de la végétation " *Time Series Stability Metrics* "

Cette méthode a été formalisée par Lloret *et al.* (2011) pour quantifier la résilience des écosystèmes lors d'un événement de perturbation notamment les sécheresses, les incendies, les canicules...etc. à partir de séries temporelles comme le NDVI satellite. D'après Lloret *et al.* (2011), l'utilisation de plusieurs indices pour capturer les différents aspects de la résilience permet une compréhension plus complète que l'utilisation d'estimateurs uniques. Pour cet effet cette méthode propose un cadre pour décomposer la stabilité écologique en trois composantes ou métriques clés : la résistance, la récupération et la résilience de la végétation :

La résistance : mesure la capacité d'un écosystème à maintenir sa performance écologique pendant une perturbation. Dans notre cas, elle est calculée comme le rapport entre la croissance végétale pendant la période de sécheresse et la croissance avant la sécheresse. Plus les valeurs sont proches et supérieures à 1, plus l'écosystème résiste bien au choc (Lloret *et al.*, 2011).

$$\text{Résistance} = \frac{\text{NDVI pendant la perturbation}}{\text{NDVI avant la perturbation}}$$

La récupération : représente la capacité d'un écosystème à retrouver sa performance après une perturbation. Il s'agit du rapport entre la croissance après la sécheresse et la croissance pendant la sécheresse. Les valeurs supérieures à 1 traduisent une hausse croissance et bonne récupération de l'écosystème après l'épisode (Lloret *et al.*, 2011).

$$\text{Récupération} = \frac{\text{NDVI après la perturbation}}{\text{NDVI pendant la perturbation}}$$

La résilience : désigne la capacité d'un écosystème à retrouver son niveau de performance initial après une perturbation. Elle se calcule en comparant la performance après la perturbation à celle d'avant. Il s'agit du rapport entre la récupération post-stress et la résistance immédiate de la végétation (Lloret *et al.*, 2011).

$$\text{Résilience} = \frac{\text{Récupération}}{\text{Résistance}}$$

3.1. Les données utilisées

Pour calculer les métriques de stabilité de Lloret *et al.* (2011), il est important de simuler une série temporelle du NDVI avec des événements de stress. Dans notre cas, nous

avons travaillé sur une longue série mensuelle de NDVI couvrant la période de 1984 à 2022 obtenue à partir des images satellites Landsat (LT05, LE07, LC08) combinées sur la plateforme Google Earth Engine. Les images ont été prétraitées pour la correction atmosphérique et l'harmonisation inter-sensorielle afin de garantir la continuité et la comparabilité des valeurs de NDVI sur l'ensemble de la période d'étude.

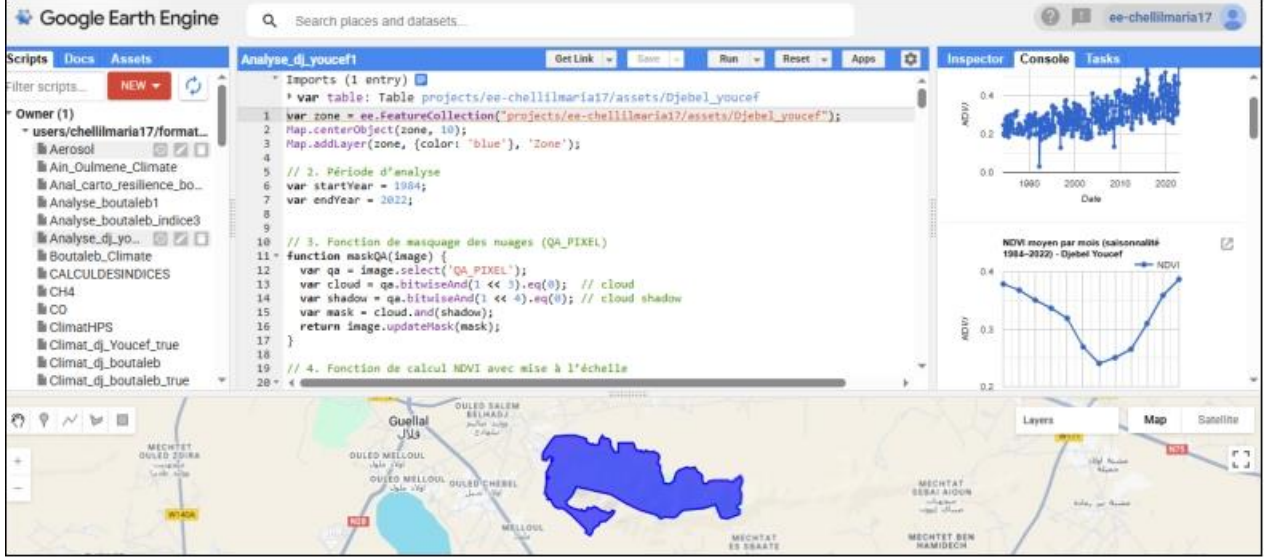


Figure 28. Travail sur l'interface de Google Earth Engine.

3.2. Détection de l'évènement de stress (sécheresses)

Pour détecter les anomalies ou les changements brutaux dans la série temporelle du NDVI, nous avons besoin d'évaluer combien une valeur mensuelle du NDVI s'écarte à la moyenne historique calculée pour le même mois sur la période (1984-2022). Cette approche permet de repérer les événements de stress où le NDVI s'éloigne de la normale.

En statistique, cette méthode convient au calcul du Z-score défini par la formule suivante :

$$Z = \frac{(NDVI_{mois} - \mu_{mois})}{\sigma_{mois}}$$

Où :

$NDVI_{mois}$: valeur observée du NDVI pour le mois i ,

μ_{mois} : moyenne du NDVI pour ce même mois calculé sur l'ensemble de la période d'étude,

σ_{mois} : écart-type des valeurs mensuelles de NDVI.

Les épisodes de stress végétatif sont identifiés lorsque les valeurs du z-score se situent entre -3,5 et 0, ce qui indique une baisse anormale du NDVI par rapport à la moyenne.

3.3. Analyse de la résilience écologique par type de formations végétales et score global du site

Pour connaître la proportion de chaque formation forestière dans les différentes classes de résilience (modérée, complète, amplifiée), une jointure spatiale est réalisée entre le raster des peuplements végétaux et celui de la résilience reclassée. Cette opération est effectuée dans Arcmap 10.8 à l'aide de l'outil Tabulate Area (Spatial Analyst → Zonal) pour calculer les surfaces correspondant à chaque combinaison de classe de résilience et de type de formation végétale. Les résultats sont ensuite exportés vers Excel pour le calcul des pourcentages de surface et la représentation graphique de la répartition de résilience par type de formation végétale.

Pour évaluer le score global de résilience des sites d'étude, une moyenne pondérée a été calculée pour chaque formation végétale. Cette moyenne prend en compte le pourcentage de chaque classe de résilience selon la formule suivante :

$$Score\ pondérée = \frac{(1 \times \%modérée + 2 \times \%complète + 3 \times \%amplifiée)}{100}$$

Cette approche de pondération par scores numériques permet de synthétiser la distribution des classes en indice unique facilitant l'interprétation et la comparaison (Kent, 2011).

Le score global du site est ensuite obtenu en calculant la moyenne générale des scores de toutes les formations qui le composent. Ce score permet d'interpréter le niveau de résilience écologique du site selon les intervalles suivants :

- 1,00 – 1,66 indique une faible résilience ;
- 1,67 – 2,33 indique une moyenne résilience ;
- 2,34 – 3,00 indique une forte résilience.

IV. Enquête sur la perception du changement climatique et la résilience sociétale dans la région des HPS

Dans cette partie, nous avons concevoir un questionnaire destiné aux citoyens de la région des Hautes Plaines Sétifiennes afin d'évaluer leur perception et connaissance sur le phénomène du changement climatique. Il s'agit de la première enquête de ce genre dans notre champ de recherche visant à explorer la dimension sociale que nous considérons comme un facteur essentiel de la résilience sociétale, en s'intéressant particulièrement à la culture des populations locales, à leur relation avec l'environnement, ainsi qu'à leurs comportements et capacités d'adaptation face aux risques liés au changement climatique.

1. Structure de questionnaire

En vue de faciliter la compréhension du contenu et de recueillir un maximum d'informations auprès des habitants, le questionnaire a été rédigé en langue arabe. Il est structuré en quatre volets principaux, chacun comportant des questions variables portant notamment sur :

- 1) Le profil sociodémographique des enquêtés.
- 2) La perception et les connaissances sociales du changement climatique.
- 3) La perception des incidences du changement climatique au niveau de la région des HPS.
- 4) La perception de la résilience sociale et de la transition écologique.

2. Collecte de données

Le questionnaire a été administré selon deux méthode complémentaires. La première consiste à une version en ligne réalisé via l'application Google Forms où le formulaire a été diffusé à l'aide d'un lien partagé sur les réseaux sociaux comme Facebook et Telegram pour permettre une large participation de différentes catégories sociales. La seconde méthode est plus classique où le questionnaire a été imprimé en format papier et distribué pour un remplissage direct. Cette approche a principalement ciblé les personnes âgées de plus de 45 ans, afin de profiter leur expérience de vie en lien avec le climat.

L'ensemble des réponses issues de deux méthodes ont été ensuite saisies dans le logiciel Excel pour l'analyse et l'interprétation des résultats.

De nouvelles réponses ont été ajoutées

إستبيان حول تقييم ظاهرة التغير المناخي ومرونة المجتمع في التكيف مع الآثار الناجمة عنه

Questions Réponses 261 Paramètres

Section 1 sur 5

إستبيان حول تقييم ظاهرة التغير المناخي ومرونة المجتمع في التكيف مع الآثار الناجمة عنه في منطقة سطيف

B I U ☰ ☲

لأهداف تخص إجراء بحث حول تقييم مدى معرفة وثقافة المواطن السطيفي بظاهرة التغير المناخي والتحديات الناجمة عنه سواء على المستوى المحلي أو الوطني ، هذا بإعداد هذا الإستبيان الموجه خصيصا لسكان منطقة الجنداب المأوى بسطيف لتزويدهم على حجم إدراك المجتمع لهذه الظاهرة وعلاوة على التكيف معها وأيضا مدى قدرته على التكيف مع الآثار الناجمة عنه في منطقة سطيف.

لذلك نرجوا من المواطن الكريم الإجابة عن كل الاسئلة الموجودة بكل شفافية وسراحة

Figure 29. Questionnaire en ligne sur Google Forms en langue arabe.
(<https://docs.google.com/forms/d/1amGthRYdjK1AeBTRfWlfyK57Fik4pSCAXoth8SHHVQU/edit>).

RÉSULTATS & DISCUSSION

Partie I. Étude spatiotemporelle du climat et de la sécheresse régionale

1. Profil climatique et bioclimatique de la région étudiée

1.1. Analyse des paramètres climatiques

1.1.1. Températures

La température est un paramètre clé dans l'étude et la caractérisation des climats vue son rôle prédominant dans le rayonnement et le bilan énergétique, d'où son importance capitale dans les études qui touchent de près ou de loin le domaine du changement climatique.

Beaucoup plus que l'importance des précipitations, la température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'être vivants dans la biosphère (Ramade, 1984).

Pour apprécier ce paramètre, il convient de prendre en compte plusieurs variables : la température moyenne mensuelle (T moy), les moyennes mensuelles des minimums et des maximums (T min, T max), ainsi que la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M), et la moyenne des minimas du mois le plus froid (m). Le tableau ci-dessus montre les données thermiques, des trois stations de référence dans une période de 42 ans (1980-2021).

Tableau 7. Moyennes mensuelles et annuelles des températures en (°C) des stations d'étude pour la période (1980-2021).

Mois	Sétif			Ain Oulmène			Boutaleb		
	T min	T max	T moy	T min	T max	T moy	T min	T max	T moy
Janvier	0,76	9,41	5,08	0,68	9,59	5,14	0,32	9,53	4,93
Février	1,13	11,03	6,08	1,10	11,11	6,10	0,95	11,17	6,06
Mars	3,74	14,35	9,05	3,79	14,69	9,24	3,73	14,94	9,34
Avril	6,00	18,43	12,22	6,38	19,00	12,69	6,38	19,31	12,84
Mai	10,16	22,93	16,54	10,21	23,26	16,73	10,10	23,53	16,81
Juin	15,34	29,63	22,49	15,22	29,55	22,38	15,07	29,66	22,36
Juillet	18,55	34,30	26,43	18,14	33,83	25,99	18,16	34,18	26,17
Août	18,08	33,14	25,61	18,17	33,19	25,68	17,86	33,16	25,51
Septembre	14,28	27,21	20,74	14,75	27,67	21,21	14,50	27,63	21,06
Octobre	10,53	21,77	16,15	10,52	21,91	16,21	10,15	21,76	15,96
Novembre	5,46	14,75	10,11	5,55	15,02	10,28	5,08	14,82	9,95
Décembre	1,51	10,51	6,01	1,44	10,66	6,05	1,06	10,49	5,78
Moy annuel	8,79	20,62	14,71	8,83	20,79	14,81	8,61	20,85	14,73

Les moyennes mensuelles ou trimestrielles sont fréquemment utilisées par les climatologues et fournissent des résultats plus significatifs (Quézel et Médail, 2003).

L'analyse des données du tableau ci-dessus montre que les températures mensuelles dans la région de Sétif varient avec un même rythme caractéristique des régions méditerranéennes ; elles augmentent progressivement de l'hiver à l'été en marquant un maximum, puis diminuent pour atteindre un minimum, délimitant l'année en deux périodes principales, la première froide allant de Novembre à Avril et l'autre chaude allant de Mai à Octobre.

Les températures moyennes mensuelles interannuelles les plus élevées sont généralement enregistrées en Juillet, avec 26,43°C, 25,99 °C et 26,17°C à Sétif, Ain Oulmène, et Boutaleb respectivement. Tandis que les moyennes les plus basses sont relevées en hiver durant le mois de Janvier avec des valeurs de 5,08 °C à Sétif, 5,14°C à Ain Oulmène, et 4,93°C à Boutaleb.

Pour la température maximale, les valeurs varient autour des moyennes interannuelles de 20,62 °C, 20,79 °C, et 20,85 °C dans les stations Sétif, Ain Oulmène, et Boutaleb respectivement. Les valeurs les plus élevées (M) sont globalement enregistrées en Juillet, atteignant 34,3 °C à Sétif, 33,83 °C à Ain Oulmène, et 34,18 °C à Boutaleb.

Concernant la température minimale, les moyennes interannuelles sont de 8,79 °C, 8,83 °C, et 8,61 °C dans les stations Sétif, Ain Oulmène, et Boutaleb respectivement. Les valeurs les plus basses (m) de cette composante sont observées en Janvier, avec des températures de 0,76 °C à Sétif, 0,68 °C à Ain Oulmène, et 0,32 °C à Boutaleb.

Cette région n'est pas à l'abri du changement climatique, qui touche l'ensemble de la planète. Ainsi, le climat local connaît ces dernières décennies une aridité de plus en plus marquée et un réchauffement de plus en plus ressenti.

En effet, la dynamique annuelle des températures moyennes à travers la série temporelle (1980–2021) montre une tendance à la hausse notable, particulièrement au cours de la dernière décennie. Ce changement sensible est accompagné par une dispersion des moyennes thermiques où les valeurs annuelles fluctuent entre un minimum de 13,4 °C à Sétif, 13,49 °C à Ain Oulmène, et 13,41 °C à Boutaleb enregistré globalement en 1980 et un maximum de

16,17 °C, 16,42 °C, et 16,33 °C enregistré à 2021 à Sétif, Ain Oulmène, et Boutaleb, respectivement.

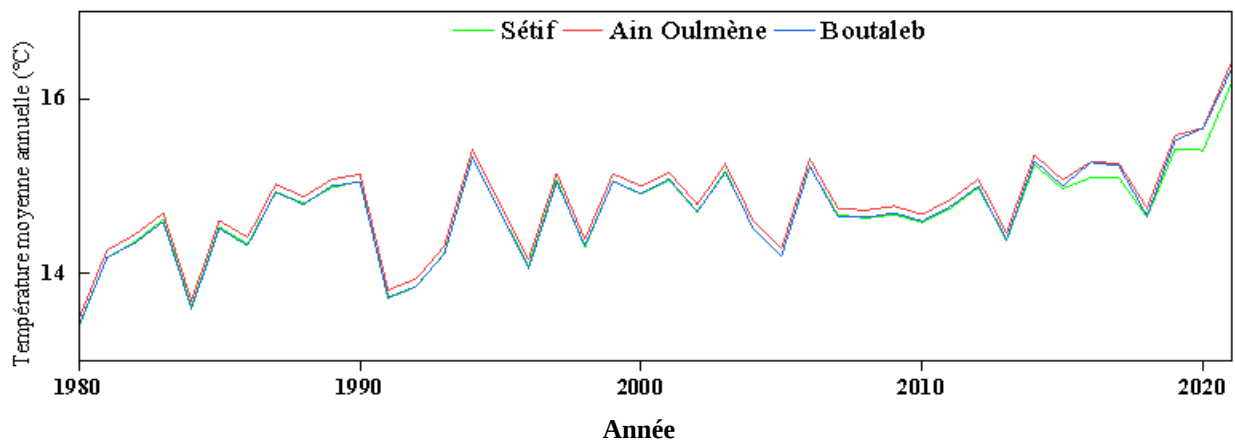


Figure 30. Variation interannuelle des températures moyennes pour les stations Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb au cours de la période (1980-2021).

1.1.2. Précipitations

Les précipitations dans leurs formes constituent la principale source d'eau nécessaire à la survie de la végétation dans les régions arides et semi-arides. Elles sont aussi le principal facteur des différents processus écologiques (Liu *et al.*, 2017). En effet, ces dernières conditionnent le maintien et la répartition du tapis végétal d'une part et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion d'autre part, notamment suite aux pluies orageuses (Djebaili, 1978).

La répartition mensuelle et annuelle des précipitations moyennes enregistrées sur une période de 42 ans (1980-2021) pour les différentes stations d'étude est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8. Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations en (mm) des stations d'étude pour la période (1980-2021).

Mois	Précipitations (mm)		
	Sétif	Ain Oulmène	Boutaleb
Janvier	55,53	37,86	36,10
Février	37,93	32,68	28,75
Mars	38,84	33,08	36,26
Avril	38,96	27,33	25,03
Mai	41,65	40,52	34,36
Juin	21,63	24,37	18,33

Juillet	8,16	7,55	4,74
Août	14,22	6,82	8,07
Septembre	41,94	30,58	29,19
Octobre	30,76	30,87	30,92
Novembre	53,02	50,76	47,24
Décembre	60,67	38,39	35,45
Totale annuel	443,31	360,82	334,44

Les résultats de ce tableau confirment l'inégalité et l'irrégularité de la pluviométrie au sein de notre région d'étude, dont la supérieure annuelle des précipitations est marquée pour la station de Sétif avec 443,31 mm, tandis que la normale annuelle est pour la station d'Ain Oulmène avec 360,82 mm, et inférieure est pour la station de Boutaleb avec 334,44 mm. Les précipitations moyennes atteignent un pic pendant les mois de novembre et décembre, tandis que juillet est le mois le plus fréquemment sec.

1.1.3. Variabilité mensuelle, saisonnière et annuelle et des précipitations

La figure (31) illustre des fluctuations notables des précipitations mensuelles et saisonnières, mettant en évidence les alternances entre les phases pluvieuses et sèches. L'automne et l'hiver se distinguent comme les saisons les plus arrosées, représentant plus de 60 % des précipitations annuelles (Tab 9), avec un pic généralement observé en novembre ou décembre. Après cette période, les précipitations diminuent progressivement jusqu'à la fin du mois de mai, marquant ainsi le début de la saison sèche. La période de transition, comprise entre mars et mai, constitue une phase charnière entre la saison humide et la saison sèche. Ces variations saisonnières des précipitations jouent un rôle clé dans la caractérisation des épisodes de sécheresse, en particulier en ce qui concerne leur fréquence et leur intensité.

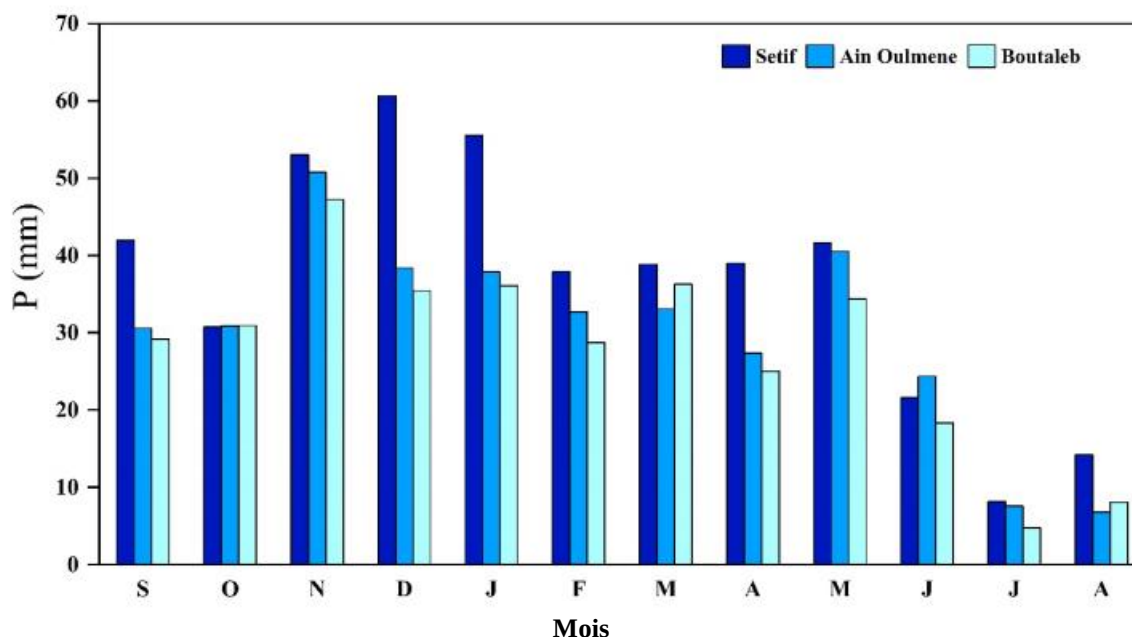


Figure 31. Moyenne mensuelle des précipitations dans les stations de Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb (1980-2021).

Les précipitations annuelles présentent une variabilité notable, marquée par une alternance d'années déficitaires et excédentaires. Les années les plus humides ont été enregistrées en 2003 et 1982, avec des quantités de précipitations atteignant respectivement 614,3 mm à Sétif, 498,4 mm à Ain Oulmène et 472,2 mm à Boutaleb. En revanche, les années les plus sèches ont eu lieu en 1983, avec des précipitations, particulièrement, faibles : 237,9 mm à Sétif, 198,2 mm à Ain Oulmène et 182,9 mm à Boutaleb.

De plus, l'analyse statistique met en évidence une certaine variabilité des précipitations annuelles, caractérisée par un écart-type variant de 71 à 86 mm et un coefficient de variation compris entre 51 et 65 (Tab 9). Ces résultats indiquent une certaine instabilité des précipitations d'une année à l'autre, soulignant l'importance de prendre en compte cette variabilité pour évaluer les épisodes de sécheresse et de surplus hydrique dans la région.

Tableau 9. Caractéristiques de base des précipitations annuelles et saisonnières dans les stations types de la zone d'étude entre 1980 et 2021.

Station	P	P	Année	P	Année	Moyenne mensuelle (mm)	ET (mm)	CV	Précipitations saisonnières (%)			
	Annuel (mm)	Max (mm)		Min (mm)					Automne	Hiver	Printemps	Été
Sétif	443,3	614,3	2003	237,9	1983	36,9	86	51	28	35	27	10
Ain Oulmène	360,8	498,4	1982	198,2	1983	30,1	73	60	31	30	28	11
Boutaleb	334,4	472,2	1982	182,9	1983	27,9	71	65	32	30	29	9

Au cours de la période d'étude allant de 1980 à 2021, la région des Hautes Plaines Sétifiennes a connu deux types de situations météorologiques distinctes :

- Situations d'humidité : caractérisées par des hauteurs de précipitations supérieures à la moyenne, ces années comprennent 1980, 1982, 1984, 1986, 1988, 1990, 1992, 1996, 1997, 1998, 1999, 2003, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2013 et 2018. La période la plus prolongée d'humidité a eu lieu entre 2006 et 2011, marquant une phase particulièrement favorable pour les précipitations dans la région.
- Situations de sécheresse : associées à des précipitations inférieures à la moyenne, ces années comprennent 1981, 1983, 1985, 1987, 1989, 1991, 1993, 1994, 1995, 2000, 2001, 2002, 2005, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2019, 2020 et 2021. La crise de sécheresse la plus extrême a eu lieu en 1983, et les conditions de sécheresse ont été de plus en plus persistantes et fréquentes au cours de la dernière décennie.

Ces variations marquent une alternance de phases humides et sèches, avec une tendance préoccupante à l'intensification et à la persistance des sécheresses, surtout au cours des dernières années.

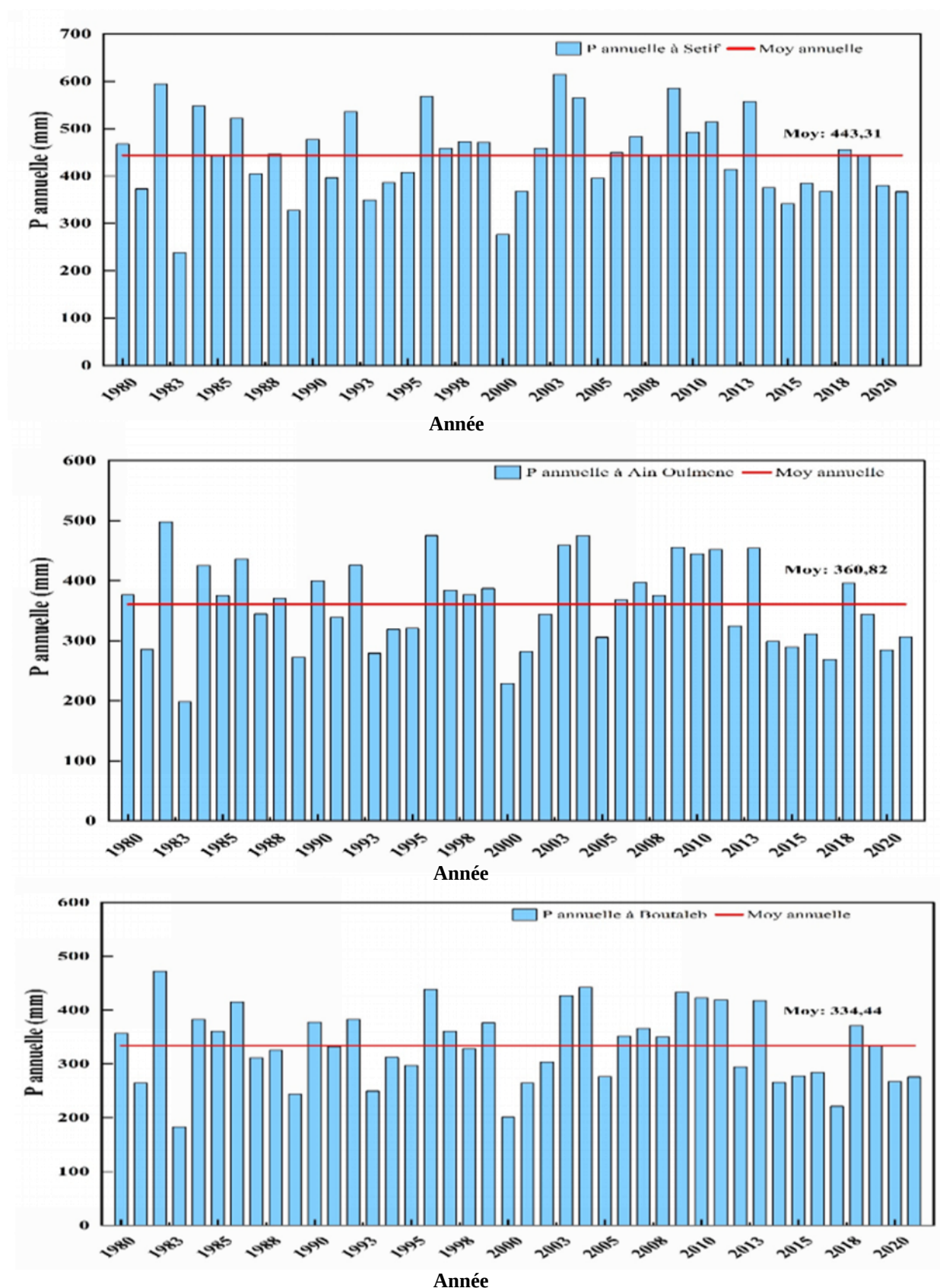


Figure 32. Évolution des précipitations annuelles dans les stations de Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb (1980-2021).

1.1.4. Humidité

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, sous forme de vapeur, ou bien ; le nombre de gramme de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air. Elle est mesurée par l'hygromètre.

À Sétif, l'humidité atmosphérique varie d'une saison à l'autre avec une moyenne mensuelle est d'environ 62,6%. Elle s'abaisse du mois de Janvier à 76,8% jusqu' au mois de juillet à 39,1% et elle continue d'augmenter jusqu' au mois de Décembre à 79,4%.

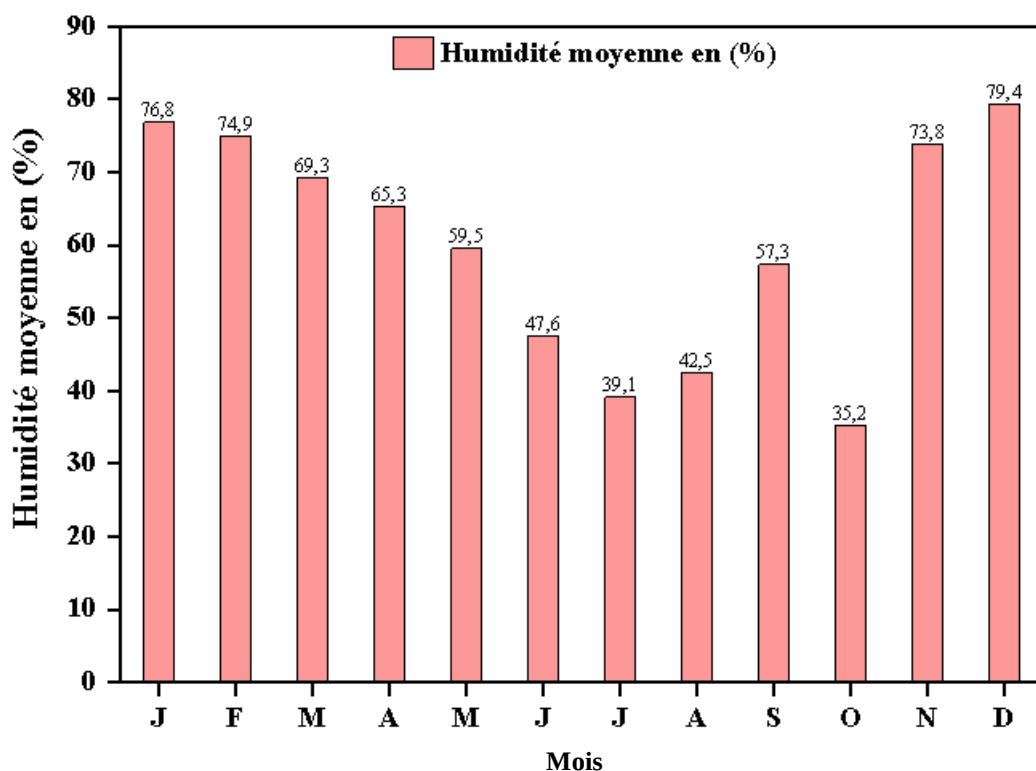


Figure 33. Humidité moyenne mensuelle au cours de la période (1981-2017) dans la région de Sétif (Données de l'ONM Sétif).

1.1.5. Vent

Le vent résulte du déplacement de l'atmosphère entre les hautes et les basses pressions. C'est un paramètre climatique qui influence le mouvement des fines particules de sable, aggravant ainsi le processus de désertification. Dans les régions arides et semi-arides, Il joue un rôle primordial dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols par l'action du dessèchement qui accélère la transpiration (Zamani *et al.*, 2020).

Les vents dans la wilaya de Sétif sont fortement influencés par les conditions topographiques locales. En hiver et en automne, ils soufflent surtout du versant Nord, Ouest et Nord-Ouest. Ce sont les vents humides, les plus chargés de pluies et sont les plus fréquents durant toute l'année. Par contre, en été les vents sont variables avec la manifestation du "Sirocco" (vent sec et chaud) qui remonte du Sud et même du Sud-Est. Ce vent augmente la température surtout dans la région Sud de la wilaya et apporte des quantités importantes de sable. Il dessèche la végétation et accélère la transpiration.

La vitesse moyenne mensuelle du vent dans la région de Sétif est de 3,2 m/s, la plus importante a lieu en Avril avec 3,6 m/s et la plus faible en Octobre avec 2,8 m/s.

Tableau 10. Vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/s) pendant la période (1981-2017) à la région de Sétif.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
V (m/s)	3,1	3,5	3,4	3,6	3,4	3,3	3,2	3,2	3,0	2,8	3,2	3,0	3,2

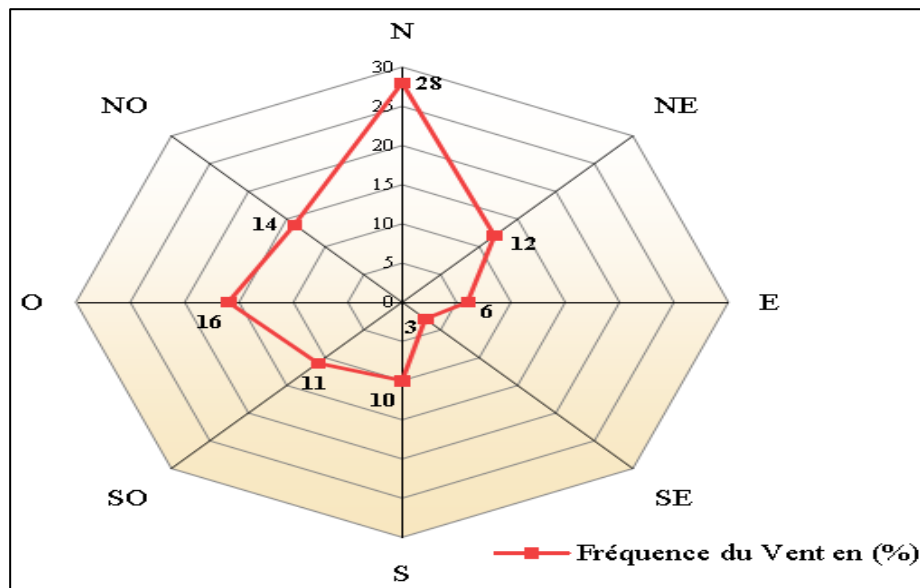


Figure 34. Rose des vents au cours de la période (1981-2017) dans la région de Sétif

(Données de l'ONM Sétif).

1.2. Typologie bioclimatique de la région étudiée

Depuis longtemps, la caractérisation du climat en région méditerranéenne repose sur l'interprétation du résultat des deux indices bioclimatiques qualifiés traditionnels, mais très utiles et démonstratifs. On parle souvent du diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen et du Quotient pluviométrique d'Emberger. Ces indices prennent, uniquement en considération les éléments généraux du climat, notamment les précipitations et les températures moyennes pour exprimer d'une manière synthétique les ambiances climatiques et la saison sèche où se manifeste la région d'étude.

1.2.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

C'est encore à l'heure actuelle un des indices les plus utilisés. Cet indice tient compte des moyennes mensuelles des précipitations en (mm) et de la température en (°C) pour donner une expression relative à la sécheresse estivale en durée et en intensité (Gaussen et Bagnouls, 1953). Le cumul des mois biologiquement secs constitue, donc, la saison sèche.

Pour vérifier cette relation, on doit adapter une échelle qui la concrétise ($P \leq 2T$); c'est la zone où la courbe de (P) passe en au-dessous de celle de double (T). Les diagrammes ombrothermiques des différentes stations, sont représentés sur la figure (35).

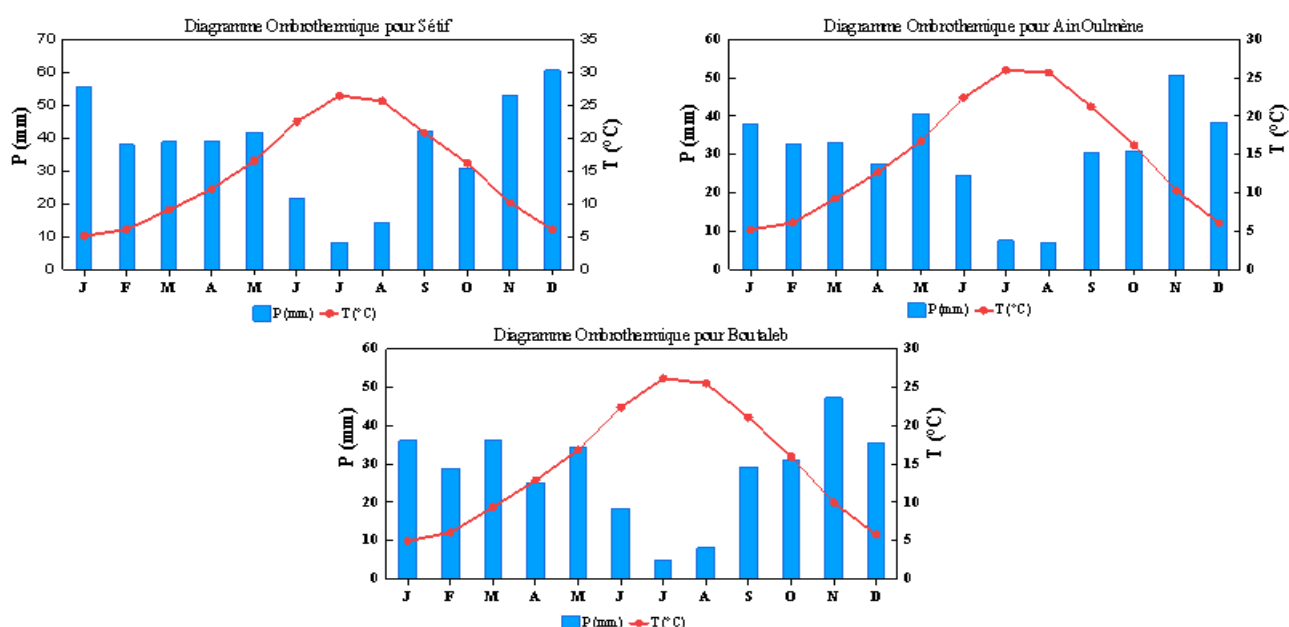


Figure 35. Diagramme ombrothermique de trois stations d'étude Sétif, Ain Oulmène, et Boutaleb (1981-2021).

Les diagrammes ombrothermiques établis pour les trois stations d'études révèlent que de la région des Hautes Plaines Sétifiennes subit une période de sécheresse qui se prolonge sur une durée de cinq mois. En fait, elle commence généralement au début de Mai et s'achève à la fin d'Octobre. Cette période plus au moins longue entraîne un déficit hydrique, ce qui influence considérablement la répartition et le développement biologique des essences végétales, qu'elles soient naturelles ou cultivées, diminuant ainsi leurs productivités durant cette phase critique.

1.2.2. Quotient Pluviométrique et Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'Emberger constitue une mesure de l'aridité climatique permettant une classification des climats méditerranéens. Il est couramment utilisé en écologie pour l'étude de la répartition spatiale des espèces et des peuplements végétaux (Ramade, 1984). Il prend en compte les précipitations annuelles, la moyenne des maxima de température du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minimas de température du mois le plus froid (m) (Emberger, 1955). Cet indice a défini la relation suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

Où :

Q_2 : Quotient pluviométrique d'Emberger ;

P : Moyenne des précipitations annuelles en (mm) ;

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en ° Kelvin ($T^{\circ}K = T^{\circ}C + 273,15^{\circ}C$) ;

m : Moyenne des minimas du mois le plus froid en ° Kelvin ($T^{\circ}K = T^{\circ}C + 273,15^{\circ}C$).

Tableau 11. Données de calcul du Quotient pluviométrique pour les stations d'étude durant la période (1980-2021).

Station	P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q_2	Etage bioclimatique
Sétif	443,31	307,45	273,91	45,47	Semi-aride supérieur à hiver frais
Ain Oulmène	360,82	306,98	273,83	37,48	Semi-aride inférieur hiver frais
Boutaleb	334,44	307,33	273,47	34,01	Semi-aride inférieur à hiver frais

La confrontation des résultats du Q_2 relative aux trois stations d'étude sélectionnées au sein de la région des Hautes Plaines Sétifiennes, avec les zones bioclimatiques que constitue

l'aire du climagramme d'Emberger indique que cette région glisse dans le même étage bioclimatique de semi-aride supérieur vers le semi-aride inférieur, tout en gardant de la même variante thermique « hiver frais ».

Ce déplacement sensible entre les ambiances bioclimatiques peut engendrer des modifications notables au niveau de la composition et de la répartition floristique de la région, notamment la physionomie des paysages écologiques.

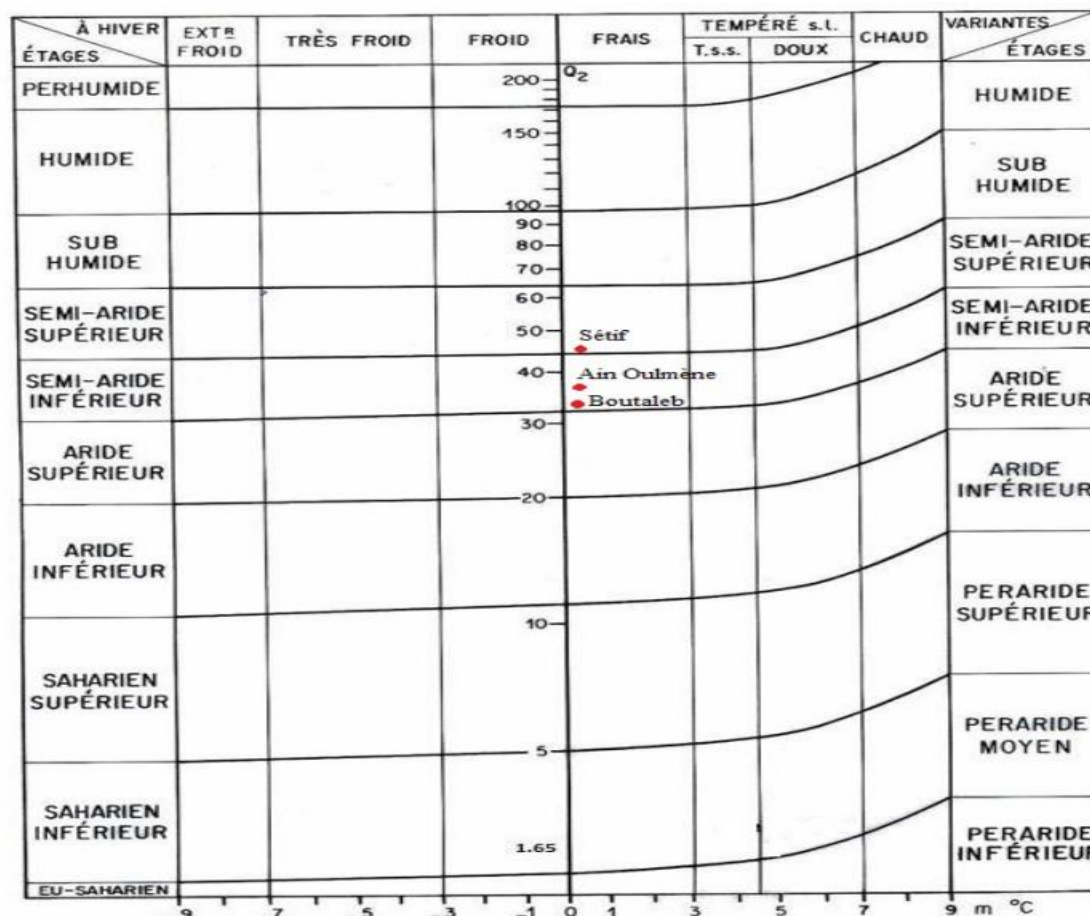


Figure 36. Emplacement des stations de Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb sur le climagramme d'Emberger dans la période (1980-2021).

2. Évolution climatique et tendances récentes (1980 – 2021)

2.1. Analyse des tendances climatiques

2.1.1. Tendances thermiques

Les tendances des températures annuelles (minimales, maximales et moyennes) entre 1980 et 2021 dans la région des Hautes Plaines Sétifiennes (HPS), ont été évaluées à l'aide des tests de Mann-Kendall (MK), de Spearman Rho (SR) et de Şen. Le test de Pettitt a permis

ainsi d'identifier les points de changement brusques dans les séries. Le tableau (12) présente la synthèse des résultats obtenus par station.

Il ressort clairement du tableau (12) que l'analyse des températures annuelles montre une tendance positive pour les trois stations Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb entre 1980 et 2021. Les tests de Mann-Kendall (MK) et de Spearman Rho (SR) indiquent des résultats similaires et révèlent une tendance significative à la hausse pour les températures minimales, maximales et moyennes annuelles pour les trois stations, avec des p-values comprises entre 0,000 et 0,001, donc inférieures au seuil de 0,05.

En plus de l'identification de ces tendances par les tests MK et SR, l'approche de Theil-Sen a été utilisée pour estimer l'ampleur de la pente (c'est-à-dire le changement par unité de temps). Comme le montre le tableau (12), la pente de la tendance significative à la hausse de la température moyenne annuelle varie de 0,025 °C/an à Sétif, à 0,027 °C/an à Ain Oulmène et 0,028 °C/an à Boutaleb.

Des tendances significatives à la hausse ont été ainsi observées pour les températures maximales et minimales annuelles dans les trois stations étudiées. La température maximale annuelle a augmenté à un taux de 0,025 °C/an à Sétif, 0,028 °C/an à Ain Oulmène et 0,03 °C/an à Boutaleb. De même, la température minimale annuelle a montré une tendance similaire, avec des taux de variation respectifs de 0,023 °C/an à Sétif et Ain Oulmène, et 0,025 °C/an à Boutaleb. Ces résultats montrent clairement que l'augmentation de la température moyenne annuelle dans la région est davantage influencée par la température maximale que par la température minimale. Cela suggère que l'évolution du climat pourrait être caractérisée par un réchauffement plus marqué des périodes diurnes, ce qui peut avoir des implications importantes pour les écosystèmes et les activités humaines.

De plus, les valeurs de la pente de $\hat{\beta}$ calculées sur deux périodes distinctes (1980-2000) et (2001-2021) révèlent que l'augmentation de la température moyenne a été plus marquée durant la première période (1980-2000) à Sétif, tandis que, dans la deuxième période (2001-2021), l'augmentation a été plus notable à Ain Oulmène et Boutaleb. Ce changement temporel suggère que la région a connu une intensification des phénomènes de réchauffement dans les dernières décennies, ce qui pourrait être lié à des facteurs climatiques globaux ou à des spécificités locales.

Basée sur la méthode de Pettitt pour détecter les changements soudains dans les séries temporelles des températures annuelles (minimales, maximales et moyennes), l'analyse a révélé deux points de changement significatifs. Ces points ont été identifiés en 1998 pour les températures maximales et moyennes annuelles dans toutes les stations. En revanche, le point de changement pour la température annuelle minimale a été observé en 2013, à l'exception des stations d'Ain Oulmène et de Boutaleb (Tab 12). Ces résultats suggèrent que la température maximale réagit plus rapidement aux variations climatiques, probablement en raison de son caractère plus sensible aux vagues de chaleur, tandis que les températures minimales et moyennes sont affectées plus tardivement.

Tableau 12. Résultats de l'analyse des tendances thermiques détectées par les tests MK, SR, Theil-Sen et Pettitt au niveau significatif de 5 %.

Station	T Annuelle (°C)	MK (S)	P value	SR (D)	P value	Tendance	B (taux d'augmentation par an) (°C)	Test de Pettitt (point de changement)	B (taux d'augmentation par an en 1980-2000) (°C)	B (taux d'augmentation par an en 2001-2021) (°C)
Sétif	T min	335	0,000*	0.511	0,001*	Hausse	0,023	—	0,036	0,046
	T max	347	0,000*	0.559	0,000*	Hausse	0,025	1998*	0,047	0,030
	T moy	347	0,000*	0.553	0,000*	Hausse	0,025	1998*	0,041	0,037
Ain Oulmène	T min	345	0,000*	0.528	0,000*	Hausse	0,023	2013*	0,035	0,056
	T max	363	0,000*	0.576	0,000*	Hausse	0,028	1998*	0,048	0,035
	T moy	359	0,000*	0.560	0,000*	Hausse	0,027	1998*	0,041	0,047
Boutaleb	T min	335	0,000*	0.512	0,001*	Hausse	0,025	2013*	0,036	0,062
	T max	381	0,000*	0.604	0,000*	Hausse	0,030	1998*	0,048	0,038
	T moy	369	0,000*	0.570	0,000*	Hausse	0,028	1998*	0,041	0,047

* Tendances statistiquement significatives au niveau de 5%.

En ce qui concerne l'évaluation des valeurs basses, moyennes et élevées de la température annuelle (minimum, maximum et moyenne), les graphiques de tendance de Sen révèlent que les trois stations étudiées présentent des variabilités de température similaires. La disposition des points de dispersion, bien concentrée au-dessus de la ligne droite de régression 1:1 (45°), indique clairement une tendance à la hausse des températures sur la période (1980-2021). De plus, il a été observé que les groupes de valeurs moyennes montrent une distribution plus étendue et tendent à augmenter davantage par rapport aux groupes de valeurs faibles et élevées (Figure 37).

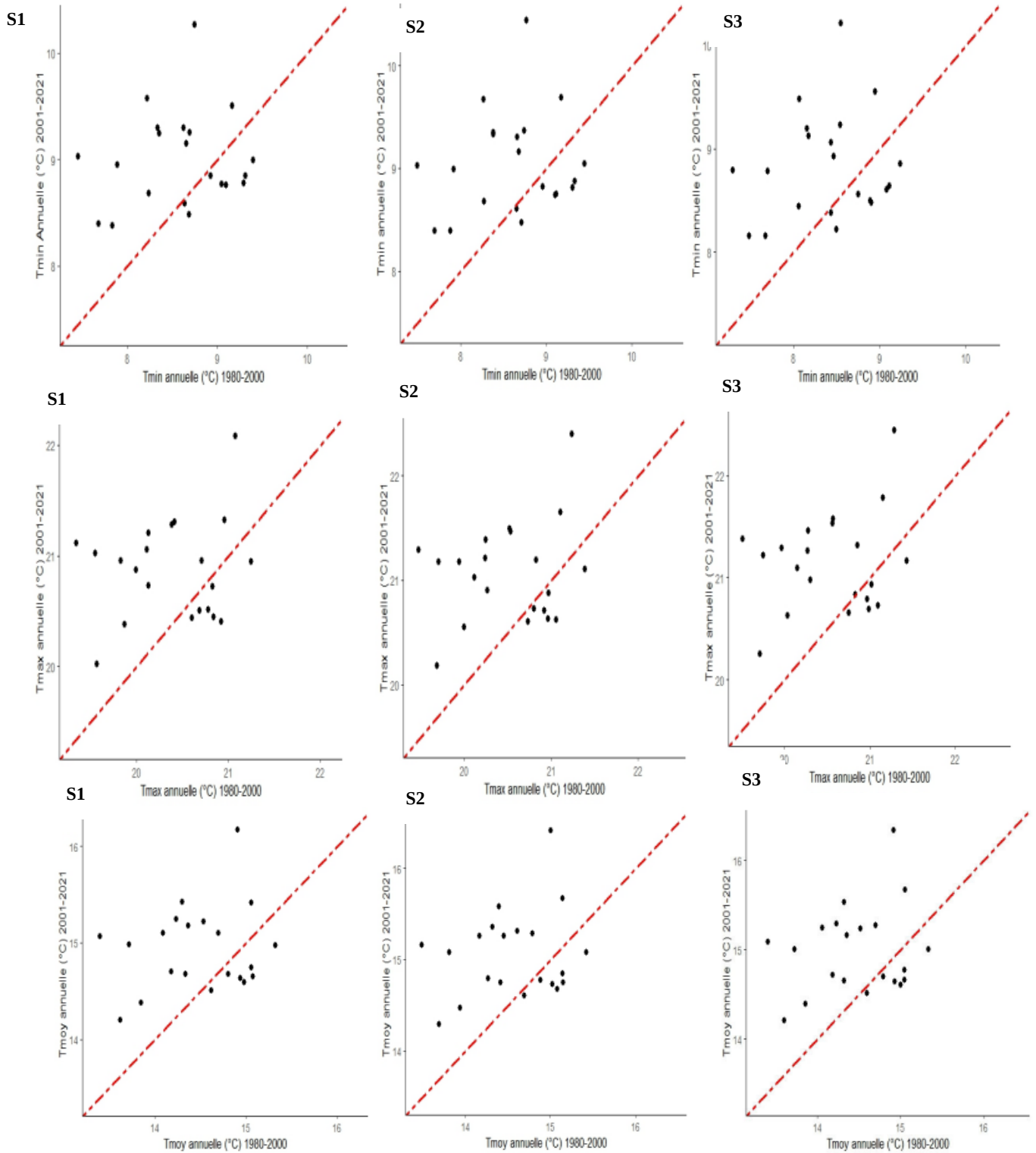


Figure 37. Graphes de tendance de Sen pour les températures annuelles minimales, maximales et moyennes (°C) dans les stations de Sétif (S1), Ain Oulmène (S2), et Boutaleb (S3) pendant la période (1980-2021).

2.1.2. Tendances pluviométriques

L'analyse des tendances des précipitations annuelles a été réalisée pour les trois principales stations de Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb. Les résultats, présentés dans le tableau (13), montrent clairement que les tests de Mann-Kendall (MK) et de Spearman Rho (SR) produisent les mêmes conclusions dans toutes les stations, détectant des tendances à la baisse non significatives au cours de la période étudiée (1980-2021).

Tableau 13. Résultats de l'analyse d tendances pluviométriques détectées par les tests MK, SR, Theil-Sen et Pettitt au niveau significatif de 5 %.

Station	MK (S)	P value	SR (D)	P value	Tendance	B (taux d'augmentation par an) (mm)	Test de Pettitt (point de changement)
Sétif	-61	0,516	-0,101	0,525	Baisse	—	—
Ain Oulmène	-57	0,544	-0,089	0,5735	Baisse	—	—
Boutaleb	-59	0,530	-0,084	0,5982	Baisse	—	—

Ainsi, aucune tendance significative n'émerge des comportements des groupes de données dans les graphiques de Şen. Comme le montre la figure (38), les points de dispersion pour les trois stations sont répartis de part et d'autre de la ligne de droite de 1:1. Ce comportement graphique suggère que des périodes d'augmentation et de diminution des précipitations se sont produites simultanément, indiquant, clairement, une tendance non monotone des précipitations. Ces observations confirment l'absence de changement net dans le régime pluviométrique sur la période étudiée, bien que des fluctuations à court terme ont été observées.

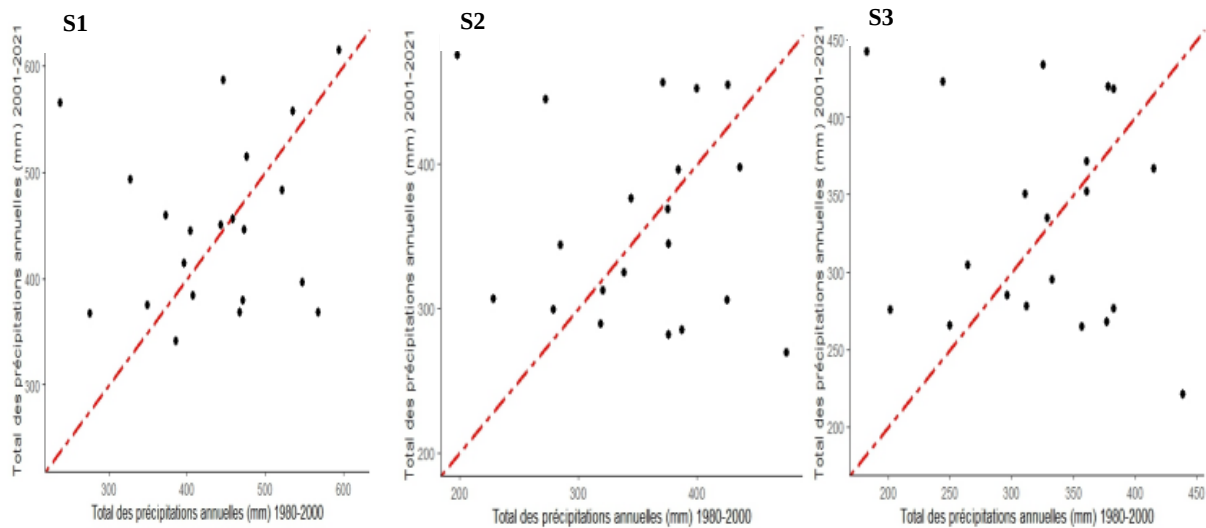


Figure 38. Graphes de tendance de Şen pour la pluviométrie annuelle (mm) dans les stations de Sétif (S1), Ain Oulmène (S2), et Boutaleb (S3) pendant la période (1980-2021).

3. Caractérisation de la sécheresse dans la région étudiée

3.1. Analyse interannuelle de la sécheresse

Pour assurer une caractérisation plus précise de la sécheresse dans la région des Hautes Plaines Sétifiennes (HPS), il est essentiel de suivre les séries temporelles de 1980 à 2021 pour chaque indice SPI, SPEI, RDI et PDSI au niveau des stations de Sétif, d'Ain Oulmène et de Boutaleb,

La figure (39) illustre que la variabilité temporelle des différents indices, mois après mois, est globalement similaire, avec des tendances clairement orientées vers l'assèchement, particulièrement depuis le début de la décennie 2010 jusqu'en 2021. En effet, l'analyse temporelle de la sécheresse a montré que la plupart des indices utilisés étaient efficaces pour identifier les principales années de sécheresse historiques, telles que celles de 1983, 1989, 1993, 2000 et 2017. Cela confirme la capacité des indices à capturer les périodes de sécheresse importantes et à fournir un aperçu détaillé des conditions climatiques extrêmes au cours de la période étudiée.

Nos observations révèlent que les conditions de sécheresse sévère sont, particulièrement, prononcées dans la partie sud de la région des Hautes Plaines Sétifiennes (HPS), et plus spécifiquement à la station de Boutaleb, par rapport aux autres stations de la région, ce qui met en évidence la vulnérabilité accrue de cette localité aux phénomènes de sécheresse extrême.

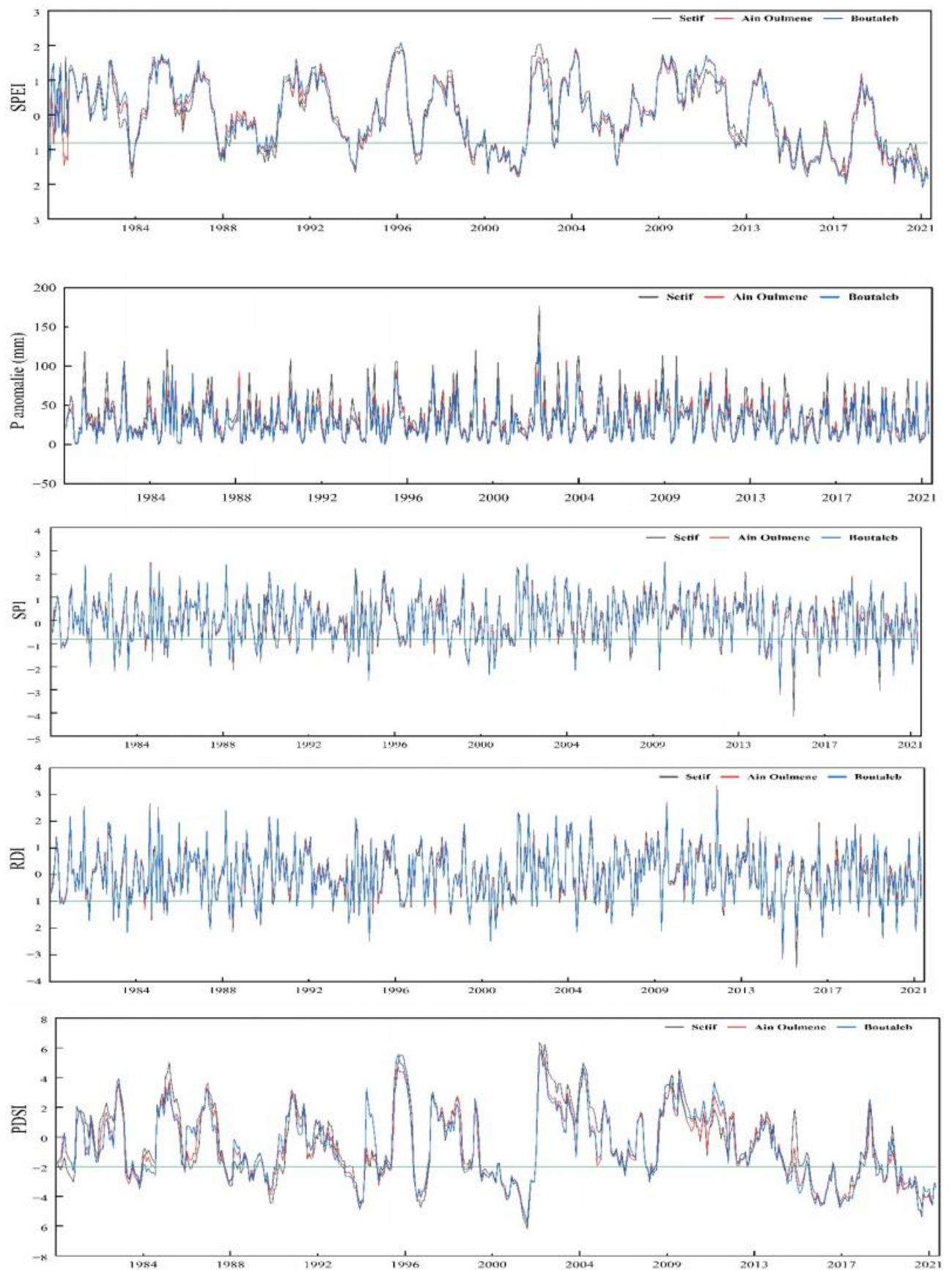


Figure 39. Les anomalies des précipitations et des indices de sécheresse SPI, RDI, SPEI, et PDSI pour les trois stations Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb de 1980 à 2021. Les lignes horizontales indiquent la valeur seuil des sécheresses modérées pour chaque indice.

3.2. Sévérité et fréquence de la sécheresse

Les indices SPI, SPEI, PDSI et RDI montrent tous une fréquence élevée d'événements modérés. En effet, pour la station de Sétif, on observe respectivement 61 événements modérés pour le SPI, 80 pour le SPEI, 82 pour le PDSI et 50 pour le RDI. Ce phénomène est encore plus marqué à Ain Oulmène, où l'on compte 68 événements modérés pour le SPI, 81 pour le SPEI, etc. De manière similaire, la fréquence des événements modérés reste élevée à Boutaleb, notamment pour le SPI et le SPEI, avec 75 et 81 événements, respectivement.

Par ailleurs, ces indices révèlent également une présence significative d'événements sévères et extrêmes, particulièrement pour le PDSI à Sétif (51 événements sévères et 35 extrêmes) et à Ain Oulmène (55 événements sévères et 32 extrêmes) ainsi qu'à Boutaleb (51 événements sévères et 31 extrêmes) (Figure 40).

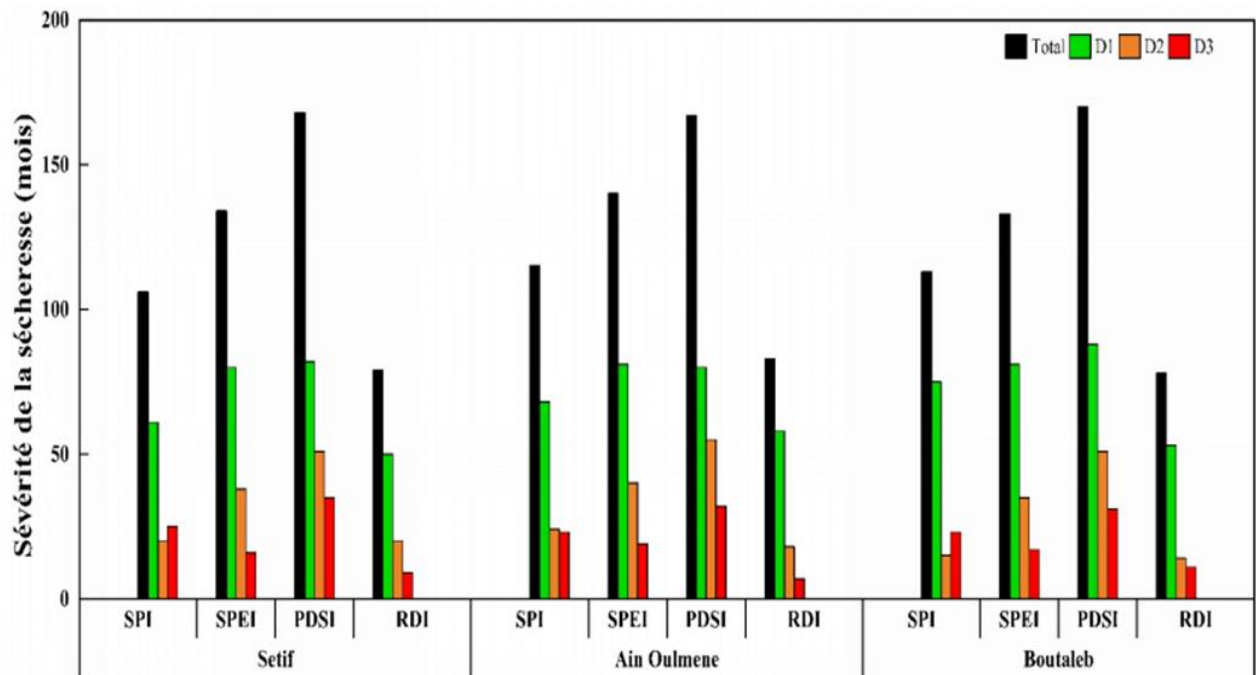


Figure 40. Fréquence de la sécheresse pour chaque classe de sévérité de la sécheresse (D1 modérée, D2 sévère, D3 extrême) pour les trois stations Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb de 1980 à 2021.

L'analyse des valeurs de chaque indice pour les trois stations Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb montre également des aspects distincts de la sécheresse dans la région des HPS. En effet, les stations d'Ain Oulmène et Boutaleb présentent simultanément une plus grande variabilité des précipitations (SPI) et une demande en eau (SPEI) plus élevée que la station de Sétif, indiquant un climat plus instable et une pression hydrique plus forte. Par ailleurs,

Boutaleb est la plus affectée par la sécheresse des sols (PDSI), suivie de près par Ain Oulmène, tandis que Sétif reste moins touchée. Enfin les valeurs de (RDI) reflètent une contrainte hydrique plus marquée dans la station de Ain Oulmène.

3.3. Durée des épisodes de la sécheresse

L'analyse des indices climatiques par station met en évidence plusieurs tendances chronologiques. Pour le SPI et le RDI, la période de 2 à 3 mois est la plus fréquente dans l'ensemble des stations. Cette période est possiblement correspondue à la saison de l'été, indiquant un cycle saisonnier bien marqué par l'alternance entre une saison humide et saison de sécheresse, typique du climat méditerranéen à semi-aride. Pour le SPEI, les périodes longues (≥ 10 mois) dominant surtout aux stations de Sétif et Boutaleb reflétant un déficit hydrique prolongé liée à une forte évapotranspiration. Quant au le PDSI, les trois stations présentent majoritairement des sècheresses persistantes de 6 à 9 mois, souvent induit à un impact prolongé sur l'humidité du sol (Figure 41).

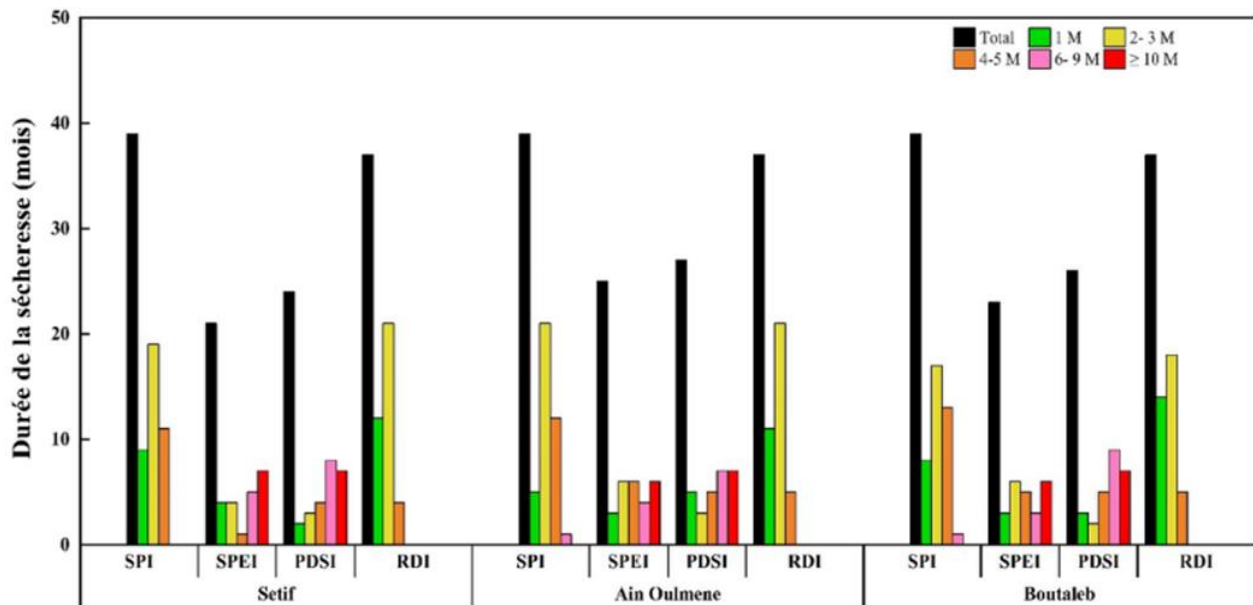


Figure 41. Fréquence des sécheresses météorologiques pour différentes échelles de temps (1, 2-3, 4-5, 6-9, et ≥ 10 mois) pour les trois stations Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb de 1980 à 2021.

3.4. Évolution décennale des indices de la sécheresse

La figure (42) met en évidence la dynamique décennale des indices de sécheresse SPI, SPEI, PDSI et RDI au sein des trois stations étudiées Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb. En effet, la tendance générale observée au cours des quatre dernières décennies, montre une accentuation progressive de la sécheresse dans les deux dernières décennies, en particulier à partir des années 2000 avec un pire état de sécheresse observé entre 2011 et 2021. Cette évolution suggère une intensification et une prolongation des épisodes de sécheresse, signalant un stress hydrique accru dans la région des Hautes Plaines Sétifiennes.

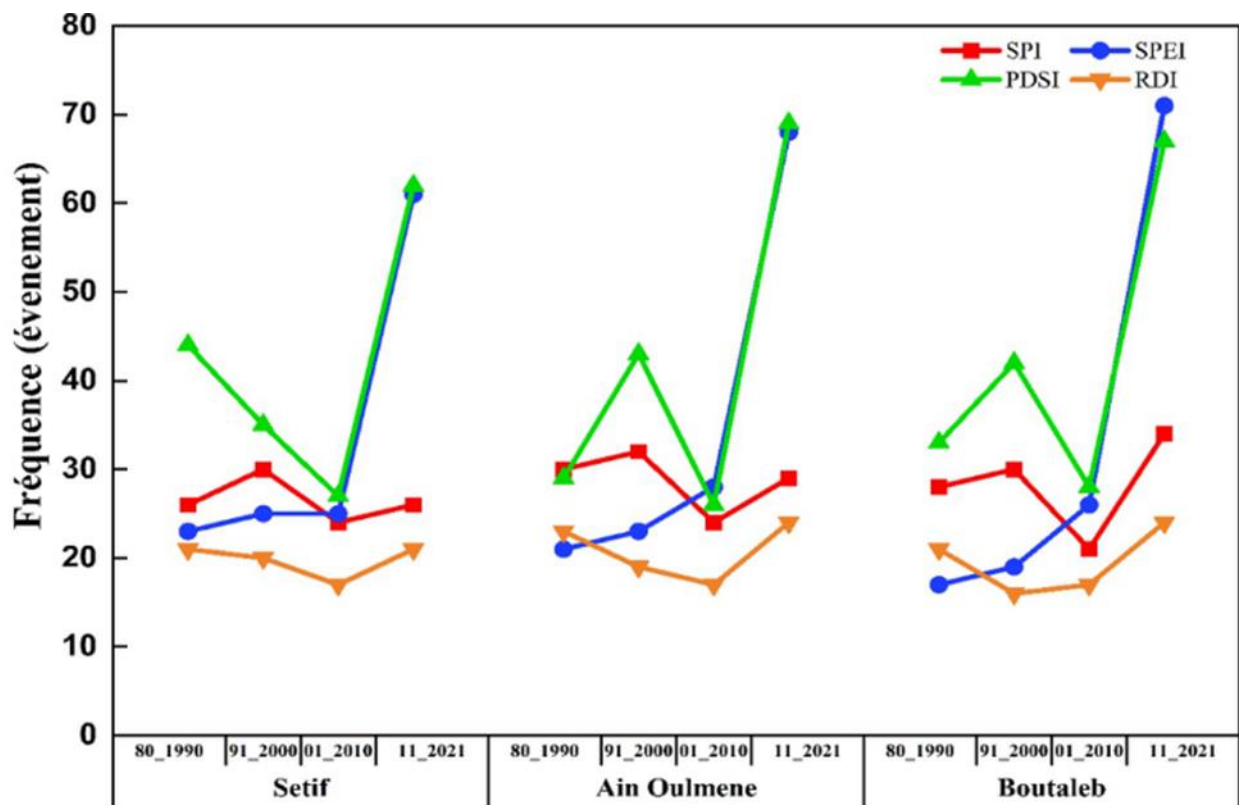


Figure 42. Évolution décennale de différents indices de sécheresse (SPI, SPEI, RDI, et PDSI) dans les trois stations Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb de 1980 à 2021.

Partie II. Analyse régionale de la vulnérabilité et de la résilience socio-écologique face au changement climatique

1. Quantification des composantes de l'indice de vulnérabilité

L'application de l'indice de vulnérabilité au changement climatique (CVCC) au niveau de 27 communes territoriales de la région des Hautes Plaines Sétifiennes, nous a offert l'opportunité d'adopter une approche analytique pour chacun de ses composantes au sein de chaque commune, comme suit :

1.1. La composante « Exposition »

Le sous-indice d'exposition, tel qu'illustré dans la figure (43), mesure la vulnérabilité des 27 communes de la région des HPS face aux impacts des changements climatiques. Il intègre plusieurs variables liées à la température, aux précipitations et aux catastrophes naturelles. Ce sous-indice varie selon divers facteurs, notamment l'écart-type des températures et des précipitations, la fréquence des événements extrêmes et l'occurrence de catastrophes météorologiques.

Les résultats montrent que certaines communes présentent une exposition plus marquée aux risques météorologiques, en raison de la variabilité des températures, des précipitations extrêmes ou de la fréquence des catastrophes telles que Sétif (0,36), Rasfa (0,49), Ain Oulmène (0,54) et Ouled Tebben (0,55). Toutefois, d'autres communes affichent une faible exposition, caractérisée par un climat stable et une absence d'événements extrêmes ou de catastrophes telles que Bir El Arch (0,18), Bellaa (0,17) et Ain Arnet (0,21). Ces observations soulignent l'importance de prendre en compte les particularités climatiques locales afin d'élaborer des stratégies de prévention et d'adaptation adaptées face aux risques météorologiques.

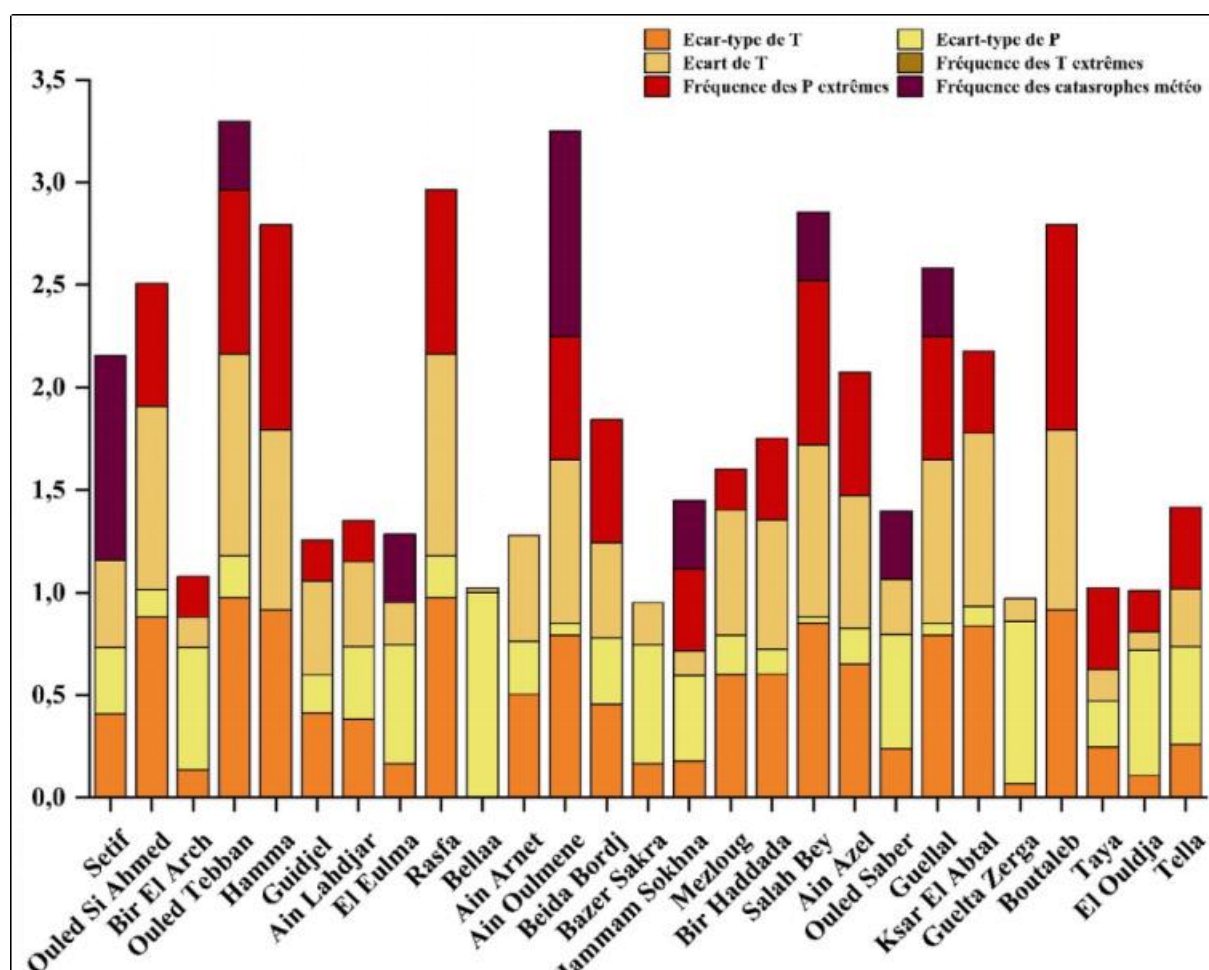


Figure 43. Variation des différentes variables de la composante « Exposition » au sein des 27 communes des Hautes Plaines Sétifiennes.

1.2. La composante « Sensibilité »

La figure (44) illustre la variation du sous-indice de sensibilité en fonction de diverses variables, tels que l'agriculture, la démographie, la santé, la pauvreté et les impacts des catastrophes météorologiques, dans les différentes communes territoriales des Hautes Plaines Sétifiennes.

Les résultats de la composante de sensibilité mettent en évidence des disparités marquées entre les communes en termes de vulnérabilité aux différents facteurs socio-économiques et environnementaux. Certaines communes, plus sensibles aux défis agricoles, se distinguent par une sensibilité plus forte aux risques liés à la santé ou à la pauvreté. Ainsi, les communes ayant une sensibilité élevée, comme Ain Azel (0,58), Ain Arnat (0,53), Ain Lahdjar (0,52) et Guidjel (0,44), sont généralement vulnérables sur plusieurs fronts, que ce

soit dans les domaines de l'agriculture, de la démographie, de la pauvreté ou de la santé, et nécessitent une attention particulière. À l'inverse, des communes avec une faible sensibilité, comme Ouled Si Ahmed (0,15) et Guelta Zerga (0,19), montrent une vulnérabilité moindre, nécessitant potentiellement moins de ressources ou d'interventions pour faire face aux impacts des changements climatiques.

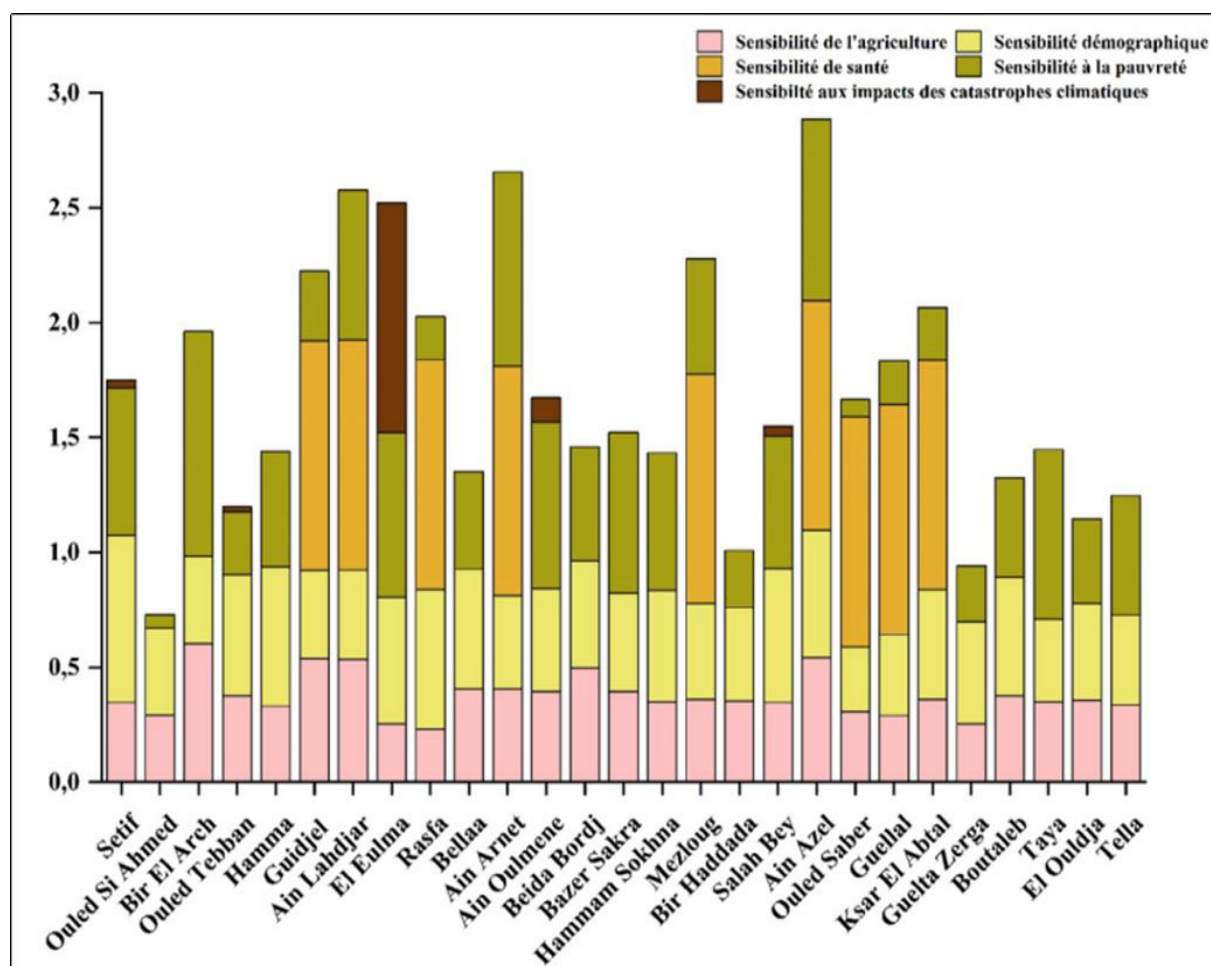


Figure 44. Variation des différentes variables de la composante « Sensibilité » au sein des 27 communes des Hautes Plaines Sétifiennes.

1.3. La composante « Capacité d'adaptation »

La figure (45) illustre la variation significative du sous-indice de la capacité d'adaptation des communes de la région des HPS face aux impacts des changements climatiques. Ce sous-indice, en tant qu'indicateur composite, mesure la capacité adaptative d'une région face à ces défis, en prenant en compte des éléments tels que la couverture forestière, l'éducation, les institutions environnementales et les infrastructures.

Il apparaît que les régions affichant des scores élevés en matière d'éducation, d'institutions environnementales et d'infrastructures démontrent généralement une meilleure capacité à faire face aux impacts des changements climatiques, même si la couverture forestière peut y être limitée. Par exemple, Sétif se distingue comme la commune la plus résiliente avec un score de (0,73), grâce à ses institutions solides et à un système éducatif de qualité, bien que la couverture forestière y soit faible. En revanche, bien qu'Ain Azel (0,40) bénéficie d'une bonne couverture forestière, elle souffre d'un système éducatif insuffisant et de l'absence d'institutions environnementales robustes. Par ailleurs, des communes comme Ouled Si Ahmed (0,12), Taya (0,09) et El Ouldja (0,07) se trouvent, particulièrement, vulnérables, en raison de faibles scores dans tous les domaines cruciaux : couverture forestière, infrastructures, éducation et institutions environnementales, ce qui les rend moins capables de faire face aux enjeux environnementaux et socio-économiques liés au changement climatique.

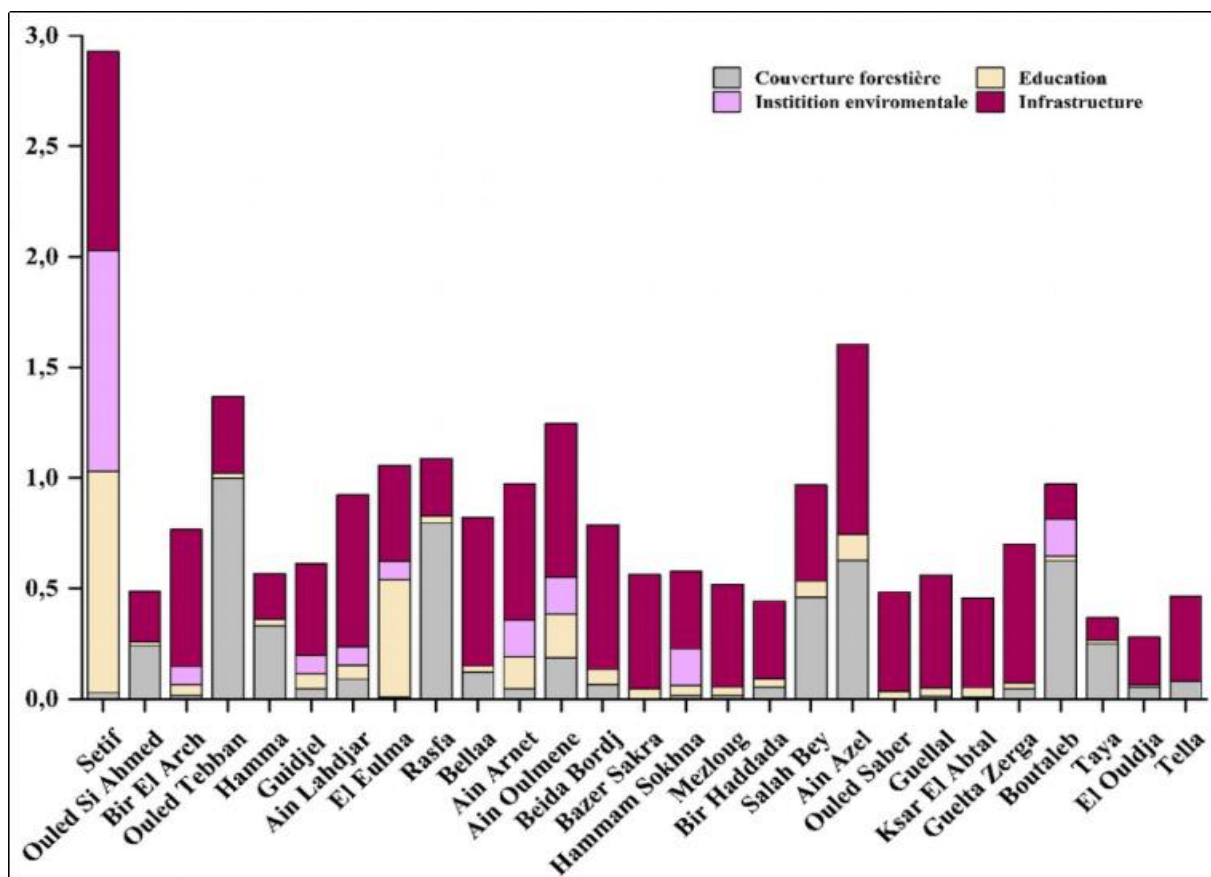


Figure 45. Variation des différentes variables de la composante « Capacité d'adaptation » au sein des 27 communes des Hautes Plaines Sétifiennes.

1.4. Agrégation des composantes de vulnérabilité

Après avoir défini les scores de chaque composante, il est essentiel maintenant de consolider ces trois variables pour permettre une analyse détaillée de la vulnérabilité socio-écologique territoriale et de la capacité de résilience face aux conséquences négatives des changements climatiques.

La figure (46) présente la variation des trois principaux sous-indices déterminant la vulnérabilité, notamment l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation pour chaque commune. Il apparaît que certaines communes comme Ouled Tebben (0,55) et Rasfa (0,49) semblent très exposées, par contre à la commune de Guelta Zerga (0,16) qu'est relativement la moins exposée. Certaines communes, souffrent une sensibilité très élevée comme Ain Azel (0,58) et Ain Lahdjar (0,52), ce qui reflète une grande vulnérabilité aux effets des changements climatiques. Par ailleurs, on remarque que El Ouldja (0,07) et Bir Haddada (0,11) demeurent les plus faibles communes capables à s'adapter et à s'ajuster aux risques, tandis que les communes de Sétif (0,73), Ain Azal (0,40) et Ouled Tebben (0,34) montrent une bonne capacité d'adaptation aux changements environnementaux.

Ces résultats révèlent que la vulnérabilité est majoritairement influencée par la prépondérance des facteurs liée à l'exposition et à la sensibilité au changement climatique, et ne suit pas une tendance strictement associée au développement institutionnel et socio-écologique, qui contribuent à la capacité adaptative.

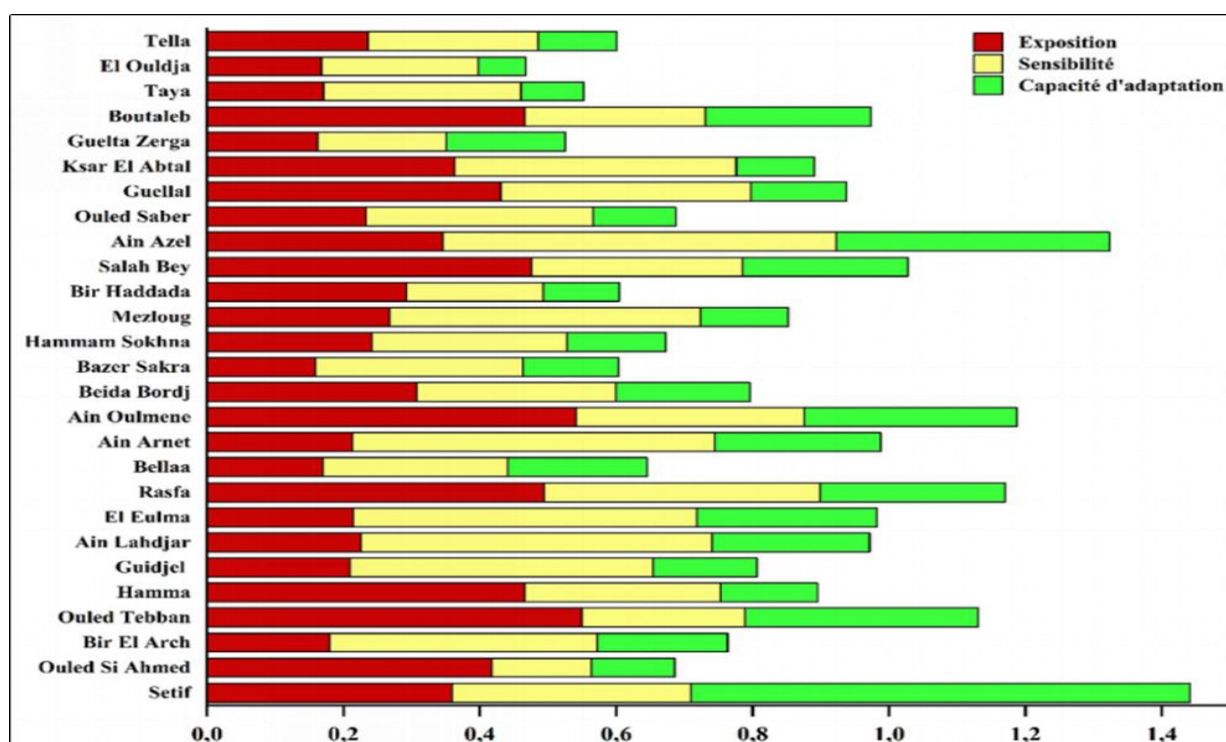


Figure 46. Agrégation des trois composantes de l'indice de vulnérabilité CVCC pour les 27 communes des Hautes Plaines Sétifiennes.

1.5. Résultat finale de l'indice composite de vulnérabilité

D'après les scores de vulnérabilité et de résilience globales calculés pour les 27 communes de la région des HPS, il est évident clair qu'il existe un écart significatif dans le degré de vulnérabilité/résilience entre les différentes communes, avec des valeurs variant de 0,00 à 0,66. Cette variation de score suggère des différences notables en terme de stress et de développement au niveau de chaque localité (Tab 14).

Il est également observé que 14 communes, soit 51,85 % présentent un degré de vulnérabilité supérieur à la moyenne de la région des HPS qui est de 0,44, tandis que 11 communes, soit 40,74 % ont des valeurs inférieures à cette moyenne. Par ailleurs, les deux communes Ouled Si Ahmed et Ouled Saber représentant 7,41 % se situent exactement à la moyenne. Cela peut indiquer que la majorité des communes partagent des conditions environnementales et des caractéristiques internes (sociales, économiques, sanitaires, agricoles, institutionnelles, ...etc.) similaires, ce qui les rend susceptibles d'être plus vulnérables ou plus résilients face aux crises liées aux impacts du changement climatique.

Les résultats de notre étude ont démontré que la moyenne obtenue pour la région des Hautes Plaines Sétifiennes (0,44) indique une vulnérabilité confirmée, mais de degré modéré.

Tableau 14. Classification des communes de la région des Hautes Plaines Sétifiennes selon les scores de l'indice de vulnérabilité et de résilience.

Classement	Commune	Score de Vulnérabilité	Classement	Commune	Score de Résilience
01	Ksar El Abtal	0,66	01	Sétif (Chef-lieu)	0,00
02	Guellal	0,66	02	Guelta Zerga	0,18
03	Rasfa	0,63	03	Bellaa	0,24
04	Hamma	0,61	04	Bazer Sakra	0,32
05	Mezloug	0,59	05	El Ouldja	0,33
06	Ain Oulmène	0,56	06	Taya	0,37
07	Salah Bey	0,54	07	Tella	0,37
08	Ain Azel	0,52	08	Bir El Arch	0,38
09	Ain Lahdjar	0,51	09	Bir Haddada	0,38
10	Guidjel	0,50	10	Hammam Sokhna	0,38
11	Ain Arnet	0,50	11	Beida Bordj	0,40
12	Boutaleb	0,49	12	Ouled Si Ahmed	0,44
13	El Eulma	0,45	13	Ouled Saber	0,44
14	Ouled Tebban	0,45	14	Ouled Tebban	0,45
15	Ouled Saber	0,44	15	El Eulma	0,45
16	Ouled Si Ahmed	0,44	16	Boutaleb	0,49
17	Beida Bordj	0,40	17	Ain Arnet	0,50
18	Hammam Sokhna	0,38	18	Guidjel	0,50
19	Bir Haddada	0,38	19	Ain Lahdjar	0,51
20	Bir El Arch	0,38	20	Ain Azel	0,52
21	Tella	0,37	21	Salah Bey	0,54
22	Taya	0,37	22	Ain Oulmène	0,56
23	El Ouldja	0,33	23	Mezloug	0,59
24	Bazer Sakra	0,32	24	Hamma	0,61
25	Bellaa	0,24	25	Rasfa	0,63
26	Guelta Zerga	0,18	26	Guellal	0,66
27	Sétif (Chef-lieu)	0,00	27	Ksar El Abtal	0,66
Moyenne de la région des HPS		0.44	Moyenne de la région des HPS		0.44

2. Cartographie de la vulnérabilité et de la résilience socio-écologique régionale

Les résultats obtenus sur les niveaux de la vulnérabilité et de la résilience socio-écologique territoriale, nous a permis d'élaborer des cartes décisionnelles mettant en évidence les zones préoccupantes et les zones résilientes dans la région des HPS.

Cependant, la cartographie de la vulnérabilité et de la résilience a révélé une délimitation spatiale des quatre zones de vulnérabilité et de résilience au sein de la région des Hautes Plaines Sétifiennes (Figure 47 et 48).

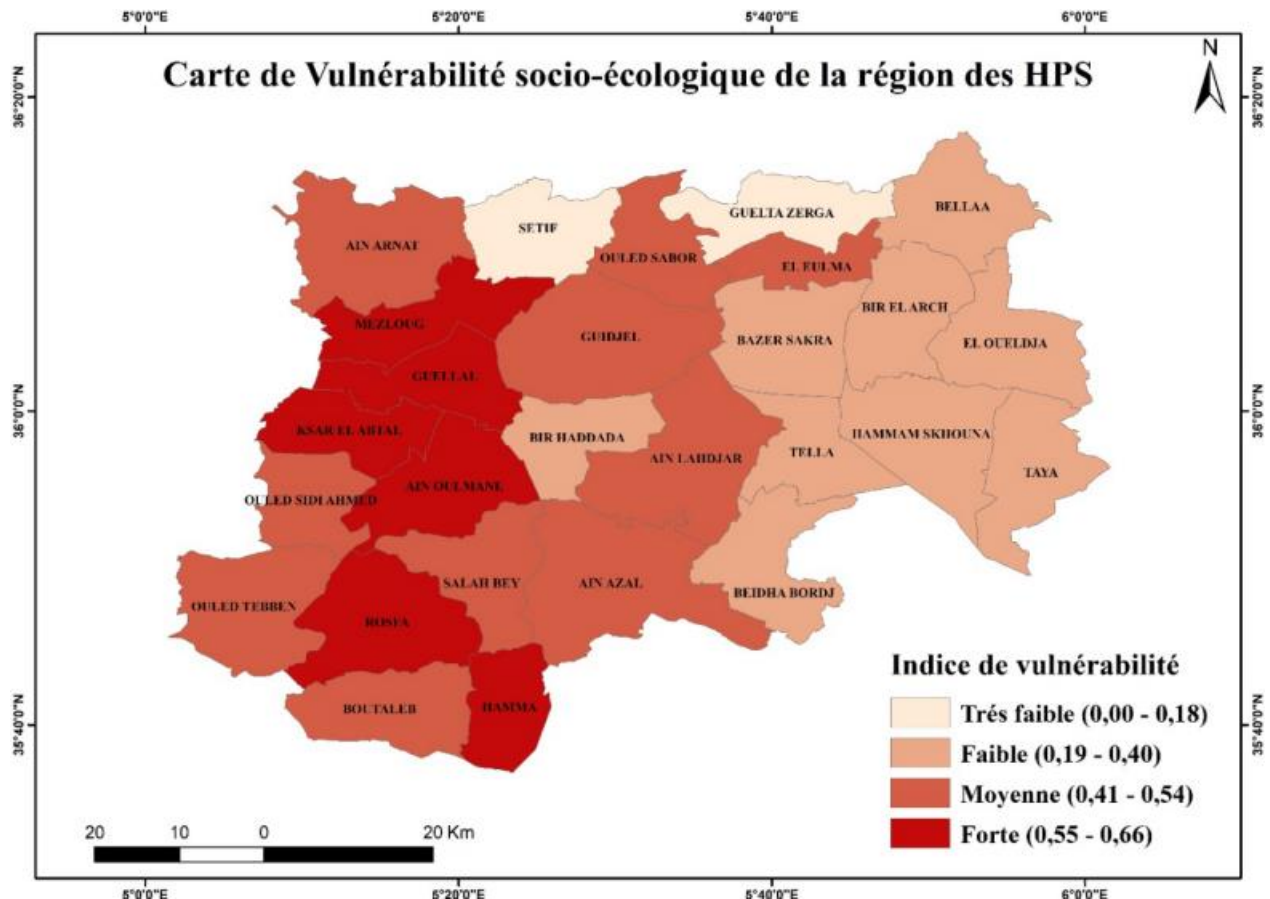


Figure 47. Carte de vulnérabilité socio-écologique des communes territoriales de la région des Hautes Plaines Sétifiennes face au changement climatique.

La zone à forte vulnérabilité associée à une faible résilience, englobe six communes : Ain Oulmène, Mezloug, Hamma, Rasfa, Guellal, et Ksar El Abtal, qui s'étendent du nord au sud-ouest et couvrent environ 22,22 % de la totalité de la région d'étude.

La zone à vulnérabilité moyenne associée à une résilience également moyenne, comprend dix communes : Boutaleb, Ouled Tebban, Ouled Si Ahmed Ouled Saber, El Eulma, Ain Arnet, Guidjel, Ain Lahdjar, Ain Azel, et Salah Bey. Elles s'étendent, principalement, du

centre vers l'extrême ouest, couvrant environ 37,04 % de la superficie totale de la région étudiée.

La zone à faible vulnérabilité associée à une forte résilience, regroupe neuf communes : Bellaa, Bazer Sakra, El Ouldja, Taya, Tella, Bir El Arch, Bir Haddada, Hammam Sokhna, et Beida Bordj. Elles s'étendent principalement dans l'est de la région étudiée, et couvrent environ 33,33 % de sa superficie totale.

La zone à très faible vulnérabilité associée à une résilience également très forte, comprend les deux communes : Sétif et Guelta Zerga situées au nord de la région d'étude, et couvrant environ 7,41 % de sa superficie totale.

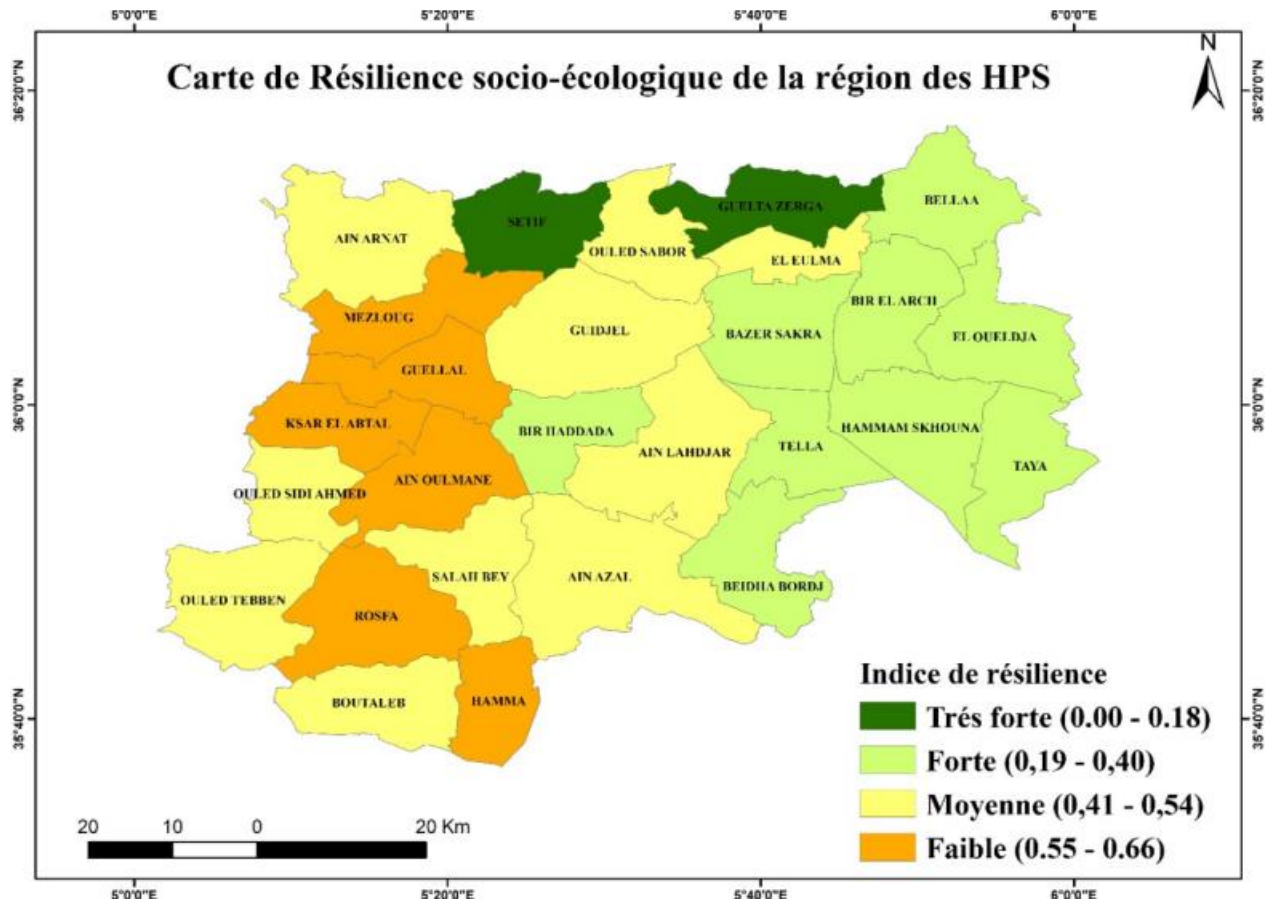


Figure 48. Carte de résilience socio-écologique des communes territoriales de la région des Hautes Plaines Sétiennes face au changement climatique.

Partie III. Analyse locale de la résilience écologique face au changement climatique

1. Le massif de Djebel Youcef

1.1. Typologie et cartographie des formations végétales

Les types de végétation sont les grands ensembles végétaux qui impriment au paysage une physionomie particulière parce qu'ils résultent de l'accumulation d'espèces végétales spécifiquement variées et appartenant en grande majorité à une même forme biologique qui est ainsi dominante (Ionesco et Sauvage, 1962).

Lors des sorties effectuées sur terrains, ainsi en fonction de la physionomie de la végétation nous pouvons constater que le massif de Djebel Youcef se distingue par différents types de formation végétale à savoir :

Les forêts : dont l'ensemble de ces forêts est dominé par le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) représentant environ 80 % du couvert végétal. Le reste du 20 % est constitué principalement de Cyprès vert (*Cupressus sempervirens* L.) et de genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus* L.). Ces forêts naturelles ou issue de reboisement peuvent être denses trouées ou claires, généralement sont bien conservées. Les pinèdes à Cypès apparaissent respectivement à partir de 950 m d'altitude, tandis que les pinèdes à genévrier s'établissent à partir de 1050 m. Ces dernières occupent ensemble une large portion du versant nord et nord-ouest du massif.

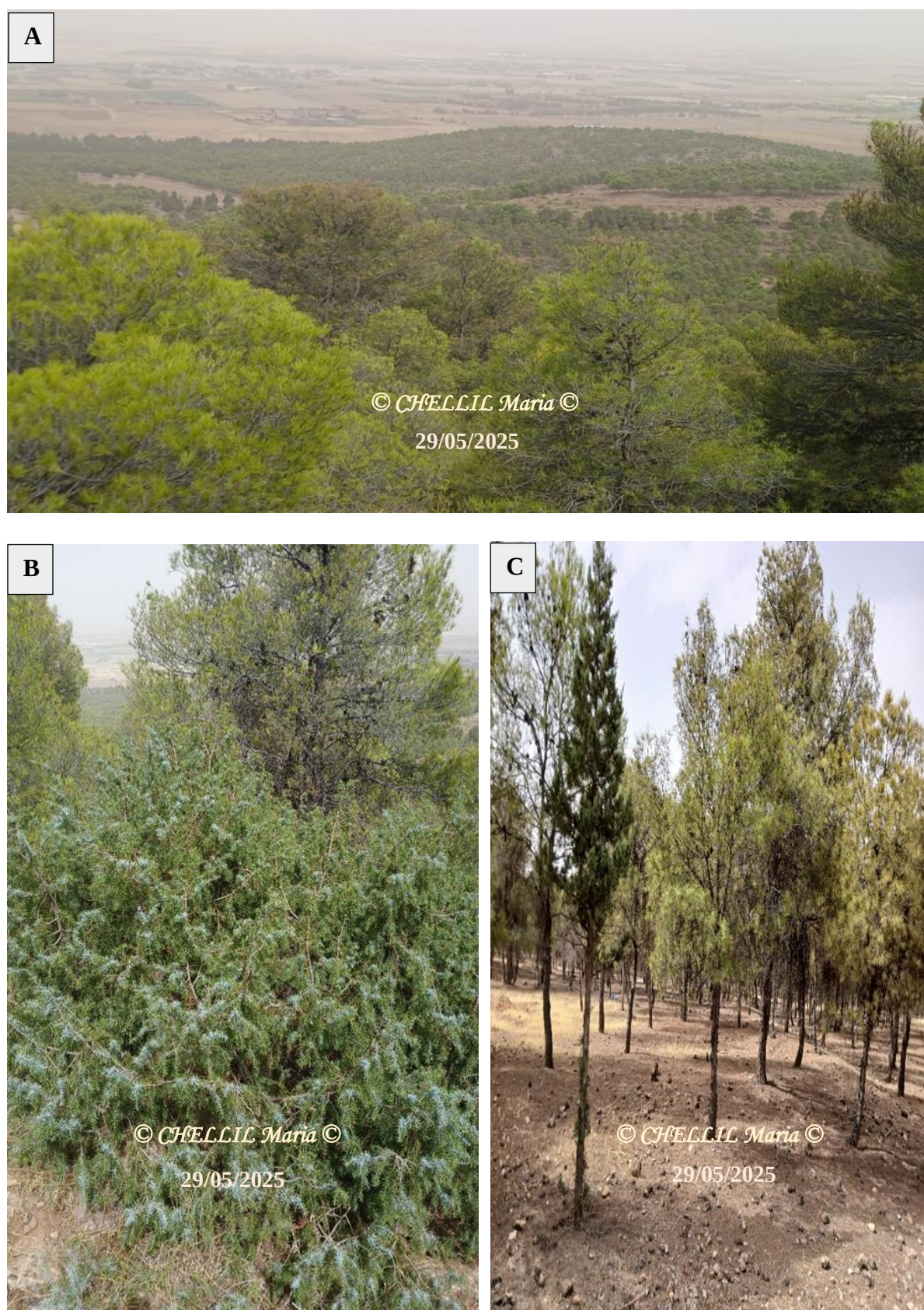


Figure 49. (A) Pinède de Djebel Youcef, (B) Pinède à *Juniperus oxycedrus*, (B) Pinède à *Cupressus sempervirens*.

Les matorrals : sont des formations arborées dominées par le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en phase de régénération naturelle, caractérisées par un recouvrement végétal discontinu entre 40 à 60 %. Ce type de matorral résulte souvent d'une dynamique post-dégradation comme les incendies ou le surpâturage. Cette structure témoigne d'un écosystème en cours de reconstitution. On peut également trouver d'autres espèces au sein de ces matorrals telles que *Olea europea* (L.), *Crataegus azarolus* (L.), *Prunus prostrata* (Labill.), *Juniperus oxycedrus* (L.), *Pistacia atlantica* (Desf.), *Calicotome spinosa* (L.) Link., *Quercus ilex* (L.), *Genista mirocephala* (Coss et Dur.), *Phillyrea angustifolia* (L.) Rouy., et *Rhamnus alaternus* (L.) ((Chermat, 2013) et *Melia azedarach* (L.).

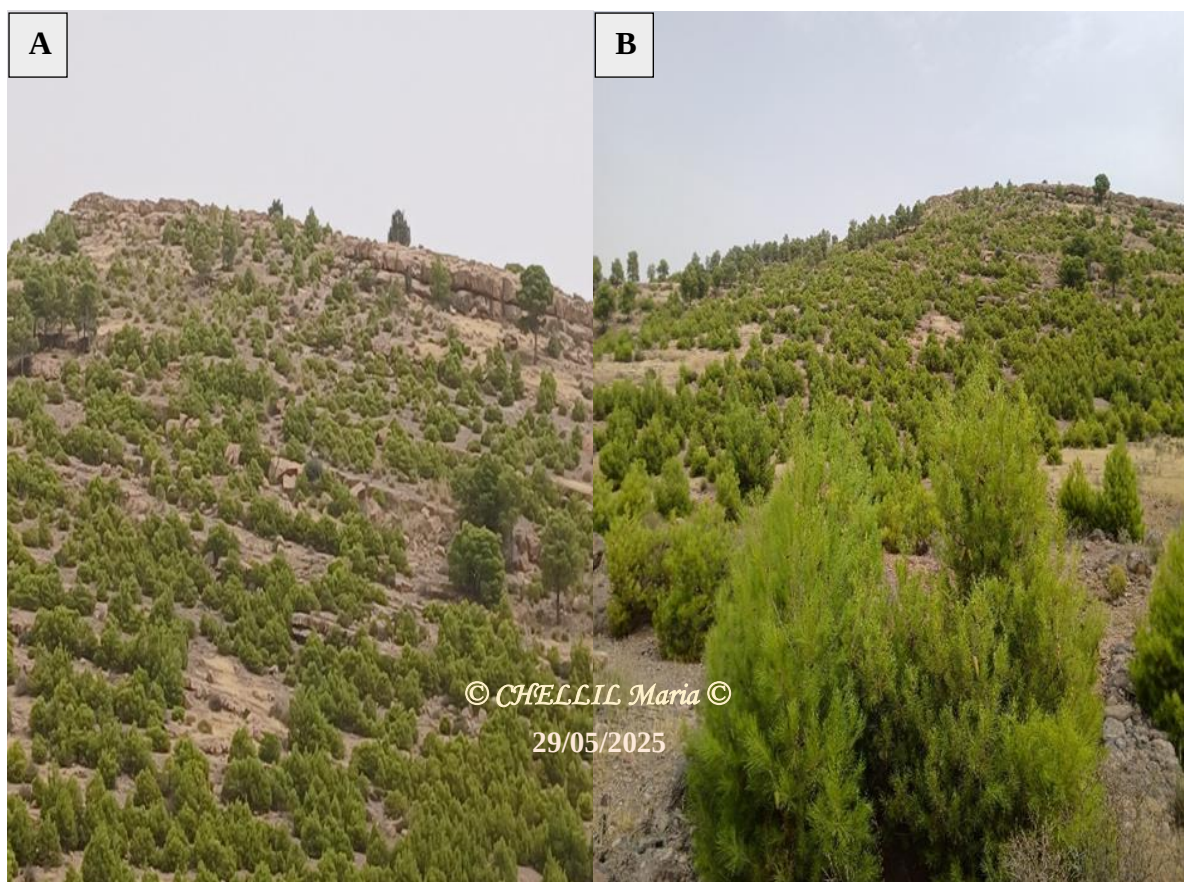


Figure 50. (A) Matorral arboré à pin d'Alep, (B) Sujets de *Pinus halepensis* bien régénérés.

Les formations steppiques : caractérisées par une végétation herbacée et clairsemée, sont composées majoritairement de xérophytes en touffes. Elles se développent principalement sur le versant sud à partir de 1000 m d'altitude, où les sols sont pauvres et rocaillieux. Selon l'espèce la plus prépondérante, on peut trouver également :

Steppe à *Stipa tenacissima* (L.) et *Launaea acanthoclada* (Maire.) : ce faciès à steppe mixte est localisé autour de 1100 m d'altitude sur le versant Sud, marqué par la dominance de *Launaea acanthoclada* (Maire.) qui reflète la dégradation du matorral. Elle s'étend sur des terrains caillouteux, avec une couverture végétale d'environ 47 % composée notamment d'espèces pionnières comme *Thymaelea hirsuta* (L.) et *Peganum harmala* (L.).

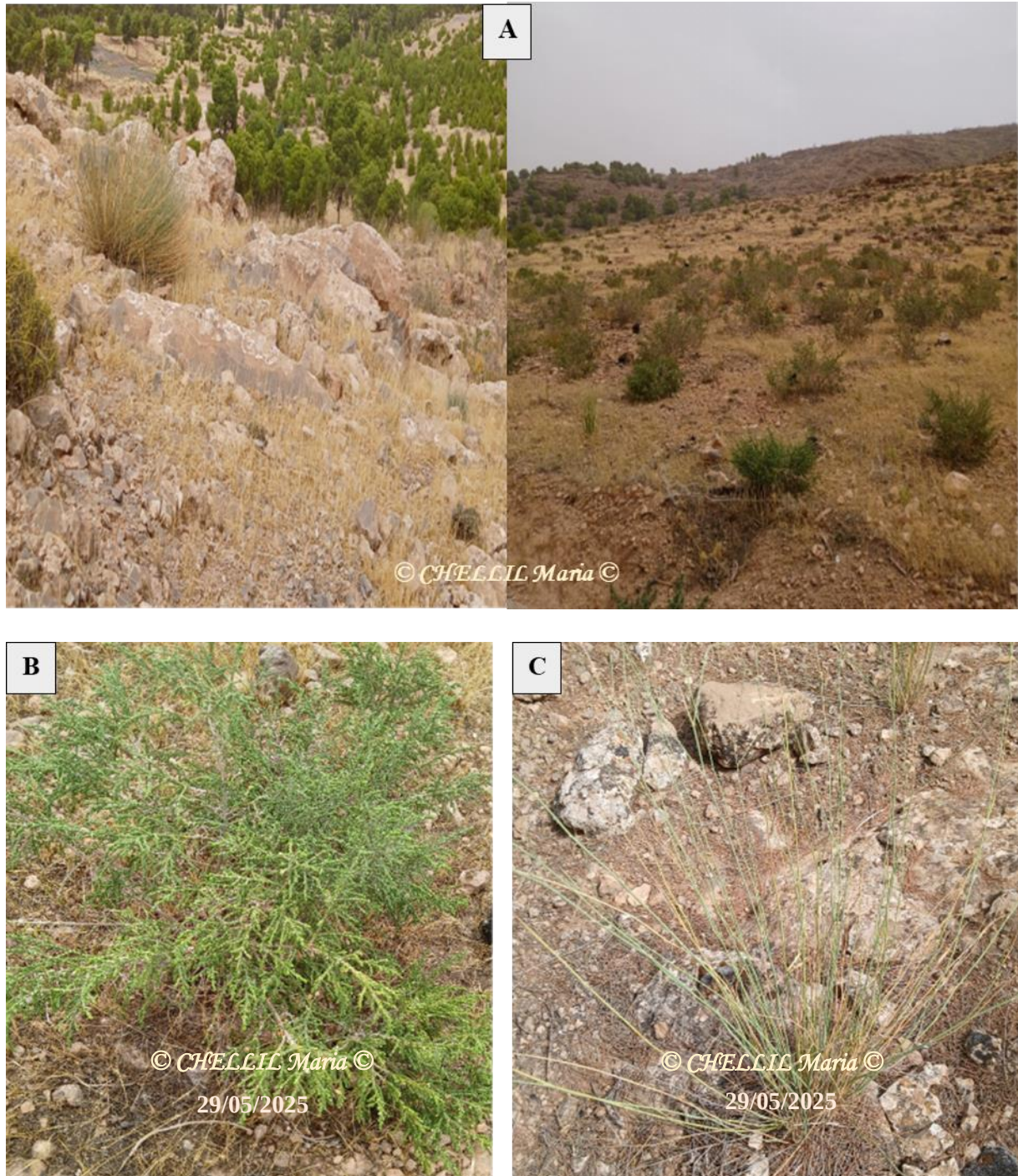


Figure 51. (A) Steppe à *Stipa tenacissima* et *Launaea acanthoclada*, (B) *Thymaelea hirsuta*, (C) *Lygeum Spartum*.

Steppe à *Artemisia herba-alba* Asso : cette steppe est localisée sur le versant nord entre 1000 et 1250 m d'altitude, se caractérise par une végétation dominée par *Artemisia herba alba* (Asso.) et accompagnée de nombreuses espèces fourragères telles que *Dactylis glomerata* (L.), *Poa bulbosa* (L.), *Trisetum flavescens* (L.), *Bromus maritensis* (L.), *Filago germanica* (L.), *Hedysarum naudinianum* (Coss.), *Hippocrepis scabra* (DC.), ainsi que *Pallenis spinosa* (L.) Coss., *Atractylis cancellata* (L.) et *Helichrysum stoechas* (L.) DC. Elles constituent l'un des pâturages les plus qualitatifs de la région (Chermat, 2013).

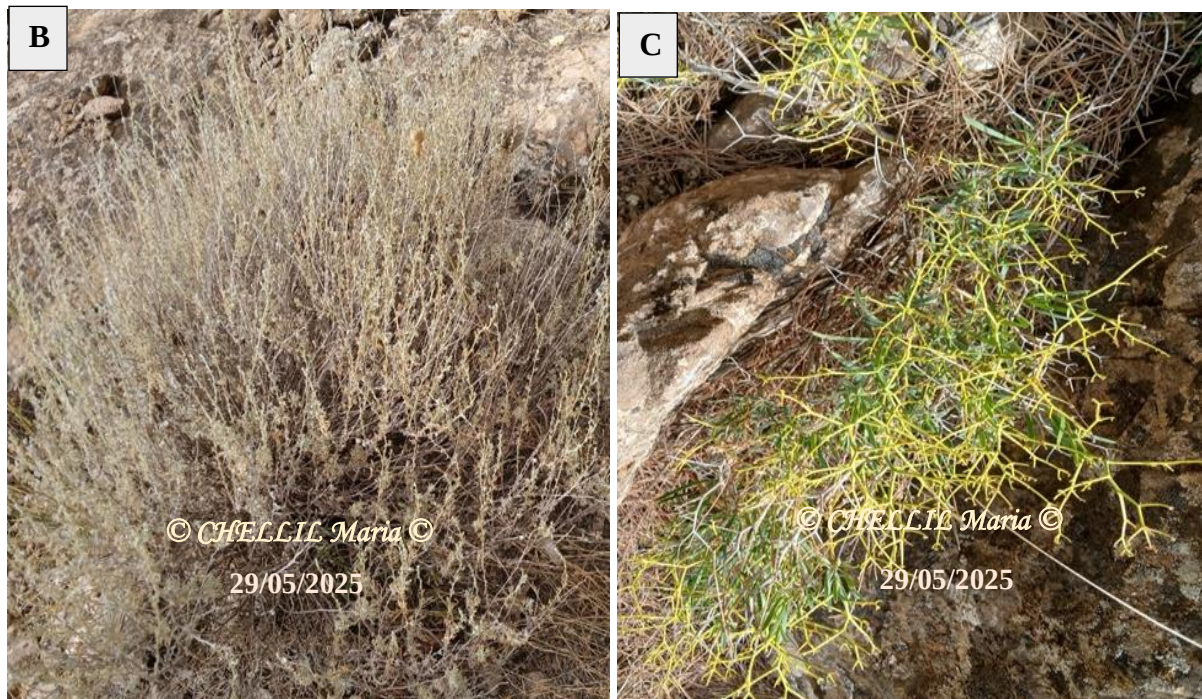




Figure 52. (A) Formation de Steppe à *Artemisia herba-alba*, (B) *Artemisia herba-alba*, (C) *Calicotome spinosa*, (D) *Cichorium intybus*, (F) *Atractylis gummifera* L.

Formations rupicoles : se développent principalement dans les fissures et les anfractuosités des falaises rocheuses principalement calcaires, exposées au nord. La flore caractéristique de ces milieux est généralement très spécifique, composée d'espèces adaptées à des conditions extrêmes. Parmi les espèces typiques on trouve : *Asplenium trichomanes* (L.), *Silene atlantica* (Coss.), *Gymnogramme leptophylla* (L.) Desv., *Polypodium vulgare* (L.), *Campanula rotundifolia* (L.), et *Helichrysum stoechas* (L.) DC., (Chermat, 2013).



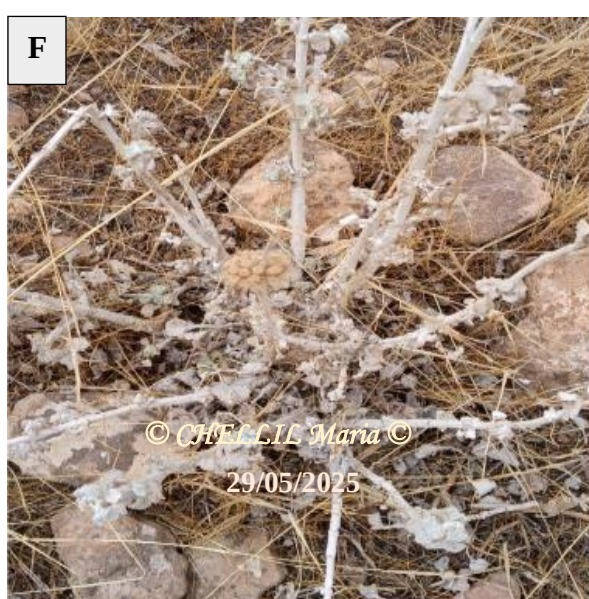


Figure 53. (A) Formation rupicole de Djebel Youcef, (B) *Lysimachia arvensis*, (C) *Helianthemum lippii*, (D) *Heliotropium europaeum*, (E) *Phacelia hastata*, (F) *Marrubium vulgare*, (G) *Thymelaea passerina*.

La carte ci-dessous (Figure 54) présente la répartition spatiale des formations végétales coexistées au niveau du massif de Djebel Youcef.

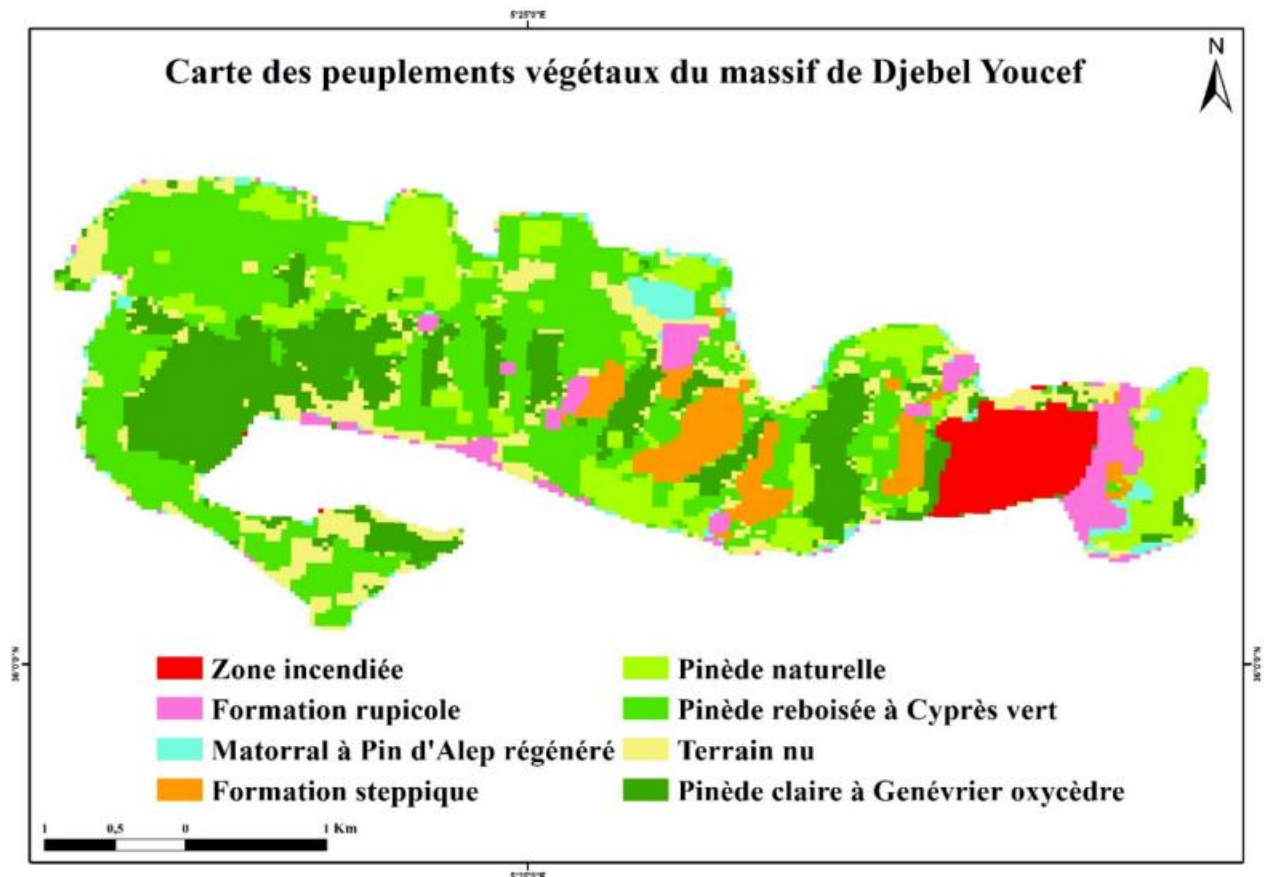


Figure 54. Carte de répartition des peuplements végétaux dans le massif de Djebel Youcef.

1.2. Caractérisation de la résilience spatiotemporelle de la végétation entre (1984 et 2022)

1.2.1. Analyse de la variabilité temporelle du NDVI (1984-2022)

L'analyse de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) sur l'ensemble de la période 1984 à 2022 met en évidence une tendance à la hausse du NDVI au fil du temps, traduisant une amélioration progressive de la couverture végétale et de la productivité des écosystèmes sur le massif forestier de Djebel Youcef. Cette augmentation est particulièrement notable à partir des années 2000, avec des pics de plus fréquents au-dessus de 0,4 après 2010. Malgré cette tendance positive, certaines années telles que 1984, 1985, 1992, 1993, 1997,

2001, 2003, 2017, 2021 présentent des chutes brutales, qui peuvent être désignées comme des périodes de stress sévère de la végétation, souvent dues à des sécheresses, ou à des événements extrêmes liées aux changements climatiques. La fréquence de ses baisses critiques semble moins importante après 2010 où les pics deviennent plus élevés atteignant régulièrement des valeurs supérieures à 0,4 voire 0,5 après 2015 (Figure 55).

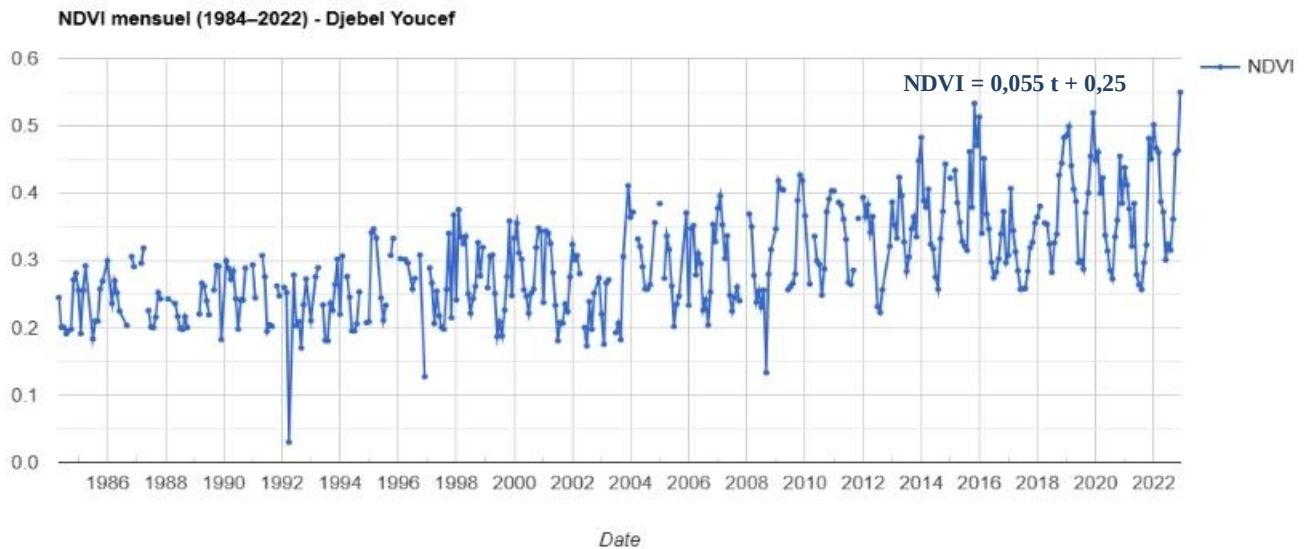


Figure 55. Variabilité mensuelle du NDVI au niveau du massif de Djebel Youcef au cours de la période (1984-2022).

1.2.2. Analyse de la variabilité intra-annuelle du NDVI (1984-2022)

À l'échelle annuelle, la végétation suit un cycle saisonnier bien marqué, avec des valeurs plus élevées en hiver surtout en moins de décembre et janvier, où l'NDVI atteint environ 0,38-0,39 indiquant une forte activité chlorophyllienne dues au retour des conditions climatiques humides plus favorable. Cependant, les mois d'été, particulièrement juillet et août présentent les valeurs les plus basses avoisinant 0,24, ce qui reflète une période sèche et chaude, et peu favorable à l'activité végétative.

La phase de reprise de végétation débute dès septembre avec une évolution progressive des valeurs de NDVI qui se poursuivent jusqu'en décembre (Figure 56).

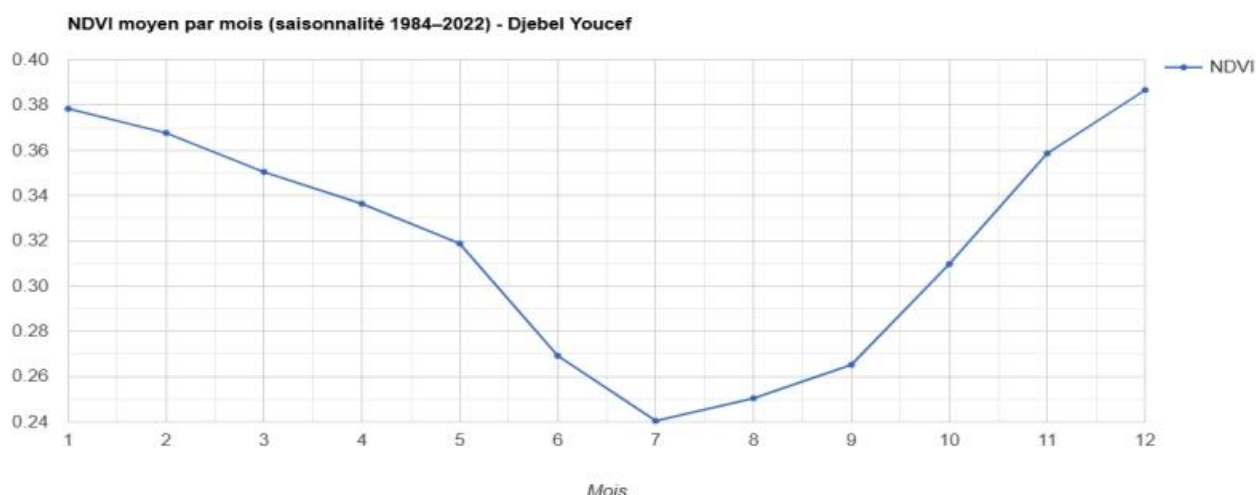


Figure 56. Variabilité intra-annuelle du NDVI au niveau du massif de Djebel Youcef au cours de la période (1984-2022).

1.2.3. Identification des périodes critiques de stress végétatif entre (1984-2022)

L'analyse de la dynamique du NDVI sur le massif de Djebel Youcef ressort de plusieurs moments de chute végétative entre 1984 et 2022. Les chutes les plus critiques sont celles qui conviennent notamment avec les périodes favorables au développement de la végétation qui s'étendent de mars au début du mois de juin et de septembre à novembre. La première correspond à la phase la plus active de floraison et de croissance maximale, tandis la deuxième est marquée par une reprise de l'activité végétative en profitant les premières pluies automnales.

Les évènements de stress sont également définis en s'appuyant sur les valeurs les plus faibles du z-score comprises entre -3,5 et 0 où la végétation commence à souffrir des conditions climatiques extrêmement difficiles. Par conséquent, nous pouvons définir pour le Djebel Youcef cinq majeurs évènements de stress comme suit :

Tableau 15. Les valeurs critiques du z-score pour le NDVI du massif de Djebel Youcef pendant les évènements de stress.

Evènement	Stress 1985 01/10/1985	Stress 1993 01/09/1993	Stress 2001 01/10/2001	Stress 2003 01/09/2003	Stress 2017 01/11/2017
Z-score	-1,6	-0,6	-2,4	-1,8	-2,3

1.2.4. Résistance de la végétation

L'analyse de résultats de la résistance de la végétation du Djebel Youcef sur près de quatre décennies met en évidence une dynamique plus contrastée face aux épisodes de stress connus en 1985, 1993, 2001, 2003 et 2017. En 1985, on observe déjà une nette différenciation spatiale entre les différentes parties du massif, avec une alternance des zones bien résistées et amplifiée à l'ouest et des zones sensibles modérément résistées à l'est. Les années 1993 et surtout 2001 apparaissent comme les plus stables avec une résistance largement homogène, ce qui traduit par une capacité d'adaptation de la végétation aux conditions climatiques de cette période. À l'opposé, les années 2003 et 2017 affichent une réponse très hétérogène avec une coexistence des zones affaiblies et des zones à résistance amplifiée, ce qui témoigne d'un écosystème moins cohérent auquel la végétation a réagi indifféremment face au stress climatique (Figure 57).

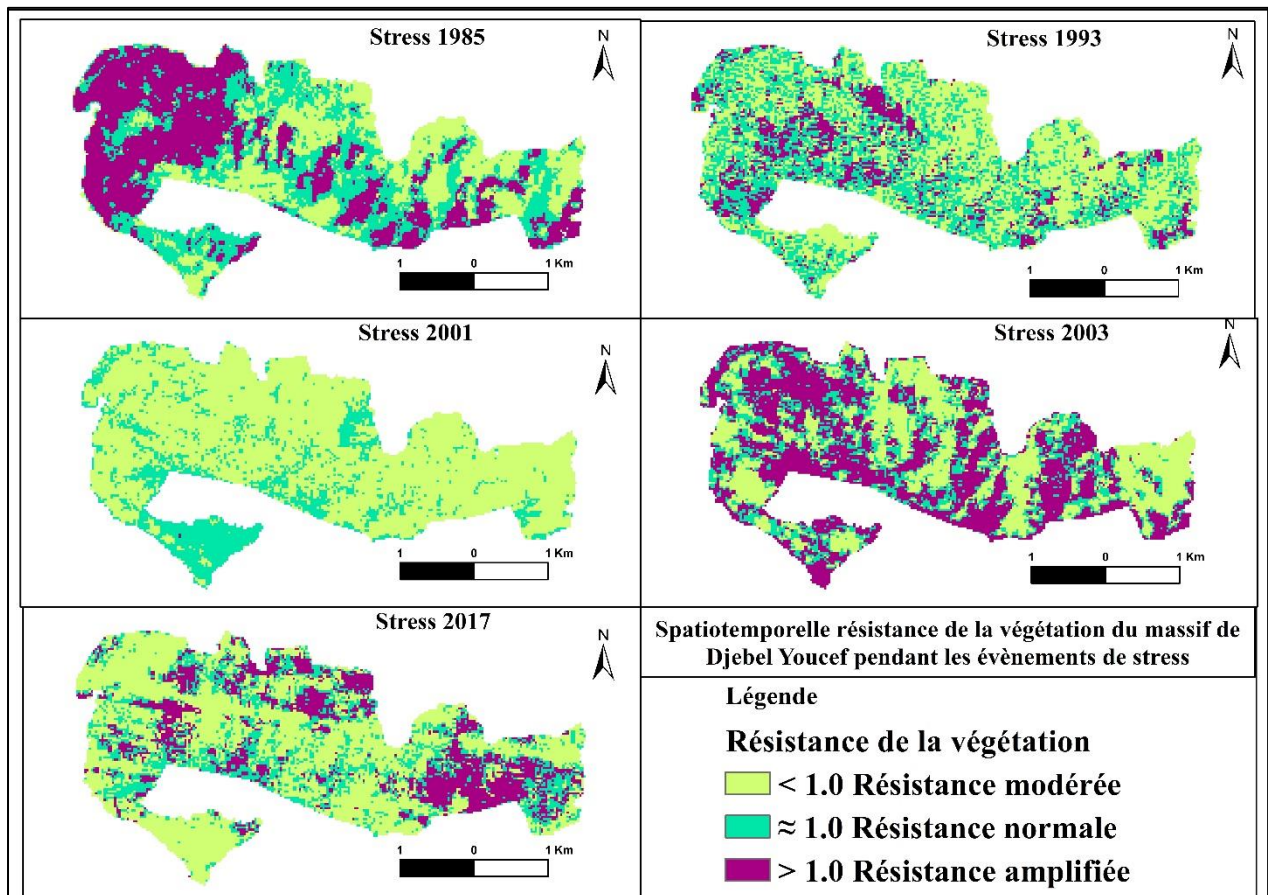


Figure 57. Évolution spatiotemporelle de la résistance de la végétation du massif de Djebel Youcef pendant les épisodes de stress.

1.2.5. Récupération de la végétation

L'analyse spatiotemporelle de la capacité de récupération de la végétation au sein du massif de Djebel Youcef révèle d'une dynamique de rétablissement variable au fil des années de perturbations climatique. En effet, les résultats montrent que les années 1993 et surtout 2017 ont été marquées par une récupération amplifiée où la végétation a montré une reprise post-stress qui dépasse même son état initial presque sur tout le massif. Cependant, l'année 2001 se distingue par une récupération très faible où la végétation n'a pas encore retrouvé son niveau de productivité initial, ce qui suggère une difficulté de régénération malgré une résistance pendant le stress. Enfin, les années 1985 et 2003 présentent une situation de récupération plus équilibrée avec des zones bien rétablies et d'autres plus fragiles, ce qui reflète une restauration partielle mais globalement positive (Figure 58).

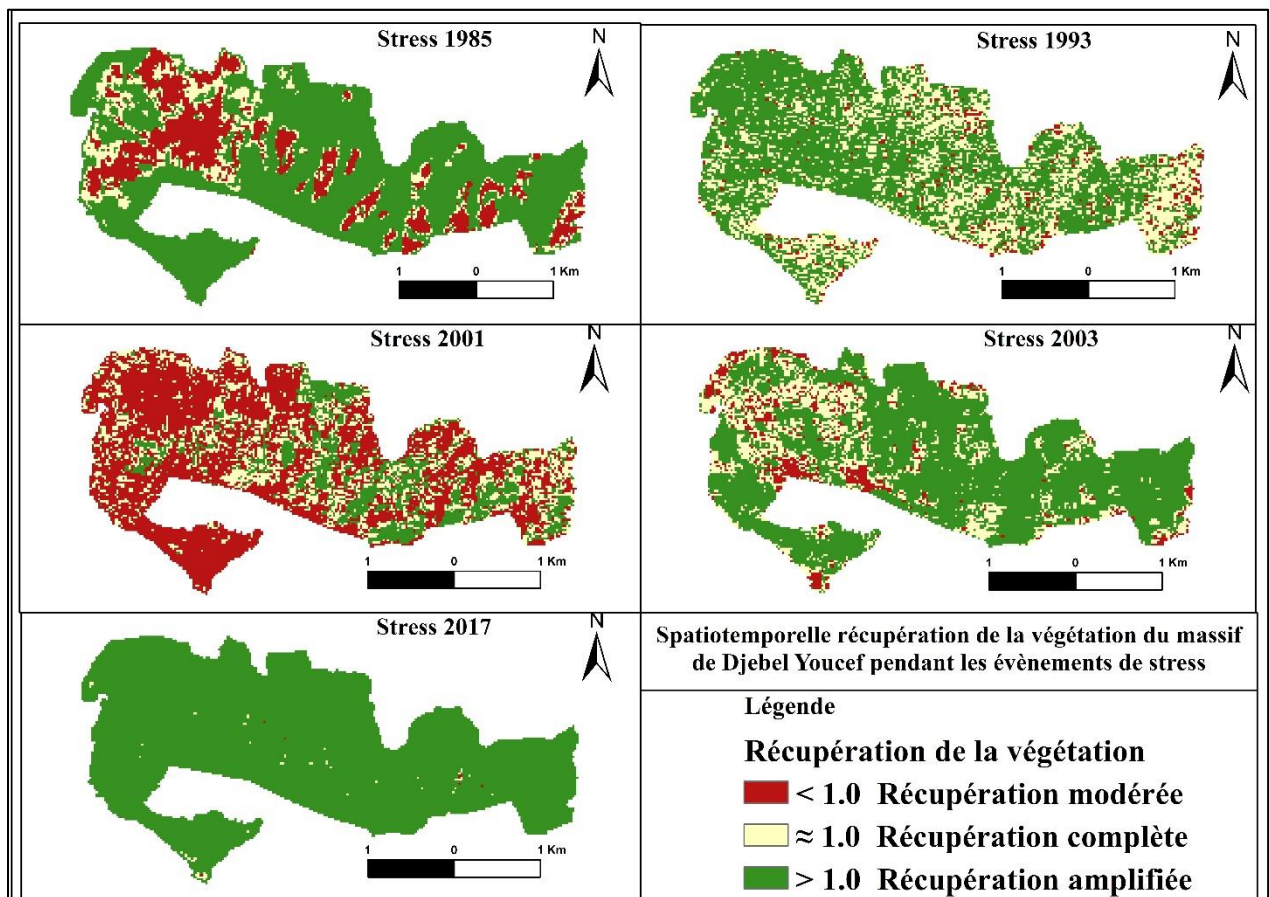


Figure 58. Évolution spatiotemporelle de la récupération de la végétation du massif de Djebel Youcef pendant les épisodes de stress.

1.2.6. Résilience de la végétation

L'analyse de la résilience calculée comme le rapport entre la récupération et la résistance montre une tendance générale progressive dans la capacité de la végétation de

Djebel Youcef à faire face les épisodes de stress climatique vécues en 1985, 1993, 2001, 2003 et 2017.

En 1985, on remarque 61 % des surfaces améliorées et environ 30 % des zones à résilience modérée, ce qui indique que la fragilité est toujours persistante dans certaines portions du territoire, mais globalement la résilience est relativement bonne.

L'année 1993 est ainsi connue un niveau un peu plus élevé de résilience amplifiée environ 67 % et seulement 10 % de surfaces à résilience modérée, traduisant une meilleure reprise végétative et une capacité d'adaptation très importante.

L'année 2001 a été suivie par d'une résilience surperformée après le stress, avec un taux de 85,46 % mais aussi 7,3 % et 7,1 % pour les zones modérément et complètement résilientes respectivement. Cette situation indique clairement que la bonne résistance suffit à garantir une forte résilience malgré la faible récupération.

En année 2003, on assiste à un retour marqué d'une résilience intermédiaire entre 54,16 % des zones de bonne résilience et 31,63 % des zones qui restent vulnérables, ce qui reflète les limites de la résilience dans un contexte de stress intense.

Enfin l'année 2017 constitue la plus résiliente de toutes où la végétation a largement surperformé avec un taux très élevé de 95,71 % portant la résilience à son niveau maximal. Cela suggère d'un écosystème en pleine adaptation écologique et régénération rapide.

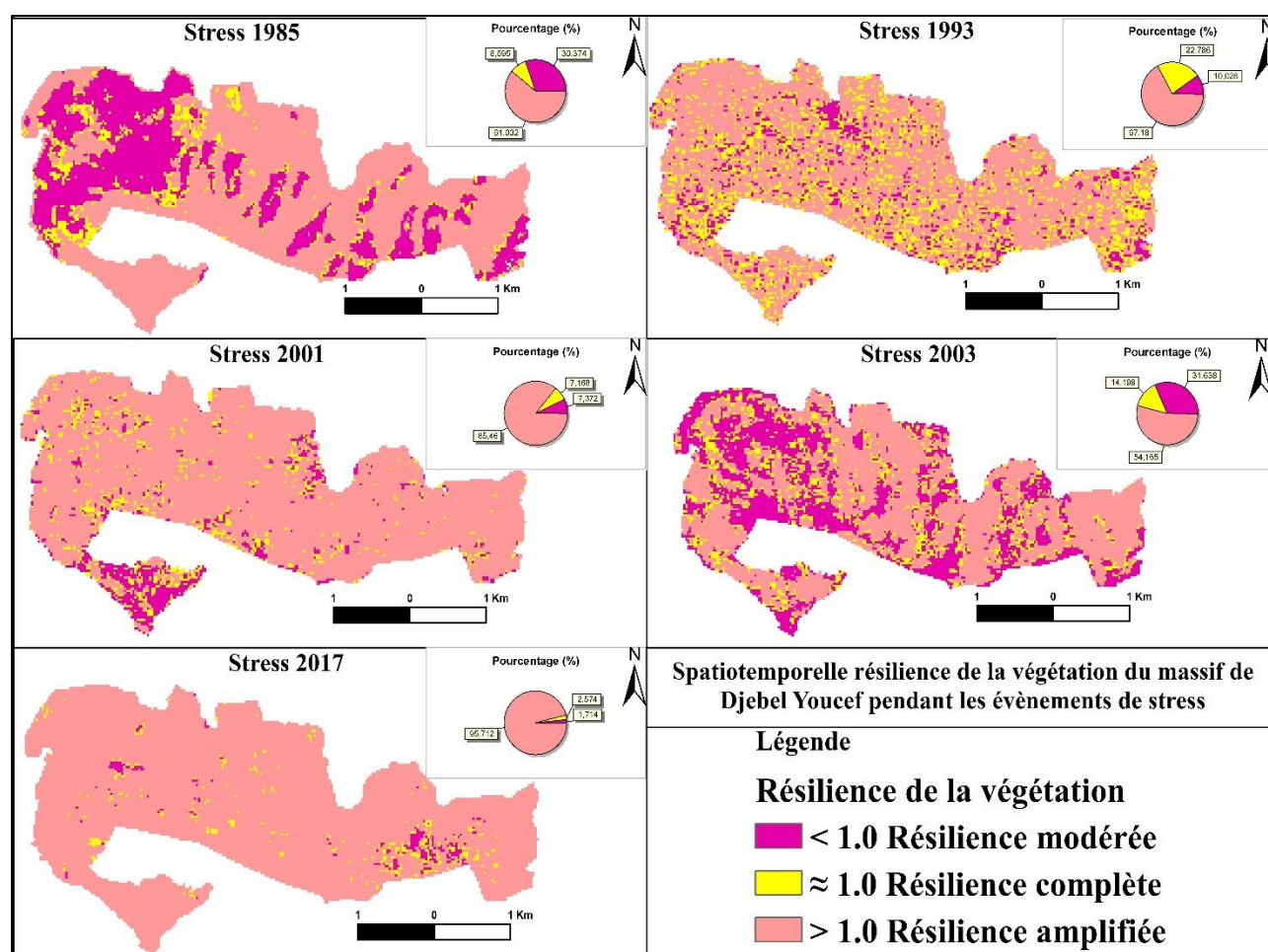


Figure 59. Évolution spatiotemporelle de la résilience de la végétation du massif de Djebel Youcef pendant les épisodes de stress.

La figure ci-dessous met en évidence l'évolution de la réponse de végétation du Djebel Youcef face aux crises climatiques selon les différents paramètres : résistance, récupération et résilience à travers les années 1985, 1993, 2001, 2003 et 2017.

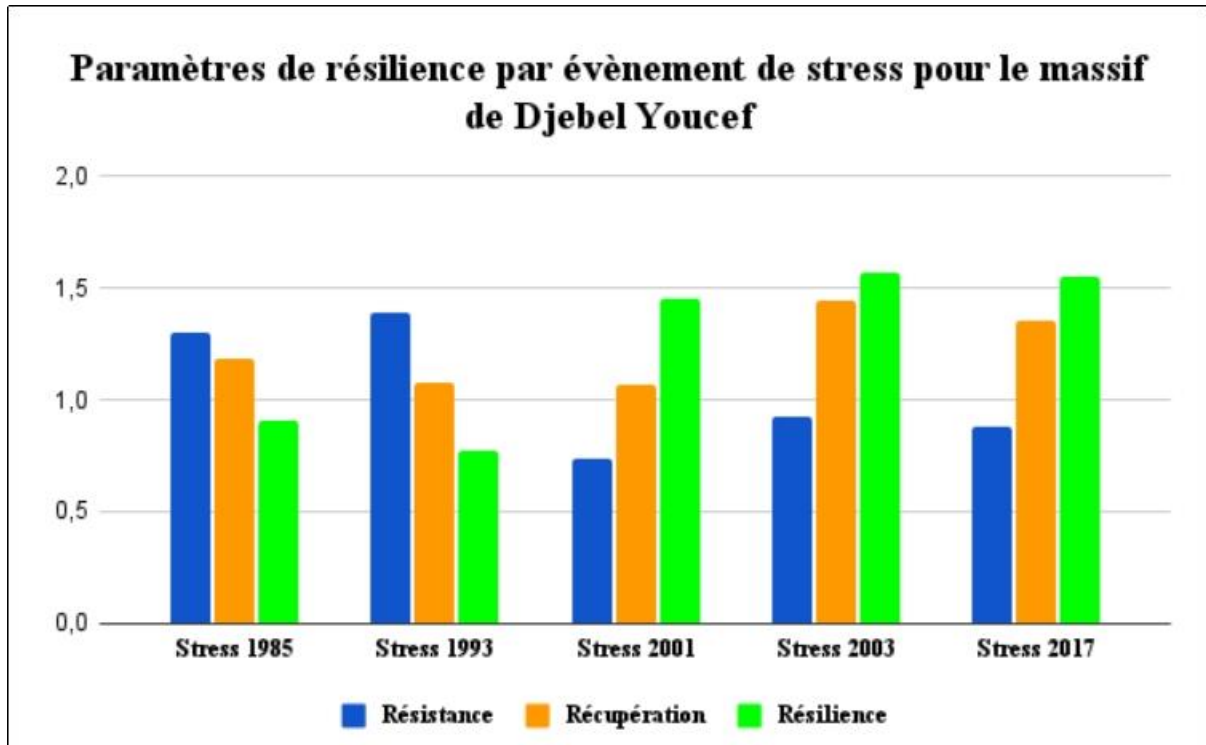


Figure 60. Évolution des paramètres résistance, récupération et résilience pendant les épisodes de stress pour le massif de Djebel Youcef.

1.2.7. Niveaux de la résilience écologique par type de formation végétale

L'analyse de résultats de la répartition des classes de niveau de résilience de la végétation montre que le massif de Djebel Youcef dans son ensemble présente une forte capacité de résilience écologique dans les formations végétales avec une prédominance de résilience amplifiée. Par conséquent, les formations rupicole et matorral à pin d'Alep régénéré apparaissent comme les plus résilientes avec des pourcentages supérieurs à 98 %. Cependant les formations à structure ouverte comme la pinède claire à genévrier oxycèdre et les steppes semblent les plus fragiles avec un taux de résilience amplifiée autour de 95 % seulement et un niveau de 5 % mais plutôt visible pour la résilience complète et modérée. Par ailleurs, la pinède soit naturelle ou reboisée à cyprès vert présente encore un taux de 96,6 % à 97,6 % respectivement d'une résilience amplifiée reflétant une bonne amélioration globale (Figure 61).

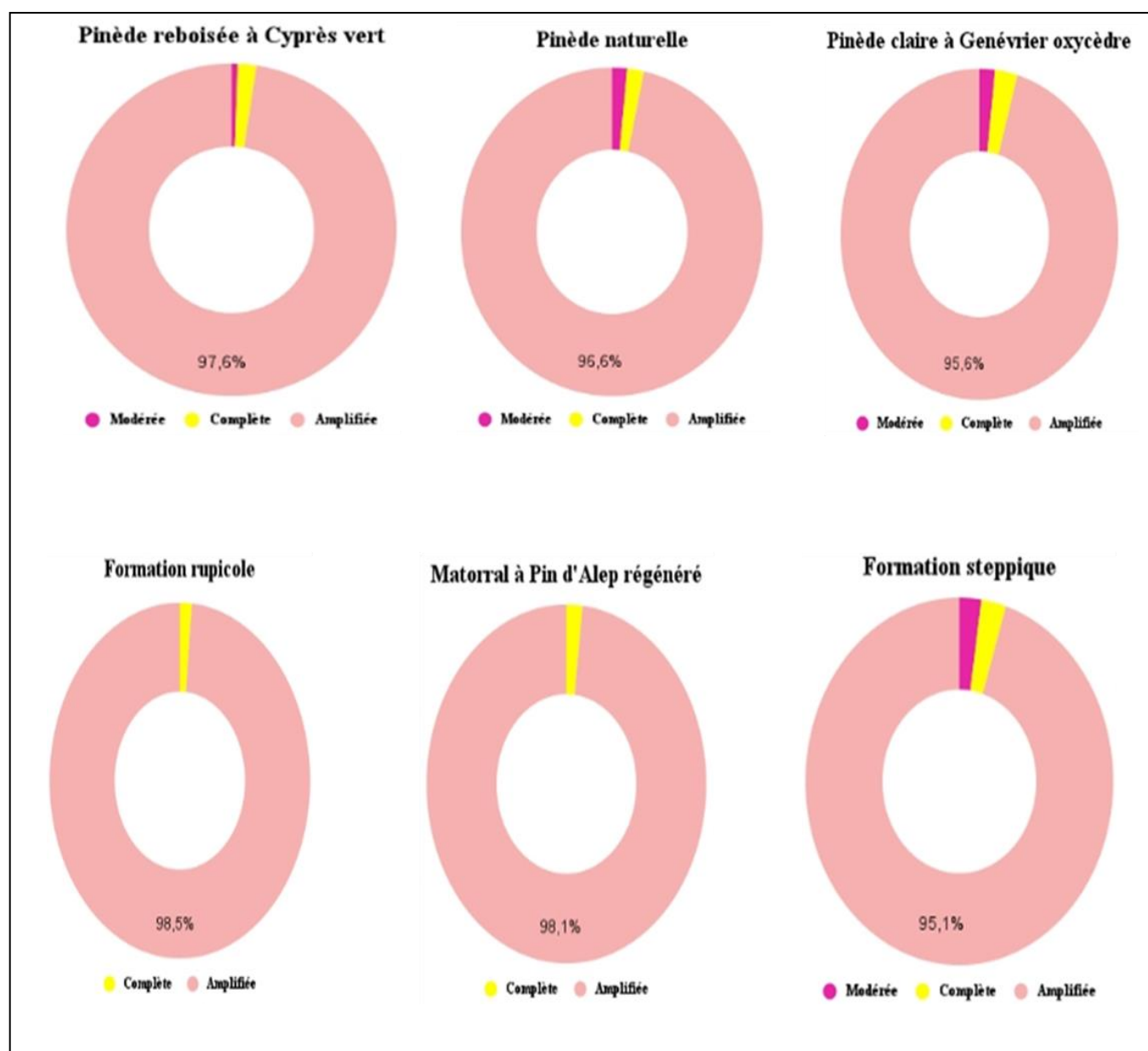


Figure 61. Distribution des niveaux de résilience par type de formation végétale constituant le massif de Djebel Youcef.

Afin de trouver la résilience globale de ce site d'étude, nous avons attribué un score pondéré de résilience pour chaque classe de formation végétale. Le résultat indique que le massif de Djebel Youcef avec sa couverture végétale gagne une très forte résilience avec un score de 2,96 (Tab 15). Ce résultat indique que les formations végétales majoritaires de ce site maintiennent un bon potentiel pour non seulement tolérer les stress climatiques mais aussi récupérer et accroître trop rapidement après les perturbations, en constituant des écosystèmes solides et cohérent à long terme.

Tableau 16. Score moyen pondéré pour chaque formation végétale et score global du massif de Djebel Youcef.

Classe de résilience (%)	Modérée	Complète	Amplifiée	Score pondéré
Formation rupicole	0	1,46	98,54	2,99
Matorral à pin d'Alep régénéré	0	1,85	98,15	2,98
Formation steppique	2,30	2,59	95,11	2,93
Pinède naturelle	1,63	1,78	96,59	2,95
Pinède reboisée à cyprès vert	0,62	1,81	97,58	2,97
Pinède claire à genévrier oxycèdre	1,82	2,60	95,58	2,94
Score global du site				2,96

2. Le massif forestier de Boutaleb

2.1. Typologie et cartographie des formations végétales

Les sorties récurrentes effectuées au niveau du massif de Djebel Boutaleb associées aux données recueillies auprès de la CFS, ont permis de mettre en évidence des formations végétales très variées, avec un recouvrement beaucoup plus important en exposition nord qu'en exposition sud est réparties comme suit :

Les forêts : l'ensemble de ces formations forestières sont principalement composées de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti.) et de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). Elles se développent sur les sols bruns forestiers, parfois noirâtres. La cédraie de l'Atlas apparaît à partir de 1400 m, tandis que la pinède s'installe dès 1000 m. Notons que les forêts de cèdre de l'Atlas n'existent qu'en exposition Nord. Ces forêts peuvent être denses, trouées ou claires.

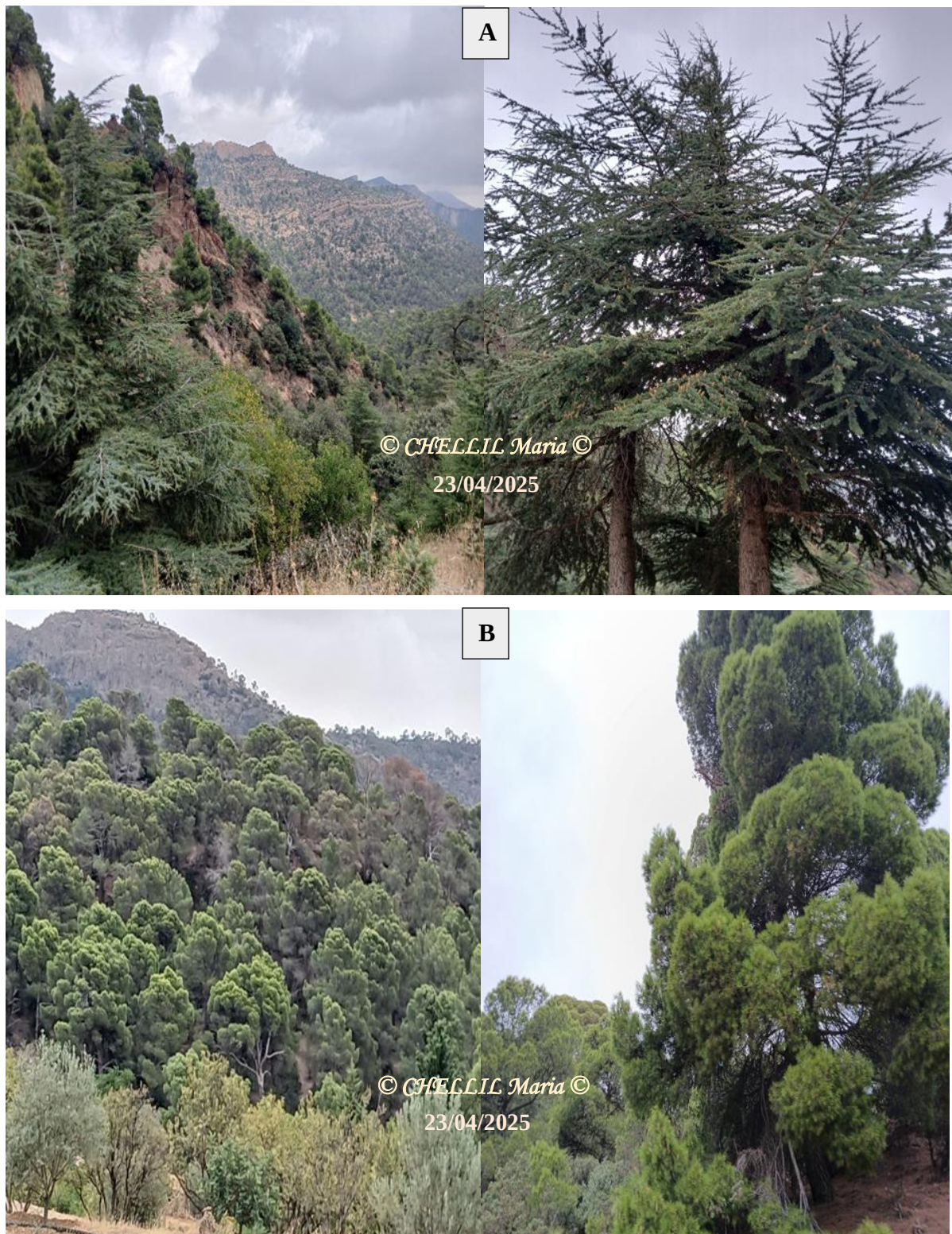


Figure 62. (A) Cédraie de Boutaleb, (B) Pinède de Boutaleb.

Les matorrals : ce type de formation est un peu diversifié dans le massif, en effet, nous trouvons des formations à base de chêne vert (*Quercus ilex* L.) qui n'existe dans le massif de

Boutaleb que sous la forme de matorral. Ce dernier occupe presque toute la partie nord du massif à partir de 1200 m d'altitude.

A ce type de formation s'ajoutent des matorrals à *Cedrus atlantica* Manetti et *Pinus halepensis* Mill. Ainsi que des matorrals à dominance arbustive diversifiée. Ces derniers sont composés de filaire (*Phillyrea angustifolia* (L. Rouy), de pistachier (*Pistacia terebinthus* L.), de lentisque (*Pistacia lentiscus* L.), de genévrier rouge (*Juniperus phoenicia* L.), de genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus* L.), ainsi que de diverses espèces aromatiques et xériques telles que le romarin (*Rosmarinus tournefortii* de Noé), la globulaire (*Globularia alypum* L.) et le thym cilié (*Thymus ciliatus* Desf.).

Ces matorrals apparaissent généralement à partir de 900 m d'altitude sur des sols souvent évolués ou dégradés.

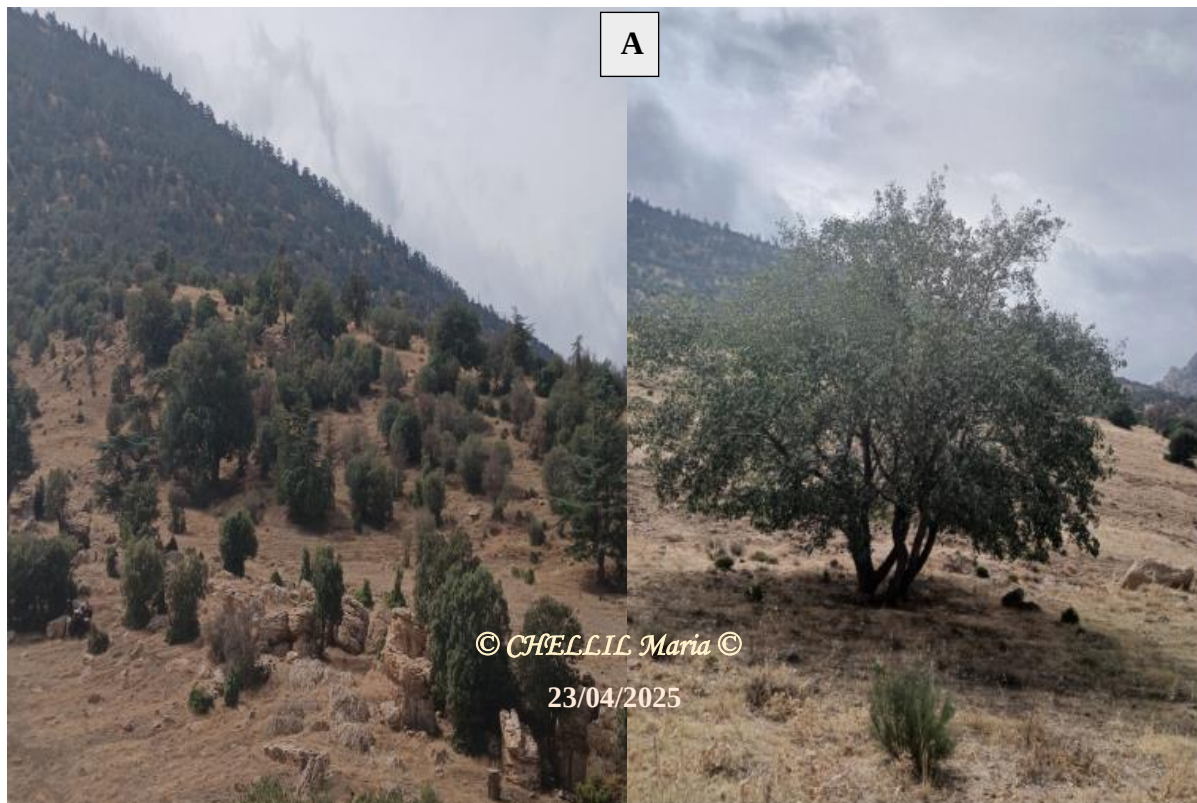




Figure 63. (A) Matorral à chêne vert (*Quercus ilex* L.), (B) *Juniperus oxycedrus* L., (C) *Juniperus phoenicia* L., (D) *Pistacia lentiscus* L., (E) *Phillyrea angustifolia* (L. Rouy).

Les steppes : sont des formations naturelles herbacées très ouvertes. Elles sont à dominance de xérophytes en touffes qui tapissent pratiquement tout le flanc sud à partir de

800 m d'altitude, sur des sols rocailleux dégradés. Ces formations sont essentiellement constituées de l'armoise blanche (*Artimisia herba alba* Asso), de l'alfa mauritanien (*Ampelodesmos mauritanicus* Poir.), et du genêt blanc (*Retama raetam* Forssk.).

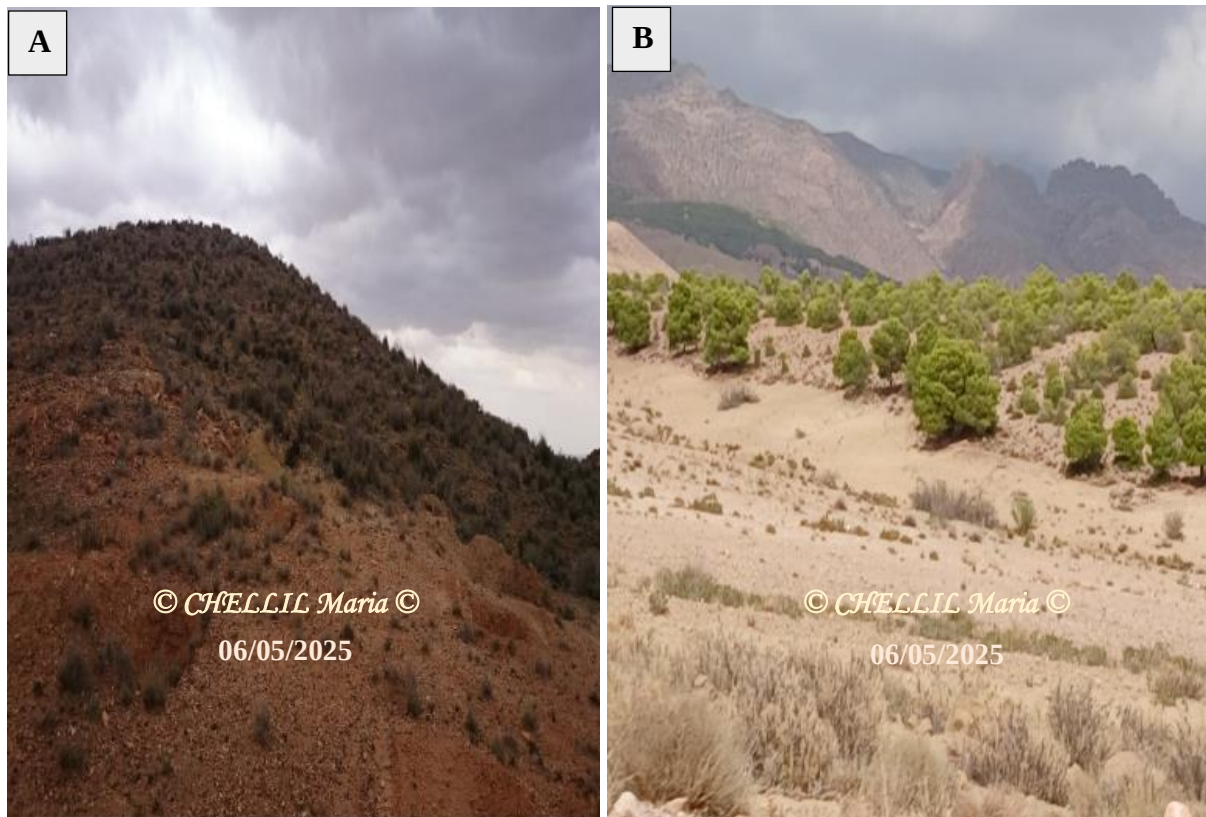


Figure 64. (A) Steppe à *Artimisia herba alba* Asso, (B) Steppe arborée.

Les pelouses écorchées : sont des formations à caractère xérophytique dominées par des chamaephytes en coussinets épineux tels que l'*Erinacea anthyllis* Link., le buplèvre (*Bupleurum spinosum* L.) et parfois l'astragale (*Astragalus armatus* Willd.). Ces pelouses s'installent au niveau de sommets de certains Djebels du massif, plus particulièrement au Djebel Afghan au-delà de 1800 m d'altitude, où les sols sont dégradés et caillouteux.



Figure 65. Pelouse à *Astragalus armatus* Willd.

Les ermes : sont des formations herbacées plus au moins discontinues et à rythme saisonnier très marqué. Ces ermes sont à dominance de thérophytes et s'installent temporairement dans les parties trouées des forêts et les clairières des matorrals décrits précédemment dans le massif de Boutaleb. Elles se développent sur des altitudes variables de 900 à 1800 m où les sols sont évolués et très peu dégradés.

La carte suivante présente la diversité et la distribution spatiale des différentes formations végétales qui couvrent le massif forestier de Boutaleb.

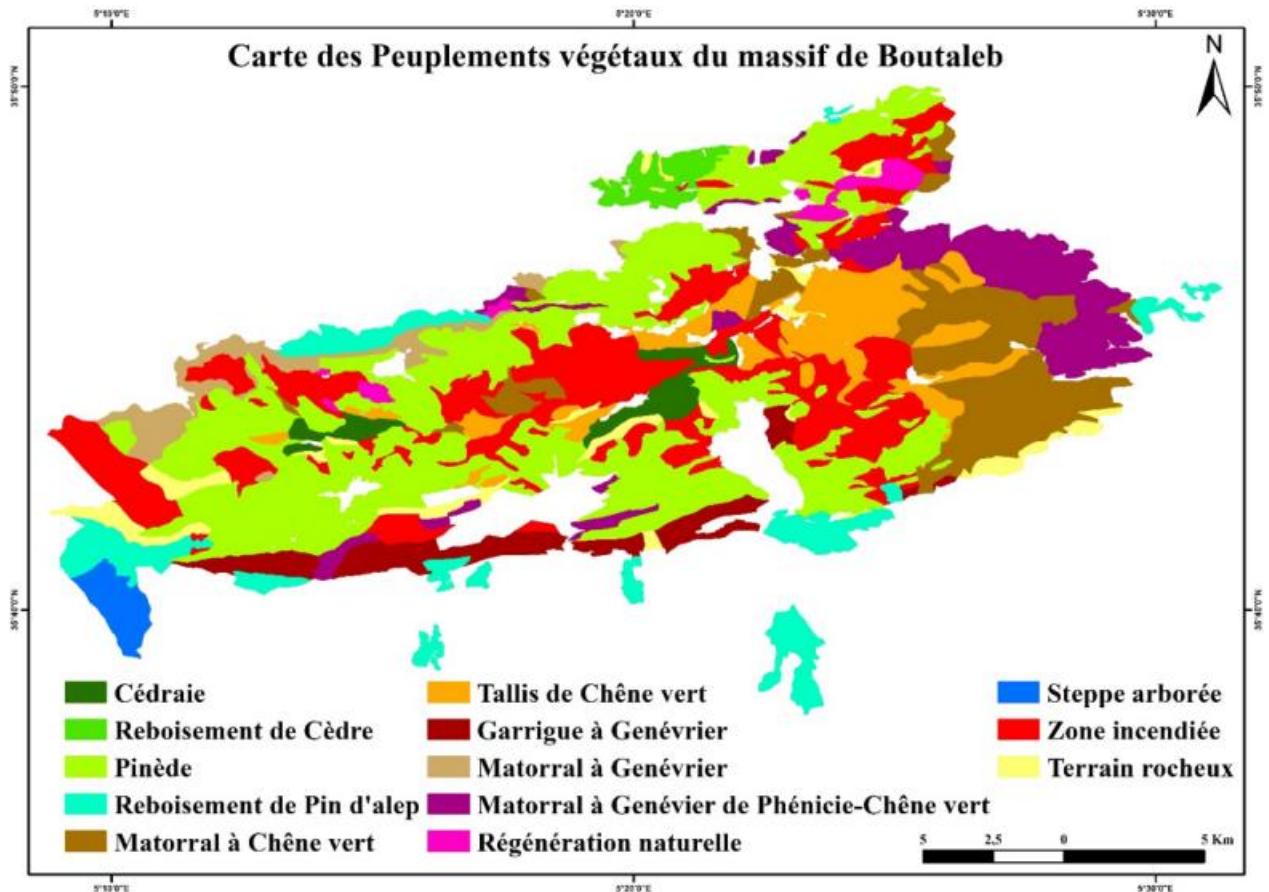


Figure 66. Carte de répartition des peuplements végétaux dans le massif forestier de Boutaleb.

2.2. Vulnérabilité des forêts de Boutaleb face au changement climatique

Lors de notre investigation sur terrain, nous avons pu constater que les forêts de Boutaleb conservent une certaine résistance face aux aléas climatiques récents, mais aussi cette résistance montre également ses limites. Des phénomènes de dépérissement ont été observés dans plusieurs peuplements végétaux notamment chez le cèdre de l'Atlas, le pin d'Alep, le cyprès vert, ainsi que le genévrier oxycèdre.

Selon nos observations corroborées par les témoignages des agents forestiers, le réchauffement prévu associés à des sécheresses récurrentes et de plus en plus intenses ont fortement contribué à l'aggravation du dépérissement dans les dernières années. Ces évolutions climatiques affaiblissent les peuplements forestiers, les rendent plus sensibles aux maladies et aux attaques des ravageurs, en particulier les scolytes.

Chez le cèdre de l'Atlas, le dépérissement y connu depuis longtemps, il touche principalement les vieux arbres que les jeunes. Néanmoins, l'évolution de ce processus est très ralentie au fil du temps, grâce à la forte résistance de cet arbre.

Chez le pin d'Alep, le dépérissement est en progression continue, et affecte aussi bien les peuplements naturels que reboisés. Il est particulièrement marqué sur les versants sud du massif, notamment après les attaques de scolytes qui provoquent un jaunissement et la chute progressif de ses feuilles, suivies de la mort des arbres infestés.

Chez le chêne vert, le dépérissement est moins sévère comparé aux espèces précédentes grâce à sa capacité naturelle de régénération, ce que lui permet de mieux résister, mais les signes de dépérissement sont tout de même visibles dans certaines zones du massif.

Chez le genévrier, le dépérissement est particulièrement préoccupant, ces dernières années reconnues par des sécheresses intenses, ce qui rend les attaques de scolytes très rapides et massives.

Chez le cyprès, notamment dans les extrémités sud du massif, l'espèce ne parvient plus à se développer. La croissance est ralentie et le dépérissement touche même les jeunes arbres.

Malgré ses signes préoccupants, la forêt de Boutaleb montre globalement une forte capacité de régénération naturelle et conserve une bonne adaptation aux aléas climatiques ce qu'assure sa continuité.

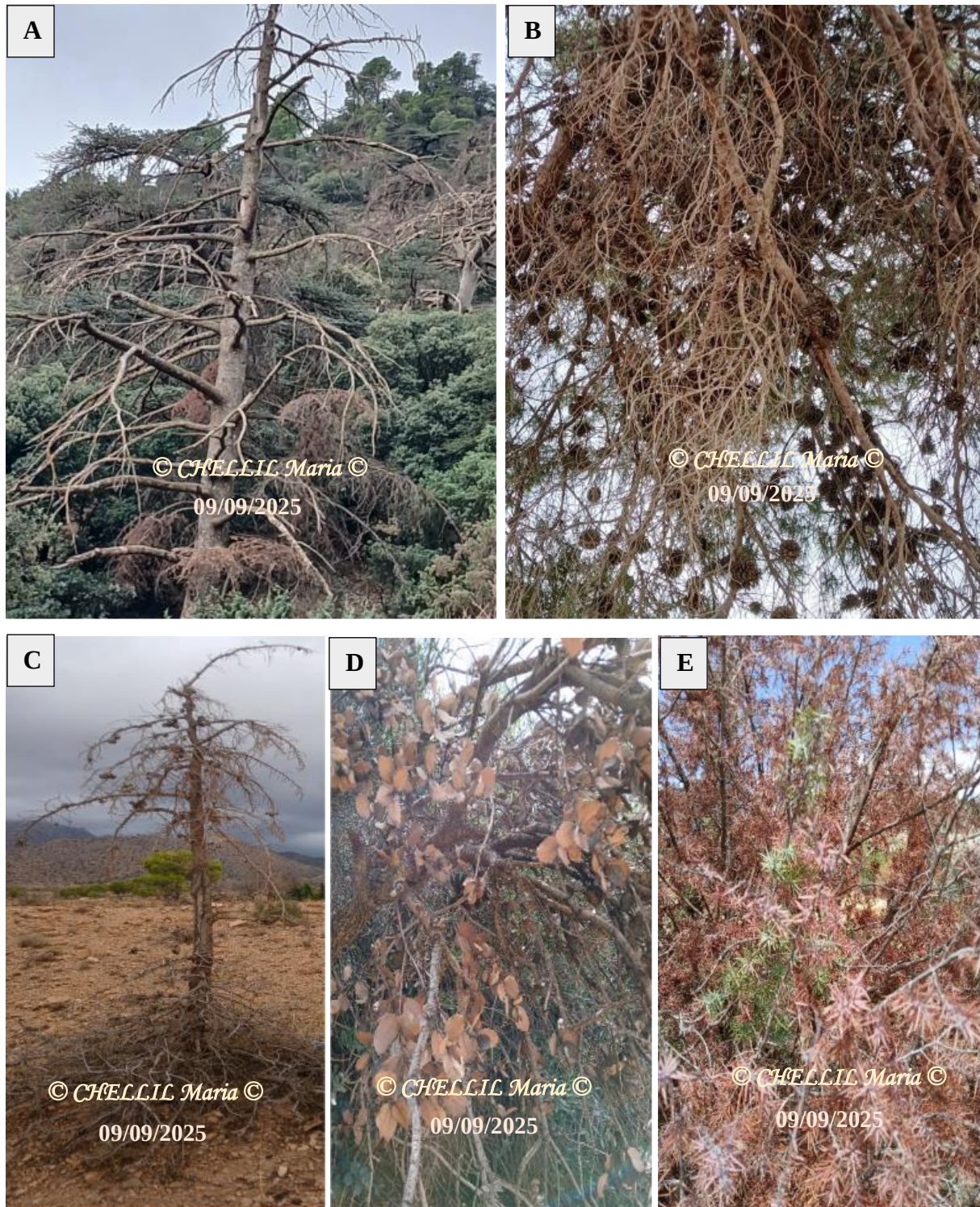


Figure 67. Signes de dépérissement chez : (A) *Cedrus atlantica* Manetti., (B) *Pinus halepensis* Mill., (C) *Cupressus sempervirens* L., (D) *Quercus ilex* L., (E) *Juniperus oxycedrus* L.,

2.3. Caractérisation de la résilience spatiotemporelle de la végétation entre (1984 et 2022)

2.3.1. Analyse de la variabilité temporelle du NDVI (1984-2022)

La série temporelle du NDVI du massif forestier de Boutaleb montre une variabilité régulière centrée également autour d'une moyenne constante, marquée par un rythme saisonnier répétitif, ce qui suggère une tendance généralement stable sur toute la période 1984-2022. Cela indique une périodicité régulière de la couverture végétale sur ce site. Pendant la période allant de 1984 jusqu'à 2000, les valeurs de NDVI fluctuent entre 0,2 et 0,4 avec plusieurs baisses importantes. À partir de 2005, la végétation montre une amélioration progressive avec des pics de NDVI supérieurs à 0,4. Cependant plusieurs chutes brutales de NDVI clairement remarquable sur le graphique atteignant parfois des valeurs inférieures à 0,1 indiquant des périodes de stress végétatives critiques, sont particulièrement visibles autour des années 1985, 1992, 1993, 1999, 2001, 2003, 2008, 2009, 2012, et 2018. Ces événements de stress écologique sont notamment des signes de forte vulnérabilité liées à des aléas climatiques extrêmes régionaux telles que la sécheresse, stress hydrique, fortes températures ou d'autres pressions environnementales. À partir des années 2010, une amélioration apparente de la végétation où le NDVI atteint un maximum près de 0,5 (Figure 68).

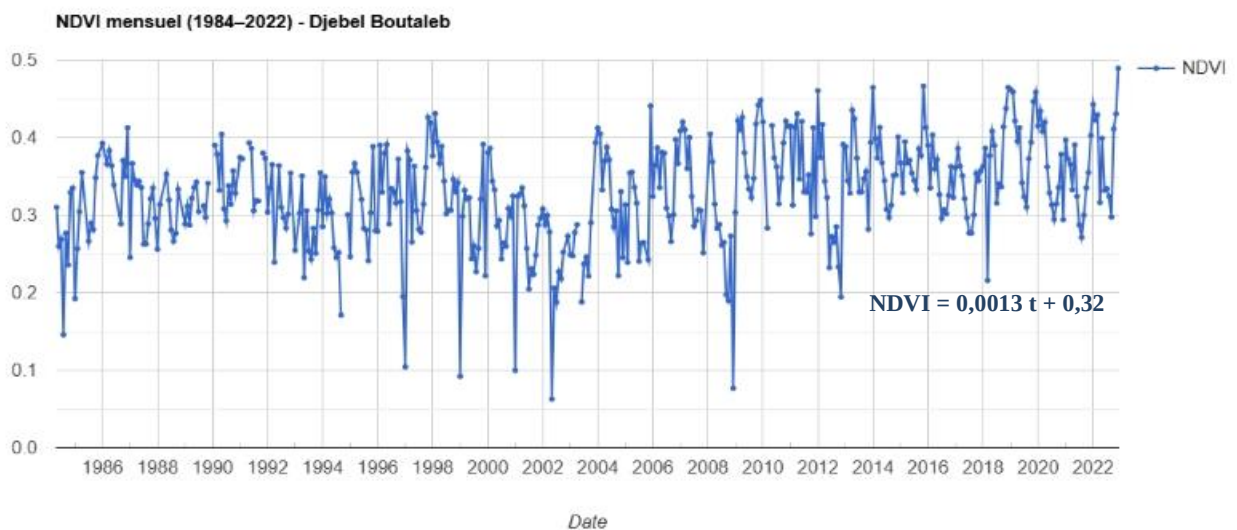


Figure 68. Variabilité mensuelle du NDVI au niveau du massif forestier de Boutaleb au cours de la période (1984-2022).

2.3.2. Analyse de la variabilité intra-annuelle du NDVI (1984-2022)

L'analyse de la variabilité intra-annuelle du NDVI confirme la saisonnalité de la végétation, marquée par une baisse estivale durant les mois de juillet et août avec des valeurs NDVI entre 0,28 et 0,29, coïncidant avec la période la plus sèche et stressée de l'année. Cependant, les mois de février et novembre montrent les valeurs les plus élevées du NDVI autour de 0,38, correspondant à une activité végétative maximale favorisée par la disponibilité de l'eau et les températures modérées.

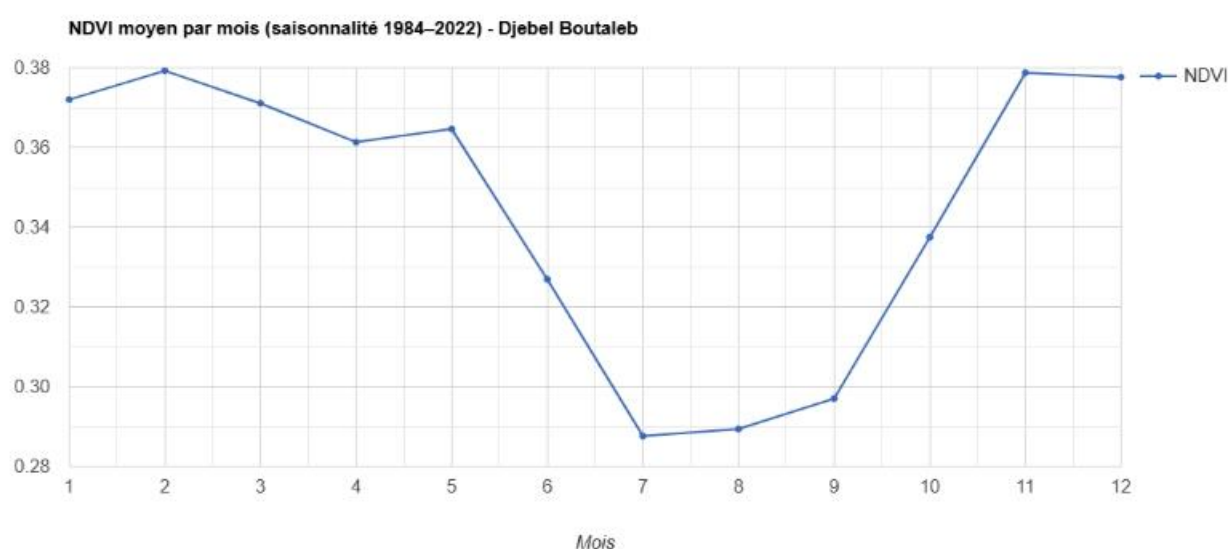


Figure 69. Variabilité intra-annuelle du NDVI au niveau du massif forestier de Boutaleb au cours de la période (1984-2022).

2.3.3. Identification des périodes critiques de stress végétatif entre (1984-2022)

En tenant compte des valeurs critiques de z-score compris entre -3,5 et 0, coïncidant avec la période de mars à mai-début de juin, ou de septembre à novembre, nous pouvons préciser cinq dates critiques de stress végétatif vécues dans le massif forestier de Boutaleb à travers des quatre décennies, qui sont :

Tableau 17. Les valeurs critiques du z-score pour l'NDVI du massif forestier de Boutaleb pendant les événements de stress.

Evènement	Stress 1985 01/11/1985	Stress 1993 01/05/1993	Stress 2001 01/10/2001	Stress 2003 01/06/2003	Stress 2018 01/03/2018
Z-score	-0,56	-3,0	-3,5	-3,4	-3,2

2.3.4. Résistance de la végétation

L'analyse des résultats de la variation spatiotemporelle de la résistance de la végétation à différents épisodes de stress survenus en 1985, 1993, 2001, 2003 et 2018 révèle une grande hétérogénéité spatiale et temporelle dans la réponse de la végétation aux stress. L'année 2001 ressort comme la plus critique en termes de vulnérabilité végétative, indiquant que la végétation a souffert sur l'ensemble du territoire. En revanche, l'année 1993 marque une résistance très hétérogène, dont certaines zones montrent une faible résistance, par contre à d'autres qui conservent bien la stabilité ou bénéficient d'une réponse surperformée pendant le moment de stress. Les années 1985 et 2003 montrent majoritairement une amplification de la couverture végétale, ce qui reflète que les écosystèmes de Boutaleb ont réagi positivement aux stress. Cependant, l'année 2018 reflète une distribution plus équilibrée entre les classes avec une proportion importante de la végétation qui reste inchangée pendant le stress, ce qui témoigne une bonne stabilité fonctionnelle des écosystèmes (Figure 70).

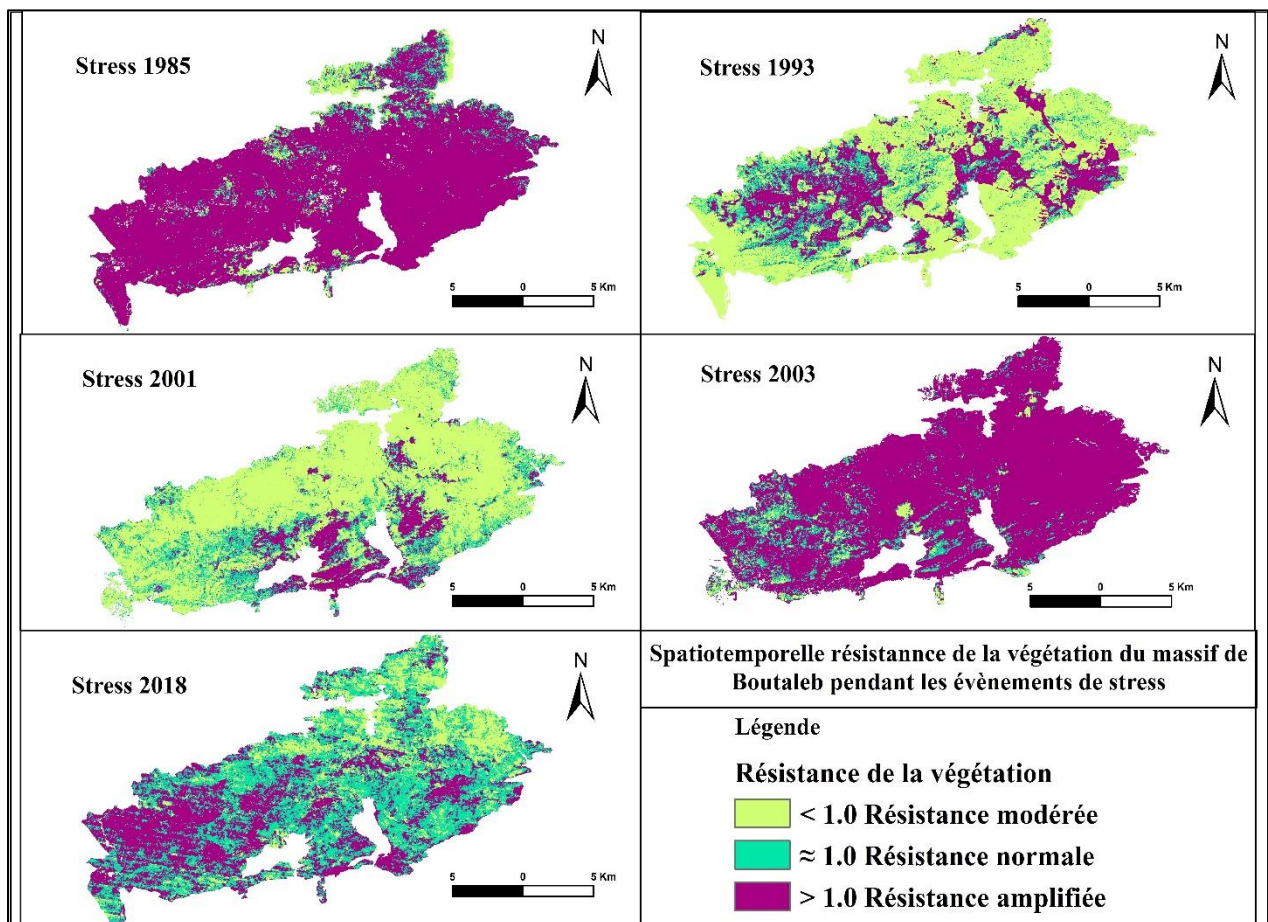


Figure 70. Évolution spatiotemporelle de la résistance de la végétation du massif forestier de Boutaleb pendant les épisodes de stress.

2.3.5. Récupération de la végétation

L'analyse des résultats de la récupération végétale après les épisodes de stress permet également d'évaluer la capacité de ce site à restaurer son activité chlorophyllienne. Les années 1993 et 2001 ressortent comme les périodes les plus sensibles où la végétation de Boutaleb a modérément récupéré, sans atteindre son état initial. En revanche, l'année 1985 montre une récupération limitée, bien que certaines zones n'ont pas restauré. Par contre, l'année 2003, qui connue une récupération exceptionnellement homogène et amplifiée, où la croissance végétale a dépassé ses niveaux initiaux. Enfin, l'année 2018 révèle une bonne capacité régénération de la végétation, avec très peu de zones partiellement récupérées, qui semble une signe d'adaptation accrue face aux aléas climatiques (Figure 71).

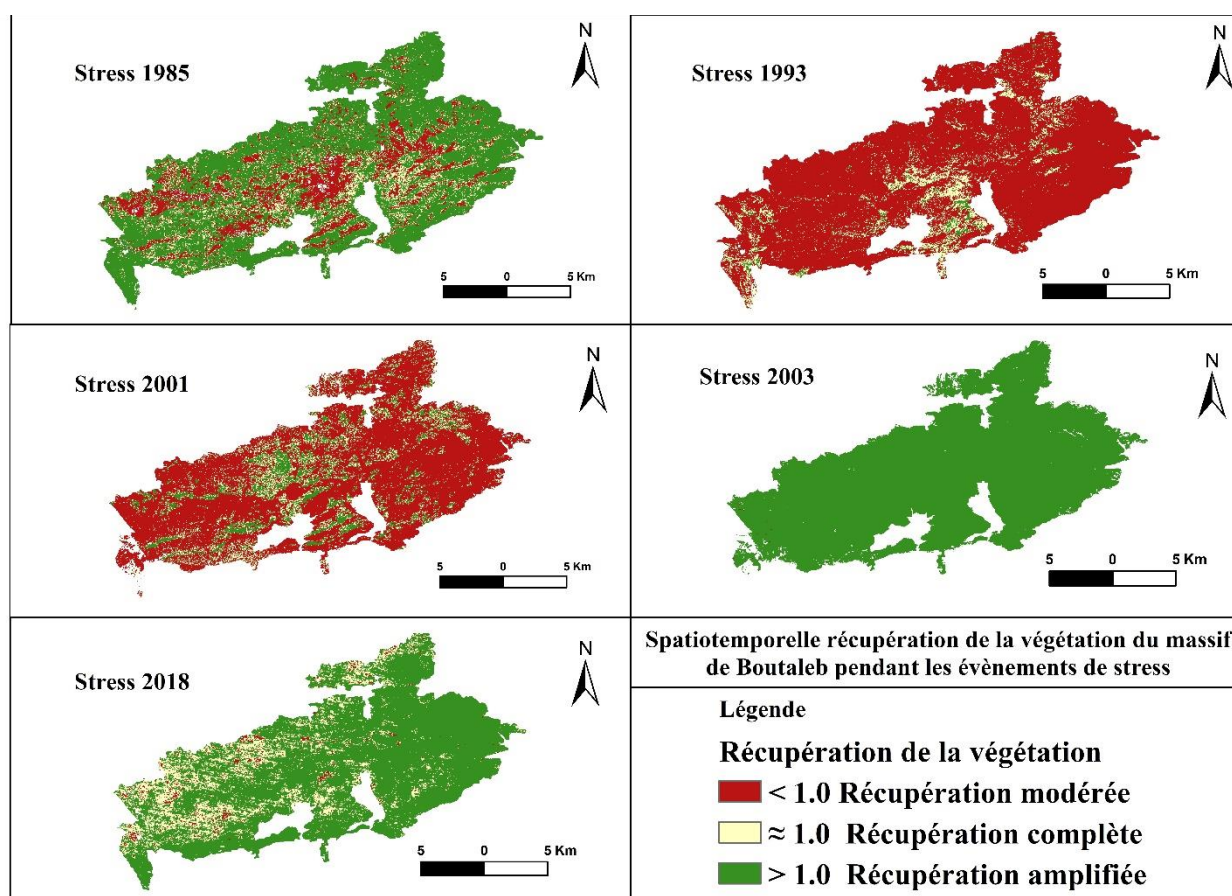


Figure 71. Évolution spatiotemporelle de la récupération de la végétation du massif forestier de Boutaleb pendant les épisodes de stress.

2.3.6. Résilience de la végétation

La combinaison de la résistance et la récupération nous a permis de percevoir la résilience écologique du massif de Boutaleb. En effet, l'analyse des résultats montre une forte variabilité selon les années de stress.

Pour l'année 1985, on observe seulement 25,56 % de surface qui affiche une très bonne résilience, tandis que 63,70 % montrent une résilience insuffisante indiquant que la majorité de cet écosystème forestier n'a pas totalement retrouvé ses conditions écologiques primaires. Cet état de fait reflète une année globalement marquée par une vulnérabilité post-stress.

L'année 1993 est ainsi tombée dans une situation similaire à 1985, avec 59,0 % du territoire en résilience partielle, et 40,1 % partagé entre une résilience complète et amplifiée. Cela indique un sévère stress vécu où la végétation a du mal à revenir à son niveau normal.

L'année 2001 paraît contrastée avec une proportion de 51,23 % des zones affaiblies en terme de résilience végétative, et une proportion de 33,93 % des zones bien récupérées. Par ailleurs, il reste que 14,83 % du territoire atteint une résilience plus équilibrée.

L'année 2003 se distingue par une meilleure performance globale, où on observe 84,89 % du territoire ayant une forte amélioration et un bon renouvellement de la végétation après stress, tandis que seulement 5,88 % subit une résilience incomplète. Une situation qui révèle d'une exceptionnelle capacité de résilience végétale, qui non seulement récupère mais dépasse l'état initial.

Enfin l'année 2018, bien qu'elle soit moins importante que 2003 mais la végétation a maintenu une très bonne résilience avec plus de 61 % de surface améliorée et que de 17 % soit resté modérée, ce qui marque un comportement solide et fonctionnellement positif après stress.

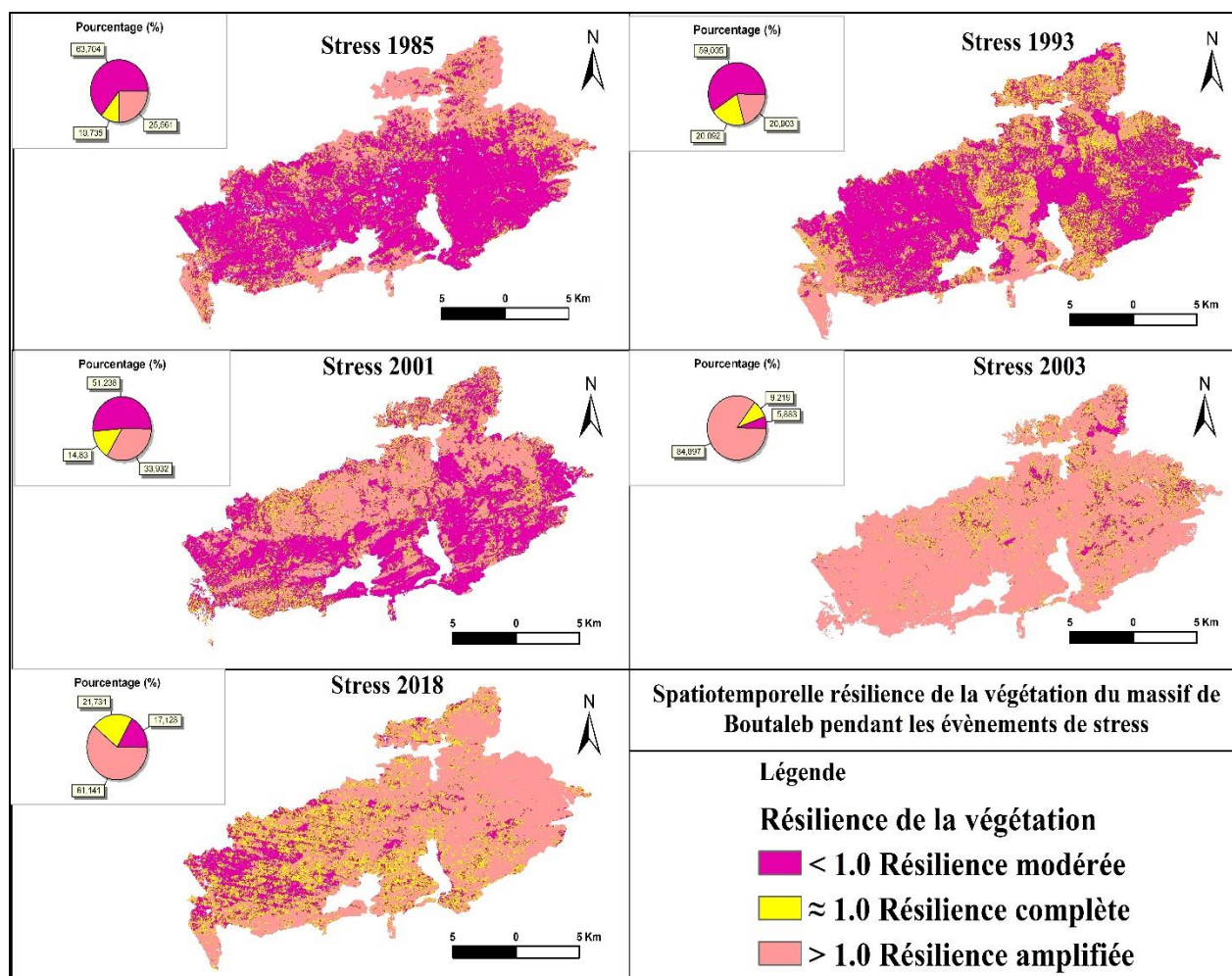


Figure 72. Évolution spatiotemporelle de la résilience de la végétation du massif forestier de Boutaleb pendant les épisodes de stress.

La figure ci-après permet de visualiser clairement l'évolution et la dynamique de la végétation faces aux différents épisodes de stress. L'analyse combinée des trois indicateurs clés : résistance, récupération et résilience pour toutes les années (1985, 1993, 2001, 2003 et 2018) illustre la complexité des réponses végétales face au aléas climatiques.

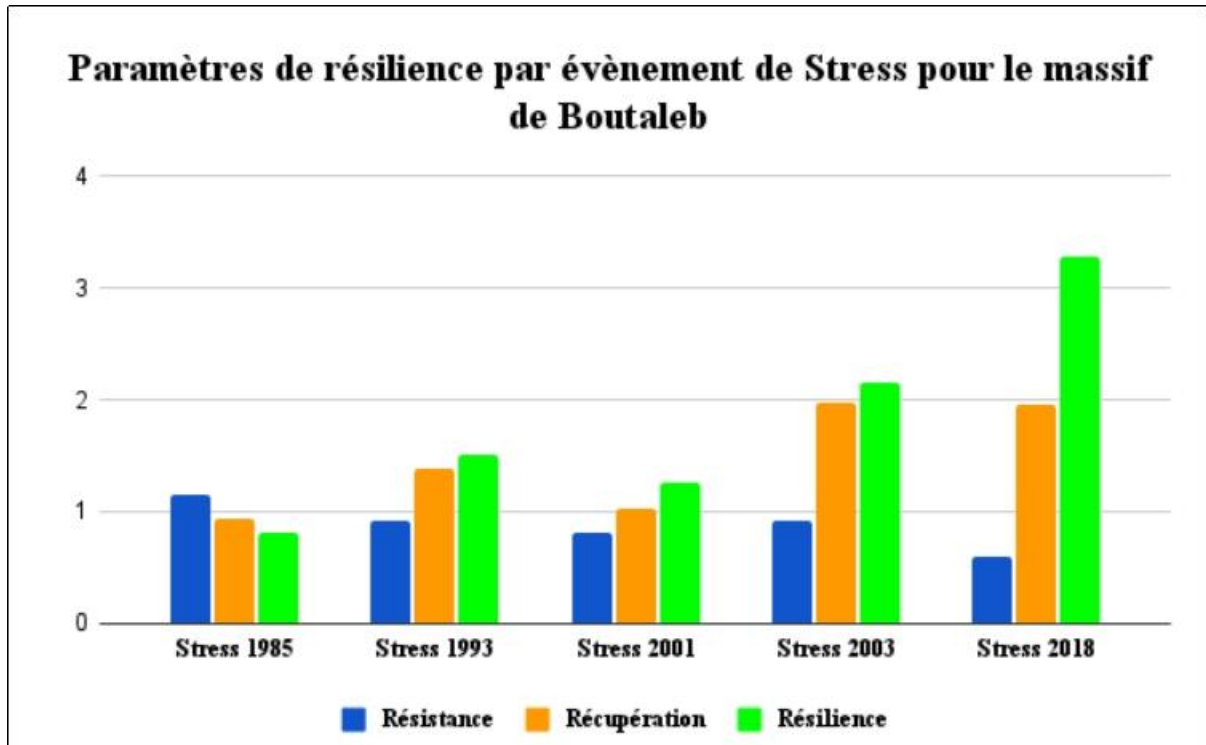


Figure 73. Évolution des paramètres résistance, récupération et résilience pendant les épisodes de stress pour le massif forestier de Boutaleb

2.3.7. Niveaux de la résilience écologique par type de formation végétale

L'analyse des niveaux de résilience des différentes formations végétales présentes sur le massif de Boutaleb révèle d'une résilience amplifiée dominante, bien que dans des proportions variables. En effet, on trouve certaines formations végétales à forte amplification dépassant 60 %, ce qui indique un haut potentiel de régénération et une amélioration écologique continue telles que : le matorral de chêne vert, le reboisement de cèdre de l'Atlas, la régénération de Pin d'Alep, le Taillis de chêne vert, la garrigue à genévrier, le matorral de genévrier de Phénicie et de chêne vert, et les steppes. Cependant, certaines formations comme la pinède, le matorral de genévrier, et le reboisement de pin d'Alep présentent une résilience plus équilibrée, ce qui est un indicateur d'une stabilité écologique. À l'exception, la cédraie se distingue par une bonne capacité de résilience amplifiée, mais aussi il y a encore une proportion non négligeable des zones se retrouvent dans un état de résilience moins avancée, ce qui fait d'une formation en transition.

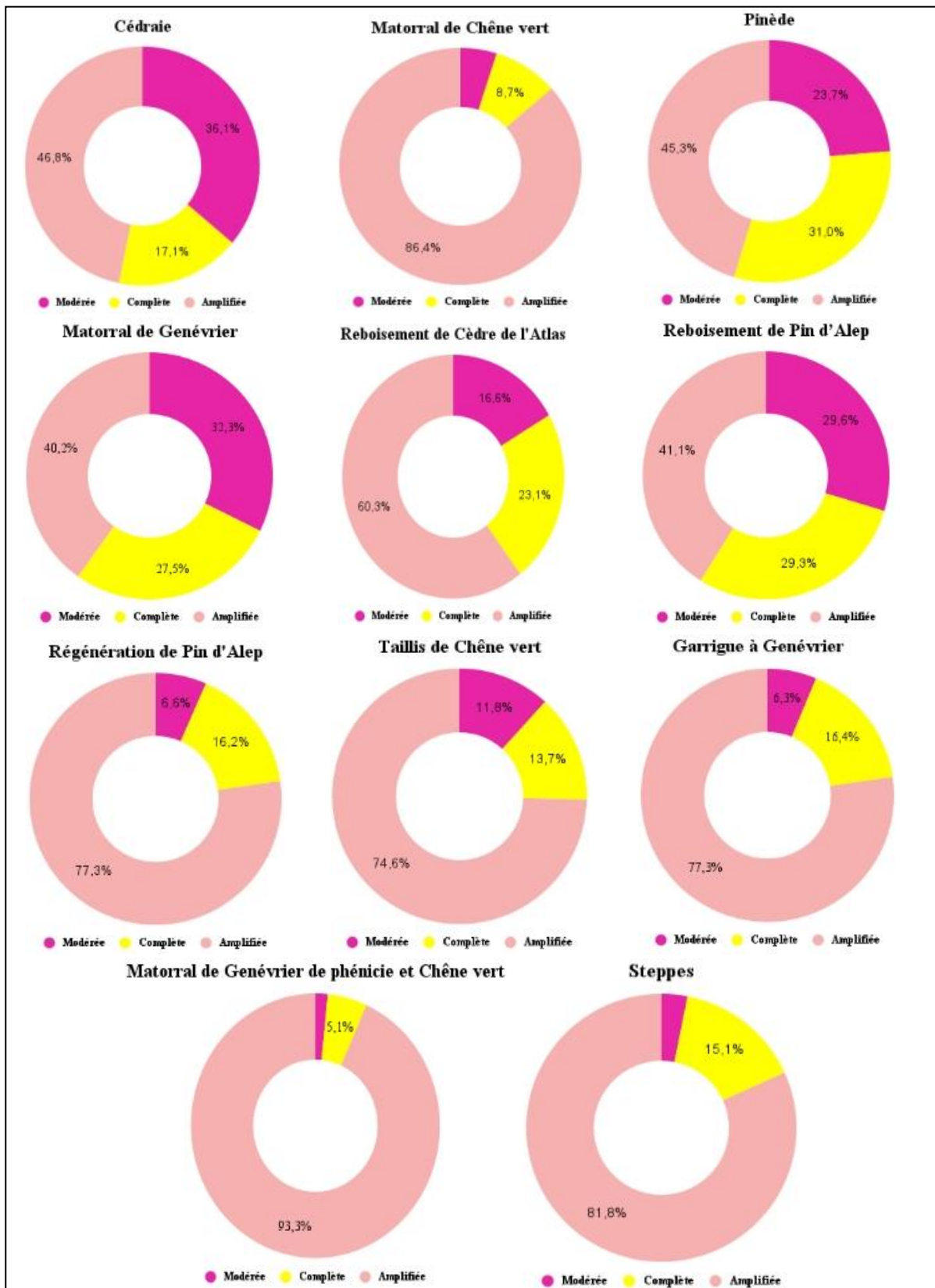


Figure 74. Distribution des niveaux de résilience par type de formation végétale constituant le massif forestier de Boutaleb.

Le calcul d'un score pondéré de résilience pour chaque formation végétale, nous a permis de déduire l'état du site de Boutaleb, dont le résultat révèle d'une forte résilience écologique globale avec un score moyen égale à 2,49 (Tab 17). Cette robustesse est principalement due à la dominance des formations végétales résistantes et bien adaptées aux conditions climatiques actuelles et passées.

Tableau 18. Score moyen pondéré pour chaque formation végétale et score global du massif forestier de Boutaleb.

Classe de résilience (%)	Modérée	Complète	Amplifiée	Score pondéré
Cédraie	36,12	17,08	46,80	2,11
Garrigue à genévrier	6,28	16,39	77,33	2,71
Matorral de chêne vert	4,86	8,72	86,43	2,82
Matorral de genévrier de Phénicie et chêne vert	1,59	5,14	93,27	2,92
Matorral de genévrier	36,48	31,00	32,52	1,96
Pinède	23,67	31,00	45,34	2,22
Reboisement de cèdre de l'Atlas	16,61	23,06	60,33	2,44
Reboisement de pin d'Alep	29,63	29,26	41,11	2,11
Régénération naturelle de pin d'Alep	6,56	16,16	77,29	2,71
Steppes	3,11	15,13	81,76	2,79
Taillis de chêne vert	11,76	13,66	74,58	2,63
Score global du site				2,49

3. Typologie croisée de la vulnérabilité socio-écologique régionale et la résilience écologique locale

L'analyse croisée des scores de vulnérabilité socio-écologique territoriale pour les communes entourant les deux massifs d'étude avec ceux de leur résilience écologique locale révèle des situations contrastées. Le massif de Djebel Youcef se pose dans une situation de moyenne vulnérabilité territoriale associée à une résilience écologique très élevée. En revanche, le massif forestier de Boutaleb présente une forte vulnérabilité territoriale tout en conservant une résilience écologique également forte.

Globalement à l'échelle régionale, la région des Hautes Plaines Sétifiennes affiche un profil marqué par une vulnérabilité socio-écologique modérée mais une résilience écologique

soutenue, ce qui suggère une situation encore stable sans signes de crise, mais nécessitant une surveillance continue et un renforcement des mécanismes de stabilité à long terme.

Tableau 19. Récapitulation des scores de vulnérabilité socio-écologique régionale et de résilience écologique.

Vulnérabilité / Résilience	Score	Typologie
Vulnérabilité des communes adjacentes du massif de Djebel Youcef	0,52	Moyenne vulnérabilité territoriale
Résilience écologique du massif de Djebel Youcef	2,96	Très forte résilience écologique
Vulnérabilité des communes adjacentes du massif forestier de Boutaleb	0,56	Forte vulnérabilité territoriale
Résilience écologique du massif forestier de Boutaleb	2,49	Forte résilience écologique
Vulnérabilité socio-écologique territoriale des HPS	0,44	Moyenne vulnérabilité territoriale
Résilience écologique des HPS	2,72	Forte résilience écologique

Partie IV. Enquête sur la perception du changement climatique et la résilience sociétale dans la région des HPS

L'enquête réalisée auprès de 300 individus appartenant à la région des HPS, nous a fourni beaucoup de résultats ainsi que tout un cortège de renseignements supplémentaires mais d'une utilité non négligeable dans l'évaluation et la perception de la résilience socio-écologique face aux effets du changement climatique.

1. Profil sociodémographique des enquêtés

Pour la variante humaine, les résultats de l'enquête révèlent une légère prédominance masculine parmi les personnes interrogées avec 52,9 % d'hommes et 47,1 % de femme.

En termes de la répartition par âge, on constate que les tranches d'âge intermédiaire entre 45 à 65 ans, ainsi que celle des âgées de plus de 65 ans sont les plus représentées avec 31,7 % et 29,3 % respectivement, ce qui indique une forte participation des gens matures qui

possèdent d'un bon regard éclairé sur les effets du changement climatique dans la région des HPS. La tranche de 25 à 45 ans montre aussi une participation notable avec 25,7 % de l'échantillon, tandis que la catégorie de 15 à 25 ans est la moins engagée à l'enquête avec seulement 13,3 %.

En ce qui concerne le niveau d'instruction, les résultats indiquent que 32,3 % des enquêtés ont un niveau secondaire, 28,7 % un niveau universitaire, 21 % un niveau moyen, et 18 % avec un niveau primaire.

Les participants à cette enquête appartiennent à différentes catégories socio-professionnelles, notamment des fonctionnaires avec 35,3 %, des chômeurs avec 20 %, des étudiants avec 12,3 %, ou toutes autres situations de vie dans société civile avec 32,3 %.

Les répondants sont répartis entre diverses communes avec des proportions différentes selon chaque localité : Sétif, Ain Oulmène, Boutaleb, El Hamma, Guellal, Saleh Bey, Ain Azel, Ouled Tebban, ainsi que d'autre communes. Cela nous dispose d'une grande accessibilité à toutes informations approfondies liées à l'appréciation du changement climatique dans les HPS (Figure 75).

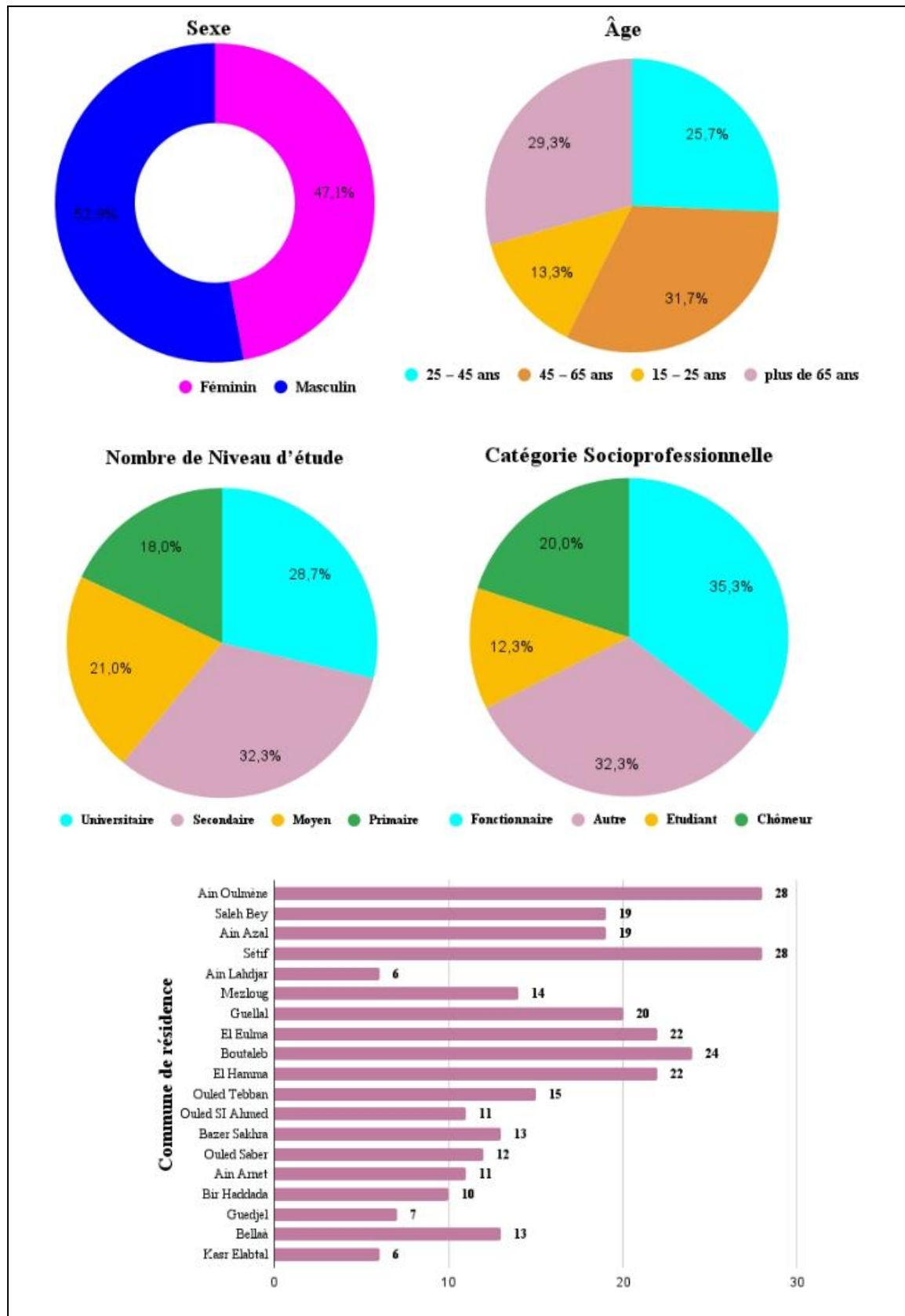


Figure 75. Caractéristiques sociodémographiques des enquêtés.

2. Perception et connaissances sociales du changement climatique

Dans cette partie, nous essayons d'abord de percevoir la culture générale des citoyens et ses niveaux de connaissance concernant le phénomène du changement climatique. L'enquête révèle que la majorité des répondants ont une idée claire sur le changement climatique perçu déjà comme une réalité actuelle, mais un certain nombre reste encore peu informé ou manque d'une bonne compréhension du phénomène.

Par ailleurs, le réchauffement des températures, l'évolution rapide du climat, et les variations saisonnières au cours des dernières décennies sont largement admis. La plupart rejettent l'idée que le changement climatique soit un phénomène purement naturel attribuant au contraire un lien solide entre sa cause et les activités humaines générant des gaz à effet de serre, bien qu'une part non négligeable n'est pas totalement convaincue et garde des réserves sur ça.

La majorité des répondants affirment que les conséquences du changement climatique sont tant mondiales que locales, où ses impacts locaux sont de plus en plus perceptibles dans la région de Sétif. Enfin, l'enquête montre une forte prise de conscience des répondants sur la gravité du changement climatique et sa menace de leur vie et leur environnement (Figure 76).

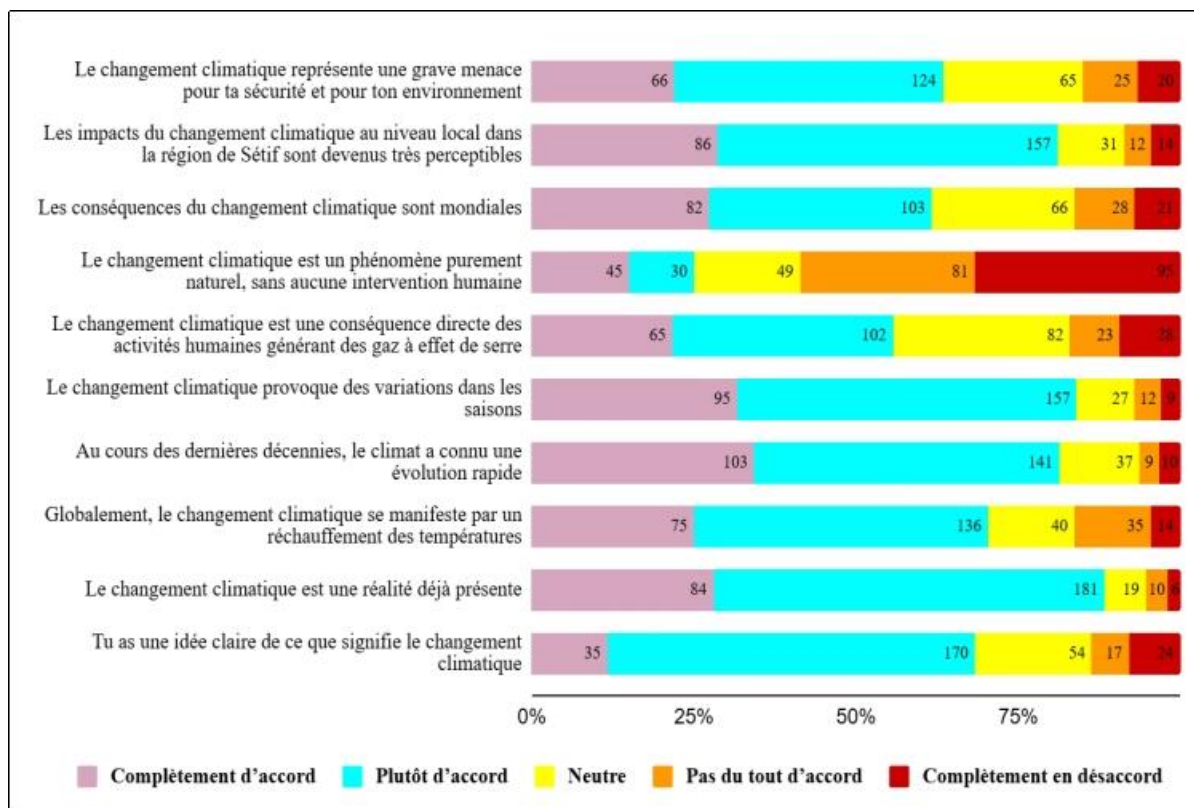


Figure 76. Niveau de connaissance sociale du phénomène du changement climatique.

3. Perception des incidences du changement climatique au niveau de la région des HPS

Dans cette section, nous voulons continuer à chercher les effets du changement climatique les plus marqués par les enquêtés dans la région des HPS sur des différentes dimensions.

Sur la météo, 153 répondants évoquent des changements météorologiques généraux c'est-à-dire que le dérèglement climatique affecte à la fois le régime thermique, pluviométrique et saisonnier. Cependant, 99 et 88 répondants suffissent de préciser que la variation des précipitations et des températures respectivement, tandis que les variations de saison sont moins citées par seulement 60 répondants, mais restent reconnues.

Sur l'environnement, les résultats montrent que la majorité des répondants (252) perçoivent le manque d'eau et la sécheresse comme l'effet le plus marqué dans l'environnement, tandis 198 et 165 répondants soulignent respectivement l'affectation des sols et par conséquent l'agriculture, ainsi que les écosystèmes locaux. Par ailleurs, on trouve 71 répondants qui mentionnent le risque d'inondation au niveau local.

Sur l'homme plutôt sur sa vie quotidienne, une large majorité des répondants s'accordent que le changement climatique induit à l'insécurité alimentaire (194), à l'insécurité hydrique (186) et ainsi accroît les risques d'exposition aux catastrophes liées au climat (166). En parallèle, on trouve 151 répondants qui traduisent leur inquiétudes sanitaires en soulignant le risque d'émergence des maladies et épidémies, souvent moins visibles mais aussi préoccupantes.

Sur la biodiversité, les réponses ont été variables dont la plupart des répondants affirment la sensibilité de la biodiversité locale face aux effets du changement climatique. Les répondants mettent en avant le risque croissant d'apparition des maladies chez certaines espèces (193), tandis d'autres citent la migration des espèces autochtones (162). Par ailleurs, certains enquêtés n'oublient pas à signaler que le changement climatique entraîne la rareté voire la disparition de certaines espèces locales (125), tout en favorisant la propagation des espèces invasives (105), ce qui témoigne de perturbations écologiques concrètes (Figure 77).

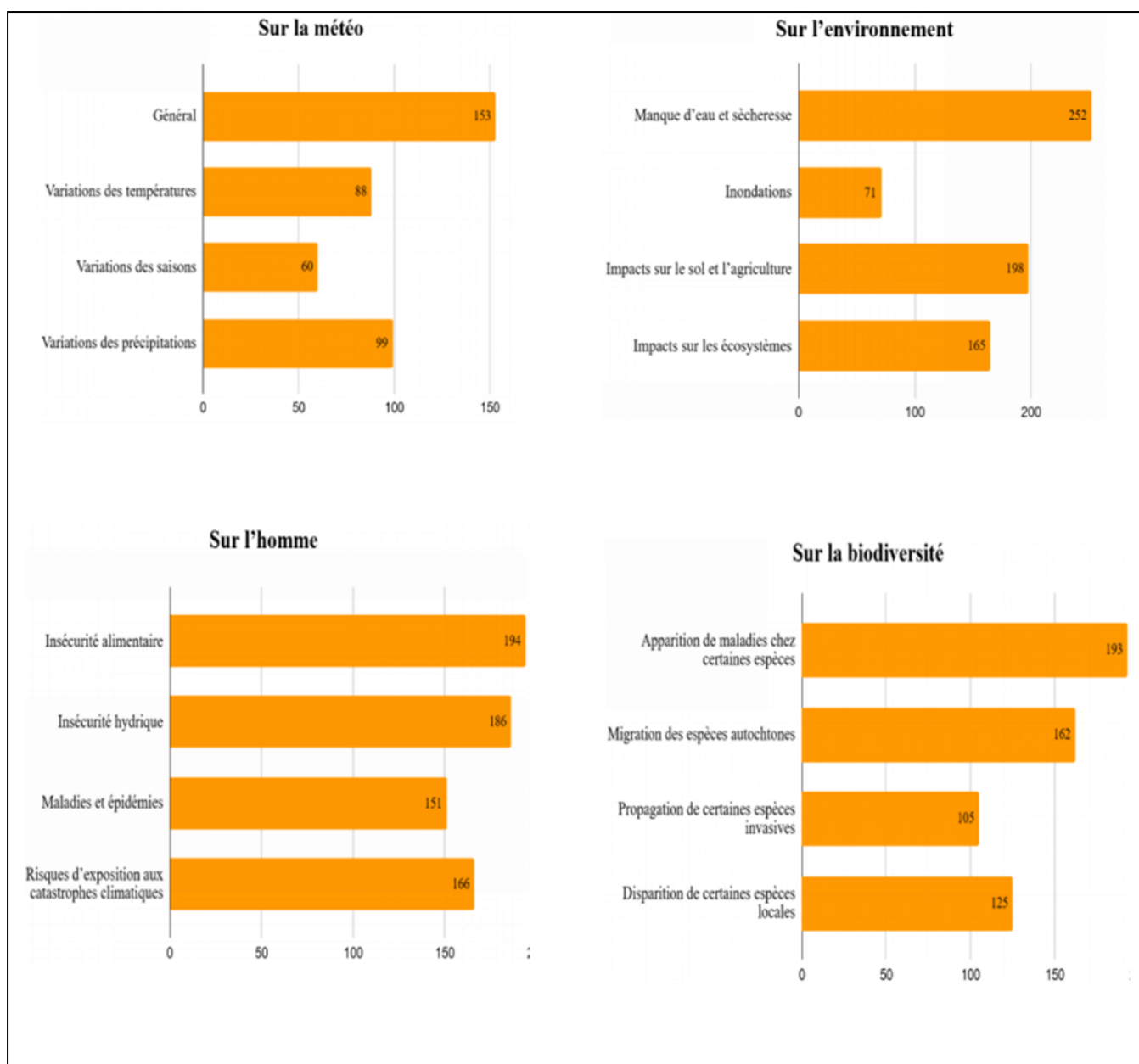


Figure 77. Les effets perçus du changement climatique dans la région des HPS selon les répondants.

4. Perception de la résilience sociale et de la transition écologique

Dans cette dernière partie de l'enquête, nous souhaitons comprendre le comportement écologique des citoyens, dans quel points leur relation avec la nature est positive, ainsi que leur disposition d'être résilient et à adopter un mode de vie écologique et durable.

Les résultats de l'enquête révèlent une population globalement consciente aux enjeux du changement climatique. La majorité des répondants soutient l'adoption de politiques étatiques

strictes pour lutter contre le changement climatique et se dit prête à prendre des responsabilités individuelles en réduisant leur consommation d'énergie et adoptant des alternatives plus écologiques. Cependant, l'engagement active dans les organisations environnementales reste plus limité et moins adhérent.

Par ailleurs, la majorité des participants estime que leurs villes ne sont pas suffisamment préparées pour affronter les catastrophes climatiques. Enfin, les opinions sur la possibilité de rétablir le climat sont partagées reflétant un mélange d'optimisme, de pessimisme et d'incertitude face à l'avenir (Figure 78).

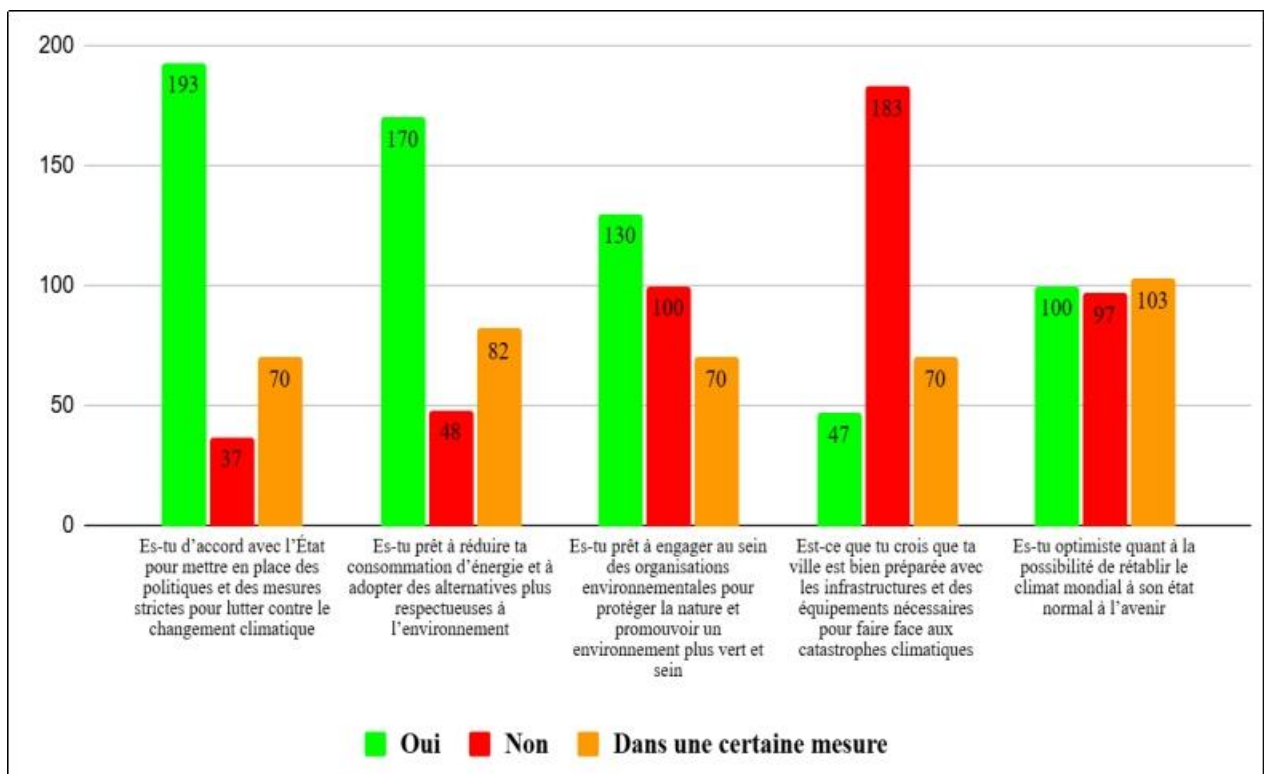


Figure 78. Perception et comportements des répondants face aux enjeux climatiques.

Discussion

1. Discussion des tendances du changement climatique récentes, et de la sécheresse dans la région des HPS entre (1980 et 2021)

Nos résultats montrent également des tendances significatives à la hausse des températures annuelles minimales, maximales et moyennes avec des variations comprises entre 0.023 et 0.03 °C par an, dans les trois stations étudiées : Sétif, Ain Oulmène et Boutaleb. Cette évolution confirme l'hypothèse d'un réchauffement climatique récent au sein de la région des HPS. Ces chiffres sont également en cohérence avec la tendance mondiale déclarée par l'UNEP (2020) qui estime une augmentation de la température moyenne globale à environ $0,02 \pm 0,01$ °C par an, tandis que la région méditerranéenne présente une tendance de l'ordre de 0,03 °C par an, ce qui renforce la validité de nos observations.

À l'échelle locale, Boudiaf *et al.* (2020) confirment cette dynamique dans la wilaya de Sétif avec une augmentation de l'ordre de 0,03 °C/an, ce qui correspond parfaitement aux nôtres. D'autre part, Missaoui (2020) a observé une hausse plus marquée des températures moyennes annuelles de l'ordre de 0,06 °C sur la période (1982-2017), ce qui pourrait s'expliquer par une période d'étude inégale ou des méthodes d'analyse différentes. Ces constats soulignent l'ampleur du réchauffement climatique observé localement qui est en phase avec les tendances mondiales et méditerranéennes.

Par ailleurs, nos résultats révèlent que l'effet d'évolution de température moyenne est fortement lié à l'évolution de la température maximale que par la température minimale, avec des points de changement identifiés en 1998 pour les températures maximales et moyennes annuelles et en 2013 pour la température annuelle minimale. À cet effet, il est également important de noter que les deux années de rupture observées en 1998 et 2013 correspondent aux années de réchauffement climatique les plus marquées à l'échelle mondiale. En effet, selon la NOAA (2017), 1998 et 2013 se classent respectivement comme les cinquième et huitième années les plus chaudes depuis 1880. Cela confirme que les dynamiques climatiques locales ne sont pas isolées mais fortement liées à un phénomène global.

Ce changement spatio-temporel des températures suggère que la région des HPS a connu une intensification des phénomènes de réchauffement dans les dernières décennies, ce qui semble indiquer une évolution potentielle de la répartition des bioclimats dans cette

région. On peut ainsi envisager des déplacements d'étages bioclimatiques, comme le soulignent Djellouli *et al.* (2020), ce qui pourrait avoir des impacts significatifs sur la biodiversité, l'agriculture et les ressources en eau. Dans ce propos Bouregaa (2014) a décrit que la région des Hautes Plaines de Sétif soumise à un climat semi-aride se révèle plus vulnérable face aux effets du changement climatique.

En revanche, les tendances pluviométriques observées sur la période (1980-2021) indiquent une diminution des précipitations, mais celle-ci reste statiquement non significative. Ce comportement est cohérent avec les résultats de Missaoui (2020) et de Boudiaf *et al.* (2021), qui ont également relevé des tendances similaires dans la région de Sétif.

En ce qui concerne la sécheresse durant la période (1980-2021), les tendances locales indiquent une fréquence d'événements moins sévères et moins prolongées avant les années 2000. Toutefois, une intensification progressive du phénomène est marquée à partir du début des années 2010 jusqu'en 2021. Ces résultats rejoignent ceux de Hassini *et al.* (2019) qui ont également mis en évidence que la période de 1970 à 1986 en Algérie a été marquée par des conditions climatiques relativement humides, avant l'installation d'une forte sécheresse durant la période (1987-2002). Parmi les années les plus sèches de cette période, ils soulignent les années 1993, 1994, 2000 et 2001 comme étant, particulièrement, marquées par des conditions de sécheresse sévère. En outre, l'évolution spatio-temporelle des indices de sécheresse SPI, SPEI, RDI et PDSI révèlent que les conditions de sécheresse sévère sont particulièrement prononcées dans la partie sud de la région des Hautes Plaines Sétifiennes (HPS), et plus spécifiquement à la station de Boutaleb, par rapport aux autres stations Ain Oulmène et Sétif. Cette différence d'impact de réchauffement climatique pourrait être expliquée par la position géographique distincte de Boutaleb, située à l'extrême sud de la région étudiée. En effet, cette station est davantage exposée aux effets des vents chauds du Sirocco, qui proviennent du Sahara, notamment pendant les mois d'été et d'automne (Chermat, 2013). Ce phénomène climatique local amplifie la sécheresse et favorise un climat plus chaud, accélérant ainsi l'apparition de conditions climatiques extrêmes. Par conséquent, les effets de cette sécheresse exacerbée deviennent de plus en plus perceptibles sur la végétation locale et les rendements agricoles.

Selon Keyantash et Dracup (2002), la sécheresse parmi d'autres phénomènes liés de près aux changements climatiques est l'une des catastrophes naturelles les plus coûteuses au monde, qui affecte plus de personnes que d'autres formes de catastrophes. Elle affecte la

sécurité alimentaire et perturbe les écosystèmes de multiples façons, depuis la modification de leurs aires de répartition, l'évolution du comportement des espèces et de leurs interactions, jusqu'à la multiplication de divers facteurs de risque, notamment de feux de forêts, mais aussi de maladies et d'invasion d'espèces (FAO, 2013).

2. Discussion de de la vulnérabilité et de la résilience socio-écologique territoriale face au changement climatique dans la région des HPS entre (1980-2021)

L'application de l'indice de vulnérabilité aux 27 communes de la région des HPS mis en évidence des disparités territoriales notables en matière de la vulnérabilité et de la résilience socio-écologique face au changement climatique. Cependant, l'analyse consolidée des trois composantes de vulnérabilité montre que cette dernière est principalement variée en fonction des indicateurs liés à l'exposition et à la sensibilité et ne suit pas directement le développement institutionnel et socio-économique qui constitue le moteur de leur capacité d'adaptation.

Ces résultats contrastent avec ceux de Heltberg et Bonch-Osmolovskiy (2011) qui ont observé au Tajikistan que la vulnérabilité des zones agro-écologiques est fortement influencée par la capacité d'adaptation où les zones les mieux préparées sont celles qui combinent un développement socio-économique et institutionnel solide. À l'inverse, les zones qui souffrent de lacunes dans ces domaines sont davantage plus vulnérables aux risques futurs. Dans le cas des HPS, cette différence peut être justifiée par l'ampleur de facteurs d'exposition et de la sensibilité qui semblent limiter l'effet protecteur de la capacité d'adaptation et induisent à l'érosion de la résilience territoriale.

Cette situation implique la nécessité d'une meilleure articulation entre les dynamiques sociales et territoriales pour répondre efficacement aux effets du changement climatique. La résilience d'un territoire repose en grande partie sur la capacité de sa population à interagir avec son environnement, à s'adapter et à se réorganiser après une perturbation. De nombreux facteurs peuvent permettre à cette capacité, tels que l'âge, le statut socio-économique, la connaissance et la perception des risques, ou encore la diversité sociale, etc. (Cutter *et al.*, 2010 ; Flanagan *et al.*, 2011).

Dans ce cadre, Khaled (2024) rappelle l'importance des stratégies urbaines proactives dans le renforcement de la résilience et l'attractivité territoriale notamment en prenant des

mesures de la végétalisation, la désimperméabilisation des sols, la gestion alternative des eaux pluviales permettant conjointement de lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain et de limiter les risques climatiques tels que les inondations et les mouvements de terrain.

En outre, la génération de la carte décisionnelle pour la région des HPS recèle des profils de vulnérabilité variant de très faible à forte. En effet, les zones à forte vulnérabilité incluent les communes Ain Oulmène, Mezloug, Hamma, Rasfa, Guellal, et Ksar El Abtal cumulent souvent une forte exposition aux aléas climatiques, une sensibilité socio-économique élevée et une capacité d'adaptation très limitée. Cette réalité traduit par les chocs climatiques répétées surtout à Ain Oulmène, tandis que les autres communes subissent une marginalisation économique persistante associée au manque d'institutions locales efficaces. Dans ces contextes, la résilience territoriale demeure plutôt passive, ce qui nécessite une mobilisation communautaire pour rectifier l'efficacité de la résilience face à tout risque liée au changement climatique.

En revanche, les zones en moyenne vulnérabilité comprenant les communes de Boutaleb, Ouled Tebban, Ouled Si Ahmed Ouled Saber, El Eulma, Ain Arnet, Guidjel, Ain Lahdjar, Ain Azel, et Salah Bey possèdent une capacité d'adaptation partielle qui leur permettant d'atténuer certains risques, mais restent sensibles à des perturbations plus fortes. Cette situation intermédiaire entre la vulnérabilité et la résilience reflète la coexistence des facteurs de vulnérabilité accrus et de signes de début de développement économique et intentionnel, mais encore insuffisamment consolidé.

Par ailleurs, les zones à faible vulnérabilité incluent les communes de Bellaa, Bazer Sakra, El Ouldja, Taya, Tella, Bir El Arch, Bir Haddada, Hammam Sokhna, et Beida Bordj sont celles qui réussies à garantir un équilibre entre une faible exposition aux risques climatiques et une capacité adaptative modérée. Ces zones apparaissent bien préparées pour faire face au changement climatique, mais ne sont pas exemptes des risques latents.

Quant à les zones classées à très faible vulnérabilité associée à une résilience également très forte, comprend les deux communes : Sétif et Guelta Zerga. Bien que ces deux communes présentent des caractéristiques différentes, elles partagent un degré de résilience très élevé. La commune de Sétif, chef-lieu de la wilaya se distingue par un taux d'urbanisation très élevé, une composante socio-économique développée, un cadre institutionnel plus abouti, et des conditions climatiques relativement modérées, ce qui lui permettent de faire face de manière

flexible les crises environnementales. De son côté, la commune de Guelta Zerga, considéré comme péri-urbaine, parvient à maintenir un équilibre parfait entre ses ressources intrinsèques et les pressions exercées par les aléas climatiques, lui assurant ainsi une stabilité et une bonne résilience face aux éventuelles crises.

Ces résultats mettent en lumière des inégalités intra-territoriales dans la distribution de la vulnérabilité ce qui témoigne d'une résilience communale encore insuffisante. Ces observations corroborent les conclusions de Zemmar *et al.* (2023) qui ont évalués la vulnérabilité sociale à l'échelle municipale dans la wilaya de Chelef, ainsi que celles de Rdjem *et al.* (2020) sur la ville de M'sila portant sur la résilience urbaine face aux inondations. Ces travaux soulignent d'importantes disparités spatiales en terme de vulnérabilité, la faiblesse de l'intégration des risques dans les politiques de gouvernance locale, ainsi que l'existence des failles institutionnelles, qui contribuent à accroître la vulnérabilité des villes face aux aléas climatiques.

Globalement, d'après cette étude, la moyenne obtenue (0,44) pour la région des Hautes Plaines Sétifiennes indique une vulnérabilité confirmée, mais de degré modéré. Ce score est relativement proche à celui trouvé par le Groupe de la Banque Mondiale (2022), qui a classé l'Algérie dans la catégorie de vulnérabilité moyenne inférieure, avec un score de (0,36) mesuré par l'indice ND-GAIN, lequel évalue la vulnérabilité à partir de ses trois dimensions : l'exposition, la sensibilité et la capacité d'un pays à s'adapter à l'impact négatif du changement climatique.

3. Discussion de la résilience écologique des deux massifs forestiers Djebel Youcef et Djebel Boutaleb face au changement climatique entre (1984-2022)

Les résultats de l'étude de la résilience de la végétation dans le massif de Djebel Youcef entre 1984 et 2022 mis en évidence des comportements spatio-temporels contrastés traduisant une forte sensibilité aux intensités des stress climatiques. En effet, les résultats pour l'année 1985 montrent que la résilience ne se déroulent pas de manière uniforme sur l'ensemble du massif où on observe certaines zones présentent des résistances plus fortes, certaines récupèrent mieux que d'autres, et d'autres subissent des dommages. Cette hétérogénéité spatiale peut-être liée aux certains facteurs locaux du massif comme la différence d'altitude,

l'exposition ou encore les microclimats. Ce constat est cohérent avec les études de Jolly *et al.* (2005) sur les Alpes suisses pendant la vague de chaleur de 2003 qui montrent que seuls certains secteurs ont bénéficié de la température élevée, tandis que la majorité a souffert d'un déficit hydrique et d'une évapotranspiration accrue, ce qui a conduit à une croissance réduite.

En revanche l'année 2001 présente une forte résistance mais une récupération faible met en évidence que ces dernières deux dimensions ne sont pas systématiquement liées entre elles. Cela rejoint les résultats de Hoover *et al.* (2014) qui ont observé dans les prairies expérimentales aux États Unies que les sécheresses extrêmes réduit la productivité relevant une faible résistance, mais la récupération dans l'année suivante a été très rapide et importante grâce à certaines espèces dominantes. Durant cette période, Chermat (2013) mentionne que la végétation de Djebel Youcef a connu une forte régression avec une raréfaction des ligneux et une dominance des thérophytes conduisant à une démantoirisation marquée.

Par ailleurs, l'année 2003 illustre une certaine limite de la résilience écologique face à l'évènement de stress. Cela peut aligner de l'effet combiné d'une hausse température et d'un faible teneur en eau dans le sol. Dans cette optique, Bastos *et al.* (2014) rapportent que durant la canicule européenne en 2003, la productivité végétale a fortement chuté dans de nombreuses régions méditerranéennes relevant que la chaleur extrême couplée à des déficit d'humidité du sol a provoqué des effets néfastes sur les plantes.

À l'inverse, dans les années 1993 et surtout 2017 la végétation présentent des capacités de récupération exceptionnellement élevées, ce qui lui confère une phase d'adaptation progressive. Cela peut être expliquer par les interventions sylvicoles post-crise favorables visant à renforcer la résilience des forêts au niveau du massif. À ce propos, plusieurs campagnes et plans de reboisement réalisés par la conservation des forêts de Sétif ont été menés régulièrement dans le massif de Djebel Youcef pour compenser les pertes dues aux incendies et ainsi augmenter les surfaces boisées, comme l'ont démontré Itter *et al.* (2016) que les pratiques de gestion forestière peuvent atténuer les effets négatifs des extrêmes climatiques. Il aussi primordial de signaler la hausse capacité de la régénération naturelle des peuplements observée sur ce site, qui constitue un facteur clé de la résilience écologique.

En ce qui concerne les niveaux de résilience par formations végétales présentent au niveau de Djebel Youcef, les résultats montrent que la résilience amplifiée est la forme dominante pour toutes les formations végétales. Cela offre un score de résilience

particulièrement élevé (2,96) pour l'ensemble du massif et reflète une dynamique post-perturbation très favorable. Cette capacité à tenir bien face aux perturbations environnementales est principalement due la prédominance des formations végétales bien tolérées.

Les formations rupicoles et le matorral à pin d'Alep régénéré présentent les plus hauts niveaux de résilience amplifiée avec des pourcentages supérieurs à 98 %. Cela peut s'expliquer par le bon stock semencier actif que bénéficient ces peuplements, ainsi que les conditions microclimatiques favorables à leur régénération. En outre, la faible exploitation et la bonne stabilité physique de ces milieux leur permettent une excellente capacité de récupération. Parallèlement, la pinède soit naturelle ou reboisée à cyprès qui présentent un taux de résilience amplifiée avoisinant 97 % indique un bon signe de la réussite des actions de reboisement et la gestion forestière contrôlée. En revanche, les formations de la pinède claire à genévrier oxycèdre et les steppes semblent les plus vulnérables car ces écosystèmes ouverts sont plus exposés aux perturbations climatiques et anthropiques tels que le surpâturage et l'érosion. Ainsi, leur structure moins dense peut affecter la protection du sol et limiter la rétention d'eau, ce qui ralentissent leur processus de récupération.

À son côté, la résilience écologique du massif forestier de Boutaleb entre les années 1984 et 2022 illustre une complexité végétatives notables face aux stress climatiques. En effet, les performance très faibles observées en 1985 et 1993 sur tous les plans : résistance et récupération indiquent des épisodes de stress sévères provoquant une forte dégradation végétative et une faible capacité de retour à l'état initial. Cette situation constitue la résultante des incendies déclenchés au niveau du massif en 1986 qu'empêchent la résilience des écosystèmes. Schmalzer et Foster (2022) dans leur étude sur les impacts des incendies au Florida signalent que les incendies très fréquents peuvent épuiser les réserves stockées, les banques de bourgeons protégées ou aussi les deux, ce qui réduit l'abondance des espèces ligneuses capables de se régénérer après le feu. Quant à 1993, la sécheresse intense enregistrée à cette année constituent un facteur limitant majeur pour la résilience de la végétation. Les déficits hydriques importants peuvent perturber la photosynthèse, accentuer la sénescence foliaire et réduire drastiquement la productivité primaire, compromettant ainsi les fonctions de base des écosystèmes (Chaves *et al.*, 2003).

Par ailleurs, la situation de la résilience en 2001 apparaît plus nuancée et modérée résultante d'une résistance moyenne et d'une capacité de récupération partielle. Cette

dynamique intermédiaire peut être expliquée par un stress moins intense permettant aux écosystèmes du massif à engager des processus de récupération post-stress pour restaurer leur état initial. Ce type de réponse peut correspondre à une phase transitoire où l'écosystème entre adaptation et fragilité, typique des systèmes proches d'un point de basculement qui peuvent changer soudainement leur état (Scheffer *et al.*, 2001).

En revanche, l'année 2003 illustre une excellente résilience, avec une forte résistance au stress, accompagnée d'une récupération rapide. Cette performance peut être liée à un état écologique renforcé par une diversité fonctionnelle et structurelle très suffisantes pour amortir les chocs. Comme tenu le massif forestier de Boutaleb doté d'une grande diversité d'espèces et de fonctions écologiques, la résilience a été relativement accrue. Oliver *et al.* (2015) mettent en évidence que la biodiversité, tant intra-spécifique qu'interspécifique, est cruciale pour la résilience à long terme des fonctions écosystémiques. De plus, une meilleure stabilité structurelle comme la présence d'une couverture végétale dense ou d'un sol bien structuré pourrait avoir renforcé la résistance des écosystèmes (Peterson *et al.*, 1998).

Enfin, l'année 2018 se distingue par une résilience végétative très acceptable due à une résistance initiale faible et une forte capacité de récupération. Ce profil est caractéristique de systèmes capables à se réorganiser rapidement après les perturbations grâce à la plasticité fonctionnelle ou à la présence d'espèces pionnières et tolérantes (Johnstone *et al.*, 2016). Cette capacité d'adaptation acquise par le massif forestier de Boutaleb au fil des années peut ainsi être favorisée par une mémoire écologique c'est-à-dire par l'influence de perturbations passées sur la réponse aux stress futures, ce qui est cohérent avec les recherches de Ogle *et al.* (2015).

Pour la végétation du massif forestier de Boutaleb, les résultats montrent qu'elle peut se régénérer même si cette capacité est hétérogène. Dans l'ensemble, la résilience amplifiée domine dans toutes les formations végétales. Cela permet au massif d'atteindre un score de (2,49) ce qui montre qu'il devient de plus en plus résistant et sa dynamique de résilience suffisante pour maintenir les structures et les fonctions de ses écosystèmes malgré les stress climatiques récurrents.

Les formations avec amplification dépassant 60 % telles que : le matorral de chêne vert, le reboisement de cèdre de l'Atlas, la régénération de Pin d'Alep, le Taillis de chêne vert, la garrigue à genévrier, le matorral de genévrier de Phénicie et de chêne vert, et les steppes

témoignent également le fort caractère de la végétation méditerranéenne typique des milieux semi-arides à s'adapter aux variabilités climatiques. Cette résilience est particulièrement liée aux traits fonctionnels des espèces présentes notamment les feuilles sclérophylles, les racines profondes, la tolérance à la sécheresse, et les structures foliaires protectrices contre les pertes d'eau. Selon Lloret *et al.* (2011) et Medrano *et al.* (2002), ces traits permettent aux espèces de maintenir une activité physiologique minimale même en période de sécheresse sévère.

En outre, les formations comme la pinède, le matorral de genévrier, et le reboisement de pin d'Alep présentent une résilience plus équilibrée, c'est-à-dire une capacité modérée mais stable à résister aux stress climatiques tout en assurant une certaine régénération. Cette résilience intermédiaire peut être expliquée par la vulnérabilité accrue de pin d'Alep lors des sécheresses intenses répétées en particulier chez les jeunes plans (Vennetier et Ripert, 2009). Cependant, le genévrier tant qu'espèce xérophile à croissance lente et grande longévité, sa régénération reste limitée, surtout en absence de perturbation (Médail et Quézel, 1999). Il est important de noter que ces deux espèces au niveau du massif de Boutaleb sont fortement vulnérables aux attaques parasitaires, en particulier celles des scolytes qui infestent plusieurs sujets de pin d'Alep et de genévrier causant ainsi des dégâts majeurs allant jusqu'au dépérissement des arbres.

Enfin, la cédraie de Boutaleb démontre d'une capacité de résilience amplifiée notable qui laisse confirmer la solidité de cette espèce méditerranéenne montagnarde à affronter les changements même si c'est difficile. Cette résilience s'explique par plusieurs traits fonctionnels qui lui permettent de maintenir une dynamique forestière relativement stable malgré des conditions climatiques extrêmes telles qu'un système racinaire profond, une tolérance au stress hydrique, ainsi qu'une d'adaptation physiologique face aux sécheresses prolongées (Benabid, 2000 ; Quézel et Médail, 2003). Cependant, ce comportement n'est pas idéal car une proportion non négligeable des peuplements cédraies montrent aujourd'hui une résilience limitée à cause du phénomène de dépérissement. Ce dépérissement signalé dans plusieurs massifs en Algérie est souvent associé à la combinaison de stress climatiques répétées notamment les sécheresses, de facteurs édaphiques défavorables (Kherchouche *et al.*, 2012) et parfois des pressions anthropogéniques (Navarro-Cerrillo *et al.*, 2019).

Ces observations confirment les conclusions de Djellouli *et al.* (2020) qui soulignent l'évolution ainsi que la capacité d'adaptation particulière des espèces thermo et méso

méditerranéennes de l'est algérien face aux changements climatiques passés, actuels et au futur.

La mise en relation des scores de vulnérabilité socio-écologique territoriale des communes adjacentes des deux massifs forestiers avec ceux de leur résilience écologique locale montre que Djebel Youcef présente un profil équilibré et intéressant grâce à sa vulnérabilité territoriale moyenne et sa forte résilience écologique. Ce positionnement lui permet d'être ni particulièrement exposé, ni totalement à l'abri des perturbations, mais un site qui nécessite la surveillance pour servir comme un appui à d'autres zones plus vulnérables.

Par ailleurs, le massif forestier de Boutaleb se distingue par une forte vulnérabilité territoriale mais aussi un porteur d'une forte capacité naturelle à encaisser et à s'adapter aux chocs grâce à la robustesse de ses écosystèmes. Cette situation paradoxale lui qualifie comme un site à risque où sa forte résilience potentielle demeure insuffisante à compenser sa fragilité territoriale. Il nécessite une intervention bien ciblée et maîtrisée pour le transformer à une situation durablement résiliente.

En somme, la région des Hautes Plaines Sétifiennes soumise dans un contexte territorial moyennement vulnérable reflétant une exposition modérée aux risques et certains déséquilibres spatiaux mais sans autant être en crise réelle. Cependant, elle se privilège d'un capital naturel important soutenu par des écosystèmes fonctionnels, une diversité spécifique riche et une capacité de régénération encore possible face aux perturbations environnementales, ce qui traduit une résilience écologique certaine. Cette configuration confère à la région des HPS une stabilité relative sans pressions latentes majeures. Néanmoins, un suivi permanent et des actions de renforcement territoriale restent nécessaires pour éviter toute dégradation future.

CONCLUSION & PERSPECTIVES

A l'instar des autres régions algériennes, la région semi-aride des Hautes Plaines Sétifiennes n'est pas épargnée par les effets du changement climatique. Cette réalité met en question sa capacité de résilience qui reste encore peu comprise et mal appréhendée tant par les citoyens que par les décisionnaires et les managers locaux.

Cette thèse avait pour ambition de fournir une analyse complète et multi-échelle de la vulnérabilité et la résilience socio-écologique de cette région à travers une approche méthodologique mixte offrant une meilleure compréhension de la dynamique du changement climatique et de ses répercussions à l'échelle territoriale, écologique et sociale.

Le bilan des résultats de cette étude fait apparaître plusieurs constats, parmi lesquels :

- La région des HPS a bel et bien connu un réchauffement climatique au cours de la période (1980-2021). Les températures annuelles minimales, maximales et moyennes indiquent une hausse significative comprises entre 0.023 et 0.03 °C par an. Parallèlement, une baisse des précipitations a été observée bien que celle-ci reste dans un seuil statiquement non significatif. Par ailleurs, le phénomène de sécheresse s'est clairement intensifié au cours des deux dernières décennies. Les différents indices SPI, SPEI, RDI et PDSI indiquent une fréquence accrue des sécheresses modérées, avec des durées variables allant de 2 à 3 mois pour le SPI et le RDI à plus de 10 mois pour le SPEI et PDSI.
- La vulnérabilité territoriale révèle une disparité spatiale entre les communes. L'indice de vulnérabilité (CVCC) avec un score global de (0,44) indique une vulnérabilité certaine de la région des HPS mais de degré modérée.
- La résilience écologique des deux massifs forestiers de Djebel Youcef et de Boutaleb est jugée forte avec un score supérieur pour le massif de Djebel Youcef (2,96) comparé à celui de Boutaleb (2,49). Ces résultats recèlent d'une dynamique écologique complexe au sein de ces forêts qui est soutenue par une diversité biologique, fonctionnelle et structurelle favorable à l'adaptation des écosystèmes.
- Au niveau global, la résilience socio-écologique de la région des HPS place ce territoire dans une situation de vulnérabilité moyenne sur le plan territorial mais doté d'une résilience écologique robuste. Un profil intéressant et stratégique.
- L'enquête menée auprès des citoyens de la région des HPS révèle une population globalement consciente aux enjeux liés au changement climatique et une

reconnaissance claire des limites actuelles du territoire à absorber les perturbations environnementales. Néanmoins, les citoyens expriment une bonne admission à adopter des comportements "éco-responsables" dans le but de maintenir une relation saine et durable avec leur milieu naturel environnant.

Au-delà des résultats obtenus, cette recherche présente plusieurs aspects d'originalité qui méritent d'être soulignés. Elle constitue l'un des premiers travaux à l'échelle locale voire nationale à traiter de manière approfondie la question de la résilience socio-écologique dans un contexte où le concept de résilience est encore abstrait et peu maîtrisé. L'étude propose ainsi une approche intégrée combinant à la fois une lecture multi-échelle régionale et locale et une articulation entre les dimensions sociale et écologique ce qui permet de produire une analyse fine des vulnérabilités et capacité de résilience propre au territoire étudié.

En conclusion, cette étude a permis de dresser un aperçu global de la vulnérabilité et de la résilience face au changement climatique dans la région des HPS. Elle constitue un point de départ pour le développement de nouvelles pistes de recherche intéressantes, notamment en matière de stratégies d'adaptation et de résilience à long terme. Ce travail mérite d'être poursuivi et approfondi afin d'enrichir la compréhension des dynamiques locales et de renforcer les réponses face aux enjeux climatiques.

Par ailleurs, l'étude offre une base de données précieuse pour appuyer la prise de la décision locale et pour orienter la gestion environnementale tant sur le plan social qu'écosystémique.

Dans une perspective d'avenir, afin que la région des HPS puisse conserver son fort potentiel et s'engager dans une trajectoire du développement durable, plusieurs orientations peuvent être proposées :

- Aménager les territoires de manière équilibrée pour prévenir l'aggravation des vulnérabilités territoriales.
- Identifier les poches de fragilité telles que les zones pauvres, à risque ou mal desservies pour les intégrer aux politiques publiques.
- Renforcer la vigilance sociale et institutionnelle.
- Renforcer et valoriser la résilience écologique en protégeant les écosystèmes forestiers, les zones humides fonctionnelles et les écosystèmes agricoles.

- Renforcer et intégrer les continuités écologiques telles que les trames vertes et bleues dans les plans d'aménagement.
- Appuyer les filières durables telles que l'agriculture écologique, la foresterie responsable et l'éco-tourisme.
- Améliorer la qualité environnementale en valorisant les forêts urbaines et périurbaines et optimisant tous types d'espaces verts.
- Consolider la gouvernance locale et mettre en place un système de veille environnementale et territoriale.
- Maintenir un suivi permanent des indicateurs de vulnérabilité et de résilience.
- Cartographier les enjeux et ajuster les politiques en fonction de l'évolution climatique, sociale et économique.
- Intégrer les solutions fondées sur la nature ou "*Nature-based Solutions (NBS)*" dans les stratégies d'atténuation du changement climatique et l'optimisation de la résilience socio-écologique.
- Sensibiliser et former les communautés locales à la gestion des risques et à la valorisation des ressources locales.
- Favoriser la participation citoyenne dans la décision locale et profiter de son savoir traditionnel.
- Concentrer les recherches scientifiques sur la compréhension des mécanismes d'adaptation des espèces et l'innovation technologique au service de l'environnement.

Quelques soient les défis futurs, la résilience des Hautes Plaines Sétifiennes ne doit plus être une option mais une priorité stratégique pour bâtir un avenir durable, équitable et porteur d'espoir dans toutes ses dimension sociales, économiques, écologiques et institutionnelles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Scientific Data*, 5(170191), 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>
- Abubakar, H. B., Newete, S. W., & Scholes, M. C. (2020). Drought characterization and trend detection using the reconnaissance drought index for Setsoto Municipality of the Free State Province of South Africa and the impact on maize yield. *Water*, 12(11), 2993. <https://doi.org/10.3390/w12112993>
- Aghrab, A. (2003). *Caractérisation de la sécheresse et élaboration des indicateurs climatiques pour son alerte précoce dans la région de Saïss (Mémoire de fin d'études). École Nationale d'Agriculture de Meknès, Maroc.*
- Agnew, C. T. (2000). Using the SPI to identify drought.
- Aini, A. (2021). *Étude de la vulnérabilité aux incendies des habitats naturels dans le bassin côtier de Bejaia (Doctoral dissertation, Université A. Mira-Bejaia).*
- Alpert, P., Krichak, S. O., Shafir, H., Haim, D., & Osetinsky, I. (2008). Climatic trends to extremes employing regional modeling and statistical interpretation over the eastern Mediterranean. *Global and Planetary Change*, 63, 163–170.
- Amroun, A. (2008). *Hydrogéologie et qualité des eaux souterraines de la plaine de M'sila (Magister dissertation, Université d'El Hadj Lakhdar, Batna).*
- BAD (Banque Africaine de Développement). (2018). *Profil national de changement climatique : Algérie.*
- Bastos, A., Gouveia, C. M., Trigo, R. M., & Running, S. W. (2014). Analysing the spatio-temporal impacts of the 2003 and 2010 extreme heatwaves on plant productivity in Europe. *Biogeosciences*, 11(13), 3421–3435. <https://doi.org/10.5194/bg-11-3421-2014>
- Benabid, A. (2000). *Impacts des facteurs anthropozoogènes sur la biodiversité. Flore et écosystèmes du Maroc (pp. 289–301). Paris: Ibis Press.*
- Bertraneu, J., & Jean, M. (1952). Le Miocène marin du revers septentrional du bassin du Hodna (partie orientale). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 6(4–6), 275–281.
- Bhattacharya, A. (1983). *Examples using remote sensing techniques (PDF dynamique de l'occupation du sol).*
- Blanchet, G. (2021). *La résilience des systèmes agroforestiers face au changement climatique: Analyse de la réponse de cultures annuelles face à la sécheresse dans un système à base de noyer sous climat méditerranéen (Doctoral dissertation, Montpellier SupAgro).*

- Bouchelouche, A. (2024). *Inventaire floristique des légumineuses des hautes plaines Sétifiennes : Composition systématique, types biologiques, et importance socio-économique* (Doctoral dissertation, Université Ferhat Abbas Sétif 1).
- Boudiaf, B., Dabanli, I., Boutaghane, H., & Şen, Z. (2020). Temperature and precipitation risk assessment under climate change effect in Northeast Algeria. *Earth System Environment*, 4, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s41748-019-00136-7>
- Boudiaf, B., Şen, Z., & Boutaghane, H. (2021). Climate change impact on rainfall in north-eastern Algeria using innovative trend analyses (ITA). *Arabian Journal of Geosciences*, 14(511), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06644-z>
- Bouregaa, T. (2018). *Impact des changements climatiques (précipitations et températures) sur la production agricole en zone semi-aride : Cas de la région de Sétif* (Doctoral dissertation, Université Sétif 1).
- Bouregaa, T., & Fenni, M. (2014). Assessment of inter-seasonal temperature and precipitation changes under global warming over Setif high plains region, vulnerability and adaptation. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 11, 304–314. <https://doi.org/10.1108/wjtsd-05-2014-0005>
- Cai, W., Wang, G., Santoso, A., McPhaden, M. J., Wu, L., Jin, F. F., ... & Guilyardi, E. (2015). Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 5(2), 132–137. <https://doi.org/10.1038/nclimate2492>
- CAIDC. (2019). *Centre d'analyse des informations relatives au dioxyde de carbone* (Carbon Dioxide Information Analysis Center), Division des sciences de l'environnement, Oak Ridge National Laboratory (Tennessee, États-Unis). Données issues de World Bank (2019b) et de l'UNFCCC Data Interface (2019).
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., ... & Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89(7), 907–916. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105>
- Chermat, S. (2013). *Étude phytosociologique et pastorale des djebels Youssef et Zdim* (Hautes plaines Sétifiennes) (Doctoral dissertation, Université Ferhat Abbas Sétif 1), 264p.
- Chourghal, N. (2016). *Impacts des changements climatiques sur la culture du blé dur en Algérie* (Doctoral dissertation, ENSA, Alger).
- Cislaghi, M., De Michele, C., Ghezzi, A., & Rosso, R. (2005). Statistical assessment of trends and oscillations in rainfall dynamics: Analysis of long daily Italian series. *Atmospheric Research*, 77, 188–202.
- Clette, F., & Lefèvre, L. (2012). Are the sunspots really vanishing? Anomalies in solar cycle 23 and implications for long-term models and proxies. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 2(6), 1–9. <https://doi.org/10.1051/swsc/2012007>

- Climate-ADAPT. (2022). Indice de vulnérabilité au changement climatique (CCVI). <https://climate-adapt.eea.europa.eu/fr/metadata/tools/climate-change-vulnerability-index-ccvi> (consulté en novembre 2024)
- Collins, J. M. (2011). Temperature variability over Africa. *Journal of Climate*, 24, 3649–3666.
- Comfort, L. K., Boin, A., & Demchak, C. (2010). *Designing resilience: Preparing for extreme events*. University of Pittsburgh Press.
- CPC, Climate Prediction Center. (2019). National Weather Service. <https://www.weather.gov/riw/drought/>
- Craine, J. M., Ocheltree, T. W., Nippert, J. B., Towne, E. G., Skibbe, A. M., Kembel, S. W., & Faregone, J. E. (2013). Global diversity of drought tolerance and grassland climate change resilience. *Nature Climate Change*, 3(63), 67.
- Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J. (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013>
- Cutter, S. L., Burton, C. G., & Emrich, C. T. (2010). Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 7(1). <https://doi.org/10.2202/1547-7355.1732>
- Dauphiné, A. (2003). *Risques et catastrophes*. Armand Colin. 288 p.
- Demdoun, A., Hamed, Y., Feki, M., Hadji, R., & Djebbar, M. (2015). Multi-tracer investigation of groundwater in El Eulma basin (northwestern Algeria), North Africa. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(5), 3321–3333.
- Djellouli, Y., Louail, A., Messner, F., Missaoui, K., & Gharzouli, R. (2020). Les écosystèmes naturels de l'Est algérien face au risque du changement climatique. *Geo-Eco-Trop*, 44(4), 609–621.
- Eddine, A. (2017). *Eco-éthologie et diversité génétique du loup doré d'Afrique (Canis anthus) en Algérie* (Doctoral dissertation, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen).
- Fall, M., & Nasir, O. (2011). Impacts of past and future glaciation–deglaciation cycles on sedimentary rocks in Southern Ontario (Final report of Canadian Nuclear Safety Commission). Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Ottawa. 97 p.
- FAO. (2013). *État des forêts méditerranéennes 2013*. Groupe de travail n°3 du Comité Silva Mediterranea, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & Plan Bleu, n°1, 207 p.
- Flanagan, B. E., Gregory, E. W., Hallisey, E. J., Heitgerd, J. L., & Lewis, B. (2011). A social vulnerability index for disaster management. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 8(1). <https://doi.org/10.2202/1547-7355.1792>

- Gassmann, F. N. (1998). *Effet de serre, modèles et réalités: Réflexions d'un physicien sur l'évolution du climat*. *Natures, Sciences, Sociétés*, 6(1).
- Géraldine, D. T., Le Blanc, A., L'Homme, S., Rufat, S., & Reghezza-Zitt, M. (2011). Ce que la résilience n'est pas, ce qu'on veut lui faire dire. Version française d'un article en anglais soumis à évaluation. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00679293/document>
- Gharbi, H. (2024). *Dynamique spatio-temporelle de la phytodiversité des écosystèmes semi-arides : Conservation et aménagement sur des bases écologiques et socio-économiques* (Doctoral dissertation, Université Ferhat Abbas 1, Sétif).
- GIEC. (2001). *Changements climatiques 2001: Rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Édité par R. T. Watson de la Banque mondiale et l'équipe de rédaction principale]*. GIEC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR_syrfull_fr.pdf
- GIEC. (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. GIEC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_fr.pdf
- GIEC. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf
- GIEC. (2014). *Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. GIEC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf
- GIEC. (2014). *Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. GIEC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf
- Groupe de la Banque Mondiale. (2022). *Vulnerability rankings | ND-GAIN Index*. <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/>
- Hassini, N., Bouchama, M., & Dobbi, A. (2019). Trend of precipitation in Algeria: Between severe drought and torrential rain. In *8th International Conference on Water Resources and Arid Environments (ICWRAE 8)* (pp. 177–181). Riyadh, Saudi Arabia, 22–24 January 2019.
- Heltberg, R., & Bonch-Osmolovskiy, M. (2011). Mapping vulnerability to climate change. *World Bank Policy Research Working Paper*, (5554). <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5554>
- Henson, R. (2008). *The rough guide to climate change* (2nd ed.). Rough Guides.

- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1–23.
https://www.zoology.ubc.ca/bdg/pdfs_bdg/2013/Holling%201973.pdf
- Hoover, D. L., Knapp, A. K., & Smith, M. D. (2014). Resistance and resilience of a grassland ecosystem to climate extremes. *Ecology*, 95(9), 2646–2656.
<https://doi.org/10.1890/13-1965.1>
- IEA (International Energy Agency). (2013). CO2 emissions.
<http://www.iea.org/statistics/topics/CO2emissions/>
- IPCC. (2019b). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.
<https://www.ipcc.ch/srocc/>
- Itter, M. S., Finley, A. O., D'Amato, A. W., Foster, J. R., & Bradford, J. B. (2017). Variable effects of climate on forest growth in relation to climate extremes, disturbance, and forest dynamics. *Ecological Applications*, 27(4), 1082–1095.
<https://doi.org/10.1002/eap.1502>
- Johnstone, J. F., Allen, C. D., Franklin, J. F., Frelich, L. E., Harvey, B. J., Higuera, P. E., ... & Turner, M. G. (2016). Changing disturbance regimes, ecological memory, and forest resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(7), 369–378.
<https://doi.org/10.1002/fee.1311>
- Jolly, W. M., Dobbertin, M., Zimmermann, N. E., & Reichstein, M. (2005). Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps. *Geophysical Research Letters*, 32(18). <https://doi.org/10.1029/2005GL023252>
- Jones, P. D., Briffa, K. R., Barnett, T. P., & Tett, S. F. B. (1988). High-resolution paleoclimatic records for the last millennium: Interpretation, integration and comparison with general circulation model control-run temperatures. *The Holocene*, 8(4), 455–471.
- Jones, P. D., New, M., Parker, D. E., Martin, S., & Rigor, I. G. (1999). Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics*, 37, 173–199.
- Kanev, D. (1972). *Étude de la forêt domaniale du Boutaleb (Secrétariat d'État aux forêts et au reboisement, Mission bulgare)*. CNRF.
- Kendall, M. G. (1975). Rank correlation methods. *Journal of the Institute of Actuaries*, 75(1), 140–141. <https://doi.org/10.1017/S0020268100013019>
- Kent, M. (2011). *Vegetation description and data analysis: A practical approach*. John Wiley & Sons.
- Kessabi, R., Hanchane, M., & Belmahi, M. (2021). Estimation of climatic drought indices according to TerraClimate data and those from measurement stations (case of five stations in the Fez-Meknes region). In *Proceedings of Climate Change, Earthly Potentialities and Environmental Justice Conference* (pp. 163–181).

- Keyantash, J., & Dracup, J. A. (2002). The quantification of drought: An evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1167–1180. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2002\)083<1167:TQODA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2002)083<1167:TQODA>2.3.CO;2)
- Khaled, F. (2024). *Villes et géogouvernance: Essai d'élaboration d'un concept de gestion urbaine et territoriale durable* (Doctoral dissertation, Université Constantine 3 Salah Boubnider, Institut de gestion des techniques urbaines).
- Khan, R., Gilani, H., Iqbal, N., & Shahid, I. (2020). Satellite-based (2000–2015) drought hazard assessment with indices, mapping, and monitoring of Potohar plateau, Punjab, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, 79(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8751-9>
- Kherchouche, D., Kalla, M., Gutiérrez, E. M., Attalah, S., & Bouzghaia, M. (2012). Impact of droughts on *Cedrus atlantica* forests dieback in the Aurès (Algeria). *Journal of Life Sciences*, 6(11), 1262. <https://doi.org/10.17265/1934-7391/2012.11.007>
- Lahmar, R., Bedrani, S., Elloumi, L., Zgdouni, L., & Bedrani, S. (1993). Intensification céréalière dans les hautes plaines Sétifiennes : Quelques résultats. *Chiers Options Méditerranéennes*, 2(1), 93–97.
- Le Houerou, H. N., Claudin, J., Haywood, M., & Donadieu, J. (1975). *Étude phytoécologique du Hodna*. AGS, FAO, Rome.
- Lloret, F., Keeling, E. G., & Sala, A. (2011). Components of tree resilience: Effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos*, 120(12), 1909–1920. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19420.x>
- Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., Pell, A. N., Deadman, P., Kratz, T., Lubchenco, J., Ostrom, E., Ouyang, Z., Provencher, W., Redman, C. L., Schneider, S. H., & Taylor, W. W. (2007). Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, 317, 1513–1516.
- Madoui, A., & Gehu, J. M. (1999). État de la végétation dans la forêt du Bou-Taleb. *Forêt Méditerranéenne*, 20(4), 162–168.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 13, 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Mathieu, J. P. (1991). *Dictionnaire de physique*. Paris. 567 p.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179–183).
- Medail, F., & Quezel, P. (1999). Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: Setting global conservation priorities. *Conservation Biology*, 13(6), 1510–1513. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.98467.x>

- Medrano, H., Escalona, J. M., Bota, J., Gulías, J., & Flexas, J. (2002). Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, 89(7), 895–905. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf110>
- MEER (Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables). (2017). *Analyse de risque et de vulnérabilité au changement climatique en Algérie : Rapport de synthèse, projet ANPC N° 14.2468.8-001.00.*
- MEER (Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables). (2019). *Plan national climat en Algérie.*
- Merikhi, R. (1995). *Contribution à l'étude de la végétation des monts du Hodna – Étude phytosociologique du massif du Boutaleb* (Magister dissertation, Université Ferhat Abbas Sétif 1).
- Messouli, M., Ben Salem, A., & Rochdane, S. (2013). *Développement d'un concept d'Indice de Vulnérabilité au Changement Climatique et Environnementale au Niveau Régional.* Rabat: Département du développement durable (MNSSD), Région Moyen-Orient et Afrique du Nord, Banque Mondiale.
- Missaoui, K. (2020). *Dynamique des écosystèmes du Sétifois face aux changements globaux* (Doctoral dissertation). Université Ferhat Abbas Sétif 1.
- Modis, T. (2007). Sunspots, GDP and the stock market. *Technological Forecasting & Social Change*, 74, 1508–1515.
- Muyambo, F., Belle, J., Nyam, Y., & Orimoloye, I. (2024). Building resilience to multiple climate change-related risks in QwaQwa using the community capitals approach. *Journal of Water and Climate Change*, jwc2024385. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.385>
- Nandintsetseg, B., & Shinoda, M. (2013). Assessment of drought frequency, duration, and severity and its impact on pasture production in Mongolia. *Natural Hazards*, 66(2), 995–1008. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0503-0>
- National Park Service. (2022). *Coastal Facilities Vulnerability Assessments.* <https://www.nps.gov/subjects/climatechange/vulnerabilityandadaptation.htm> (consulté en novembre 2023)
- Navarro-Cerrillo, R. M., Sarmoum, M., Gazol, A., Abdoun, F., & Camarero, J. J. (2019). The decline of Algerian *Cedrus atlantica* forests is driven by a climate shift towards drier conditions. *Dendrochronologia*, 55, 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.03.004>
- Nicholson, S. E. (2001). Climatic and environmental change in Africa during the last two centuries. *Climate Research*, 17(1), 123–144.

- NOAA. (2017). *Monthly Global Climate Report for Annual 2016*.
<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/201613> (consulté le 20/11/2023)
- Nouar, B. (2020). *Contribution à l'étude des bio-ressources des matorrals des monts de Tiaret : Aspects phytoécologiques et cartographie (Ouest algérien) (Doctoral dissertation, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen)*.
- Ogle, K., Barber, J. J., Barron-Gafford, G. A., Bentley, L. P., Young, J. M., Huxman, T. E., ... & Tissue, D. T. (2015). Quantifying ecological memory in plant and ecosystem processes. *Ecology Letters*, 18(3), 221–235. <https://doi.org/10.1111/ele.12393>
- Oliver, T. H., Heard, M. S., Isaac, N. J., Roy, D. B., Procter, D., Eigenbrod, F., ... & Bullock, J. M. (2015). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(11), 673–684. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009>
- Ozenda, P. (1975). Sur les étages de végétation dans les montagnes du bassin méditerranéen. *Documents Cartographiques en Écologie*, XVI, 1–32.
- Palmer, D. S. (1965). Sequencing jobs through a multi-stage process in the minimum total time—a quick method of obtaining a near optimum. *Journal of the Operational Research Society*, 16(1), 101–107. <https://doi.org/10.1057/jors.1965.18>
- Parrenin, F. (2002). *Datation glaciologique des forages profonds en Antarctique et modélisation conceptuelle des paléoclimats: Implications pour la théorie astronomique des paléoclimats (Thèse de doctorat)*. Université Joseph Fourier, Grenoble, France. 310 p.
- Peterson, G., Allen, C. R., & Holling, C. S. (1998). Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems*, 1(1), 6–18. <https://doi.org/10.1007/s100219900002>
- Petit, M. (2001). *L'humanité face à l'effet de serre additionnel qu'elle crée*. *Earth and Planetary Sciences*, 333, 775–786.
- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28(2), 126–135. <https://doi.org/10.2307/2346729>
- PNUE. (2020). *Rapport UNEP*.
- Provitolo, D. (2010). *La vulnérabilité résilience : un cadre d'analyse des systèmes face aux risques et catastrophes*. UNESCO Chair EPFL, International Scientific Conference on Technologies for Development, Lausanne, Février 2010.
<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00643624>
- Quézel, P., & Médail, F. (2003). *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen (Vol. 572)*. Paris: Elsevier.
- Ragatoa, D. S., Ogunjobi, K. O., Okhimamhe, A. A., Francis, S. D., & Adet, L. (2018). A trend analysis of temperature in selected stations in Nigeria using three different

- approaches. *Open Access Library Journal*, 5(e4371), 1–18.
<https://doi.org/10.4236/oalib.1104371>
- Rapp, D. (2008). *Assessing climate change, temperatures, solar radiation and heat balance*. Springer. 392 p.
- Redjem, A., Nouibat, B., & Naghel, M. (2020). *Pour des villes résilientes aux inondations: Cas de la ville de M'sila, Algérie*. *Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre*, (51), 33–42.
- Redman, C. L., & Kinzig, A. (2003). *Resilience of past landscapes: Resilience theory, society, and the longue durée*. *Conservation Ecology*, 7(1), 19.
- Richard, Y., & Camberlin, P. (2005). *Le changement climatique contemporain: Développement d'un champ d'étude à l'interface climat et société. Actes des Journées de Climatologie*.
- Rouabhi, A. (2014). *Implications des changements climatiques dans l'agriculture et le développement durable* (Doctoral dissertation, Université Ferhat Abbas 1, Sétif).
- Salhi, A., Martin-Vide, J., Benhamrouche, A., Benabdelouahab, S., Himi, M., Benabdelouahab, T., & Casas Ponsati, A. (2019). *Rainfall distribution and trends of the daily precipitation concentration index in northern Morocco: A need for an adaptive environmental policy*. *SN Applied Sciences*, 1(277), 1–15.
<https://doi.org/10.1007/s42452-019-0290-1>
- Sanchis-Ibor, C., Molle, F., & Kuper, M. (2020). *Irrigation and water governance*. In *Water resources in the Mediterranean region* (pp. 89–118). Elsevier.
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J. A., Folke, C., & Walker, B. (2001). *Catastrophic shifts in ecosystems*. *Nature*, 413(6856), 591–596. <https://doi.org/10.1038/35098000>
- Schmalzer, P. A., & Foster, T. E. (2022). *Effects of repeated fire on Florida oak-saw palmetto scrub*. *Fire Ecology*, 18(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s42408-022-00145-2>
- Schroeder, J. (2005). *La tectonique des plaques aux fondements d'une nouvelle culture scientifique*. *Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, 24(1), 13–23.
- Sedjar, A. (2012). *Biodiversité et dynamique de la végétation dans un écosystème forestier : Cas de Djebel Boutaleb* (Magister dissertation, Université Ferhat Abbas, Sétif-1), 137p.
- Sen, P. K. (1968). *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau*. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389.
<https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Şen, Z. (2012). *Innovative trend analysis methodology*. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17, 1042–1046. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556)

- Shackleton, N. J. (2000). The 100,000-year ice-age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide, and orbital eccentricity. *Science*, 289(5486), 1897–1902.
- Shadmani, M., Marofi, S., & Roknian, M. (2012). Trend analysis in reference evapotranspiration using Mann-Kendall and Spearman's Rho tests in arid regions of Iran. *Water Resources Management*, 26(1), 211–224. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9913-z>
- Sharma, S. K., Sharma, D. P., Sharma, M. K., Gaur, K., & Manohar, P. (2021). Trend analysis of temperature and rainfall of Rajasthan, India. *Journal of Probability and Statistics*, 2021, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2021/6296709>
- Soro, G. E., Anouman, D. G. L., Bi, T. G., Srohorou, B., & Savane, I. (2014). Caractérisation des séquences de sécheresse météorologique à diverses échelles de temps en climat de type soudanais: cas de l'extrême nord-ouest de la Côte d'Ivoire. *LARHYSS Journal*, (18).
- Sylvestre, F., Servant-Vildary, S., & Servant, M. (1998). The last glacial maximum (21,000–17,000 ¹⁴C yr BP) in the southern tropical Andes (Bolivia) based on diatom studies. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Series IIA: Earth and Planetary Science*, 327(9), 611–618.
- Tabet-Aoul, M. (2008). Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb. *Les notes d'alerte du Centre International de Hautes Études Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM)*, 48, 6 p.
- Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. In B. Raj & J. Koerts (Eds.), *Advanced studies in theoretical and applied econometrics* (Vol. 23, pp. 345–381). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2546-8_20
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55–94. <https://doi.org/10.2307/210739>
- Tigkas, D., Vangelis, H., & Tsakiris, G. (2013). The RDI as a composite climatic index. *European Water*, 41, 17–22.
- Tsakiris, G., & Vangelis, H. J. E. W. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9(10), 3–11.
- UNEP. (2020). SoDE: State of the environment and development in the Mediterranean. Plan Bleu Regional Activity Centre. Marseille, France. <https://www.unep.org/resources/report/state-environment-and-development-mediterranean>
- Vennetier, M., & Ripert, C. (2009). Forest flora turnover with climate change in the Mediterranean region: A case study in Southeastern France. *Forest Ecology and Management*, 258(Suppl. 1), S56–S63. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.021>

- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J.-I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Sanchez-Lorenzo, A., García-Ruiz, J. M., Azorin-Molina, C., Morán-Tejeda, E., Revuelto, J., Trigo, R., Coelho, F., & Espejo, F. (2014). Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. *Environmental Research Letters*, 9(4), 044001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/4/044001>
- World Bank Group. (2021). Climate Change Knowledge Portal: Algeria - Climatology. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/algeria> (consulté le 28/02/2024)
- Wu, H., & Qian, H. (2017). Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China, since the 1950s. *International Journal of Climatology*, 37, 2582–2592. <https://doi.org/10.1002/joc.4866>
- Xie, H., Li, D., & Xiong, L. (2013). Exploring the ability of the Pettitt method for detecting change point by Monte Carlo simulation. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28, 1643–1655. <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0814-y>
- Yu, Z., Wang, J., Liu, S., Rentch, J. S., Sun, P., & Lu, C. (2017). Global gross primary productivity and water use efficiency changes under drought stress. *Environmental Research Letters*, 12(1), 014016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/12/1/014016>
- Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259(1–4), 254–271. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00594-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7)
- Zemmar, A., Benabbas, M., Djaghroui, D., & Cartier, S. (2023). Social vulnerability analysis at municipal level: Case study of the province of Chlef, Algeria. *Glasnik Srpskog geografskog drustva*, 103(2), 325–342.
- Zerroug, K. (2012). *Élaboration d'un système d'information géographique (flore) dans la Wilaya de Sétif* (Magister dissertation, Université Ferhat Abbas Sétif 1).
- Zerroug, K. (2020). *Étude de la végétation forestière du massif des Righa Dahra des Monts du Hodna, Sétif, Algérie* (Doctoral dissertation, Université Ferhat Abbas Sétif 1).

ANNEXES

Annexe 1. Formulaire d'enquête de perception de la résilience socio-écologique.

I. Question générale

Âge : • 15 – 25 ans • 25 – 45 ans • 45 – 65 ans • + 65 ans	Sexe : • Féminin • Masculin
Niveau d'étude : • Primaire • Moyen • Secondaire • Universitaire	Catégorie socioprofessionnelle : • Etudiant • Fonctionnaire • Chômeur • Autre
Dans quelle commune vivez-vous dans la wilaya de Sétif	

II. Perception et connaissances sociale du changement climatique

Veuillez indiquer votre degré d'accord ou désaccord pour les déclarations suivantes concernant le changement climatique en cochant le casier qui correspond le mieux à votre opinion :

	Complètement en désaccord	Pas du tout d'accord	Neutre	Plutôt d'accord	Complètement d'accord
1. Tu as une idée claire de ce que signifie le changement climatique					
2. Le changement climatique est une réalité déjà présente					
3. Globalement, le changement climatique se manifeste par un réchauffement des températures					
4. Au cours des dernières décennies, le climat a connu une évolution rapide					
5. Le changement climatique provoque des variations dans les saisons					
6. Le changement climatique est une conséquence directe des activités humaines générant des gaz à effet de serre					
7. Le changement climatique est un phénomène purement naturel, sans aucune intervention humaine					
8. Les conséquences du changement climatique sont mondiales					
9. Les impacts du changement climatique au niveau local dans la région de Sétif sont devenus très perceptibles					
10. Le changement climatique représente une grave menace pour ta sécurité et pour ton environnement					

Veuillez préciser les impacts du changement climatique observés dans la région de Sétif

1. Sur la météo : • Variations des températures • Variations des saisons • Variations des précipitations • Général	2. Sur l'environnement : • Manque d'eau et sécheresse • Inondations • Impacts sur les écosystèmes • Impacts sur le sol et l'agriculture
3. Sur l'homme : • Insécurité alimentaire • Insécurité hydrique • Maladies et épidémies • Risques d'exposition aux catastrophes climatiques	4. Sur la biodiversité • Apparition de maladies chez certaines espèces • Migration des espèces autochtones • Propagation de certaines espèces invasives • Disparition de certaines espèces locales

III. Perception de la résilience sociale face au changement climatique et de la capacité à mener une transition écologique

Veuillez exprimer votre avis concernant les initiatives suivantes pour lutter contre le changement climatique

	Oui	Non	Dans une certaine mesure
1. Es-tu d'accord avec l'État pour mettre en place des politiques et des mesures strictes pour lutter contre le changement climatique			
2. Es-tu prêt à réduire ta consommation d'énergie et à adopter des alternatives plus respectueuses à l'environnement			
3. Es-tu prêt à engager au sein des organisations environnementales pour protéger la nature et promouvoir un environnement plus vert et sein			
4. Est-ce que tu crois que ta ville est bien préparée avec les infrastructures et des équipements nécessaires pour faire face aux catastrophes climatiques			
5. Es-tu optimiste quant à la possibilité de rétablir le climat mondial à son état normal à l'avenir			