

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université MUSTAPHA Stambouli

Mascara



جامعة مصطفى اسطمبولي

معسكر

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des sciences agronomiques

Laboratoire de recherche sur les systèmes biologiques et la géomatique (LRSBG)

THESE de DOCTORAT EN SCIENCE

Spécialité : Sciences de Terre et de l'Univers

Intitulée

**Dynamique paysagère et évolution du risque
d'incendie, cas de la région Ouest algérienne**

Présentée par : M. BENBAKKAR Hadj Ali

Le 18 juin 2025 à la bibliothèque centrale de la faculté SNV

Devant le jury :

Président	MILOUDI Ali	Pr	Université de Mascara
Examineur	BENSLIMANE Mohammed	Pr	Université de Mascara
Examineur	ANTEUR Djamel	MCA	Université de Saida
Examineur	TALBI Okacha	MCA	Université de Saida
Examineur	BOUACHA Mohammed Islem	MCA	Université de Tiaret
Encadreur	SOUIDI Zahira	Pr	Université de Mascara

Année Universitaire : 2024 - 2025



Remerciements

*Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant qui m'a guidé tout au long de ma vie, qui m'a permis de m'instruire et d'arriver aussi loin dans les études, qui m'a donné courage et patience pour traverser tous les moments difficiles, et qui m'a permis d'achever cette thèse. Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans les encouragements de Madame **SOUIDI Zahira** directrice de thèse, qui a accepté de m'encadrer et de me mettre sur la voie de la recherche et qui m'a aidé et soutenue durant ces longues années. J'espère qu'elle trouvera dans cette thèse la justification de ses efforts.*

*Mes sincères remerciements à Monsieur **MILOUDI Ali** professeur à l'université de Mascara d'avoir accepté de présider l'honorable jury.*

*Mes remerciements vont aussi à messieurs **BENSLIMANE Mohammed** professeur à l'université de Mascara, **ANTEUR Djamel** maitre de conférences à l'université de Saida, **TALBI Okacha** maitre de conférences à l'université de Saida et **BOUACHA Mohamed Islem** maitre de conférences à l'université de Tiaret qui ont accepté d'examiner ce modeste travail.*

Un grand merci à ma mère, pour son amour, ses conseils ainsi que son soutien inconditionnel, à la fois moral et économique, qui m'a permis de réaliser les études que je voulais et par conséquent cette thèse de doctorat.

Un merci particulier à ma femme pour son soutien, ses encouragements et sa persistance surtout pour que je puisse arriver à la réalisation de cette recherche.

Je remercie toute ma famille pour l'éducation, l'instruction et pour tous les moments joyeux que j'ai pu partager avec eux.

Enfin, que tous mes cousins, cousines, amis et parents que je ne peux remercier nommément, ainsi que ceux que ma mémoire a pu ingratement oublier, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Dédicace

Je dédie cette thèse à toutes les personnes que

J'aime et en particulier :

*À mes chers parents et surtout ma mère **Zohra**, qui m'a donné un amour illimité, et qui m'a toujours encouragé et supporté jusqu'au bout, tous les mots du monde ne pourront servir pour la remercier pour son soutien moral et matériel.... Je lui dois tout.*

*À ma femme **Hadjira**, qui m'a encouragé et soutenu pour finaliser ma thèse*

*À mes petits anges **Nazim** et **Cidra***

*A la mémoire de mon frère jumeau **Hachemi** qui restera à jamais
présent dans mon cœur*

*A mes frère **Benyekhlef** et **Abdelkader***

*A mes soeurs **Aicha** et **Ouahiba***

*A ma belle mère la maman de mes enfants **Malika** et à toute sa famille*

A tous mes enseignants

A mon pays que j'aime l'Algérie

المخلص

تعد حرائق الغابات تهديداً كبيراً للغابات في غرب الجزائر، وتأثيرها على المناظر الطبيعية معقد للغاية حيث أن هناك العديد من العوامل والتفاعلات التي تلعب دوراً في هذا الصدد: التضاريس والمناخ والاضطرابات وغيرها من العوامل الخارجية مثل التغيرات التي يسببها الإنسان في استخدام الأراضي. تؤثر الحرائق على المناظر الطبيعية بشكل رئيسي من خلال تأثيرها على الغطاء النباتي. تنجم حرائق الغابات عن مزيج من عدة عوامل، لا سيما المناخية والتي يسببها الإنسان، والتي غالباً ما تتضخم بسبب تركيبة الغطاء النباتي الذي يعتبر سريع الاشتعال خلال موسم الجفاف. وللتعامل مع هذه الظاهرة، تتمثل الأولوية في تعزيز موارد الرصد وتطبيق الحراثة الوقائية. لقد مكنتنا النهج الإحصائي المطبق في هذه الدراسة، خاصةً فيما يتعلق بالمناخ، من تحديد الفترات التي تكون فيها غاباتنا أكثر عرضة للحرائق، مما يمكننا من برمجة خطة عمل لإدارة حرائق الغابات بفعالية. يمكن لخرائط الحساسية وخرائط مخاطر الحرائق الناتجة عن حساب مؤشرات الحرائق المختلفة أن تكون أداة لصنع القرار لمسير الغابات لتحديد المناطق عالية الخطورة في الغابات واتخاذ تدابير وقائية للحد من الخسائر في الموارد الطبيعية والممتلكات والسلع، وحتى في الأرواح البشرية.

الكلمات المفتاحية: الجزائر، المناظر الطبيعية، حرائق الغابات، إدارة المخاطر.

Abstract

Forest fires are a major threat to the forests of western Algeria, and their impact on the landscape is very complex to determine, as many factors and interactions come into play: topography, climate, disturbances and other exogenous factors such as human-induced changes in land use. Fire affects the landscape mainly through its action on vegetation. Forest fires are caused by a combination of several factors, notably climatic and human-induced, which are often amplified by the composition of the vegetation, which is considered highly flammable during the dry season. To deal with this phenomenon, the priority is to strengthen monitoring resources and apply preventive forestry. The statistical approach applied in this study, particularly with regard to climate, has enabled us to identify the periods when our forests are most vulnerable to fire, thereby enabling us to programme an action plan for effective forest fire management. The sensitivity and fire risk maps produced by calculating the various fire indices can be a decision-making tool for forest managers to locate high-risk areas in forests and take preventive measures to limit the loss of natural resources, property and goods, and even human lives.

Keywords : Algeria, landscape, forest fire, risk management.

Résumé

Les incendies de forêt constituent un danger majeur pour les forêts de la région de l'ouest algérien, leur impact sur les paysages est très complexe à déterminer car de nombreux facteurs et interactions entrent en jeu : la topographie, le climat, les perturbations et d'autres facteurs exogènes comme les changements d'utilisation des terres induits par l'homme. Le feu agit en fait sur le paysage principalement à travers son action sur la végétation. Les incendies de forêts sont causés par la combinaison de plusieurs facteurs, notamment climatiques et anthropiques, qui sont souvent amplifiés par la composition de la végétation qui est considérée comme hautement inflammable pendant saison sèche. Pour faire face à ce phénomène, la priorité d'action est de renforcer les moyens de surveillance et d'appliquer une sylviculture préventive. L'approche statistique appliquée dans cette étude, surtout sur le climat, nous a permis d'identifier les périodes où nos forêts sont les plus vulnérables aux incendies, permettant ainsi la programmation d'un plan d'action pour une gestion efficace des incendies de forêt. Les cartes de sensibilité et du risque d'incendie produites par le calcul des différents indices d'incendie peut être un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires forestiers afin de localiser les zones à haut risque dans les forêts et de prendre des mesures préventives pour limiter la perte de ressources naturelles, de propriétés et de biens, et même de vies humaines.

Mots clés : Algérie, paysage, feu de forêts, gestion de risque.

Table des matières

Remerciements	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1
Chapitre I : Paysages forestiers et risques d'incendie	5
I.1 Les écosystèmes et leur fonctionnement.....	5
I.1.1 La dynamique paysagère.....	8
I.1.2 Le paysage forestier.....	8
I.1.3 Dysfonctionnement, stress et perturbation.....	9
I.1.4 Les successions écologiques.....	10
I.1.4.1 Les notions de séries et de climax.....	10
I.2 Les forêts dans le monde	11
I.2.1 La couverture forestière.....	11
I.3 Les principaux facteurs de dégradation des forêts.....	13
I.3.1 La déforestation.....	13
I.3.2 Les agressions de type biotique et abiotique	14
I.3.3 Les agressions de type purement anthropique	15
I.4 État des ressources forestières dans la région méditerranéenne.....	17
I.5 Les forêts algériennes.....	19
I.5.1 Historique de la forêt Algérienne.....	19
I.5.2 Présentation de la forêt Algérienne	20
I.5.3 Caractéristiques majeures des forêts algériennes :.....	21
I.5.4 Principales formations forestières de l'Algérie.....	22
I.5.5 Evolution des superficies des principales essences forestières en Algérie.....	24
I.6 Les feux de forêts.....	26
I.6.1 Les combustibles d'un feu de forêt.....	26
I.6.2 L'origine des feux de forêt.....	26
I.6.3 Les cause des feux de forêt.....	27
I.6.4 Les différents types de feux.....	29
I.6.5 Les sauts et la vitesse de feu.....	30
I.6.6 Différentes formes des feux de forêt.....	30

I.6.7 Comportement de feux de forêts.....	31
I.6.8 Facteurs qui influent sur la propagation.....	32
I.6.9 Feux de forêt et dynamique paysagère.....	35
I.6.9.1 Impact du feu sur le paysage.....	35
I.6.9.2 Effets des paramètres du feu et de l'environnement sur le paysage.....	36
I.6.9.3 Sur le milieu naturel.....	38
I.6.10 Gestion du risque de feux de forêts.....	39
I.6.10.1 Surveillance planétaire.....	39
I.6.10.2 La prévision.....	39
I.6.10.3 La prévention.....	40
I.6.11 La géomatique pour le suivi des incendies de forêts.....	41
Chapitre II : Evolution spatiotemporelle des incendies et stratégie de lutte en Algérie.....	43
II.1 Bilan des incendies des 40 wilayas du nord de l'Algérie.....	43
II.2 Bilan des incendies par wilaya.....	44
III.3 Fréquence des incendies.....	45
II.4 Analyse des feux de forêts par année	47
II.4.1 Analyse des feux de forêts de l'année 2012.....	48
II.4.2 Analyse des feux de forêts de l'année 2013	49
II.4.3 Analyse des feux de forêts de l'année 2014.....	50
II.4.4 Analyse des feux de forêts de l'année 2017.....	51
II.4.5 Analyse des feux de forêts de l'année 2020.....	53
II.3.6 Analyse des feux de forêts de l'année 2021.....	56
II.4.7 Analyse des feux de forêts de l'année 2022.....	57
II.4.8 Analyse des feux de forêts de l'année 2023.....	57
II.4.9 Analyse des feux de forêts de l'année 2024.....	58
II.5 Stratégie nationale de lutte contre les feux de forêts.....	58
II.5.1 Contexte institutionnel et parties prenantes.....	60
II.5.2 Institutions nationales.....	61
II.5.3 Prévention des feux de forêt.....	66
II.5.3.1 Sensibilisation.....	66
II.5.3.2 Prévision des feux de forêt.....	68
II.5.3.3 L'intervention effective.....	69

II.5.4 Adéquation des moyens humains et matériels.....	72
II.6 Recommandations.....	73
Chapitre III : Risque d’incendies de forêts dans la région Ouest Algérienne.....	74
III.1 Milieu physique.....	75
III.1.1 Situation géographique de la région d’étude.....	75
III.1.2 Le relief.....	77
III.1.2.1 La zone littorale.....	77
III.1.2.2 Les montagnes et les bassins intérieurs de l’Atlas Tellien.....	78
III.1.2.3 Cadre géologique.....	80
III.1.3 Aperçu pédologique.....	82
III.1.4 Etude climatique.....	83
III.1.4.1 Le choix des stations météorologiques.....	83
III.1.4.2 les étages bioclimatiques.....	84
III.1.4.3 Précipitations annuelles.....	85
III.1.4.4 Les températures.....	86
III.1.4.5 Synthèse bioclimatique.....	88
III.1.4.6 Le vent.....	88
III.1.5 La végétation.....	89
III.1.5.1 Les Séries de végétation de la région.....	90
III.2 Cartographie du risque d’incendie de forêt.....	93
III.2.1 Indice de Risque Fréquentiel (IRF).....	93
III.2.2 Risque Moyen Annuel ou Degré de Gravité.....	95
III.2.3 Surface Moyenne par Incendie (SMI).....	96
III.2.4 Résultats et discussion.....	96
III.2.4.1 Indice de risque fréquentiel pour la région d’étude.....	96
III.2.4.2 Le degré de danger dans notre région d’étude.....	97
III.2.4.3 Discussion générale.....	98
Chapitre IV : Modélisation du risque d’incendie de forêt (exemple de la wilaya de Mascara).....	100
IV.1 Intérêt de la cartographie des feux de forêts.....	101
IV.2 Méthodes de cartographie par télédétection des feux de forêts.....	100
IV.3 Matériels et méthodes.....	102

IV.3.1 Données exploitées.....	106
IV.3.2 Correction des données LANDSAT.....	106
IV.4 Présentation de la zone d'étude.....	107
IV.4.1 Cadre socio-économique de la Wilaya.....	107
IV.4.2 Cadre physique (caractéristiques physiques de la Wilaya)	108
IV.4.2.1 Topo-morphologie.....	108
IV.4.2.2 Occupation des terres de la wilaya de Mascara.....	110
IV.5 Cadre climatique.....	113
IV.5.1 La température.....	114
IV.4.2 La pluviométrie.....	115
IV.4.3 La vitesse du vent.....	117
IV.5 Cadre hydrographique.....	120
IV.4 Equipement et infrastructures forestières de la Wilaya de Mascara.....	121
IV.5 Activités dans les forêts.....	124
IV.6 Résultats et discussions.....	125
IV.7 Carte de sensibilité aux feux de forêts de la Wilaya de Mascara.....	125
IV.8 Indice Topo-morphologique (IM).....	127
IV.9 L'indice de combustibilité.....	137
IV.10 Carte de l'indice de combustibilité.....	140
IV.11 L'indice de l'occupation humaine.....	144
IV.12 Cartes de l'indice de Risque de Feu.....	144
IV.13 Validation du Modèle.....	147
IV.14 Synthèse du risque.....	149
Conclusion générale.....	151
Références bibliographiques.....	154
Annexe.....	167

Liste des figures

Figure 1 : Flux d'énergie alloués au développement et à la croissance dans un écosystème "juvénile" et dans un écosystème "mature" (Bouasria, 2004).....	7
Figure 2 : Répartition géographique des forêts dans le monde (Forêt, 2011).....	13
Figure 3 : Principales essences forestières en Algérie.....	24
Figure 4: Triangle du feu. Source (Meddour 2014).....	31
Figure 05: Répartition annuelle des incendies dans la région nord Algérienne (Période 2003-2024).....	43
Figure 06 : Répartition annuelle des incendies par wilaya (2003-2024).....	45
Figure 07 : Fréquence des incendies par wilaya (Période 2003-2024).....	46
Figure 08 : Superficies ravagées dans plusieurs wilayas d'Algérie.....	49
Figure 09 : Superficies ravagées dans la wilaya de Blida en 2013.....	50
Figure 10 : Superficies brûlées dans la wilaya de Sidi Belabes année 2014.....	51
Figure 11 : Localisation des feux (couleur noire) des wilayas les plus touchées pendant l'année 2017.....	52
Figure 12 : Zones parcourues par le feu dans la région de Zekri (W.Tizi Ouzou) année 2020.....	54
Figure 13 : Zones parcourues par le feu dans la commune Khelil (Wilaya de Bordj Bou Arreridj) année 2020.....	54
Figure 14 : Zones parcourues par le feu dans la commune de Toudja (Boejaia) année 2020.....	55
Figure 15 : Zones parcourues par le feu dans la région de Guertoufa (Wilaya de Tiaret), année 2020.....	56
Figure 16 : Localisation de la région d'étude.....	76
Figure 17 : Carte de la répartition du relief de la région de l'Oranie.....	79
Figure 18 : Carte géologique du Nord-Ouest Algérien.....	81
Figure 19 : Carte des étages bioclimatiques de la région Nord Ouest Algérienne.....	85
Figure 20: Précipitations moyennes annuelles de la région d'étude (2010-2024).....	86
Figure 21: Températures moyennes annuelles de la région d'étude (2010-2024).....	87
Figure 22: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gussen de la région d'étude pendant la période (2010-2024).....	88
Figure 23: La moyenne annuelle du vent de la région d'étude (2010-2024).....	89

Figure 24: Carte d'occupation des terres de la région Nord Ouest Algérienne.....	93
Figure 25: Indice de risque fréquentiel pour la région d'étude (2010-2024).....	97
Figure 26: Le degré de danger dans notre région d'étude (2010-2024).....	98
Figure 27 : Organigramme méthodologique.....	105
Figure 28 : Carte de situation de la wilaya de Mascara.....	107
Figure 29: Zones homogènes de la Wilaya de Mascara.....	109
Figure 30: Répartition Générale des terres de Mascara	111
Figure 31: Carte d'occupation des terres.....	113
Figure 32: Relation entre la température moyenne annuelle et la superficie incendiée dans la wilaya de Mascara (2012 – 2023).....	114
Figure 33: Relation entre la température moyenne annuelle et le nombre de foyer dans la wilaya de Mascara (2012 – 2023).....	115
Figure 34: Relation entre la pluviométrie moyenne annuelle et la superficie incendiée dans la wilaya de Mascara (2012 – 2023).....	116
Figure 35: Relation entre la pluviométrie moyenne annuelle et le nombre de foyer dans la wilaya de Mascara (2012 – 2023).....	117
Figure 36: Relation entre la vitesse du vent moyenne annuelle et la superficie incendiée dans la wilaya de Mascara (2012 – 2023).....	118
Figure 37: Relation entre la vitesse du vent moyenne annuelle et le nombre de foyer dans la wilaya de Mascara (2012 – 2023).....	119
Figure 38: Réseau hydrographique de la wilaya de Mascara.....	120
Figure 39: Carte des infrastructures forestières de la Wilaya de Mascara.....	124
Figure 40: Carte des zones à risque aux feux de forêts de la Wilaya de Mascara.....	127
Figure 41: Cartes des pentes forêt de Beni Khemis.....	129
Figure 42: Cartes des pentes forêt de Guetarnia.....	130
Figure 43: carte des expositions forêt de Beni Khemis.....	132
Figure 44: carte des expositions forêt de Guetarnia.....	132
Figure 45: Carte des Topomorphologique forêt de Beni Khemis.....	133
Figure 46: Carte topomorphologiques forêt de Guetarnia.....	134
Figure 47: Carte de l'indice topomorphologique forêt de Beni Khemis.....	136
Figure 48: Carte de l'indice topomorphologique forêt de Guetarnia.....	137
Figure 49: Carte de l'indice de végétation forêt de Beni Khemis.....	139
Figure 50: Carte de l'indice de végétation forêt de Guetarnia.....	140

Figure 51: Carte de l'indice de combustibilité forêt de Beni Khemis.....	143
Figure 52: Carte de l'indice de combustibilité forêt de Guetarnia.....	144
Figure 53: Carte de l'indice de risque forêt de Beni Khemis.....	145
Figure 54: Carte de l'indice de risque forêt de Guetarnia.....	147
Figure 55: Carte de validation du modèle forêt de Beni Khemis.....	148
Figure 56: Carte de validation du modèle forêt de Guetarnia.....	148

Liste des tableaux

Tableau 01 : Superficie forestière, pourcentage de forêts (par rapport à la superficie des terres émergées ou à la superficie régionale totale des forêts), accroissement de la superficie forestière et superficie des autres terres boisées dans les pays méditerranéens	18
Tableau 02 : Principales essences forestières et leurs superficies.....	25
Tableau 03 : Importance des incendies de forêts par catégories de causes en Algérie période (1986-2010).....	28
Tableau 04 : Adéquation des moyens humains et matériels.....	72
Tableau 05 : Superficies et démographies des wilayas de la région de l’Oranie.....	77
Tableau 06 : Les stations météorologiques choisis.....	83
Tableau 07 : Classes de l’Indice du Risque Fréquentiel.....	94
Tableau 08 : Classes du Risque Moyen Annuel.....	95
Tableau 09 : Superficie forestière et infrastructures de la wilaya de Mascara.....	121
Tableau 10 : Activités dans les forêts de la wilaya de Mascara.....	125
Tableau 11 : Classes de l’Indice de Risque de feu (IDF).....	126
Tableau 12 : Classes de pentes forêt de Beni Khemis.....	128
Tableau 13 : Classes de pentes forêt de Guetarnia.....	129
Tableau 14 : Classes des expositions.....	131
Tableau 15 : Classes de la topomorphologie forêt de Beni Khemis.....	133
Tableau 16 : Classes de la topomorphologie forêt de Guetarnia.....	134
Tableau 17 : Classes de l’indice topomorphologique forêt de Beni Khemis.....	135
Tableau 18 : Classes de l’indice topomorphologique forêt de Guetarnia.....	136
Tableau 19 : Les notes de combustibilité.....	141
Tableau 20 : Indice de combustibilité de la forêt de Beni Khemis.....	142
Tableau 21 : Indice de combustibilité de la forêt de Guetarnia.....	143
Tableau 22 : Classes de l’Indice de Risque de feu de la forêt de Beni Khemis.....	144
Tableau 23 : Classes de l’Indice de Risque de feu de la forêt de Guetarnia	146

Liste des Abréviations

AHP : Analyse Hiérarchique des Processus.

AMC : Analyse Multi Critère.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

ASAL : Agence Spatiale Algérienne

BAMS: Burned Area Mapping Software.

BNEDER : Bureau national des études du développement rural

CCFL : Camion Citerne Feux De Forêts Léger

CF : Conservation des forêts.

DGF : Direction générale des forêts.

DGF : Direction Générale Des Forêts

DGPC : Direction Générale De La Protection Civile

DPAT: Direction de la planification et de l'aménagement.

ESA: Agence spatiale européenne.

ETM: Enhanced Thematic Mapper.

FAO: Food and Agriculture Organization.

GEMI: Global Environmental Monitoring Index.

GPS: Global Positioning System.

MICLAT : Ministère de l'intérieur des collectivités locales et de l'aménagement du territoire

MIRBI : Indice bi-spectral dans l'infrarouge moyen.

MNT: Model Numérique de Terrain.

MSS: Scanner Multi Spectral.

NBR: Normalized Burn Ratio.

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

OLI: Operational Land Imager.

ONM : Office National de Météorologie.

SIG : Système d'Information Géographique.

TM : Thematic Mapper.

TPF : Tranchée pare feu

USGS: United States Geological Survey.

Introduction

Générale

Introduction générale :

Les effets du feu sur le paysage se font principalement ressentir au travers de leur impact sur la végétation. Plus un feu est intense et sévère, plus la végétation sera modifiée et plus le paysage en sera transformé, que ce soit à une échelle locale ou régionale. Les résultats sont identiques en cas d'incendies répétés.

Globalement il semble que les incendies créent une certaine hétérogénéité dans le paysage, particulièrement intéressante pour le maintien d'une diversité paysagère (Lloret et al., 2002, Brotons et al., 2005). Mais ils peuvent aussi générer localement une plus grande homogénéité paysagère, en « remettant les pendules à zéro » au niveau du couvert végétal.

Certains auteurs pensent qu'une augmentation de la fréquence des incendies et de l'aire brûlée par les incendies pourrait entraîner une homogénéité à plus large échelle et à plus long terme, notamment par une dominance des milieux buissonnants dans les zones où les incendies sont particulièrement fréquents (Lloret et al., 2002). Dans ces zones là, la récurrence des incendies empêcherait la réinstallation de la forêt (Mouillot et al., 2003). Cela reste encore à démontrer, particulièrement du fait de la création concomitante d'hétérogénéité paysagère.

La superficie annuelle mondiale brûlée a été estimée à 350 Mha par an, dont 72% en Afrique au cours des dernières décennies (Min Wu et al., 2022). Ces méthodes devraient permettre une meilleure compréhension des changements de paysages sur le long terme.

Les incendies de forêts sont le principal facteur de dégradation de la forêt méditerranéenne et algérienne particulièrement par leur spécificité (espèces ligneuses inflammables et fortement combustibles) favorisant l'éclosion et la propagation du feu.

Les incendies de forêts sont une véritable calamité pour l'équilibre du milieu en Algérie. Nos forêts caractérisées par leur extrême pyrophylité, accentuée par la nature xérothermique du climat méditerranéen, sont des écosystèmes très fragiles et le feu constitue l'un de leurs plus grands ennemis (Benabdeli, 1996), on compte en moyenne plus de 37 000 hectares (1979-1985) de superficies boisées qui partent en fumée chaque année (Madoui, 2000).

En Algérie, comme dans de nombreux autres pays méditerranéens, les zones forestières sont soumises à des incendies récurrents qui sont favorisés par la grande inflammabilité des espèces forestières méditerranéennes et les conditions climatiques propices aux incendies (Souidi et al., 2015). Selon (Meddour Sahar et al., 2008) l'Algérie est le pays le plus touché par les incendies en Afrique du Nord. En effet, des fréquences annuelles de 378 à 1 388 feux

causent une perte de 41 258 à 34 596 Ha de terres brûlées durant les périodes 1876 à 1962 et 1963 à 2007.

L'absence d'une gestion adéquate sur le terrain contribue aussi à l'état actuel de déliquescence des forêts qui empêche le maintien et la durabilité du patrimoine forestier algérien (Mate, 2003).

Le risque de départ de feux est étroitement lié à l'action anthropique. En Algérie, entre 1985 et 2006, 86% des départs de feux dont l'origine est connue sont volontaires (Arfa et al., 2009). De nombreuses analyses ont été menées sur les incendies de forêt pour en déterminer les causes, comme la modélisation des facteurs socio-économiques à l'origine des incendies (Vilar et al., 2016 ; Wang et al., 2023 ; de Diego et al., 2023 ; Canepa, 2023). Parmi les travaux les plus récents sur la question de la modélisation des facteurs socio-économiques des feux de forêt, on peut citer ceux de Vilar et al, (2014) qui ont analysé et tenté de modéliser l'influence des facteurs socio-économiques et leur évolution dans le temps sur la fréquence des feux de forêt en Europe méditerranéenne. En Algérie, Belkaid (2016) a réalisé une analyse de la variabilité spatiale des départs de feu et a mis en évidence les principaux facteurs humains qui conditionnent la répartition de ces derniers au niveau de 3 communes de la wilaya de Tizi-Ouzou; leur compilation permettra d'avoir une vision globale sur l'évolution régressive du patrimoine forestier.

La combinaison de différentes données devrait fournir une image globale du déclin du patrimoine forestier (Souza et al., 2024).

En Algérie également, la situation des incendies de forêt est grave et le risque d'incendie est élevé (Souidi et al., 2015; Souidi et al., 2017). Ces facteurs négatifs ne peuvent aboutir dans notre région comme d'autres qu'à la ruine des sols et finalement à la désertification, mettant en péril les activités agricoles et pastorales et perturbant l'équilibre écologique.

Selon la direction générale des forêts, les feux de forêts ont ravagés 482 000 hectares durant la période de l'année 2003 à l'année 2017 dont 6 721 hectares du patrimoine forestier de la wilaya de Mascara.

Deux forêts ont été choisies dans cette étude dont une a été fortement incendié dans la période de l'année 2003 à l'année 2017 et la deuxième moins incendiée où Le nombre de départ de feu a été enregistré dans le massif forestier de Guetarnia avec 08 incendies alors que 03

incendies ont été enregistrés dans le massif forestier de Beni Khemis. Les feux ont dévasté des superficies importantes avec respectivement 326 ha et 34 ha brûlées.

Conscient de la gravité de la situation et soucieux de défendre, de restaurer et de développer ce patrimoine, l'état algérien a consenti de gros efforts en sa faveur. D'une manière générale on peut affirmer que depuis l'indépendance et plus particulièrement ces dernières décennies, les réalisations en matière forestière ont été très importantes mais le risque est toujours présent, et les préventions exécutées par des moyens traditionnels restent insuffisantes.

Actuellement la prévention; avec des moyens modernes comme le Système d'Information Géographique et la Télédétection, sont des moyens pour aider à gérer les risques d'incendie à travers la cartographie (Baptista et al., 2017; Vieira et al., 2017).

Les images satellitaires donnent une vue globale et fournissent des informations très utiles sur l'environnement, pour une grande gamme d'échelles, de continents entiers aux détails de quelques mètres (Belhadj Aissa et al., 2003).

Ce travail s'inscrit dans cette perspective, il décrit la façon dont a été mise en pratique une méthode associant l'analyse de données de télédétection et l'analyse de données de terrain pour observer la dégradation des forêts. Il vise à évaluer; spécifiquement; la sensibilité des forêts face au risque d'incendie à travers un modèle qui intègre plusieurs paramètres et données spatiales.

Les politiques de gestion des incendies de forêts comprennent trois phases, la première phase est la réglementation (signature des arrêtés et installation des commissions), la deuxième phase est la prévention (équipements et infrastructures) et la troisième phase est la phase de l'extinction (intervention des agents des forêts et de la protection civile...).

C'est particulièrement sur les phases 3 et 4 que cette étude tient à intervenir. L'analyse des infrastructures et des équipements existants dans les massifs forestiers de la wilaya de Mascara peut orienter le gestionnaire dans l'élaboration du dispositif de prévention contre les feux de forêts. La réalisation de la carte des infrastructures constitue un outil fiable pour détecter l'insuffisance en termes de vigilance et de lutte contre la propagation des incendies.

Nous allons tenter par une approche statistique descriptive des données, d'analyser l'évolution temporelle des feux de forêts au niveau des 40 wilayas de l'Algérie du Nord, durant la période 2003 - 2017, afin de déceler les tendances générales de cette évolution. Les résultats obtenus permettront une meilleure connaissance de ce facteur écologique naturel et pourront ainsi servir à une amélioration de la gestion des feux de forêts.

L'étude climatique de la wilaya de Mascara intégrant les quatre paramètres, la température moyenne mensuelle, les précipitations moyenne mensuelle, l'humidité et la vitesse du vent nous permettra d'établir la relation entre le climat et l'éclosion des feux ainsi que leur propagation pour pouvoir aboutir à une carte des risques de feux de la zone d'étude.

Dans cette perspective, à travers cette étude nous cherchons, à partir de l'utilisation de la télédétection spatiale, à créer une base de données regroupant toutes les couches thématiques relatives aux feux de forêts et, d'autre part, à la modélisation et la cartographie des secteurs exposés au risque feu de forêt pour une utilisation ultérieure par les gestionnaires locaux. Pour cerner cette problématique, nous nous sommes intéressés au cas de la région Ouest Algérienne, qui est caractérisé par des conditions climatiques favorables aux incendies, et qui recèle une importante couverture forestière caractérisée par une grande inflammabilité et une forte concentration de l'habitat. Pour traiter les différentes questions de cette thèse et eu égard aux éléments du terrain d'étude, nous avons scindé le présent travail en quatre chapitres :

- ✚ Le premier chapitre présente la dynamique paysagère, les risques d'incendie et des généralités sur les forêts dans le monde, la forêt méditerranéenne et la forêt algérienne.
- ✚ Le deuxième chapitre, comprend une analyse sur l'évolution spatiotemporelle des incendies et la stratégie de lutte en Algérie.
- ✚ Le troisième chapitre étudie la cartographie du risque d'incendies de forêts dans la région Ouest Algérienne.
- ✚ Le quatrième chapitre, présente un modèle du risque d'incendie de forêt (exemple de la wilaya de Mascara).

Chapitre I :

Paysages forestiers et risques

d'incendie

Chapitre I : Paysages forestiers et risques d'incendie :

I.1 Les écosystèmes et leur fonctionnement :

Depuis l'explosion démographique, l'exploitation des milieux naturels n'a cessé de s'intensifier au fur et à mesure des progrès techniques. A l'économie de cueillette et de chasse s'est substituée une économie de production privilégiant un petit nombre d'espèces les plus rentables possibles. Cette intensification passe, à la fois, par l'augmentation des rendements de production grâce à la mécanisation des procédés de culture mais aussi par l'expansion des terres agricoles par déboisement et aménagement des espaces naturels jusque-là inexploités. Cette réorganisation des écosystèmes exploités se décrit comme une régression de leur structure et de leur information interne selon différents procédés :

- Par défrichage ; considéré comme l'une des causes possibles de "rajeunissement" des écosystèmes puisqu'on réduit la biomasse de l'écosystème ;
- Par sélection des espèces dites "nuisibles" ou parasites pour les cultures. Ces pratiques spéciales tendent à réduire sensiblement la biodiversité ;
- Par apports de fertilisants destinés à augmenter la productivité des récoltes. Ce procédé favorise les espèces à croissance rapide développant une stratégie de compétition. Ces dernières supplantent alors les espèces à croissance lente : on parle alors d'exclusion compétitrice ;
- Par sélection de génotypes répondant aux critères de productivité et de qualité. Ainsi l'essentiel des espèces exploitées sont à stratégie de type "r" en raison de leur rapidité de croissance et de reproduction que l'on oppose aux stratégies "k" à croissance plus lente produisant beaucoup moins de graines.

Pour mieux comprendre la particularité des agro-systèmes en tant qu'écosystèmes artificiels, il est nécessaire de considérer, à une échelle globale, les flux de matière dans les écosystèmes. Les écosystèmes se caractérisent tout d'abord par une production de biomasse qui dépend entre autre des flux d'énergie transitant dans le système (énergie solaire, mécanique, thermodynamique, etc.). Cette énergie se distribue dans l'écosystème en fonction de son stade de maturité. Dans un écosystème juvénile, l'essentiel de l'énergie est attribué à la croissance en biomasse et une faible partie à l'édification et à l'entretien de structures complexes c'est-à-dire au "développement". Ces structures complexes permettent l'auto-entretien des flux de matière dans l'écosystème qui atteint alors un état d'équilibre qualifié de "homéostasie". Au cours de sa croissance, l'écosystème se complexifie et, de ce fait, les allocations d'énergie s'inversent au profit du "développement" ; des réseaux trophiques de plus en plus complexes à haut degré de spécificité

s'élaborent alors dans l'écosystème. La figure 1 schématise ces processus dans deux écosystèmes considérés à biomasse équivalente.

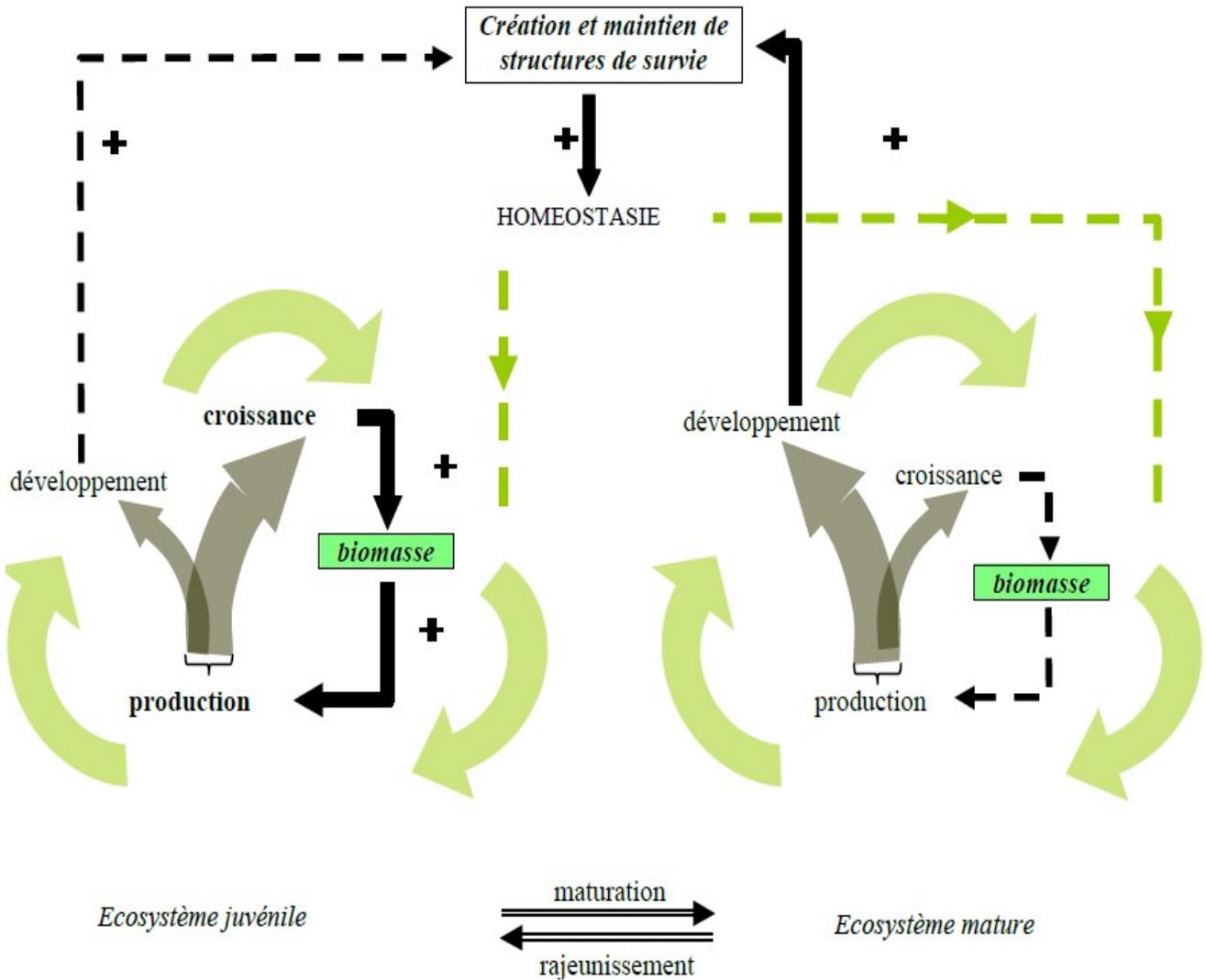


Figure 1 : Flux d'énergie alloués au développement et à la croissance dans un écosystème "juvénile" et dans un écosystème "mature" (Bouasria, 2004).

A l'origine d'un écosystème, les imbrications entre les diverses communautés d'êtres vivants sont simples : on a des producteurs primaires (végétaux autotrophes = chlorophylliens) et ceux qui s'en nourrissent (les herbivores). Au fil du temps, de nouveaux chaînons trophiques (alimentaires) viennent s'y greffer (les carnivores font leur apparition), modifiant ainsi le précaire équilibre dans lequel se trouve l'écosystème : cette modification de l'entourage des espèces en place entraîne des perturbations en leur sein, qui entraînent elles mêmes une réaction

d'adaptation plutôt positive. Ainsi va la maturation des écosystèmes, grâce à la grande plasticité de la vie. Par cette complication/diversification inéluctable, les ressources de l'écosystème sont de mieux en mieux exploitées, la nature produisant des stocks considérables de matière organique. L'écosystème finit par tourner à plein rendement lorsqu'il est pourvu d'innombrables sortes d'êtres vivants : il utilise et transforme au mieux l'énergie solaire tout en présentant le maximum de biomasse possible. La diversité est, d'une part, une richesse qui va vers plus d'économie ; d'autre part, elle permet une plus grande stabilité des systèmes (la possibilité de réaliser un brassage génétique important joue un rôle essentiel dans cette « adaptabilité »). Ce qu'un écosystème perd en efficacité, il le récupère en stabilité : une forêt complexe n'est pas plus efficace qu'une prairie enherbée, mais elle connaît une forme d'homéostasie vis à vis du milieu extérieur dont elle est mieux protégée.

Dans ce type d'écosystème, le nombre d'espèces est grand, mais chacune est représentée par un petit nombre d'individus ; ce qui diffère des agro-systèmes simplifiés à outrance par le rationalisme humain ; ceux-ci ne comptant que très peu d'espèces pour un très grand nombre d'individus, ils sont plus vulnérables aux déséquilibres, car ils manquent de mécanismes régulateurs ou de pièces de rechange. L'écosystème mature est équilibré tant que la biomasse produite est supérieure à la consommation par les phytophages (herbivores), il ne doit donc jamais être surexploité ! Il dispose également d'une grande diversité parmi les décomposeurs du sol, d'où un meilleur recyclage de la matière minérale et organique : les cycles biogéochimiques sont facilités (Leveque, 2001). Pendant longtemps, on a évoqué un stade ultime atteint par n'importe quel écosystème : à l'équilibre final et quel que fut le type initial, nous avons systématiquement une forêt stable voire immortelle tant que l'homme ne s'en mêlait pas ou que les conditions climatiques restaient inchangées ; ce stade parfait était communément nommé « climax » ou formation climaciques. Il s'avère que cette conception était erronée, car trop relative, et que l'on fait mieux de comparer les différents stades de maturation des écosystèmes à la vie d'un animal : jeune, il grandit pour atteindre l'âge mûr, puis il finit son existence par une forme de sénilité qui traduirait une diminution de ses capacités à capter l'énergie et à la faire circuler en son sein. En réalité, même une forêt connaît ses rythmes propres, ce qu'on appelle des « cycles sylvigéniques », elle doit en permanence et je parle de chacune de ses composantes (animales et végétales) – se renouveler et répondre à des fluctuations du milieu, aussi infimes soient elles. Tous doivent constamment s'ajuster autour de valeurs moyennes afin de faire face aux oscillations du système. On ne peut donc pas parler de stabilisation absolue d'un écosystème, même s'il nous paraît inchangé depuis des siècles et des siècles : « une hêtraie sapinière sub-naturelle des Pyrénées palpite et se renouvelle au rythme d'une grande respiration

qui s'étale sur deux à trois siècles. Les écologues décomposent son cycle sylvigénique en 6 à 7 phases » (Lefèvre, 2020).

I.1.1 La dynamique paysagère :

La notion de dynamique paysagère ou le sens s'est considérablement développée ces dernières années. Elle est devenue centrale pour la gestion de l'espace, en particulier pour la protection du patrimoine naturel et culturel. Un paysage peut être décrit par sa composition et sa configuration, ce qui détermine sa structure (Forman et Gordon, 1986). La composition se réfère à l'abondance d'éléments du paysage comme par exemple la surface forestière. La configuration décrit la forme et l'arrangement de ces éléments dans l'espace, par exemple, le nombre d'unités forestières et la distance moyenne entre elles. Finalement, la dynamique du paysage, est définie par la modification au cours du temps de sa structure. Elle résulte de processus naturels (les avalanches ou les successions écologiques par exemple) et/ou anthropiques (la conversion de milieux naturels à l'agriculture ou l'urbanisation par exemple). Depuis toujours, mais particulièrement depuis le début du 20^e siècle, l'homme influence l'ensemble des écosystèmes de la planète par l'exploitation des ressources naturelles et l'occupation de l'espace, entre autres par l'agriculture et l'urbanisation. Ces pressions sont à l'origine de profonds changements paysagers qui ont pour la plupart des conséquences négatives sur la qualité écologique de l'environnement (Forman et Gordon, 1986). La fragmentation des habitats et leur disparition par les actions humaines sont considérées comme la principale cause du déclin généralisé de la biodiversité.

I.1.2 Le paysage forestier

Le paysage forestier est considéré comme un « écosystème », c'est-à-dire comme un assemblage d'écosystèmes interdépendants (de par les flux d'énergie, de matière, d'eau et d'informations qu'ils échangent, et par les organismes qui les fréquentent) qui ont connu une histoire commune. Une histoire indissociablement écologique celle des perturbations naturelles et humaine celle des pratiques qui s'y sont déployées (Blandin, 1992). Mais il sera aussi question de la façon dont sont perçus ces paysages, de ce que l'on voit (peut-être aussi de ce que l'on sent et de ce que l'on entend) quand on aborde une forêt et quand on pénètre en sous bois. D'un point de vue écologique, les paysages forestiers présentent une riche palette de types de milieux. Pour n'évoquer que les forêts que l'on rencontre sous nos climats, on peut signaler, entre autres, les peuplements qui s'installent sur les parcelles abandonnées depuis longtemps par les activités agricoles ou pastorales (friches arbustives, accrues et boisements spontanés), les ripisylves et autres forêts alluviales, les futaies régulières et les futaies jardinées, les taillis et les taillis-sous-futaie, les peuplements qui furent jadis exploités et ne le sont plus depuis des décennies. Chacun de ces types comprend lui-même une grande variété de milieux, compte tenu du sol et du

microclimat, mais aussi de la façon dont ils ont été exploités et, par voie de conséquence, des essences qui dominent la canopée et de celles qui occupent le sous-étage. Chacun de ces peuplements a une physionomie propre et son sous-bois offre à qui s'y promène une ambiance particulière. Du point de vue du paysage sensible, il y a donc une aussi grande diversité de paysages forestiers. Les paysages sensibles sont même plus variés que ne le sont les écosystèmes forestiers. Car les hommes, en fonction de leur culture, de leur expérience et de leur savoir, ne portent pas le même regard sur un paysage, et n'en ont pas les mêmes appréciations.

I.1.3 Dysfonctionnement, stress et perturbation

En théorie, un écosystème présente une certaine stabilité et son évolution a lieu sur des temps parfois géologiques ; une vie d'homme ne suffit pas à y déceler de grandes variations, sauf si un événement, aussi minime peut-il paraître, vient à le perturber. Plusieurs raisons peuvent amener un écosystème à changer de structure ou de composition et ce, sur un temps très variable.

Une simple pollution de l'eau de mer peut conduire à une modification de l'incidence des rayons lumineux, poussant le fucus (une algue verte commune) à proliférer et à former une sorte de ceinture limitant la pénétration de la lumière. Du coup, les espèces d'algues qui se développent normalement en profondeur se mettent à végéter. Le même problème est créé lors des fréquentes pollutions aux nitrates répandus en trop grande quantité par les agriculteurs (qui nous nourrissent) : prolifération d'une ou de plusieurs espèces, dysfonctionnement de l'écosystème. En général, cela n'a lieu que sporadiquement.

Dans le maquis méditerranéen par exemple, le sol dégradé, plus ou moins épais, porte une végétation type dont aucun élément prédomine : arbousier, bruyère arborescente et chênes verts, dont les systèmes racinaires sont totalement imbriqués (couche arable insuffisante, substratum quasiment affleurant). Lorsqu'à lieu un changement climatique, cela ne se voit pas de façon naturelle mais, de dysfonctionnement infime en dysfonctionnement minimales, tout l'écosystème s'en verra transformé.

L'homme n'est pas seul à modifier son biotope ; en fait, une biocénose influence le plus souvent son habitat. Trois cas de figures se présentent alors : le biotope est modifié ; ou bien il s'édifie grâce aux perturbations, ou encore, celles-ci le détruisent. Ainsi, un sol porteur d'évolution se forme à partir d'une roche nue, grâce aux algues, aux mousses et aux lichens. On dit ces espèces pionnières dans le milieu. De même, pour les décomposeurs qui, s'ils n'étaient pas présents pour transformer la matière organique en matière minérale, ne permettraient pas l'existence d'écosystèmes complexes. En demeurant objectif, les perturbations, quelles qu'elles soient, sont nécessaires au bon fonctionnement de la biosphère, elles permettent sa régénération en des cycles plus ou moins longs. La Nature subit des perturbations le plus souvent mesurées et de

durée limitée, on parle alors de stress. Une bonne pluie entraîne des crues plus ou moins prononcées qui épurent le milieu ; la grêle, une tempête, une gelée printanière auront des conséquences non négligeables sur le bon déroulement des cycles annuels. Ce sont autant de stress qui vont provoquer la régression ou la disparition de nombreuses espèces. Une succession de stress répétés aboutira à la sélection des espèces les mieux adaptées et les plus robustes, mais l'écosystème aura, au bout du compte, régressé à un stade antérieur.

La plupart du temps, l'écosystème peut absorber les perturbations de dysfonctionnement ou stressantes, mais il arrive que leur ampleur ou leur intensité soient telles qu'il ne le puisse plus. Ainsi en va-t-il d'un gros astéroïde qui s'écraserait sur la terre, mais aussi d'une éruption volcanique critique ou d'un méga-incendie ayant lieu à cause d'un réchauffement climatique... Les capacités de l'écosystème à se réguler et à résister aux assauts que la nature s'inflige ou que l'homme rajoute connaissent des limites ; il s'agit d'un fragile équilibre qui menace sans cesse de se rompre, une sorte d'élastique sur lequel il ne s'agirait pas de tirer trop fort. Descartes disait que nous serions, grâce à la science, *comme* les maîtres de la Nature. Malheureusement, c'est ce « *comme* » que nous omettons d'intégrer.

I.1.4 Les successions écologiques

I.1.4.1 Les notions de séries et de climax

Les successions primaires correspondent à l'installation des êtres vivants dans un milieu comme un sol nu qui n'a jamais été peuplé. Les organismes qui s'installent en premier sont qualifiés de pionniers. Les biocénoses qui se succèdent sont des séries. La fin de l'évolution de la série est représentée par une biocénose stable, en équilibre avec le milieu qui est qualifié de climax.

Les successions secondaires correspondent au processus de reconstitution de la végétation dans un milieu qui a déjà été peuplé mais dont les êtres vivants ont été éliminés totalement ou partiellement par des modifications climatiques (glaciations, incendies), géologiques (érosion), ou par l'intervention de l'homme. Une succession secondaire conduit souvent à la formation d'un dit climax différent du climax primitif.

Les séries évolutives régressives aboutissent non à un stade climax mais à un groupement simple souvent analogue à un stade pionnier.

La notion de climax a été très critiquée. Pour rester valable et mériter d'être conservée cette notion doit prendre un aspect dynamique. Une forêt parvenue au stade climax n'est pas un système uniforme et immuable. C'est un ensemble hétérogène de parcelles d'âges différents qui ont été créées par des perturbations telles que le vent ou le feu. Dans la forêt climax coexistent, à côté de parcelles réellement arrivées au stade climax, un mélange de parcelles d'âge divers dont la végétation est celle ou rappelle celle des stades précédents. Cette hétérogénéité du climax

explique la biodiversité élevée que l'on y rencontre. On peut donner le nom de méta-climax à cette structure hétérogène qui se renouvelle constamment tout en restant identique à elle-même.

I.2 Les forêts dans le monde

La définition universelle de la notion de forêt s'impose au préalable afin d'éviter tout amalgame à ce propos. Pour ce faire, le recours à la définition établie par la FAO semble être la solution idoine : « un territoire occupant une superficie d'au moins 50 ares, avec des arbres pouvant atteindre une hauteur supérieure à 5 mètres à maturité in situ, un couvert boisé de plus de 10 % et une largeur moyenne d'au moins 20 mètres ». (IGN, 2017). Cette précision est d'une importance essentielle, au sens où elle lève toute équivoque sur la question, jusqu'à ne plus avoir la moindre confusion entre une forêt et un boisement ordinaire (Clarini, 2014).

Une forêt est une étendue plus ou moins vaste portant un peuplement d'arbres relativement dense. Une forêt de faible étendue est généralement appelée «bois». D'un point de vue botanique, une forêt est une formation végétale, caractérisée par l'importance de la strate arbustive, mais qui comporte aussi des arbustes et des plantes basses...

Les forêts sont déterminées tant par la présence d'arbres que par l'absence d'autres utilisations prédominantes des terres. Les arbres doivent être capables d'atteindre une hauteur minimale de 5m. Les jeunes peuplements qui n'ont pas encore atteint mais devraient normalement atteindre une densité de couverture de 10 % et une hauteur de 5 m sont inclus dans les forêts, tout comme le sont les surfaces temporairement déboisées. Le terme recouvre les forêts à but de production, de protection, d'usages multiples ou de conservation, comme les forêts des parcs nationaux, les réserves naturelles et autres aires protégées, ainsi que les peuplements forestiers sur les terres agricoles, comme les brise-vent ou les bandes de protection d'une largeur excédant 20m. Ce terme exclut de façon spécifique les peuplements établis principalement à des fins de production agricole, tels que les plantations d'arbres fruitiers, et il exclut également les arbres plantés dans des systèmes agro forestiers (F.A.O, 2001).

I.2.1 La couverture forestière

Les forêts naturelles couvrent environ 3,4 milliards d'hectares à travers le monde, soit environ 26,6 % des terres émergées (figure 2), Antarctique et Groenland exceptés (F.A.O, 2001). Elles se situent plus principalement en zone tropicale (52%), puis en zone boréale (30%) et enfin en zone tempérée (18%) (Prioso, 1999).

A travers le monde, le taux de boisement par pays varie de 1% à 98%. En Europe, il est d'environ 38,6%. Toutefois, compte tenu de la grande disparité dans les sources d'informations, les chiffres restent approximatifs (F.A.O, 2001).

Les problèmes se compliquent aussi, quand on essaie de rassembler des informations plus précises, notamment sur la composition en espèces (Eurofor, 1994).

D'après Brown (1997), de 1980 à 1995, le total des surfaces de forêts et autres terres boisées a diminué de plus de 12 millions d'hectare par an. Cette réalité globale cache, en fait, deux situations opposées :

- ✚ La zone tropicale, essentiellement constituée de pays en développement, connaît un rythme de déforestation supérieur à 13 millions d'hectares par an. Compte tenu du manque de données et de la grande hétérogénéité des couverts forestiers tropicaux, les estimations du volume restent imprécises.
- ✚ Les zones tempérées et boréales montrent une variation annuelle positive de leur superficie forestière d'environ 1,2 millions d'hectares, liée en partie à la déprise agricole. La plupart des forêts des régions tempérées sont composées de formations relativement jeunes à fort potentiel de croissance et gérées activement.

La dispersion des unités forestières, la répartition des essences, la variabilité et la complexité des structures du couvert apparaissent donc comme autant de difficultés pour une estimation correcte des stocks de bois au cours du temps.

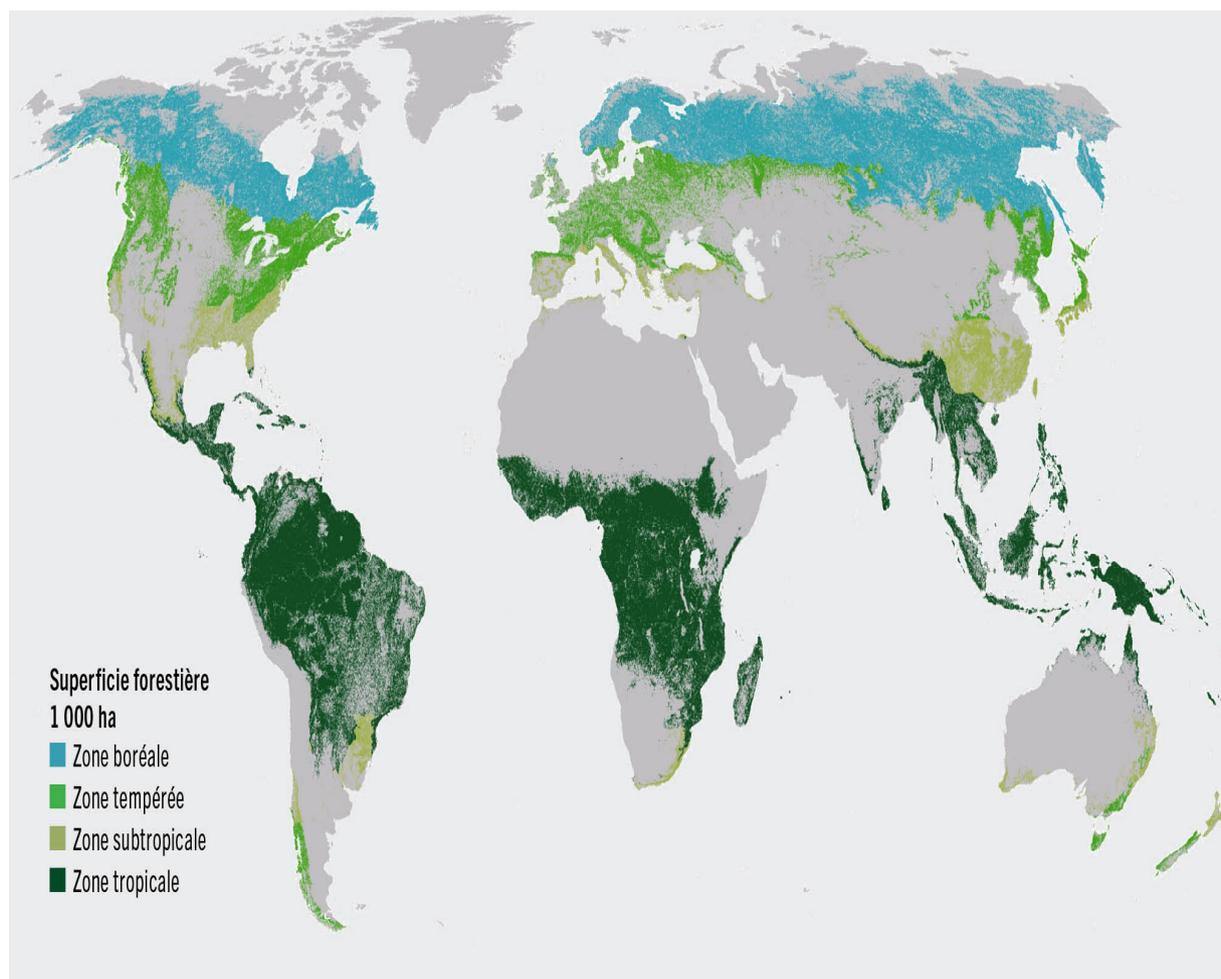


Figure 2 : Répartition géographique des forêts dans le monde (Forêt, 2011)

I.3 Les principaux facteurs de dégradation des forêts

I.3.1 La déforestation

Plus de 150 ans d'exploitation intensive forestière auront contribué à la perte d'une grande partie des forêts. Près de 70% des forêts tropicales, 60% de celles de l'Asie du Sud, 45% d'Afrique Centrale, 40% d'Asie du Sud-Est et 35% d'Amérique latine sont actuellement détruits. Les principales causes de cette situation sont le défrichage pour l'agriculture, le pâturage, les coupes industrielles et l'utilisation du bois pour le chauffage et la cuisson. La forêt est notre meilleure garantie pour lutter contre le réchauffement planétaire. Elle stabilise de plus le cycle de l'eau ainsi que les précipitations et lutte contre les phénomènes de la désertification et de l'érosion (Benabdeli, 2000).

Les forêts sont menacées par deux grands types d'agressions:

- Les agressions de type biotique et abiotique, comme les aléas climatiques, les maladies propagées par des insectes ou des champignons.

- ▣ Les agressions de type purement anthropique, telles que les incendies, la pollution atmosphérique, l'évolution des pressions sociales.

I.3.2 Les agressions de type biotique et abiotique

Les forêts sont soumises, plus que tout autre écosystème terrestre, aux aléas climatiques, du fait de la longueur de leur maturation, qui peut s'étaler sur plus de 200 ans. Dans une telle période, de nombreux accidents climatiques peuvent survenir, de façon normale (Cimage, 2007).

Les aléas climatiques ou les catastrophes naturelles sont pratiquement totalement indépendants de l'action de l'homme. Pourtant, les inquiétudes concernant les éventuels changements climatiques à venir, conséquences des rejets humains de gaz à effet de serre, font craindre une augmentation de ces phénomènes.

a) Les tempêtes et les chablis

Les tempêtes ont eu une action destructrice importante au cours de ce siècle, et notamment au cours des vingt-cinq dernières années en Europe. En Europe du Nord, des vents violents ont anéanti 28 millions de m³ de bois en six heures, en novembre 1972. En 1982, 12 millions de m³ sont renversés en France ; en 1987, 11,5 millions de m³ sur le pourtour de la Manche. En France en Décembre 1999, 160 millions de m³. Durant l'hiver 1990, ce sont près de 110 millions de m³ qui ont été détruits à travers toute l'Europe, ce qui est considéré comme un record millénaire (Cimage, 2007).

Ces abattages anarchiques perturbent gravement les programmes de coupes et de travaux, remettant en cause l'aménagement des forêts et désorganisant le marché du bois. Contre de tels fléaux, le gestionnaire forestier n'a que peu de pouvoir. Néanmoins, il faudra là encore, pour limiter les effets des vents de moindre violence, favoriser le développement de peuplements forestiers les plus stables possible, par une gestion prudente et suffisamment diversifiée (Cimage, 2007).

b) La sécheresse

Les stress hydriques fragilisent les peuplements forestiers. Ils se manifestent, soit par un changement de la distribution de l'eau au cours des saisons pour une même quantité de précipitation annuelle (l'offre étant alors décalée par rapport à la demande des peuplements forestiers), soit par une diminution du volume annuel des précipitations.

Il est maintenant établi que les nombreux dépérissements observés sur les peuplements forestiers de diverses régions du monde au cours des dix dernières années (qui furent à l'époque entièrement attribués à la pollution atmosphérique) sont également en partie dus à des stress

hydriques plus ou moins périodiques. En effet, les observations réalisées concernent des forêts de régions effectivement soumises à de fortes retombées polluantes, mais aussi des forêts de régions moins affectées: des dégâts ont été constatés en Europe, en Asie, en Amérique du Nord, en Amérique latine, au Sri Lanka, à Hawaï. Un certain nombre d'observations font cependant état, de ce point de vue, d'une relative amélioration, avec une baisse de l'intensité des dépérissements (Cimage, 2007).

c) Les maladies

D'après Cimage (2007), parmi les causes du dépérissement de nombreuses forêts du globe, les insectes et les champignons occupent une part importante. Ces agents biotiques interviennent, soit comme agresseurs primaires, soit le plus souvent comme agresseurs secondaires, aggravant l'état de peuplements déjà affaiblis. Les exemples de maladies sont hélas nombreux et seules quelques-unes seront citées à titre d'illustration. Ces maladies se développent, soit du fait de l'activité d'agents pathogènes autochtones, soit par l'invasion d'agents allochtones dans des peuplements non résistants.

- ✚ En Afrique du Nord, ce sont les cédraines naturelles qui sont attaquées par des insectes xylophages, intervenant à la suite de différents stress climatiques.
- ✚ En Espagne, le Sapin d'Andalousie (*Abies pinsapo*) subit les attaques combinées d'un champignon appelé polypore du pin, et d'un insecte xylophage puis d'un perforateur sous-cortical.
- ✚ En Europe, des phénomènes de dépérissement s'observent sur les pins et les chênes, (attaques de *Diplodia* et *Hypoxylon*).

I.3.3 Les agressions de type purement anthropique

a) Le défrichage

«C'est une action irrémédiable de destruction et de disparition définitive de la végétation forestière en place pour un autre usage » (Boudy, 1950). Selon Benabdeli (1996), le défrichage est une action qui existe et qui existera encore tant que ces facteurs causaux ne sont pas pris en charge, et que les riverains de la forêt ne bénéficient pas d'un programme de développement rural ou d'un emploi quasi permanent en forêt. Son impact sur la végétation est une transformation radicale suivie d'une reconversion d'utilisation d'un terrain forestier.

L'impact de cette action s'exprime par la réduction des surfaces forestières et la pratique de la céréaliculture. Cette transformation du milieu forestier à un terrain cultivé périodiquement, et irréversible agit défavorablement sur le fonctionnement de l'écosystème naturel.

b) Le débroussaillage

Le débroussaillage protège la forêt en permettant de limiter le développement d'un départ de feu accidentel et en sécurisant les personnels de la lutte contre l'incendie.

Le débroussaillage protège la forêt en garantissant une rupture du combustible végétal qui favorise une baisse de la puissance du feu et permet ainsi une sécurité accrue (C.C.F.F, 2007). Il permet de:

- ✚ Ralentir la progression du feu en le transformant en un simple feu courant
- ✚ Diminuer sa puissance, donc les émissions de chaleur et de gaz.
- ✚ Eviter que les flammes n'atteignent des parties inflammables des habitations.

c) Le pâturage

L'homme et son troupeau puisent de la forêt leurs nourritures et moyens de survie dégradant ainsi les formations végétales (Elouissi, 2001). Selon Bouchtata (2000), le surpâturage ou « overstocking » est un processus de dégradation continu. Il se définit comme étant la concentration d'une densité trop forte de troupeaux domestiques sur un espace insuffisant en entraînant un excès de broutage et de piétinement qui dégradent le sol et la couverture végétale.

Benabdeli (1996), note qu'un parcours non réglementé impose le processus de dégradation dont le model est le suivant :

- ✚ Exploitation totale de la strate herbacée.
- ✚ Consommation des jeunes pousses, semis et rejets.
- ✚ Broutage de la strate buissonnante palatable.
- ✚ Emondage de la strate arbustive.

La plupart des chercheurs convergent sur le fait que le pâturage intense conduit à la dégradation des conditions écologiques (Elouissi, 2001).

Il peut réduire l'humidité du sol, le taux d'infiltration, augmente le ruissellement et l'érosion.

d) Les incendies

L'incendie est défini comme étant un grand feu qui, se propageant, cause des dégâts importants. « La F.A.O définit un incendie comme étant tout feu se produisant sur une zone boisé, exception faite des brûlages dirigés » Ou « Le feu est défini comme étant un dégagement simultané de chaleur, de lumière et de la flamme produit par la combustion vive dans certains corps (bois, charbon, etc....)»

Le remède approprié à une prévention efficace réclame au préalable la détermination des causes des incendies (Degos, 1972).

Ces derniers sont classés en deux grandes catégories: Les causes naturelles et les causes liées à l'homme. Elles sont essentiellement représentées par la foudre, phénomène non négligeable des incendies dans de nombreux pays et elles sont à l'origine des dégâts très importants surtout aux états Unis et au Canada (Rebai, 1983).

La foudre, réel danger en régions boréales, il n'a qu'une importance minimale et ne constitue pas un danger en premier lieu en région méditerranéenne.

Les incendies relevant de la foudre ont été estimés à 1,6% en engendrant environ de 2,4% de superficies brûlées. Deux phénomènes importants ont influencé l'évolution du régime des feux: à savoir le changement climatique depuis la dernière glaciation et l'accroissement de la population. Mais le feu avant tout ça, était et restera à la possession de l'être humain et il est soumis à sa bonne ou mauvaise gestion. L'homme est désormais la cause principale des feux.

Dans la période de 1985-1987, le pourcentage total des incendies connus attribué à des causes humaines était d'environ de 97% en Europe, 91% aux Etats-Unis et 66% au Canada (Giancarlo, 1991). Dans la région méditerranéenne, un grand nombre de feux de forêts sont le fait d'interventions humaines intentionnelles ou accidentelles (Mol, 1997).

I.4 État des ressources forestières dans la région méditerranéenne

La variété d'écosystèmes marins et côtiers procure à la région l'une des faunes et des flores les plus riches du monde et une grande diversité d'habitats. Elle est caractérisée comme une zone de biodiversité exceptionnelle, comportant un nombre important d'espèces endémiques et des niveaux critiques de perte d'habitats (Derneqi, 2010).

Les forêts méditerranéennes typiques sont formées par des espèces feuillues (principalement chênes), aussi bien à feuilles persistantes qu'à feuilles caduques, *Quercus ilex*, *Quercus suber*, *Quercus coccifera*, *Quercus pubescens*, *Quercus cerris*, *Quercus pyrenaica*, *Quercus toza*, *Quercus calliprinos*, *Quercus ithaburensis*, et conifères comme *Pinus halepensis*, *Pinus brutia*, *Pinus pinea*, *Pinus pinaster* et *Juniperus*.

La dégradation de ces forêts a produit une végétation à basse densité connue le maquis et la garrigue, là où il n'y a pas de stress hydrique, les forêts de *Quercus robur*, *Quercus petraea*, *Fraxinus sp*, *Populus alba* et *Pinus nigra* peuvent prospérer (FAO, 2013).

Plus de 50 pour cent des surfaces forestières, sont concentrées en Espagne, en France et en Turquie, les autres terres boisées représentent seulement 3,73 pour cent de la surface totale des terres dans les pays du pourtour de la Méditerranée (Tableau 1).

Tableau 1 : Superficie forestière, pourcentage de forêts (par rapport à la superficie des terres émergées ou à la superficie régionale totale des forêts), accroissement de la superficie forestière et superficie des autres terres boisées dans les pays méditerranéens (FAO, 2015 ; Hansen et al 2013).

Pays	Données de la FAO (2015)					Données du Global Forest Watch	
	Superficie forestière 2015 (× 103 ha)	% de la superficie des terres émergées 2015	% de la superficie forestière régionale	Variation de superficie forestière 2010-2015 (%)	Autres terres boisées (× 103 ha)	Surface avec couvert arboré ≥ 10% (× 103 ha)	Surface avec couvert arboré ≥ 30% (× 103 ha)
Albanie	772	28.16	0.88	-0.62	256	839	777
Algérie	1 956	0.82	2.22	1.98	2 569	1 690	1 472
Bosnie Herzégovine	2 185	42.68	2.48	0.00	549	2 900	2 814
Bulgarie	3 823	35.19	4.34	2.30	22	4 461	4 377
Chypre	173	18.69	0.20	-0.17	213	154	132
Croatie	1 922	34.37	2.18	0.10	569	2 691	2 613
Égypte	73	0.07	0.08	4.29	20	952	898
Espagne	18 418	36.90	20.90	0.94	9 209	14 326	13 061
France	16 989	30.88	19.27	3.44	590	18 355	17 831
Grèce	4 054	31.45	4.60	3.87	2 492	4 767	4 430
Italie	9 297	31.61	10.55	2.98	1 813	10 449	10 152
Jordanie	98	1.10	0.11	-0.51	51	4	3
Liban	137	13.42	0.16	0.22	106	94	65
Libye	217	0.12	0.25 16	0.00	330	24	16
Macédoine du Nord	998	39.24	1.13	0.00	143	911	864
Malte	n.d	1.10	n.d	n.d	0	0	0
Maroc	5 632	12.62	6.39	-0.71	580	1 113	892

Monaco	0	0.00 0	0.00	n.d	0	0	0
Monténégro	827	61.49	0.94	0.00	137	692	667
Palestine	9	1.50	0.01	0.00	0	2	1
Portugal	3 182	35.25	3.61	-1.76	1 725	3 006	2 756
Serbie	2 720	31.10	3.09	0.26	508	3 026	2 943
Slovénie	1 248	61.97	1.42	0.08	23	1 342	1 324
République arabe syrienne	491	2.67	0.56	0.00	35	147	132
Tunisie	1 041	6.70	1.18	5.15	293	286	257
Turquie	11 715	15.22	13.29	4.57	10 130	12 909	11 968
Total pays	88 141	10.04	100.00	2.04	32 423	85 192	80 507

La surface forestière des pays méditerranéens représente environ 2 pour cent de la surface forestière mondiale (FAO, 2015), mais l'importance des forêts méditerranéennes par rapport aux objectifs forestiers mondiaux est bien supérieure à ce que ce chiffre suggère à lui seul. En raison de la biodiversité des forêts méditerranéennes, du fait que la région est l'une des principales zones sensibles au changement climatique dans le monde, ou encore parce que 7 pour cent de la population mondiale vit dans les pays méditerranéens, la région méditerranéenne est déterminante pour atteindre les objectifs mondiaux en matière de forêts (Giorgi, 2006).

Les forêts ont toujours jouées un rôle important dans le développement des populations méditerranéennes. Depuis toujours les forêts méditerranéennes ont été exploitées pour leurs différents usages et appréciées pour les multiples biens et services qu'elles assurent à ces populations, cependant, la surexploitation se explique par des impacts négatifs sur l'environnement et est responsable aujourd'hui de la dégradation des forêts dans de nombreux espaces méditerranéens (Arfa, 2019). Ils sont très liés aux activités humaines et le niveau actuel d'endémisme et de biodiversité est le résultat de ces interactions. Toutefois, la pression croissante sur les écosystèmes aura différents impacts. La perte de biodiversité en particulier affectera inévitablement le potentiel économique futur de ces zones (FAO, 2020).

I.5 Les forêts algériennes

I.5.1 Historique de la forêt Algérienne

Par sa position géographique, l'Algérie présente une grande diversité de biotopes occupés par une importante richesse floristique. On y trouve les hautes montagnes, les plaines et les hauts plateaux, les dépressions salées, les lacs, les gueltas (petite dépression en milieu aride accumulant de l'eau après le passage d'une crue) et le Sahara (Madoui, 2003).

La forêt algérienne semble avoir été étendue avant l'époque carthaginoise et romaine. On rapporte qu'à cette période la forêt était peuplée de fauves. L'historien Ibn Khaldoun indiquait que, au début de l'occupation arabe, « on pouvait aller de Tripoli au Maroc en cheminant sous une voûte continue d'ombrages ». L'agriculture et la construction navale à partir de la période préromaine amorcèrent sa destruction. Ce phénomène se poursuivit durant la période romaine et s'accrut pendant l'invasion des arabes au VIII^e siècle avec le développement du pastoralisme. Les grandes constructions (navales, édifices publics, etc.) de l'époque ottomane aggravèrent encore l'état de dégradation de la forêt. A cette période, 30 % du patrimoine forestier avait disparu suite à une exploitation abusive (Madoui, 2003).

Entre 1830 et 1962, le patrimoine boisé était de 5 millions d'hectares (Boudy, 1948). Depuis l'installation des français un ensemble de lois furent appliquées, ces lois vont tous à l'encontre de la population algérienne et par conséquent et d'une façon directe ou indirecte ont agi négativement sur le patrimoine forestier. La masse paysanne algérienne refoulée vers les montagnes n'avait guère le choix que de mettre le feu aux forêts, 50000 hectares de forêt furent brûlés entre 1915-1930. (Berchiche, 1986 in Belgherbi, 2002). La destruction des forêts durant la conquête (construction de bases, de forteresses et d'approvisionnement par les militaires), la surexploitation du matériel ligneux notamment durant la période 1939-1945, le défrichement par l'extension de la colonisation ont conduit à la disparition de plus d'un million d'hectare (Boudy, 1948).

La forêt Algérienne était constituée au lendemain de l'indépendance de quelques 3 200 000 hectare ce qui correspond à environ 1,3% de la superficie totale du pays et 10% de la superficie du nord (S.E.F.O.R, 1980).

L'Algérien héritait à l'indépendance d'un patrimoine forestier dégradé, désorganisé, abandonné et exposé aux effets néfastes de l'homme, de l'animale et des facteurs naturels.

I.5.2 Présentation de la forêt Algérienne

En Algérie, la forêt revêt un caractère particulièrement important car elle constitue un élément essentiel de l'équilibre écologique et socio-économique des régions rurales en particulier et du pays en général. Nulle part ailleurs, la forêt n'apparaît aussi nécessaire à la protection contre

l'érosion, la désertification, à l'amélioration des activités agricoles et pastorales et à la protection de l'environnement.

Actuellement le couvert forestier global en Algérie est de 4,1 millions d'hectares soit un taux de boisement de 16,4% pour le Nord de l'Algérie et de 1,7 % seulement si les régions sahariennes sont également prises en considération (DGF, 2012). Néanmoins seuls 1,3 millions d'hectares représentent la vraie forêt naturelle. A l'instar des pays du pourtour méditerranéen l'Algérie assiste à une dégradation intense de son patrimoine forestier.

Cette situation a poussé un tas de chercheurs internationaux et nationaux de conduire des études ayant toutes portées sur la répartition, l'écologie des formations forestières, le climat, les sols, la biodiversité, leurs caractéristiques phytosociologies, leur sylviculture, les reboisements et les aménagements. Tous ces aspects ont été pleinement explorés et ont donné naissance à des centaines de travaux et de publications. On cite à titre d'exemple les travaux de Boudy (1955), Khelifi et al, (1994) et Dahmani (1997).

I.5.3 Caractéristiques majeures des forêts algériennes :

Les forêts et maquis couvrent 4,1 millions d'hectares soit un taux de boisement de 16,4% pour le nord de l'Algérie et de 1,7 % seulement si les régions sahariennes arides sont également prises en considération. Selon (FOSA, 2000), les taux de boisement sont évidemment très insuffisants pour assurer l'équilibre physique et biologique.

D'après la Direction Générale des Forêts(D.G.F), la répartition de notre patrimoine forestier (2018) peut être estimée comme suit ;

Forêts domaniales :	2 439 000ha soit 77,09 %
Forêt communales :	275 000ha soit 8,69 %
Forêts autogérées :	100 000ha soit 3,16 %
Forêts privées :	350 000ha soit 11,06 %

Il est à noter qu'actuellement et sur le plan juridique, on ne rencontre pas ces quatre termes, une opération d'intégration des forêts communales et autogérées dans le domaniale, une fois l'opération terminée on entend par leur nom que des forêts domaniales et forêts privées (M.H.F, 1987).

L'essence prédominante est le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) qui occupe 880.000 ha et se rencontre principalement dans les zones semi arides, le chêne liège (*Quercus suber*) avec 230.000 ha se localise principalement dans le Nord-Est du pays, les chênes zéen (*Quercus canariensis*) et afares (*Quercus afares*) avec 48.000 ha occupent les milieux les plus frais dans la

subéraie, les cèdres sont éparpillés sur 16.000 ha en îlots discontinus dans le tell central et les Aurès, le pin maritime est naturel dans le Nord-Est du pays et couvre 32.000 ha. Les Eucalyptus introduits dans le nord et surtout l'est du pays occupent 43.000 ha, ces essences constituent le premier groupe de forêts dites économiques qui totalisent 1.249.000 ha dont 424.000 ha de peuplements artificiels.

Le second groupe, constitué par le chêne vert, le thuya et le genévrier qui, en étage semi-aride jouent un rôle de protection essentiellement, ne couvre que 219.000 ha.

Le reste des surfaces forestières est le matorral qui correspond à un Stade avancé de la dégradation des forêts ; il est décrit selon les auteurs sous diverses dénominations : maquis (sur substrat siliceux), garrigue (sur substrat calcaire). Ces formations s'étendent sur 2.603.940 ha se répartissent entre les reboisements de protection qui couvrent 727.000 ha et les maquis et broussailles qui occupent une superficie de 1.876.000 ha.

Les forêts font partie du domaine public de l'Etat. S'ajoutent à ces superficies forestières les nappes d'alfa qui totalisent 2,7 millions d'hectares formées de steppe à alfa (*Stipa tenacissima*), steppe à armoise (*Artemisia herba-alba*), steppe à sparte (*Legeum spartum*) et steppe à remth (*Arthrophytum scoparium*). La forêt algérienne apparaît comme une formation végétale dont les arbres sont en état de lutte continue contre la sécheresse (plusieurs mois secs consécutifs l'été). Compte tenu de tous les éléments historiques qui la marquent et des pressions qu'exercent sans cesse sur elle, l'homme et son bétail, la forêt semble glisser rapidement sur la voie d'une dégradation progressive des essences principales et de son remplacement par le maquis et les broussailles dont le rôle reste néanmoins extrêmement important pour le contrôle et la fixation des sols en terrain à forte déclivité.

I.5.4 Principales formations forestières de l'Algérie

Considérant la « forme de résistance » des végétaux aux conditions climatiques extrêmes (froid et neige). Raunkiaer (1905) proposait un système rationnel de classification de la végétation en relation avec les conditions climatiques stationnelles par établissement de « spectres biologiques ». Caractérisant des types de végétation en relation directe avec le climat, ce spectre constitue ainsi le premier élément de référence intervenant dans la définition des formations végétales. Emberger (1955) considère la végétation comme étant « l'expression biologique de la résultante des facteurs climatiques ». Pour mettre en évidence et même « visualiser » cette relation, cet auteur proposait d'établir un diagramme délimitant des « étages de végétation » à partir d'une formule climatique synthétique (quotient pluviothermique Q2, en ordonnée) et de la « moyenne des minimums du mois le plus froid » (m, en abscisse). En prenant en considération

ces deux exemples, nous avons tenté une approche des relations du climat et de la végétation selon un gradient climatique. Selon cette approche, les communautés végétales du territoire envisagé se rapportent, du point de vue physionomique, à trois types de formation : la forêt, le matorral et la steppe (figure 3).

Selon FAO (2012), les principales formations forestières d'Algérie sont réparties selon le bioclimat:

- ✚ la région des hauts plateaux Algéro-tunisiens à l'Est à bioclimat aride et semi-aride (100 à 600 mm de précipitations/an) où domine *Pinus halepensis* en mélange avec *Quercus rotundifolia*.
- ✚ la région Nord-est sous bioclimat humide et sub-humide (600 à 1 200 mm de précipitations/an). On y trouve la plupart des forêts à *Quercus suber* ainsi que les principales forêts à *Quercus faginea*, *Quercus afares* et *Pinus pinaster*. *Cedrus atlantica* se rencontre au niveau du Djurdjura et des Babors.
- ✚ la région des Hauts plateaux constantinois et de l'Aurès, située au Sud de la région précédente, est caractérisée essentiellement par un bioclimat semi-aride (400 à 600 mm de précipitations/an), subhumide et humide. *Pinus halepensis* est l'essence dominante de la région. *Cedrus atlantica* se rencontre dans les monts du Hodna ;
- ✚ la région englobant l'Ouarsenis, le Tell Central et l'Algérois, sur la côte méditerranéenne, est limitée au Sud par les hauts plateaux. Sous un bioclimat sub-humide (600 à 800 mm de précipitations/an), le paysage forestier est composé essentiellement de *Pinus halepensis*, *Quercus suber* et *Quercus ilex* ;
- ✚ la région oranaise qui se trouve à l'Ouest de la précédente, avec un bioclimat semi-aride, est colonisée principalement par *Pinus halepensis* en association avec *Tetraclinis articulata* et *Juniperus phoenicea* ;
- ✚ la dernière région concerne l'Atlas saharien qui constitue la ligne de relief bordant le Sahara au Nord. Sous l'influence d'un bioclimat aride (100 à 400 mm de précipitations/an), cette région est occupée par *Pinus halepensis*, *Quercus ilex* et *Juniperus phoenicea*.

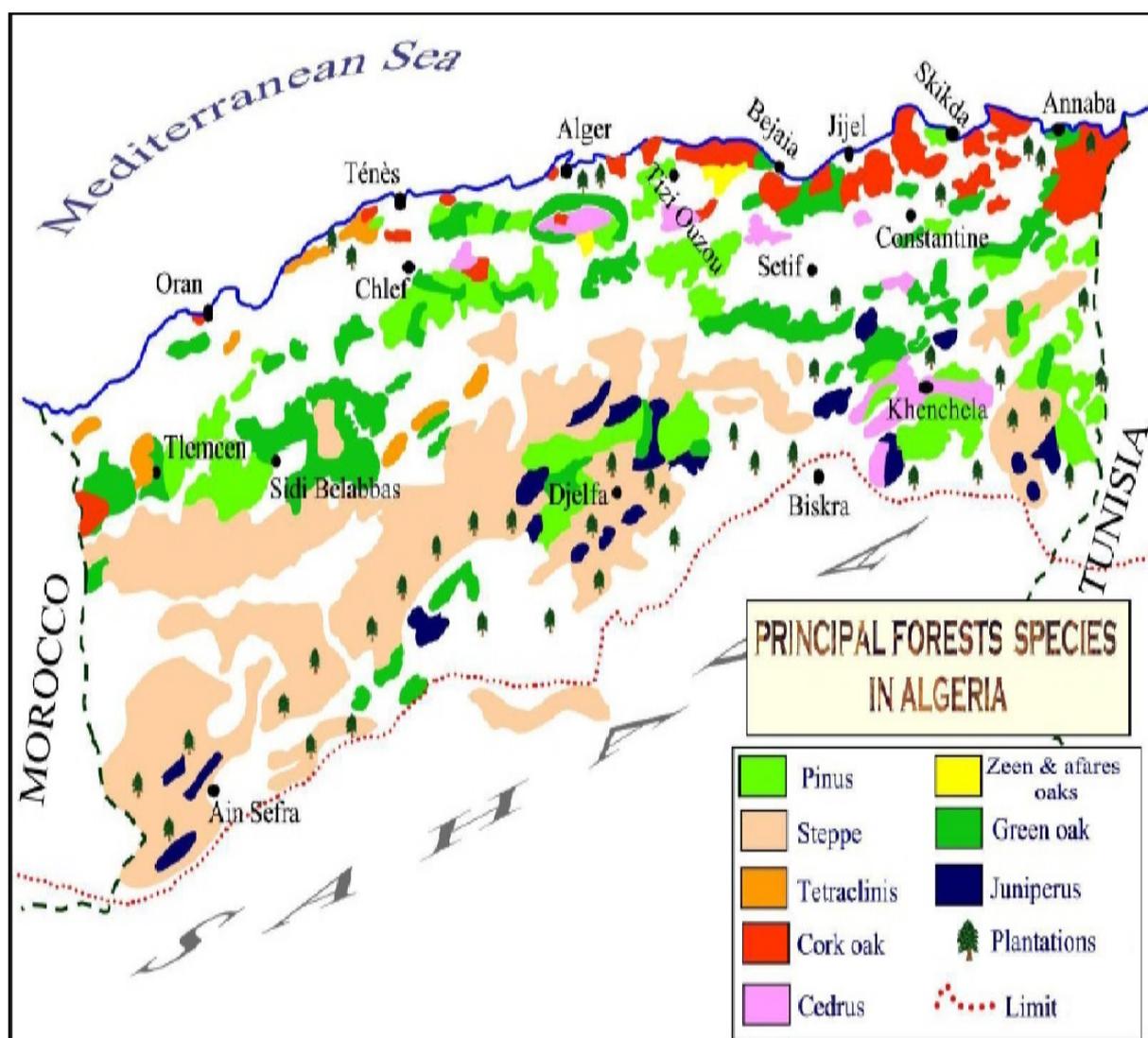


Figure 3 : Principales essences forestières en Algérie (FAO, 2012).

I.5.5 Evolution des superficies des principales essences forestières en Algérie

Sur la base des différents travaux de Boudy (1955), Seigue (1985), Ghazi et Lahouati (1997), le rapport national sur l'état et l'avenir de l'environnement (2000) et la direction générale des forêts (2005), l'évolution des superficies en hectares des principales essences forestières algériennes sont résumées dans le tableau 2.

Tableau 2: Principales essences forestières et leurs superficies

Essences forestières	1955 (Boudy)	1985 (Seigue)	1997 (Ghazi et Lahouati)	2000 (R.N.E)	2008 (Arfa)
Pin d'Alep	852 000	855 000	800 000	881 000	881 000
Chêne liège	426 000	440 000	463 000	229 000	230 000
Chêne vert	679 000	680 000	354 000	219 000	108 000
Chênes zéen et afarès	-	67 000	65 000	48 000	48 000
Genévriers	279 000	-	217 000	-	-
Thuya de Berbérie	157 000	160 000	143 000	-	-
Cèdre de l'Atlas	45 000	30 000	12 000	16 000	16 000
Pin maritime	-	12 000	38 000	32 000	31 000
Sapin de Numidie	-	300	-	-	-
Maquis	780 000	-	-	-	1 902 000

Bien que le tableau 2 soit incomplet car il y a des lacunes au niveau des informations récoltées, il est tout de même possible de le commenter. La comparaison des données de la Direction Générale des Forêts (2005) avec celles de Boudy (1955) met en évidence la stabilité et la progression des surfaces à *Pinus halepensis* imputable pour une partie à l'importance des plantations auxquelles il a donné lieu sur des centaines de milliers d'hectares au cours de ces dernières décennies.

Par contre, les superficies des formations à *Quercus suber*, *Quercus ilex*, *Quercus faginea* et *Quercus afares* ont considérablement diminué. Les formations des maquis et des broussailles résultants de la dégradation des forêts ont pris de l'extension. Ils occupent une superficie de 1 902 000 ha.

a) Forêts de pin d'Alep

Le pin d'Alep est l'essence qui occupe la surface la plus considérable, bien qu'on le rencontre partout, il constitue cependant quelques gros massifs bien individualisés et d'intérêt économique

- 📍 Massif des Aurès (forêt de Béni Mahlouf, Béni Oudjana, Ouled Yacoud) qui représente un total de 100 000 ha environ, relativement productifs.
- 📍 Région de Djelfa, près de 200 000 ha environ, dont 60 000 ha présentent de l'intérêt,
- 📍 Pineraie de l'Oranie 100 000 ha environ des forêts dispersées de Saida à Tlemcen parcourues par les incendies à plusieurs reprises et surexploitées (Cheddad et al, 2007).

b) Forêt de chêne liège

Les forêts de chêne liège sont les plus importantes pour leur valeur économique, mélangées parfois au chêne zéen, elles se trouvent dans des conditions écologiques les plus favorables, elles forment un bloc de 40000 ha environ sur le littoral Est et quelques massifs dispersés totalisant 80000 ha environ répartis autour d'Alger et Oran (Cheddad et al, 2007).

c) Les forêts de Cèdre

Les forêts de cèdre s'étendent sur 25000 ha dont 17000 ha dans les Aurès (forêts de Bêlzma et de Chélia). 1000 ha à Teniet Haad constituées en parc national, le reste sur l'Atlas Blindée (parc nationaux) ou elles sont en voie d'extinction. Les forêts de cèdre se caractérisent par un âge très avancé avec des arbres centenaires, qui font l'objet de mesures conservatoires pour sauvegarder cette espace, la race locale est très bonne qualité et constitue une des belles curiosités naturelles de l'Algérie, le bois de cèdre, odorant très esthétique, est souvent utilisé en ébénisterie.

d) Les forêts de pin maritime

Le pin maritime n'occupe que 12000 ha sur le littoral Est du pays. Les forêts les plus étendues sont celles du cap Bougaroubi (Collo) et de Jijel. Les forêts de pin maritime ont été incendiées presque entièrement au cours de la dernière décennie, mais elles se renouvellent en général assez bien, ce qui en fait la plus grande partie de forêts jeunes (Cheddad et al, 2007).

I.6 Les feux de forêts:

Plusieurs définitions ont été proposées pour définir l'incendie de forêt et parmi elles, celle de Trabaud (1992), qui définit l'incendie comme « *une combustion qui se développe sans contrôle dans l'espace et dans le temps. L'incendie de forêt s'alimente de tous les combustibles possibles et ainsi se propage jusqu'à l'épuisement de ceux-ci.* » On parle d'incendie de forêt lorsqu'un feu a menacé un massif de plus d'un hectare. Généralement la période la plus propice au feu de forêt est l'été, car aux effets conjugués de la sécheresse, l'augmentation des températures, et la faible teneur en eau des sols, viennent s'ajouter les travaux en forêt (Perriez et al., 2003).

I.6.1 Les combustibles d'un feu de forêt :

Une forêt doit être considérée comme un combustible potentiel. Les flammes peuvent en effet, parcourir indistinctement la végétation vivante (branches, feuilles) ou morte (aiguilles, arbres morts sur pied), tout comme les infrastructures humaines implantées en zones forestière. Les Forêts sont généralement constituées par des formations végétales dominées par des arbres et des arbustes, d'essences forestières, d'âges divers et de densité variable.

I.6.2 L'origine des feux de forêt :

L'origine d'un incendie est souvent difficile à identifier en raison de l'absence de preuves matérielles concrètes. Un feu de forêt est une combustion qui se développe sans contrôle, dans le temps et dans l'espace. De nombreux facteurs de prédisposition, d'éclosion et de propagation contribuent à la manifestation de ce phénomène.

a) Facteurs de prédisposition :

Parmi les facteurs importants de prédisposition, le climat et le type de végétation. Il existe un certain nombre de formations végétales qui sont plus sensibles et vulnérables au feu que d'autres : les landes, maquis et garrigues. La composition de ces formations et les conditions climatiques auxquelles elles sont soumises peuvent expliquer cette sensibilité, en particulier leur teneur en eau. De nombreux facteurs naturels contribuent dans une certaine mesure à leur développement. Selon Alexandrian, 2008 ; Ce sont des faits d'activités humaines telles que les loisirs, production, les transports (routes, voies ferrées) qui peuvent être à l'origine de l'éclosion et de la propagation des incendies de forêt. Depuis quelques décennies, l'évolution de l'occupation du sol, qui conduit, à l'augmentation de l'interface forêt/habitat, influe notablement sur le risque. Cet Etat est lié, d'une part, à l'abandon des espaces ruraux, qui, de ce fait, ne sont plus entretenus, et, d'autre part à l'extension des zones urbanisées jusqu'aux abords des zones boisées

b) Facteurs d'éclosion :

Les facteurs d'éclosion des feux de forêt sont à la fois naturels et souvent anthropiques. Les conditions naturelles concernent tout d'abord l'inflammabilité de la végétation, et la teneur en eau, cette dernière, joue un rôle important dans l'inflammation. Quand elle est faible, la végétation peut s'enflammer facilement à des températures relativement basses.

I.6.3 Les cause des feux de forêt :

Les causes des incendies de forêt sont variables d'un pays à l'autre et sont très difficiles à identifier avec certitude. Ils varient aussi en fonction du temps, l'influence anthropique reste la principale cause des incendies dans le monde, puisque, 90% des feux de forêt sont liés à des activités humaines (Alexandiran et Gouiran, 1990) que ce soit par accident, agriculture, déforestation et pyromanes (Robin et al, 2006). En Algérie, les causes inconnues sont les plus importantes, il souvent difficile de déterminer les cause réelles d'une éclosion de feu (Tableau 3).

Tableau 3 : Importance des incendies de forêts par catégories de causes en Algérie période (1986-2010). (D.G.F, 2012)

Catégories de causes	Nombre de feux	%	Superficie incendiée (ha)	%
Inconnues	16 364	75.8	408 310	68.45
Intentionnelle	4 479	20.7	166 072	27.84
Accidentelles	232	1.07	12 527	2.10
Imprudences	503	2.33	9 475	1.59
Totale	21 578	100	59 6384	100

a) Causes naturelles :

La végétation ne s'enflammant pas seule, même par forte sécheresse, la seule cause naturelle connue dans les pays de Bassin Méditerranéenne est la foudre. Selon, le guide PPR (2000), elle ne contribue que pour 4 à 7 % au nombre de départs de feux en plein cœur des massifs pendant l'été. La foudre est très répandue en forêt boréale. Aux Etats-Unis et au Canada ce sont les orages secs qui causent un grand nombre d'incendies et de dégâts. Les éruptions volcaniques peuvent également être à l'origine d'incendies de forêt. Ce phénomène est cependant exceptionnel dans le Bassin Méditerranéen.

b) Causes humaines :

Le contrôle des causes humaines des incendies devient de plus en plus difficile. Statistiquement les causes humaines sont les plus nombreuses et représentent l'essentiel des origines des incendies de forêt, on retrouve des causes involontaires et des causes volontaires.

c) Causes involontaires :

Parmi les causes connues, celles qui sont involontaires (négligences ou accidents) arrivent en tête dans tous les pays, sauf en Turquie où les mises à feu volontaires semblent majoritaires. La majorité des zones d'éclosions des feux se situent aux interfaces entre les espaces naturels et les espaces urbanisés. Les populations urbaines sont particulièrement insensibles au danger des incendies et à leurs conséquences potentiellement dangereuses. De nombreux citoyens ne considèrent pas les feux de forêts comme une menace, même au milieu de l'été. Les accidents et les imprudences sont aussi les causes les plus fréquentes des incendies. Les causes accidentelles varient d'un pays à l'autre : il y a celles qui sont liées aux installations fixes (lignes électriques,

dépôts d'ordures, etc.), et celles qui sont liés directement à une activité humaine (charbonniers, brûlages mal contrôlés, fumeurs, feux de camp, feux de bergers). On peut voir de nombreux feux sur la terre plein-central des autoroutes. Il semblerait cependant que ces feux involontaires soient directement liés aux activités agricoles et forestières.

d) Causes volontaires :

Les causes volontaires sont généralement les plus importantes parce que l'homme qui en est à l'origine choisit le site le plus inflammable à l'intérieur d'un peuplement et à un moment de forte température. Des pyromanes qui mettent le feu par plaisir ou par jeu, cette pyromanie est plus ou moins malade, selon le degré de responsabilité de l'individu. La vengeance, le feu, peut être aussi un outil de se venger suite à un différend avec l'administration (chasseurs) ou avec un voisin, à une exclusion sociale (ouvriers licenciés). Les feux de forêts peuvent être aussi provoqués pour des raisons économiques et politiques. Dans le but de faire baisser le prix du bois par exemple, des feux provoqués par vengeance aux conflits relatifs aux droits à la chasse, à la propriété des forêts ou encore à la politique forestière. Dans d'autres régions, les feux sont allumés pour éloigner les animaux nuisibles.

I.6.4 Les différents types de feux :

Un feu de forêt peut prendre différentes formes selon les caractéristiques de la végétation et les conditions climatiques (principalement la force et la direction du vent) dans lesquelles il se développe. On distingue quatre types de feu. Ils peuvent se produire simultanément sur une même zone :

a) Les feux de sol :

Les feux de sol qui brûlent la matière organique contenue dans la litière, l'humus ou les tourbières. C'est un feu à incandescence, ce qui fait qu'ils se propagent à une vitesse faible en raison du manque d'oxygène et de la transmission de la chaleur par conduction. Bien que peu virulents, ils peuvent être très destructeurs en s'attaquant aux systèmes souterrains des végétaux. Ils peuvent également couvrir longtemps en profondeur ce qui rend plus difficile leur extinction complète. Ils sont relativement rares en région méditerranéenne.

b) Les feux de surface :

Les feux de surface sont les plus courants, ils brûlent les strates basses de la végétation, c'est-à-dire la partie supérieure de la litière, la strate herbacée et les ligneux bas. Ils se propagent rapidement, en général par rayonnement ou convection, ils dégagent beaucoup de flammes et de chaleur et affectent la garrigue ou les landes. Les feux de surface peuvent aussi être une cause d'enflammer la cime des arbres en montant de branche en branche.

c) Les feux de cimes :

Les feux de cimes qui brûlent le sommet des arbres libérant de l'énergie cinétique. Ils se développent d'une cime à l'autre, ou encore à partir de la surface du sol forestier lorsque la chaleur développée par le foyer est suffisamment intense et qu'elle vient en contact avec la cime des arbres, ils libèrent en général de grandes quantités d'énergie, le vent et la sécheresse, rendre la vitesse de propagation très forte, ce qui rend le travail des pompiers très difficile.

d) Les feux avec braises :

Les incendies peuvent se produire avec braises. Les braises sont produites par des feux de cimes ou par certaines conditions de vent et de topographie.

I.6.5 Les sauts et la vitesse de feu :

Les sauts de feu sont des projections de particules enflammées ou incandescentes (brandons) en avant du front de flammes. Ces particules, entraînées dans la colonne de convection transportées par le vent, peuvent être l'origine de foyers secondaires à l'avant de l'incendie. Les gros brandons peuvent brûler longtemps et transportés très loin. Des sauts de feux très nombreux peuvent conduire à des multiples projections de particules sur une zone peu étendue et créent ainsi une tornade de feu extrêmement dangereuse. Les sauts de feu peuvent se produire sur de courtes ou de longues distances selon les conditions du milieu. Les distances parcourues par les brandons peuvent atteindre jusqu'à plus de 5 kilomètres. Le nombre de brandons dans une colonne de convection est très grand. Les vitesses de propagation des incendies sont extrêmement variables. Un feu dans une tourbière ne progresse que de quelques mètres en plusieurs semaines. La vitesse de propagation d'un feu de surface ou d'un feu de cimes dépend des caractéristiques et de l'état de la végétation, de la pente et de la vitesse du vent. La progression du feu a une vitesse plus élevée surtout sur les formations végétales basses continues où la biomasse est faible (pelouses, landes, garrigues claires). Elle peut alors parfois dépasser 10 km/h

I.6.6 Différentes formes des feux de forêt :

Le feu peut prendre différentes formes, chacune étant conditionnée par les caractéristiques de la végétation et les conditions climatiques (vent, taux d'humidité de l'air, précipitations récentes ou non, etc.). La forme d'un feu peut nous aider à identifier la direction et le sens de sa propagation. Donc, il est important de connaître les formes d'un feu afin d'étudier et de trouver des solutions pour arrêter cette propagation et donc lutter contre les feux de forêts.

a) Forme circulaire :

On parle de la forme circulaire d'un feu, lorsque l'on est sur un terrain plat, par temps calme et dans un peuplement homogène, la progression du feu sera dans toutes les directions.

b) Forme d'une ellipse allongée :

Le feu prend la forme d'une ellipse allongée lorsque l'on est dans les mêmes conditions de terrain et de végétation, mais subissant l'action du vent, progresse dans la direction contraire d'où souffle le vent.

c) Forme irrégulière :

Le feu prend une forme irrégulière. En montagne et dans les pentes.

I.6.7 Comportement de feux de forêts :

a) Ecllosion des feux de forêts :

Selon le type de combustible, les conditions environnantes et le type de facteur à l'origine du déclenchement (naturel ou humain), l'écllosion d'un feu peut être très soudaine ou couvrir plusieurs jours (Meddour, 2014). L'inflammabilité des végétaux est leur propriété à s'enflammer lorsqu'ils sont exposés à une source de chaleur, elle varie fortement en fonction de la période de l'année, des conditions climatiques, de l'état de la végétation et de l'intervention humaine, pour qu'il y ait inflammation et combustion, trois facteurs doivent être réunis, chacun en proportion convenable : un combustible, une source externe de chaleur et de l'oxygène nécessaire pour alimenter le feu : cela s'appelle triangle de feu (Figure 04).

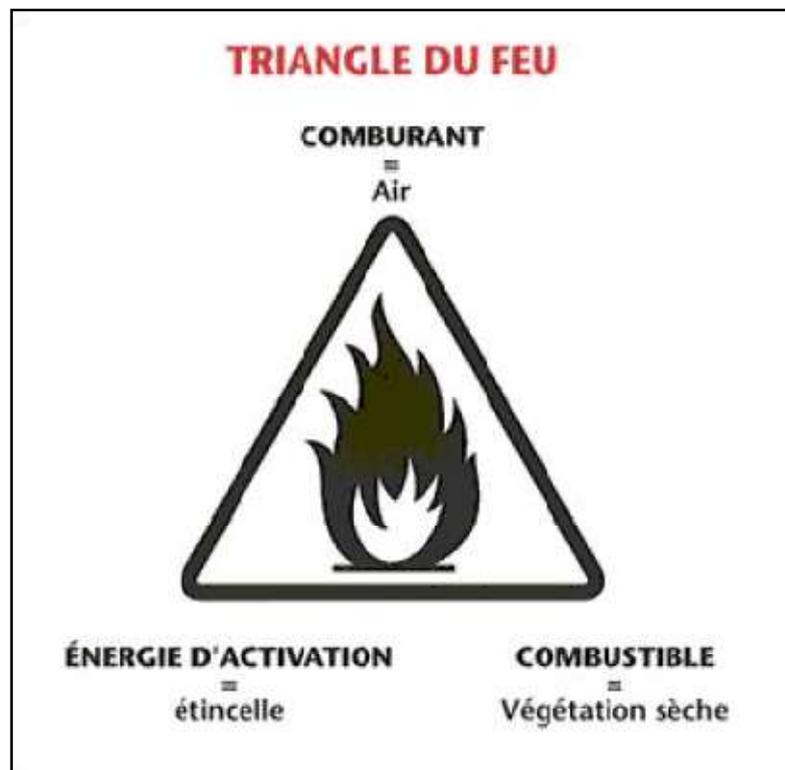


Figure 4: Triangle du feu. Source (Meddour 2014).

Dans le triangle du feu, la végétation forestière constitue le combustible. Par sa composition et sa structure, par sa teneur en eau, elle exigera une température plus ou moins élevée pour s'enflammer, par sa densité et sa répartition sur le terrain (Chautrand, 1972). Un comburant est le corps qui provoque et entretient la combustion du combustible. Le plus souvent, le comburant est constitué par l'oxygène présent dans l'air ambiant. La réaction de combustion est alors une oxydation (Carbonnell, 2004). L'inflammation est parfois le fait d'un phénomène naturel, foudre, inflammation spontanée. Elle est plus généralement le fait de l'homme en raison de la dispersion de l'habitat, de la pression touristique, des pratiques agricoles désastreuses (brûlages), d'équipement défectueux (lignes électriques à haute tension, dépôts d'ordures ménagères), d'imprudences (fumeurs) et de malveillance (bergers) (Chautrand, 1972).

b) Propagation des feux :

La propagation de l'incendie va être le plus souvent déterminée par des facteurs naturels, mais des facteurs anthropiques peuvent intervenir. Selon Carbonnell (2004), quels qu'en soient les facteurs, la propagation d'un incendie se décompose en quatre étapes, la chaleur générée par un incendie va être transportée vers l'avant des flammes selon trois processus :

- ✚ La conduction permet la transmission de proche en proche de l'énergie cinétique (produite par le mouvement);
- ✚ Le rayonnement thermique correspond au mode de propagation de l'énergie sous forme d'ondes infrarouges. C'est le principal mode de propagation des incendies ;
- ✚ La convection, liée aux mouvements d'air chaud, voit son importance augmenter avec le vent et la pente.
- ✚ Ce processus peut contribuer au transport de particules incandescentes en avant du front de flammes et au déclenchement de foyers secondaires (sautes de feu) (Carbonnell, 2004).

I.6.8 Facteurs qui influent la propagation du feu

a) Type de végétation

Les résineux sont considérés comme les types les plus touchés par les feux de forêt et cela est dû à plusieurs causes, leur composition chimique qui contient des produits résineux (résine) dans leurs feuillage et bois, ce type de végétation a une capacité de renouvellement du feuillage faible (type de feuillage persistant) (Boumediene, 2011). Le Pin est le plus touché par les incendies de forêts vue son inflammabilité, et son développement dans les milieux semi-aride et pratiquement

il constitue des peuplements purs, par contre les caducifoliés sont moins touchés par les incendies (Merdas, 2007).

b) Etages de la végétation :

- ✚ Litière : très inflammable, elle est à l'origine d'un grand nombre de départs de feux, difficiles à détecter, car se consumant lentement.
- ✚ Strate herbacée : d'une grande inflammabilité, le vent peut y propager le feu sur de grandes superficies.
- ✚ Strate des ligneux bas (maquis, garrigue) : d'inflammabilité moyenne, elle transmet rapidement le feu aux strates supérieures.
- ✚ Strate des ligneux hauts : rarement à l'origine d'un feu, elle permet cependant la propagation des flammes lorsqu'elle est atteinte ; ce sont les feux de cimes.

c) Age des arbres :

Les feux de forêts touchent les zones forestières qui contiennent des jeunes semis et des arbustes et les arbres qui contiennent des branches à ras du sol. Mais pour les arbres plus âgés, la résistance est plus importante vue la formation de couche de liège et l'élagage naturel (Meddour, 2013).

d) Densité de la forêt :

Les forêts qui ont une densité moyenne ont une bonne résistance aux feux de forêts parce que la densité importante augmente la quantité du combustible (débris et branches morts), pour la densité faible, elle stimule le développement des herbes qui sont inflammables constituant le point de départ des feux (Meddour, 2014).

e) Superficie et homogénéité de la forêt :

Le danger de l'incendie de forêt augmente avec le taux de la superficie soumise à cet incendie (quantité du combustible), si la forêt contient des espaces différents, oueds, des roches, des cailloux, des lacs la vitesse de propagation de l'incendie va être lente et l'incendie moins dangereux et la lutte contre cet incendie sera plus facile.

f) Quantité, propriété et continuité du combustible :

La composition chimique du combustible influe sur la sévérité du feu, les matériaux contenant des produits tels que la résine et certains aromes sont très inflammables. La teneur en eau et le

taux d'humidité du combustible ainsi que la température et la continuité du combustible sont des facteurs qui gèrent la propagation des incendies de forêts (Belkaid, 2016).

g) Conditions météorologiques :

Les changements climatiques indiquent que les menaces devraient augmenter pour les forêts méditerranéennes (Lindner et al., 2010). Le réchauffement climatique devrait aussi conduire à une extension depuis la Méditerranée vers le nord de l'Europe, des aires géographiques favorables aux incendies de forêt à la fin du siècle (Moriondo et al., 2006).

En méditerranée, la durée d'un incendie est de quelques heures à quelques jours et son échelle spatiale dépasse rarement quelques milliers d'hectares. Parmi les déterminantes biophysiques du feu sont les conditions météorologiques (vent, température, humidité relative de l'air, foudre). Le vent agit directement sur la propagation du feu en la favorisant, mais la température et l'humidité de l'air conditionnent la teneur en eau des éléments morts les plus fins. La teneur en eau joue un rôle important pour les bilans thermiques et a un fort effet sur la vitesse et la puissance du feu. Elle est aussi une déterminante biophysique de l'éclosion des feux. Les conditions atmosphériques (rayonnement, températures, précipitations) conditionnent la teneur en eau de la biomasse et des éléments morts. Ces quantités affectent la propagation mais aussi la puissance du feu.

Enfin, les conditions atmosphériques déterminent le type de végétation et l'accumulation de biomasse aux échelles de temps plus longues. Le climat est par conséquent un déterminant primordial de l'aléa d'incendie (et du régime des feux). Ses variations se traduisent avant tout par des variations de combustible, en première approche de la quantité disponible et de la teneur en eau, les processus biologiques régulant ces variations dans certaines limites.

Ainsi les effets conjugués de la sécheresse, d'une faible teneur en eau des sols peuvent en effet favoriser l'éclosion d'incendies. Dans les zones les plus propices, des conditions météorologiques particulières (année de sécheresse, accumulation d'arbres au sol après une tempête) peuvent également engendrer, en toute période de l'année, des situations favorables aux départs de feux.

h) Conditions orographiques :

Dans une zone sans relief, un départ de feu est facilement soumis à l'accélération du vent. En zone de relief irrégulier, la progression du feu est accélérée dans les montées et ralentie dans les

descentes, la pente conditionne l'inclinaison des flammes par rapport au sol et ainsi leur vitesse de propagation (Faleh et al., 2012).

L'exposition a également un rôle indirect sur la progression du feu, car elle conditionne le type de végétation, l'influence des vents et l'ensoleillement. Généralement, les versants sud et sud-ouest présentent les conditions les plus favorables pour une inflammation rapide et pour la propagation des flammes (Jappiot, 2000).

i) Facteurs anthropiques :

Selon la FAO (2008), la pression anthropique est le principal facteur de feux de forêt dans le bassin méditerranéen, au moins 95 % des incendies sont provoqués par l'homme, les actions humaines les plus fréquentes de feux de forêts sont : l'extraction de produits forestiers non ligneux, le défrichement dû aux activités agricoles, les incendies criminels, la négligence, la chasse, la malveillance (conflit d'occupation du sol, pyromanie...) et les loisirs. Le feu peut également être provoqué par des infrastructures (ligne de transport d'énergie, dépôt d'ordure, ligne de chemin de fer, etc) (FAO, 2008).

I.6.9 Feux de forêt et dynamique paysagère:

I.6.9.1 Impact du feu sur le paysage

L'impact des incendies sur les paysages méditerranéens est très complexe à déterminer car de nombreux facteurs et interactions entrent en jeu : la topographie, le climat, les perturbations et d'autres facteurs exogènes comme les changements d'utilisation des terres induits par l'homme (Viedma et al., 2006). Le feu agit en fait sur le paysage principalement à travers son action sur la végétation. Ainsi, plus une végétation est faible, a subi des stress ou lente à régénérer, plus l'impact sera important.

a) Echelles spatiale et temporelle

Peu d'études portent en fait sur l'impact du feu à l'échelle du paysage. Pourtant, les répercussions d'un feu à cette échelle peuvent être importantes du fait que de nombreux processus se déroulent à ce niveau, notamment pour le recouvrement de la végétation après incendie (Viedma et al., 2006). Les connaissances sur cet aspect là doivent donc être améliorées.

D'un point de vue temporel, l'interaction entre le feu et les facteurs de paysages n'est pas constante au cours du temps. Il y a donc une bonne part d'aléatoire dans les changements paysagers. Des études portant sur des suivis temporels continus sont donc nécessaires. Ces études sont relativement rares en région méditerranéenne. La plupart portent sur du court terme

(Chuvienco 1999) ou utilisent des séries interrompues de points annuels (Trabault et Galtié 1996 ; Lloret et al., 2002 ; Mouillot et al., 2003) ou encore, des chronoséquences des sites perturbés (Gauthier et al. 1996, Moritz 2003). Dans le futur, il faudrait parvenir à développer davantage d'études à des échelles spatiales et temporelles plus larges.

b) La dynamique végétale post-incendie

A une large échelle, à partir des valeurs de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) issues d'images satellites, des études ont évalué les effets du feu à court terme sur les patrons paysagers (Chuvienco, 1999). A cela s'ajoutent des données de terrain qui ont permis de mettre en évidence des effets significatifs du feu sur la dynamique de végétation.

Notamment, il ressort une forte reprise de la végétation les premières années après incendie et une certaine homogénéisation des parcelles brûlées (Trabaud et Lepart, 1980 ; Vazquez et Moreno 1998). Une forêt hétérogène dans ses classes d'âges et dans ses structures horizontales et/ou verticales tendra, après incendie, vers une structure simple. Cette homogénéisation à court terme peut être effective dans des zones ayant des histoires de feux ou d'utilisation des terres différentes (Mouillot et al., 2003). Ainsi, les zones brûlées récemment (3-5 ans) sont relativement continues et dominées par des buissons. Selon Viedma 2006, Au bout de 6-8 ans, les caractéristiques du paysage tendent à revenir à leurs conditions pré-incendie (hormis certaines végétations très matures particulièrement lentes à régénérer) différant ainsi selon les types de végétation brûlées, et perdant donc, d'une certaine façon, leur homogénéité, pour retrouver leur hétérogénéité pré-incendie. Chaque formation végétale évolue toutefois de manière singulière.

Les zones buissonnantes tel que les garrigues ou les maquis sont particulièrement résilientes, alors que certaines formations forestières, notamment des pinèdes, peuvent mettre des décennies pour se reconstituer (Espelta et al., 2002 ; Eugenio et Lloret 2004).

A l'inverse, le feu peut également contribuer à créer des paysages hétérogènes, en rajeunissant certaines parties d'un territoire. La résultante à large échelle est alors la création d'une mosaïque paysagère, faite de différents types de végétation (Lloret et al. 2002). Cette mosaïque paysagère peut d'ailleurs être très bénéfique à la coexistence d'espèces aux exigences écologiques différentes (Huston 1994).

I.6.9.2 Effets des paramètres du feu et de l'environnement sur le paysage

Les paramètres du régime des incendies peuvent être pris en compte pour évaluer l'impact au niveau du paysage où L'effet de la fréquence de feux sur la régénération des plantes est un des

paramètres aujourd'hui les plus étudiés. Selon Diaz-Delgado et al., 2002, la régénération semble plus rapide après un seul incendie qu'après des feux répétés. En fait, le paramètre le plus important ici n'est pas réellement le nombre d'incendie mais plutôt l'intervalle entre les incendies. Plus cet intervalle est faible, plus les conséquences sur la végétation seront importantes (Jacquet 2006).

La sévérité d'un feu est également un paramètre très étudié au niveau local (Moreno et Oechel 199 ; Pérez et Moreno 1998) ou par images satellites (Diaz-Delgado et al., 2003). Ainsi, plus un incendie est sévère, plus il aura un impact sur la végétation et donc sur le paysage.

Outre ces aspects liés au feu lui-même, les caractéristiques de l'environnement peuvent influencer aussi la régénération post-incendie. La topographie, les conditions climatiques et la végétation pré-incendie ont été évalués par plusieurs auteurs en région méditerranéenne (Diaz-Delgado et al., 2002 ; Broncano et al., 2005). Ces études considèrent uniquement le niveau local. Très peu se situent à une échelle plus large (Carmel et al., 2001) où il ressort que chaque paramètre a son importance avec des résultantes diverses selon le type de milieu.

Les effets des changements d'utilisation des terres et de l'occurrence des feux sur les patrons spatiaux paysagers sont également à considérer, bien que peu étudiés. Quelques études tentent tout de même de les prendre en compte, notamment en ce qui concerne le pâturage, les coupes forestières ou les programmes de reboisement/ensemencement post-incendie (Espelta et al., 2002 ; Fernandez-Abascal et al., 2003). En ce qui concerne l'effet de l'agriculture, seules les cultures annuelles et l'arboriculture diminuent le risque d'incendie, alors que les terres agricoles hétérogènes, les pâturages et les oliviers ont tendance à en augmenter la probabilité. En revanche, l'effet positif des pâturages sur la probabilité d'incendie est plus contre-intuitif et met en lumière la situation particulière de la Corse où le brûlage des pâturages est une pratique usitée et qui a été identifiée comme augmentant le risque d'incendies incontrôlés (Mouillot et al., 2002).

Pour cela, les outils de modélisation et de simulation de la dynamique végétale post-incendie sont de plus en plus utilisés (Lavorel et al., 2009), que ce soit pour évaluer les effets des incendies ou la combinaison de ces effets avec différentes pratiques agricoles ou forestières. Ce sont des outils puissants pour parvenir à comprendre les transformations que peuvent subir des paysages. Leur utilisation à des fins prédictives est un aspect primordial dans leur application.

I.6.9.3 Sur le milieu naturel :

Selon Colin et al., (2001), le passage d'un incendie de forêt perturbe le milieu naturel à plusieurs échelles :

- ✚ Le sol peut être touché plus ou moins profondément avec apparition de risques d'érosion et destruction de la faune qu'il abrite.
- ✚ Les arbres constituant le peuplement forestier peuvent être atteints au niveau du feuillage, des troncs ou des racines, ce qui les rend ainsi sensibles aux attaques parasitaires.
- ✚ L'intensité et la fréquence des feux influent sur la dynamique de reconstitution de la végétation.
- ✚ Le feu a un impact souvent durable sur le paysage.
- ✚ Les pertes économiques dues au feu sur le milieu naturel sont difficiles à estimer

a) Sur les écosystèmes forestiers :

Le passage d'un feu se traduit par l'altération plus ou moins poussée d'organes vitaux du végétal, au niveau du feuillage, du tronc et des racines. Il en découle une perte de vigueur de l'arbre pouvant entraîner sa mort. Le degré d'altération est fonction de la combinaison des dégâts sur les différentes parties de l'arbre (feuillage, tronc, racines), résultant de la nature (feu de surface, feu de cime) et de l'intensité du feu, ainsi que de la sensibilité au feu de l'espèce. Un feu rapide provoque beaucoup moins de dommages qu'un feu lent (Trabaud, 1992). Ainsi le risque phytosanitaire, où l'altération des organes vitaux entraîne l'affaiblissement de l'arbre, qui est beaucoup plus sensible aux attaques parasitaires ou fongiques. Les peuplements brûlés peuvent alors devenir des foyers potentiels de contagion de la végétation voisine (Colin et al., 2001).

b) Effets sur la régénération des peuplements :

La survie des communautés végétales est variable selon les espèces concernées et l'intensité du feu. Un état des lieux est souhaitable pour estimer les chances d'une reprise naturelle de la végétation (rejet de souche des feuillus, production des semences pour les résineux) et pour envisager, après un diagnostic de site, une diversification de l'occupation du sol.

c) Effets sur le sol :

Le feu altère les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol par la chaleur qu'il dégage, le déplacement et la transformation des éléments nutritifs qu'il entraîne et par la

réduction de la couverture morte qu'il produit (Robitaille, 1995). Un incendie ne cause généralement pas d'altération majeure des propriétés physiques du sol. S'il est intense et entraîne une exposition du sol minéral et en réduit la matière organique, il peut affecter la température, la texture, la structure, la densité et l'humidité du sol (Feller, 1996).

I.6.10 Gestion du risque de feux de forêts :

I.6.10.1 Surveillance planétaire :

Les feux de forêts représentent un agent de changement significatif dans les écosystèmes forestiers. Ainsi, ils donnent, une excellente occasion de faire le suivi des feux en temps réel avec des satellites de télédétection de haute et de basse résolution afin de déterminer la localisation d'un incendie, la superficie brûlée, le comportement du feu ainsi que sa sévérité. Des programmes de surveillance planétaire vis-à-vis des feux de forêts ont été mis au point dès le début des années 90 avec le développement des capteurs hyper spectraux à infrarouge. Le principe est simple, il s'agit en fait de repérer les différents points chauds sur des données satellitaires pour en extraire une carte des feux de forêt (cartographie). Un point chaud dans une image satellitaire est un pixel ayant une intensité infrarouge typique de végétation en train de brûler. L'intensité chaude d'un pixel représente un incendie ou être un des nombreux points chauds représentant un incendie plus important. Pour l'identification et la localisation des feux en pleine activité sur une base quotidienne, les techniques de traitement d'images de télédétection spatiale permettent également d'estimer les secteurs brûlés sur une base annuelle et de modéliser le comportement du feu, la combustion de la biomasse et les émissions de carbone des incendies.

I.6.10.2 La prévision :

La prévention met l'ensemble des dispositions à mettre en œuvre pour réduire l'impact d'un phénomène naturel prévisible sur les personnes et les biens. Dans le cas présent, la prévision consiste en une observation quotidienne de l'ensemble des paramètres pouvant concourir à la formation des incendies, surtout lors des périodes les plus critiques de l'année (l'été). L'état de la végétation, ainsi que, les conditions hydrométéorologiques sont régulièrement surveillées, non seulement pour déterminer les situations pour lesquelles le risque est le plus élevé, mais également pour mobiliser préventivement les secours qui seront nécessaires en cas d'incendie. Une surveillance constante de tous les massifs sensibles permet également de détecter au plus tôt tout départ de feu. Les secours peuvent ainsi intervenir le plus rapidement possible. Cette rapidité d'intervention conditionne fortement l'étendue potentielle d'un incendie. La surveillance est réalisée au moyen de guets terrestres (tours de guet), complétés par des patrouilles mobiles,

voire des patrouilles aériennes lorsque les massifs forestiers à surveiller s'étendent sur de vastes périmètres.

I.6.10.3 La prévention :

La prévention des incendies et la lutte contre les feux prennent une importance croissante, non seulement en raison des superficies incendiées, des dégâts aux biens et des victimes, mais à cause de l'impact sur des questions à l'échelle globale, comme le changement climatique. Les risques d'incendies, leur fréquence, l'intensité et l'impact des feux de forêts peuvent être limités avec des gestions plus intégrées de gestion. La politique de prévention du risque de feu de forêt à une échelle nationale ou locale comprend cinq types d'actions.

a) La résorption des causes de feux de forêts :

Le traitement des causes accidentelles de départs de feu est prioritaire, sur lesquelles, il est possible d'agir. Ce sont les imprudences et les négligences liées aux loisirs, aux travaux en forêt, aux infrastructures mal protégées (lignes électriques, voies ferrées, etc.). La résorption des causes de départ des feux est représentée par trois actions :

-  sensibiliser et informer les propriétaires, les gestionnaires et les utilisateurs de l'espace agricole et forestier.
-  rechercher les causes des feux de forêts pour mieux agir sur le phénomène. Des enquêtes sont réalisées sur le terrain pour retrouver le point d'éclosion et la nature de la mise à feu.
-  Surveiller les interfaces activité humaine.

b) Surveiller les massifs forestiers :

Le but est de détecter les départs de feux de façon à pouvoir intervenir le plus rapidement possible sur les feux naissants, dans un délai très court. En effet, plus un feu est détecté rapidement, plus la surface brûlée sera petite. Pour ce fait, il faudrait pouvoir :

-  Evaluer quotidiennement le niveau de risque à partir des prévisions météorologiques.
-  Mobiliser de manière préventive un ensemble important de personnes et de moyens matériels au plus près des zones forestières menacées par le feu.

c) L'équipement des massifs forestiers :

Pour permettre aux sapeurs-pompiers d'intervenir dans de meilleures conditions sur les incendies de forêt, l'équipement des massifs est destiné à faciliter l'accès aux combattants du feu. Par ailleurs, des tranchées coupe-feu, véritable discontinuité dans le couvert végétal, permettent de diminuer la vulnérabilité de la forêt au feu.

d) La prise en compte du risque dans l'aménagement du territoire

Le but de la manœuvre est de pouvoir protéger les installations vulnérables existantes et à éviter l'implantation de nouvelles installations. Il existe deux types d'actions que l'on doit prendre en considération :

- ✚ Assurer une maîtrise de l'urbanisation sur les interfaces entre la forêt et les zones urbanisées en limitant les nouvelles constructions.
- ✚ Création des coupures vertes en parallèle, ces coupures sont réalisées par le maintien des interfaces agriculture-forêt permettent une structuration du territoire en massifs forestiers cloisonnés afin de réduire la montée en puissance des incendies.

e) L'information préventive :

L'information préventive consiste à renseigner les citoyens sur les risques majeurs susceptibles de se développer sur ses lieux de vie, de travail ou de vacances.

I.6.11 La géomatique pour le suivi des incendies de forêts :

De tous temps, la connaissance du territoire a été une préoccupation des sociétés. Qu'il s'agisse de localiser des ressources, d'analyser les conséquences des phénomènes climatiques, de prévoir des récoltes...etc., les hommes ont toujours eu besoin, pour tenter d'asseoir leur dominance sur le monde, de représenter graphiquement des événements ou des informations. La carte était une première tentative, datant de plusieurs siècles, pour répondre à ces besoins sociaux, économiques et surtout militaires. Au regard des efforts que nécessitait l'établissement du document cartographique et des apports de l'outil informatique, l'association entre cartographie et informatique ; s'est développée dès la fin des années soixante avec l'apparition des logiciels d'aide à l'établissement des cartes. C'est la naissance de la cartographie numérique qui permet d'effectuer un très grand nombre de travaux classiques par ordinateur (exemple : calcul des projections, stockage de l'information géographique numérisée,...etc.). Avec l'essor de l'informatique, se traduisant par un développement croissant et rapide du matériel et des logiciels, on a confié à l'ordinateur l'une des tâches les plus fastidieuses du cartographe, la gestion de l'information géographique numérisée. L'ordinateur est devenu alors l'auxiliaire précieux du géographe et son assistant pour la production cartographique et l'analyse spatiale. Ainsi est né le concept de système d'information géographique. Les outils SIG et télédétection sont désormais devenus nécessaires pour les études thématiques à l'échelle régionale. Ce sont deux atouts qui, grâce aux avantages qu'ils offrent, se sont imposés et devenus des techniques efficaces pour la gestion de l'espace et les études d'aménagements. Dans ce cadre, ces deux outils sont très complémentaires et permettent :

-  L'acquisition des données multi sources et multi-temporelles ;
-  La cartographie numérique ;
-  Le suivie et l'analyse des données ;
-  La restitution de produits d'aide à la décision

C'est au début des années 70 qu'un ingénieur géographe employa pour la première fois le mot « géomatique » pour faire allusion au mariage des sciences de l'étude et des mesures de la terre avec l'informatique. De nos jours, la géomatique est définie comme étant un champ d'activités qui a pour but d'intégrer les moyens d'acquisition et de gestion des données à référence spatiale en vue d'aboutir à une information d'aide à la décision. Dans un cadre systémique la notion de système explique la prise en compte de tout ce qui concourt à la réalisation d'un projet de géomatique : les données, les équipements, les spécialistes, le cadre physique de travail ainsi que les procédures qui les coordonnent (C.C.T, 1999).

De façon générale, la géomatique vise à :

-  Définir les bases de la référence spatiale ;
-  Développer et utiliser les méthodes, techniques et outils pour localiser et mesurer les différents éléments du territoire, existants ou les mettre en place ;
-  Intégrer ou rendre intégrables les données obtenues en fonction des systèmes de référence choisis (modélisation mathématique pour transformer un besoin du monde réel) ;
-  Offrir des données et informations de qualité ;
-  Améliorer leur traitement, stockage et diffusion grâce à l'informatique ;
-  Analyser différents scénarios décisionnels à partir des informations obtenues en tirant profit des méthodes mathématiques d'optimisation (analyse multi variée, recherche opérationnelle...) (C.C.T, 1999).

La géomatique est la science et la technologie de la cueillette, de l'analyse, de l'interprétation, de la distribution et de l'utilisation de l'information géographique. Elle englobe une foule de disciplines qui, dans un système à référence spatiale commune, concourent à créer une représentation à la fois détaillée et compréhensible du monde physique et de l'espace que nous y occupons (C.C.T, 1999). Parmi ces disciplines, on compte :

-  La télédétection ;
-  Les systèmes d'information géographiques ;
-  La cartographie.

Chapitre II :
Évolution spatiotemporelle
des incendies et stratégie de
lutte en Algérie

Chapitre II : évolution spatiotemporelle des incendies et stratégie de lutte en Algérie

II.1 Bilan des incendies des 40 wilayas du nord de l'Algérie :

L'analyse des feux passés, au niveau des 40 wilayas (départements) de l'Algérie du Nord, la plus boisée, fait en effet ressortir que durant la période 1985-2010, l'Algérie a enregistré 42 555 feux qui ont parcouru une superficie forestière totale de 910 640 hectares.

La superficie globale incendiée durant la période 2010 – 2024 au nord de l'Algérie (Atlas Tellien) est de 530 132 hectares avec une moyenne de 37 867 ha par an avec deux pics pendant l'année 2012 et l'année 2021 d'une superficie incendiée de 200 000 ha. Cette superficie brûlée présente une certaine variabilité saisonnière en fonction de plusieurs facteurs que se soit d'ordre météorologique (précipitation, température, vent) ou biotique (type et structure du combustible).

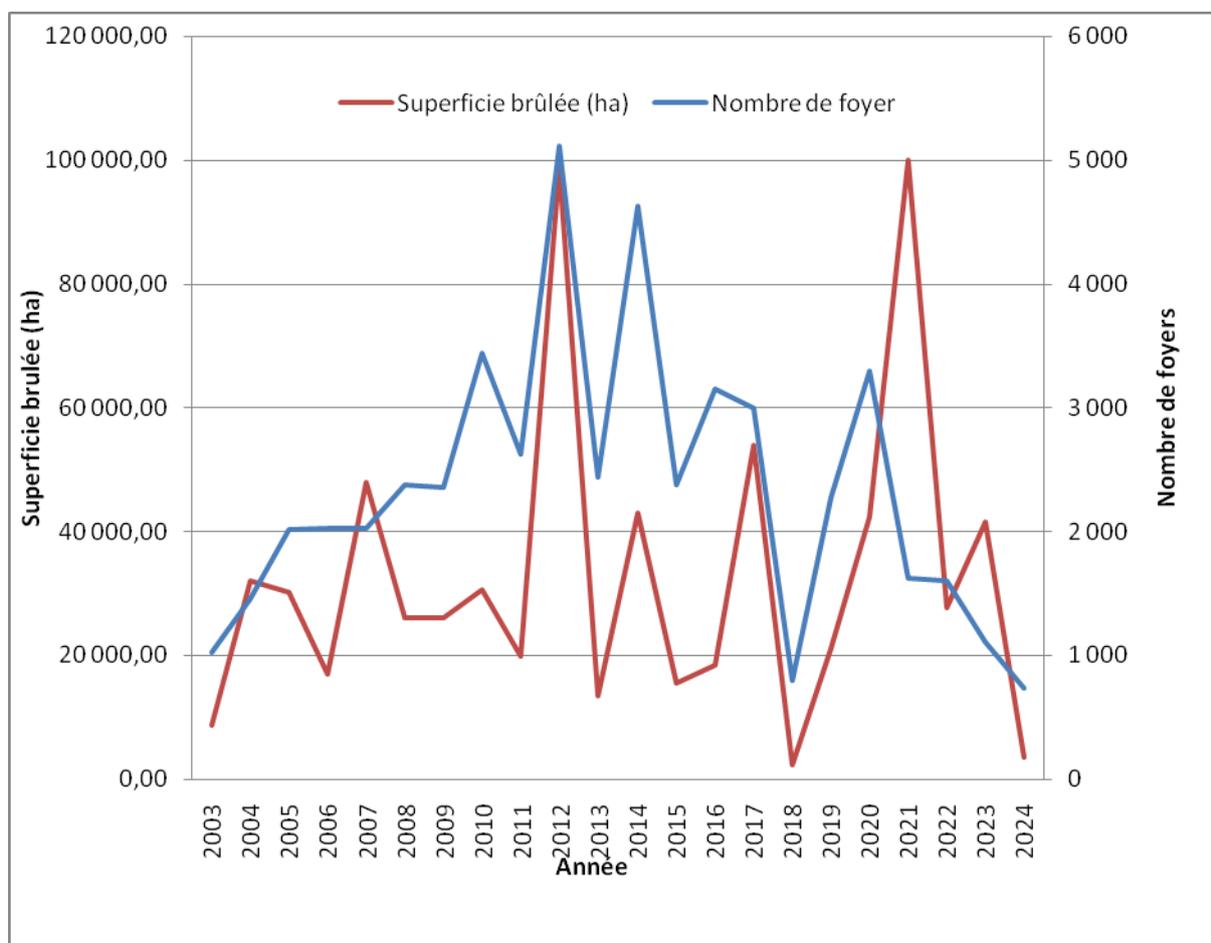


Figure 05: Répartition annuelle des incendies dans la région nord Algérienne (Période 2003-2024).

La figure 05 montre une stabilité de 2012 à 2014, et un pic en 2021. Une année marquée par des vagues de chaleur où la température maximale absolue se rencontre un peu partout sur toute la région nord Algérienne et plus particulièrement à l'intérieur du pays (Boudjemline et al., 2016). On remarque d'après la figure 04 qu'il y a une forte corrélation entre le nombre de foyer et la superficie incendiée là où le nombre de foyer est élevé y a une grande superficie incendiée.

Zeineddine (2011) confirme le retour de pluie durant les dernières années de la série (2002 - 2006) et la prédominance de conditions plus humides les pluies qui s'abattent sur le territoire algérien sont ainsi devenues plus intenses en 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011 ce qui explique le nombre d'éclosion bas pendant ces années.

Pour les superficies brûlées durant la période 2003 à 2024, le maximum est de 100 101 ha en 2021 et le minimum de 2 312 ha en 2018. Dix années dépassent la moyenne annuelle. Sur cette période, le nombre annuel des feux de forêt est en hausse ; la surface moyenne parcourue par le feu est en baisse ; la surface incendiée est relativement stable.

Les années avec des surfaces brûlées importantes se succèdent durant la période 2003-2024 (2007, 2012, 2017, 2020, 2021), avec un temps de retour très rapproché sur les dernières années, à la suite de la multiplication des étés caniculaires.

La superficie moyenne brûlée par feux de forêt (ha/FF) varie entre 03 ha/FF en 2018 et plus de 120 ha/FF en 2021 (année qui a connu des grands incendies de forêt), alors que la moyenne annuelle se situe à 18 ha/FF. L'année 2021 est considérée comme une année noire à l'échelle nationale.

II.2 Bilan des incendies par wilaya:

La région de l'extrême Nord-Est Algérien (Skikda, Annaba et El-Tarf) reste la plus touchée en comparaison des autres régions du pays (Arfa et al, 2018). La figure 6 montre que la superficie brûlée de ces trois Wilaya pour la période 2015 à 2018 est de 31 333 ha, ce qui représente 45 % de la superficie totale brûlée qui est 68 993 ha.

La figure 6 montre que selon la superficie incendiée, c'est la Wilaya de Tizi Ouzou qui est en tête de liste avec 104 178,50 ha ces quinze dernières années dont 3 423 foyers. Outre Tizi Ouzou, les Wilayas suivantes ont de grandes surfaces brûlées : Sidi Bel Abbes 77 800,05 ha avec 1 151 foyers, Béjaïa 74 804,81 ha avec 2 243 foyers, El Tarf 72 779,56 ha avec 1 255 foyers, Jijel 51 982,12 ha avec 2 756 foyers, Skikda 34 087,20 ha avec 1355 foyers, Guelma 31 731,88 ha avec 455 foyers, Médéa 23 334,37 ha avec 1 522 foyers.

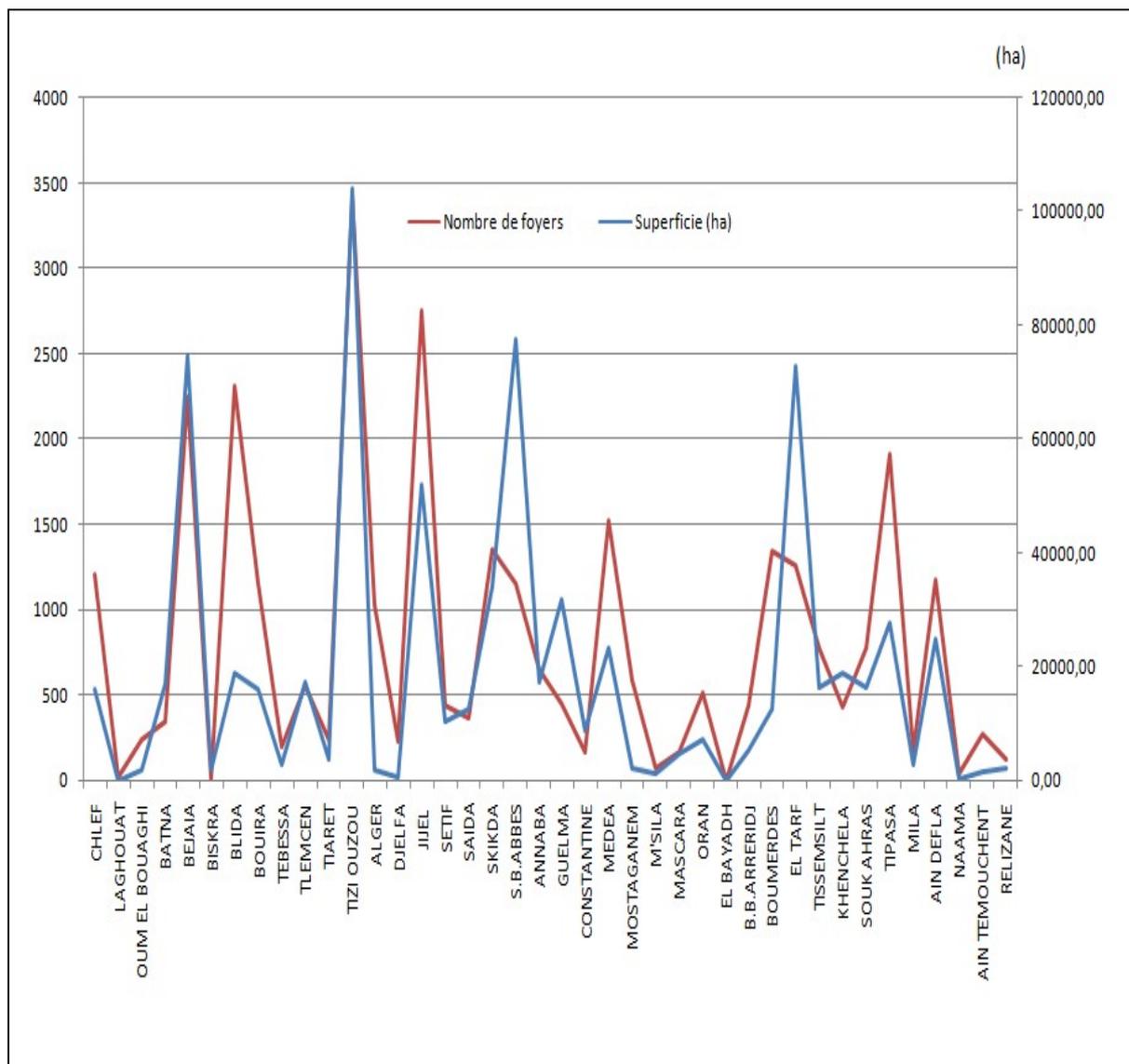


Figure 06 : Répartition annuelle des incendies par wilaya (2003-2024).

II.3 Fréquence des incendies :

D'une façon générale, les nombres de feux de forêt et les surfaces brûlées pour l'ensemble des Wilayas sont fortement corrélés (figure 07). S'agissant des surfaces moyennes par feu de forêt (ha/FF), une moyenne nationale de 23,75 ha/FF. Toutefois, 14 Wilayas dépassent toutes largement cette moyenne, la Wilayas de Biskra est hors du commun avec 170 ha/FF pour seulement 12 foyers et une superficie brûlée de 2 040 ha, la wilaya de Guelma vient en deuxième place avec 69,74 ha/FF suivi par la wilaya de Sidi Belabes avec 67,59 ha/FF et la wilaya d'El Taref avec 58 ha/FF.

À l’opposé, certaines Wilayas, figurant pourtant parmi les plus fréquemment incendiées affichent une surface moyenne par feux de forêt nettement plus faible que la moyenne nationale, à l’exemple de la wilaya de Tizi Ouzou qui affiche une fréquence de 30,43 ha/FF alors qu’elle se trouve en tête du classement des superficies incendiées avec 104 178.50 ha, la wilaya de Blida 8,24 ha/FF, la wilaya de Mostaganem 3,67 ha/FF, la wilaya d’Ain Temouchent 5,63 ha/FF.

La fréquence la plus faible est celle de la wilaya d’Alger avec 1,96 ha/FF alors que la superficie incendiée dépasse les 2000 ha.

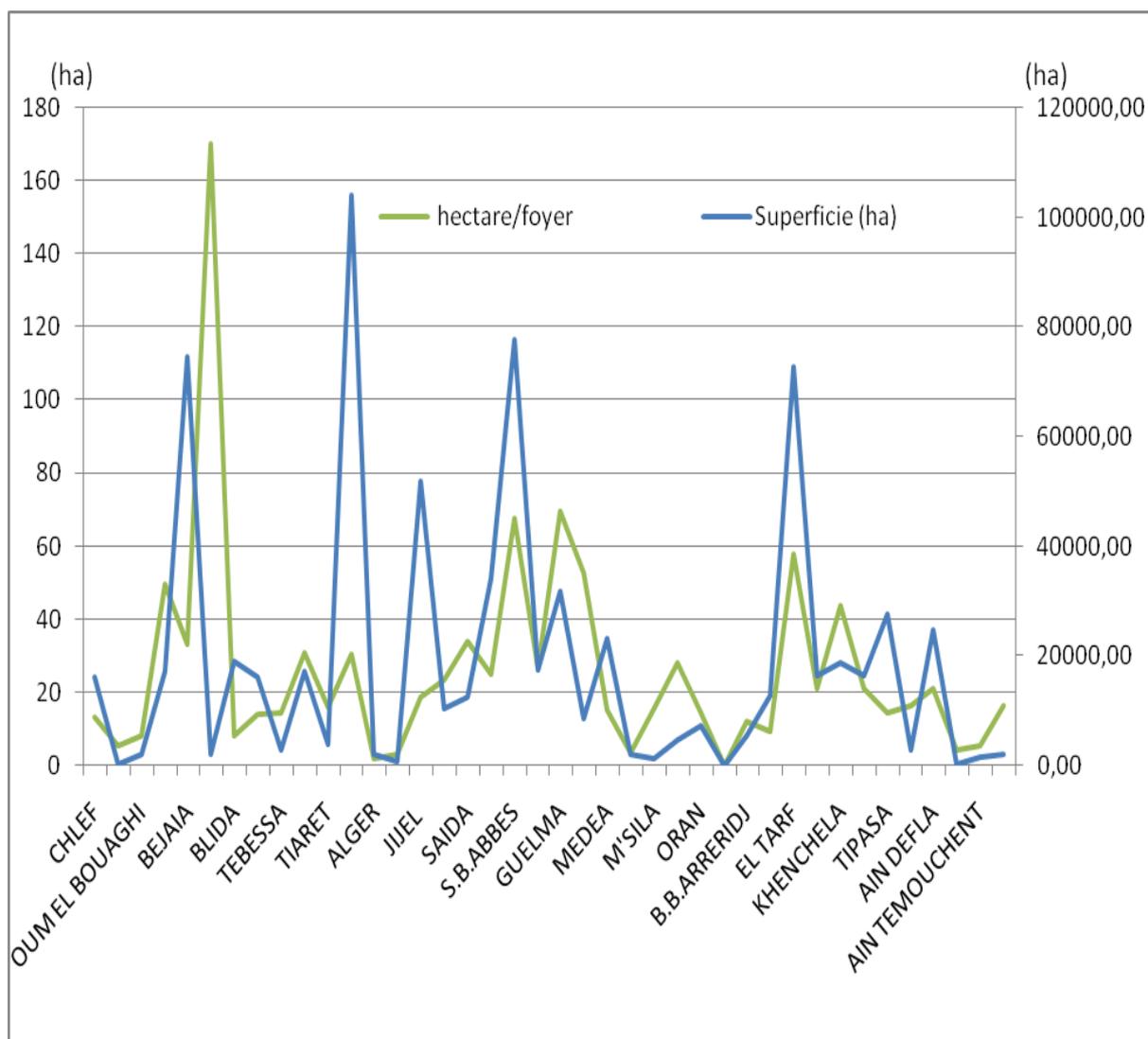


Figure 07 : Fréquence des incendies par wilaya (Période 2003-2024)

II.4 Analyse des feux de forêts par année

La lutte contre les incendies de forêts constitue également un axe d'action prioritaire de l'Agence Spatiale Algérienne, du fait de son impact sur l'environnement et le développement. Dans cette partie nous avons utilisés des images satellitaires de l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL) conformément à la convention spécifique signée le 18 juin 2020 entre l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL) et la Direction Générale des Forêts (DGF). Cette convention porte une coopération entre les deux institutions portant sur la mesure des indicateurs pour le suivi de la mise en œuvre de l'Objectif de Développement Durable numéro 15 (ODD-15) : « Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres » (ASAL, 2020).

Au nombre de 17, les ODD constituent le programme des nations unies à l'horizon 2030, adopté par les états en 2015, visant notamment l'élimination de la pauvreté et la protection de la planète.

- ✚ Quant à cette collaboration liant l'ASAL à la DGF, elle vise l'élaboration d'approches intégrées des thématiques concernées et l'analyse des indicateurs se rapportant à l'ODD-15 et ce, à partir de l'exploitation des données et images satellitaires, permettant notamment :
- ✚ La mise en œuvre de méthodologie pour la mesure et le suivi des indicateurs;
- ✚ La mise en œuvre de protocoles de collecte, d'analyse des données et de vérification d'information ;
- ✚ La caractérisation et l'analyse des résultats (Utilisation de l'imagerie satellitaire de l'ASAL dans l'évaluation des superficies parcourues par le feu ; et de la remontée végétale).

L'approche méthodologique mise en œuvre en tenant compte des spécificités de l'Algérie, et de résultats obtenus, illustrés par une carte de dégradation et ce, en s'appuyant sur le calcul des trois sous-indicateurs suivants :

- ✚ Le changement de la productivité des terres correspondant à la capacité de production biologique des terres en Algérie et ce pour une durée d'au moins 10 ans ;
- ✚ Évaluation des modifications du couvert terrestre en Algérie et détermination des classes de changement (dégradation, amélioration et stabilité) ;
- ✚ Stock de Carbone Organique du Sol (SOC), estimation de référence dérivées à partir de mesures in-situ.

Les images du satellite Alsat 2A, en raison de leur haute résolution spatiale et de leur richesse spectrale, sont mises à contribution pour affiner la délimitation des surfaces forestières

parcourues par le feu, réalisée à partir des images satellitaires à moyenne résolution. Ce travail s'inscrit au titre du suivi annuel des incendies de forêts, par l'établissement d'un état des surfaces forestières parcourues par le feu.

II.4.1 Analyse des feux de forêts de l'année 2012 :

En 2012, des incendies d'origines indéterminées ont ravagé 809 arbres fruitiers, 296 hectares de pin d'Alep et de broussaille, dans les localités d'El-Marsa, Zeboudja, Talassa, Sidi-Abderrahmane (Chlef), Irdjen, Larbaa-Nath-Iraten, Tigzirt, Azzefoun, Azzazga, Aïn El-Hammam, Draa-El-Mizan, Ouadhia, Tizi-Ouzou , Draa-Ben-Khedda (Tizi-Ouzou), Sfisef (Sidi-Bel-Abbes), Chellata (Bejaia), Oued-El-Aneb, Seraïdi, Treat (Annaba), M'Sara (Khenchela), M'Daourouch, Mechroha et Ouled-Moumen (Souk-Ahras).

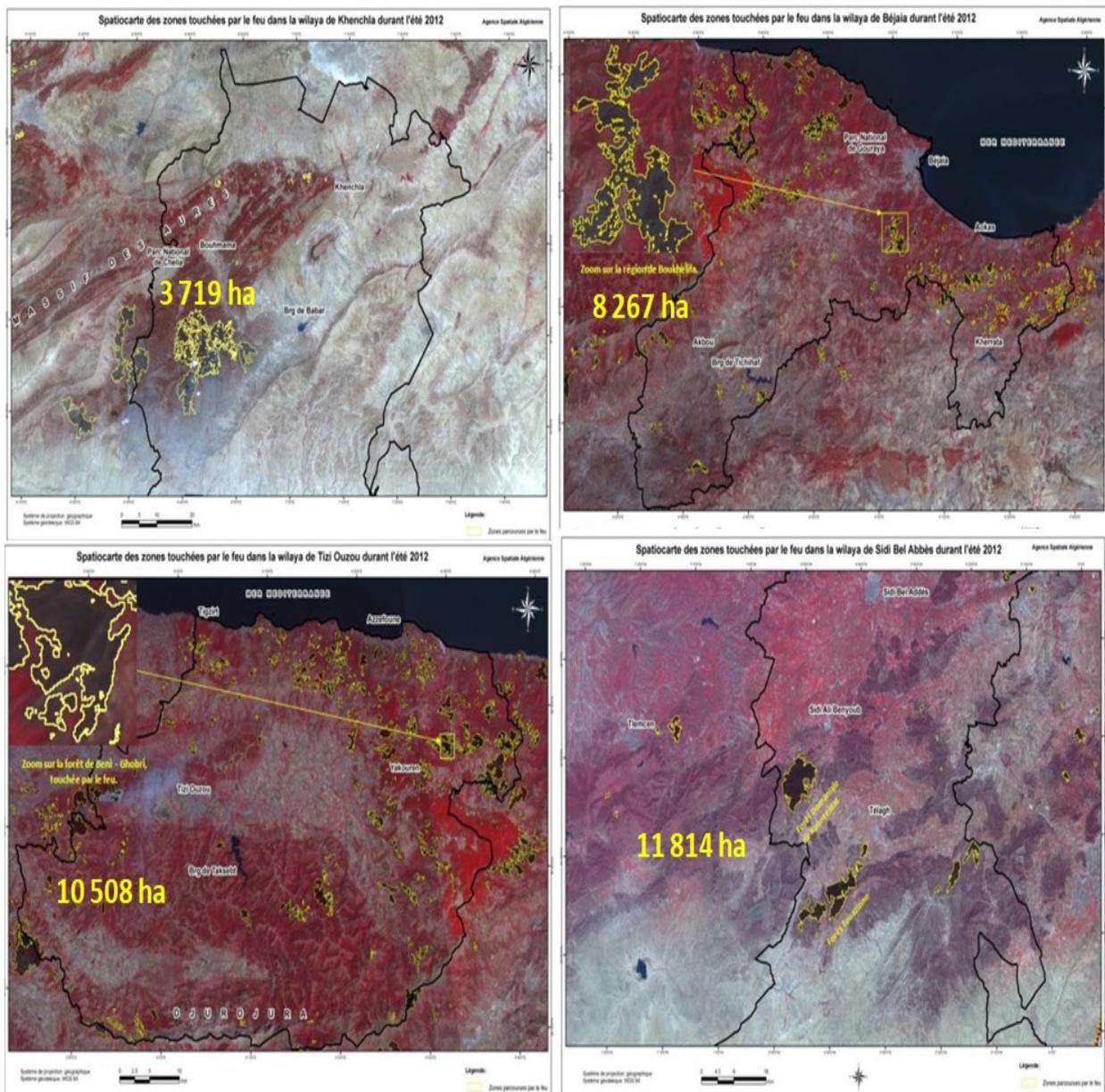


Figure 08 : Superficies ravagées dans plusieurs wilayas d'Algérie (ASAL, 2012)

En termes de superficie ravagée par les flammes, la wilaya de Sidi Bel Abbès arrive en tête avec une superficie incendiée de 11 814 ha (figure 08).

La wilaya de Tizi-Ouzou vient en seconde position avec 411,5 ha de différentes végétations ravagées par pas moins de 83 incendies (figure 08).

La troisième position est occupée par la wilaya de Médéa où 325 ha ont été consumés par les flammes des 33 incendies qui y ont été enregistrés, alors que Béjaïa a connu 27 feux de forêts ayant ravagé 334 ha. Du 30 juillet aux 10 premiers jours du mois d'août, des centaines de foyers ont été recensés à travers le pays. Ils se sont, essentiellement, déclarés à Tipaza dans les massifs forestiers de Gouraya, Cherchell et Sidi Amar. Des centaines d'hectares ont été également ravagés à Bouira ainsi que des plantations fruitières et des cultures céréalières. La région de Tikjda a été aussi particulièrement touchée entre le 2 et le 4 août courant avec 4 000 ha de forêts ravagées par les feux.

Le plus grand incendie a été observé à Bousserdoune à Tikjda. Alors que durant la période du 29 juillet au 4 août 2012, pas moins de 149 feux ont été enregistrés causant la destruction de près de 200 ha dont 2 300 oliviers. La wilaya de Tissemsilt a enregistré, une série de feux ayant détruit 176 ha de forêts.

II.4.2 Analyse des feux de forêts de l'année 2013 :

Le bilan de l'année 2013 est en nette baisse par rapport aux années précédentes, et particulièrement à l'année 2012. Le bilan dressé par la direction générale de forêts est de 13 396 ha.

Ceci est dû à :

-  Un dispositif efficace mis en place par la DGF et la DGPC
-  Un renforcement par des moyens matériels importants
-  Des conditions climatiques clémentes lors de la période estivale

En termes de superficie ravagée par les flammes, la wilaya de Blida arrive en tête avec une superficie incendiée de 1 640 ha (figure 09).

La wilaya de Tizi-Ouzou vient en seconde position avec 1 207 ha.

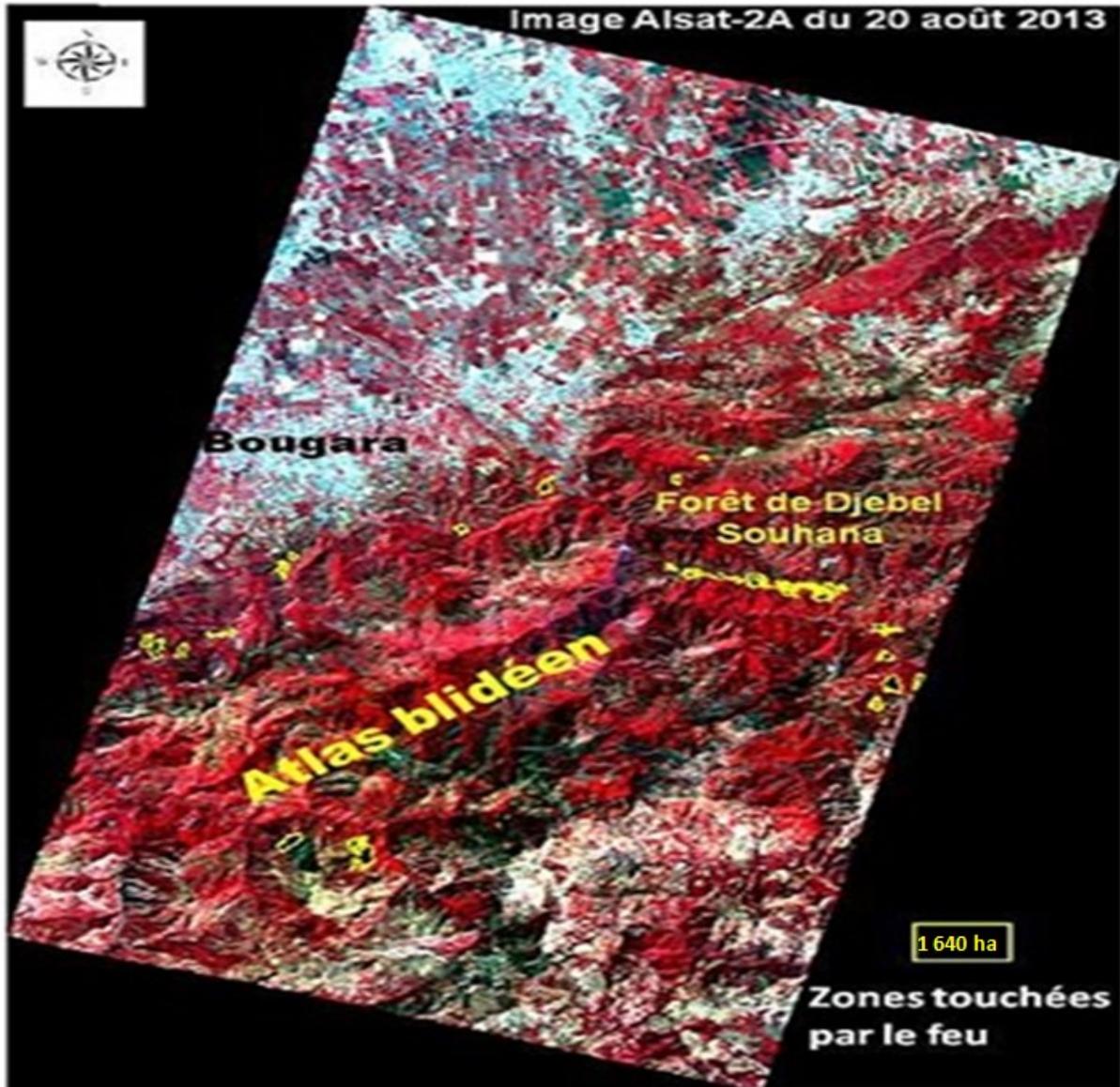


Figure 09 : Superficies ravagées dans la wilaya de Blida en 2013 (ASAL, 2013)

II.4.3 Analyse des feux de forêts de l'année 2014 :

Pour la campagne 2014, quarante wilayas du Nord de l'Algérie ont été concernées, seize (16) Wilayas de la région Est, onze (11) de la région Centre et 13 de l'Ouest. En 2014 la superficie incendiée a triplée avec 43 126 ha.

La DGF a recensé plus de 4 600 foyers d'incendie en 2014, soit une moyenne de huit (8 ha/FF) ha par feu de forêt. C'est la wilaya de Sidi Bel Abbès (figure 10) qui a connu le plus grand nombre d'incendies avec 14 000 ha parcourus par le feu, soit 30% de la superficie totale, précise le sous-directeur chargé de la protection du patrimoine forestier auprès de la DGF.

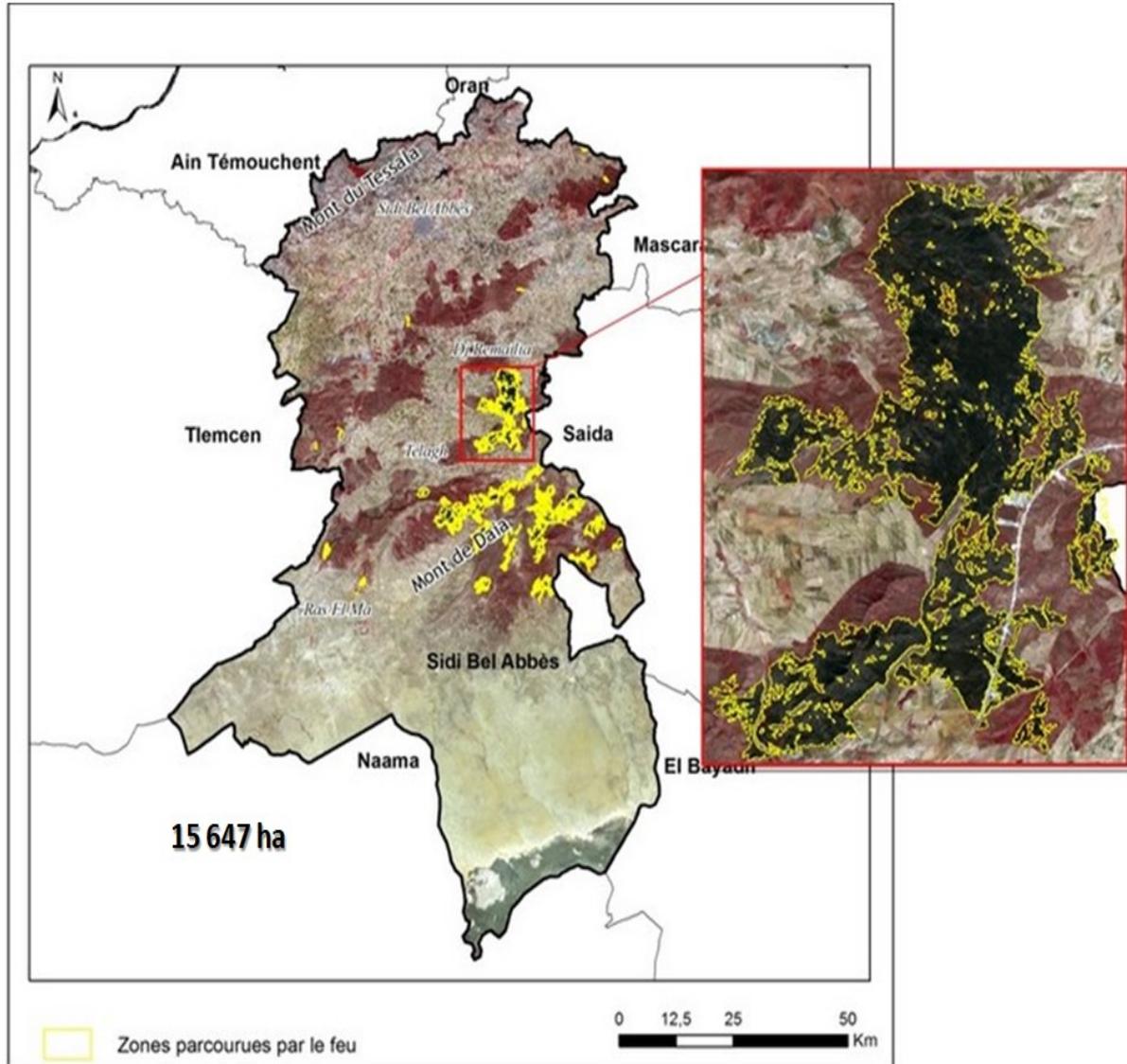


Figure 10 : Superficies brûlées dans la wilaya de Sidi Belabes année 2014 (ASAL, 2014)

Mais bien que la superficie touchée par les feux de forêt a augmenté en 2014, elle reste, toutefois, moins importante comparativement à 2012 et 2021.

II.4.4 Analyse des feux de forêts de l'année 2017 :

Une superficie totale de 53 975 hectares de végétation a été ravagée par les feux durant l'année 2017 au niveau national, et ce, à travers 2 992 foyers de feux (DGF, 2018).

Cette superficie ravagée durant la campagne 2017 représente quasiment le triple de celle consumée par les flammes durant l'année 2016, qui a représenté 18 380 ha, et ce en raison des conditions météorologiques défavorables.

La DGF a également précisé que cette superficie totale a concerné 28 841 ha de forêts (contre 6 717 ha en 2016), 10.398 ha de maquis (contre 5 567 ha en 2016) et 14 745 ha de broussaille (contre 14 745 ha en 2016).

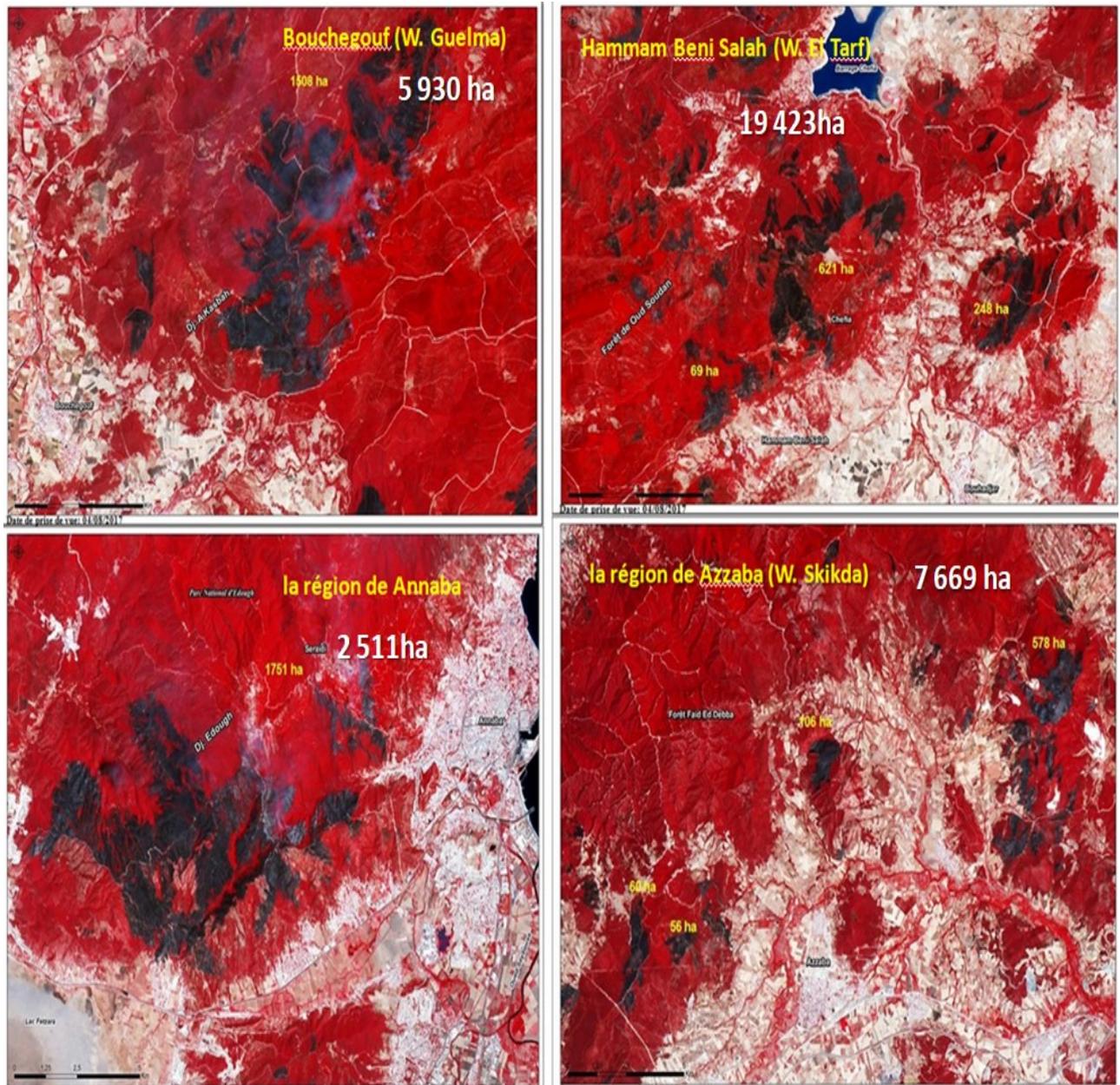


Figure 11 : Localisation des feux (couleur noire) des wilayas les plus touchées pendant l'année 2017 (ASAL, 2017)

Les wilayas dont les feux ont ravagés plus de superficie sont : la wilaya d'El Tarf avec 19 423,46 ha de surfaces forestières parcourues par le feu, 7 669 ha pour la wilaya de Skikda

5 930 ha pour la wilaya de Guelma, 3 742,50 ha pour la wilaya de Tizi Ouzou et 2 511 ha pour la wilaya de Annaba (figure 11).

II.4.5 Analyse des feux de forêts de l'année 2020 :

Suite aux températures élevées enregistrées dans les wilayas de Tizi-Ouzou et de Béjaïa, dépassant les 42° par endroit, plusieurs incendies de forêts sont survenus les 01 et 02 juillet 2020, affectant la commune de Zekri dans la Wilaya de Tizi-Ouzou (figure 12), s'étendant aux communes avoisinantes d'Adekar et de Beni Ksila (wilaya de Bejaïa).

L'analyse de l'image satellitaire du 03 juillet 2020 a permis de localiser et de délimiter deux impacts de feu, couvrant une superficie totale parcourue par le feu évaluée à 715,28 ha.

Par communes, les superficies enregistrées sont de 421,25 ha pour Zekri (W.Tizi Ouzou), de 217,85 ha pour Adekar (W. Bejaïa) et de 92,58 ha pour Beni Ksila (Wilaya Bejaïa).

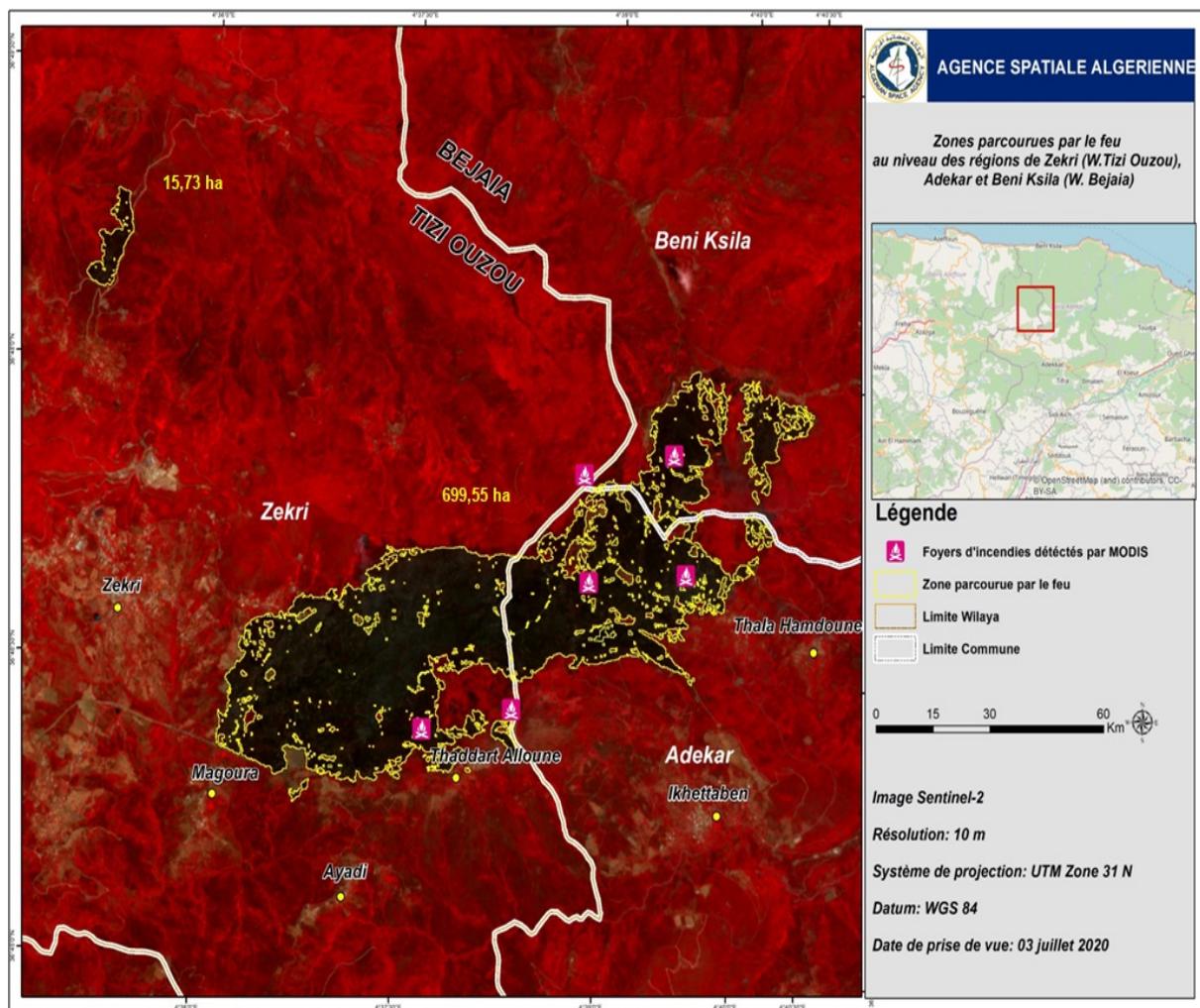


Figure 12 : Zones parcourues par le feu dans la région de Zekri (W.Tizi Ouzou) année 2020 (ASAL, 2020)

Suite à l'incendie survenu le 21 juillet 2020, affectant les communes de Mekla et Ait Khellili (Wilaya de Tizi-Ouzou).

L'analyse de l'image satellitaire du 25 juillet 2020 a permis de localiser et de délimiter les impacts de feu, couvrant une superficie totale parcourue par le feu évaluée à 184,45 ha.

Suite aux incendies survenus entre le 06 et le 09 août 2020 dans la commune de Khelil dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj (figure 13), l'Agence Spatiale Algérienne a exploité et analysé l'imagerie satellitaire Alsat-1B du 10 août 2020, couvrant la zone touchée par les feux de forêts.

Cette analyse a permis de localiser et de délimiter les impacts de feu, couvrant une superficie totale parcourue par le feu évaluée à 670,5 Ha

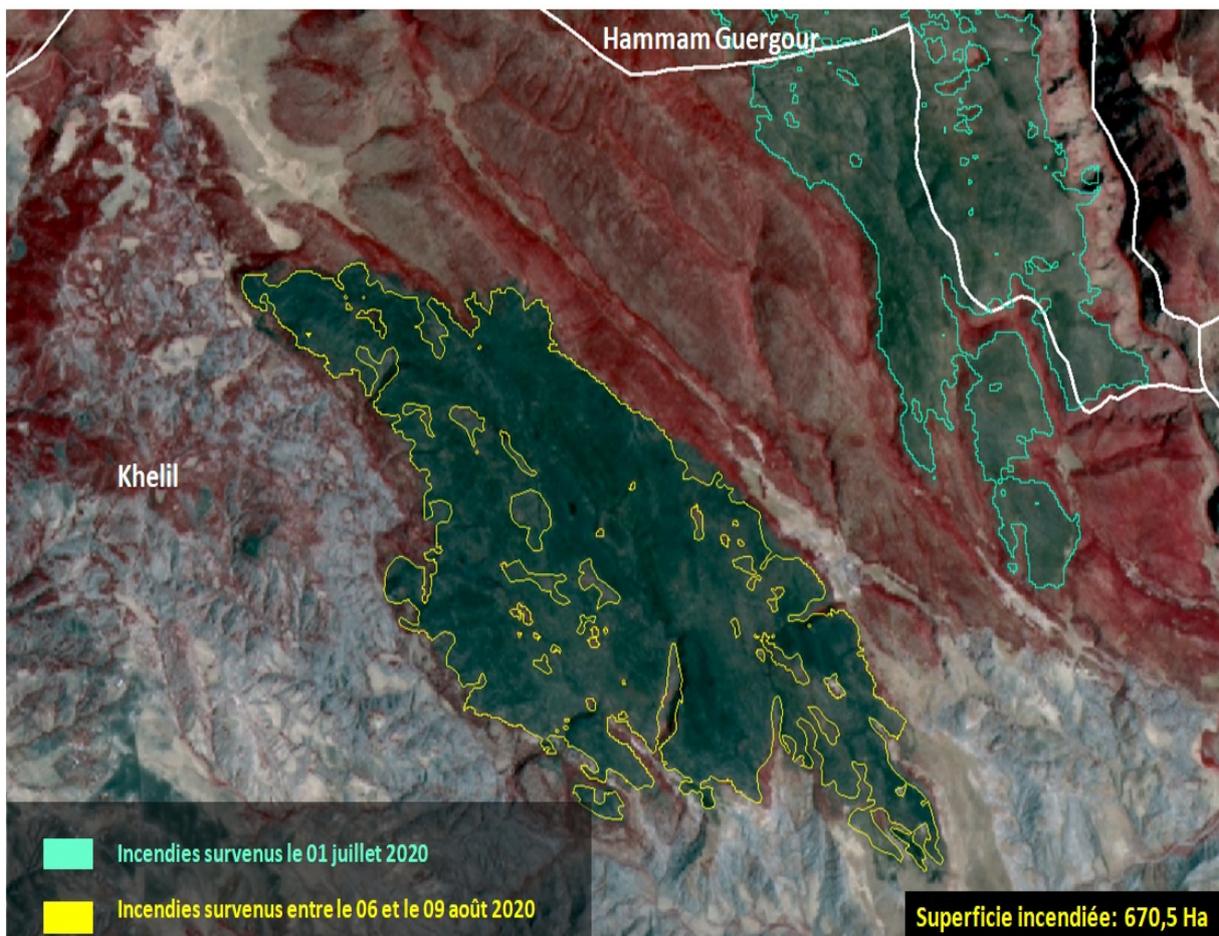


Figure 13 : Zones parcourues par le feu dans la commune Khelil (Wilaya de Bordj Bou Arreridj) année 2020 (ASAL, 2020)

Suite aux incendies survenus le 25 et le 26 juillet 2020 dans les communes de Toudja ,Bejaia ,Ighram, Chellata ,Akfadou ,Tifra ,Tourirt Ighil ,Tichy ,Boukhelifa ,Fenaia Ilmaten et Adekar dans la wilaya de Béjaia (figure 14) , l'Agence Spatiale Algérienne a exploité et analysé l'imagerie satellitaire Alsat-1B du 02 août 2020, couvrant les zones touchées par les feux de forêts.

Cette analyse a permis de localiser et de délimiter les impacts de feu, couvrant une superficie totale parcourue par le feu évaluée à 1896,6 Ha.

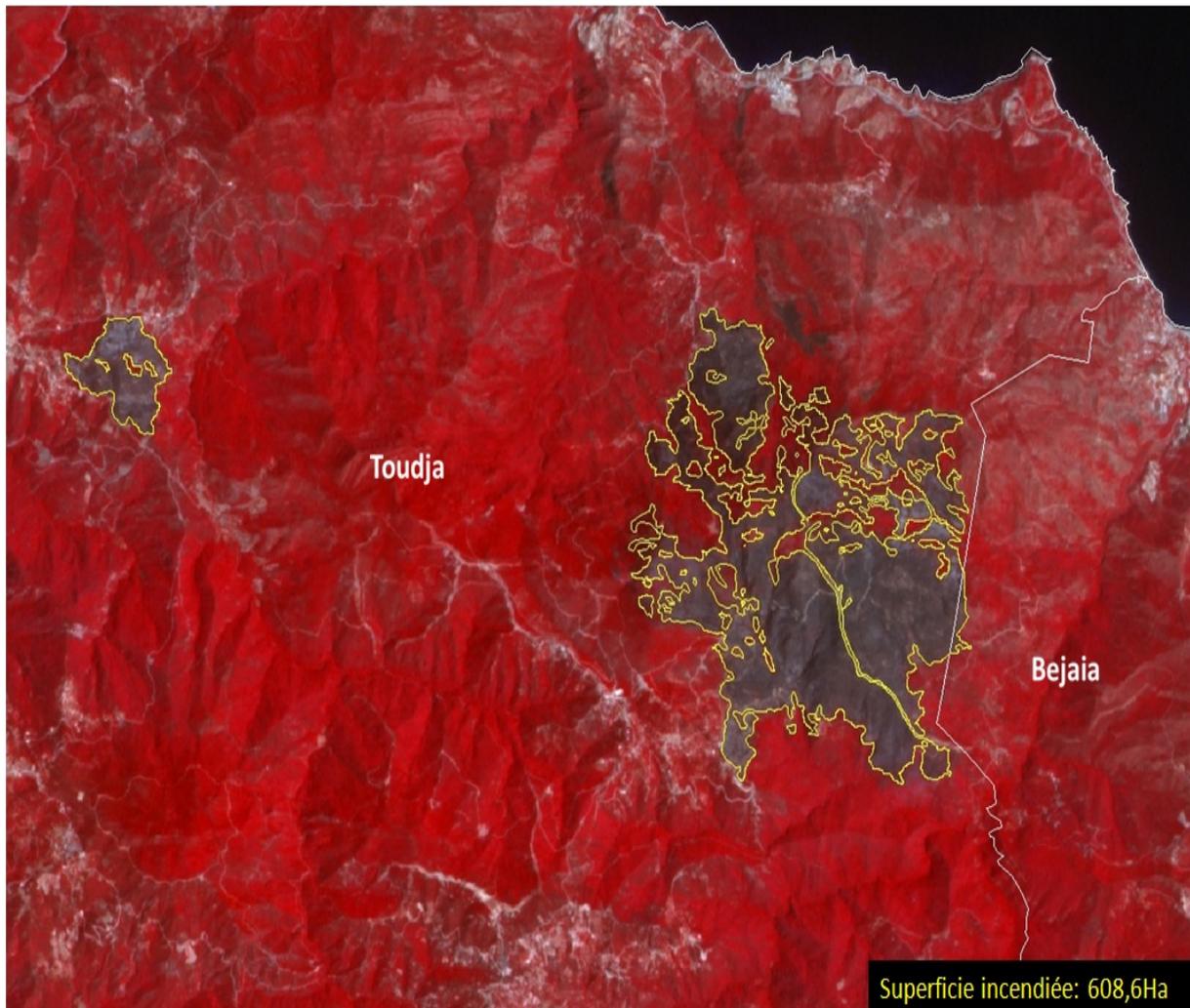


Figure 14 : Zones parcourues par le feu dans la commune de Toudja (Bejaia) année 2020 (ASAL, 2020)

Suite à l'incendie survenu le 26 juillet 2020, dans la région de Guertoufa dans la wilaya de Tiaret (figure 15), l'Agence Spatiale Algérienne a exploité et analysé l'imagerie satellitaire Alsat-1B du 28 juillet, couvrant la zone touchée par les feux de forêts.

Cette analyse a permis de localiser et de délimiter les impacts de feu, couvrant une superficie totale parcourue par le feu évaluée à 494,80 ha.

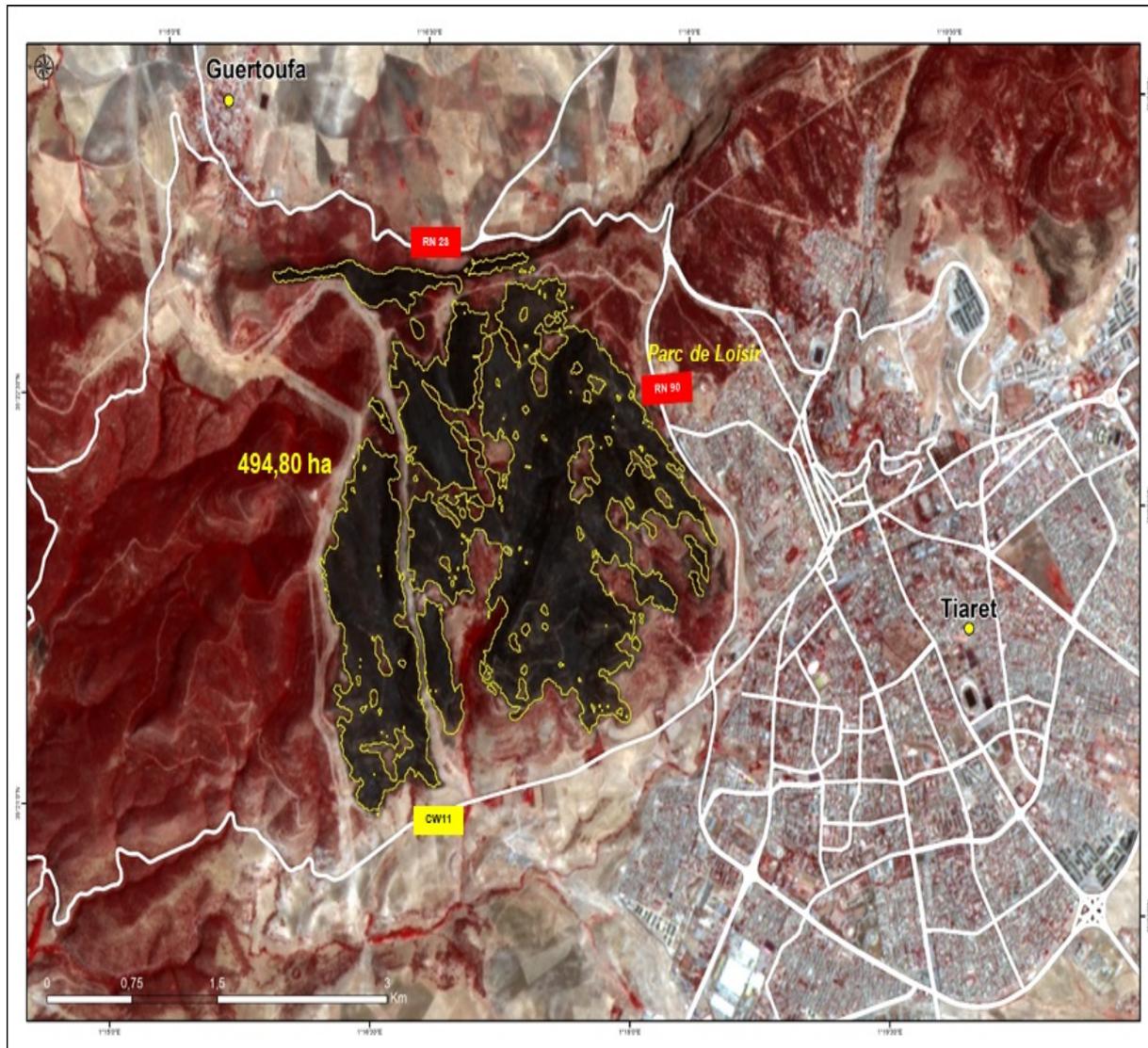


Figure 15 : Zones parcourues par le feu dans la région de Guertoufa (Wilaya de Tiaret), année 2020 (ASAL, 2020)

II.3.6 Analyse des feux de forêts de l'année 2021 :

Un total de 100 101 dont ont été ravagés par les incendies durant la saison estivale de l'année 2021 dont 260 135 hectares de forêts, 21 040 hectares de buissons, 16 415 hectares de broussailles, 16.160 hectares d'arbres fruitiers et 352 hectares d'alfa.

Les wilayas de Tizi Ouzou et de Bejaia ont enregistré des incendies ayant touché 43 398 hectares et 13 174 hectares respectivement, tandis que 4 autres wilayas ont enregistré des

incendies ayant touché des superficies variant entre 5 000 et 10 000 hectares, en l'occurrence, Khanchela 9 837 hectares, Guelma 5 927 hectares, El Tarf 5 090 hectares et Annaba 5 024 hectares.

Les 10 wilayas ayant enregistré le plus grand nombre de foyers d'incendie sont Tizi Ouzou 241 foyers, Jijel 164 foyers, Skikda 125 foyers, Bejaia 112 foyers, Tipasa 97 foyers, Bouira 86 foyers, El Tarf 82 foyers, Médéa 66 foyers, Boumerdes 63 foyers et Oum Bouaghi 56 foyers.

De toute la saison, le mois d'août était le mois ayant connu le plus de départs de feu durant la période allant de 1^{er} juin au 31 octobre 2021 en termes de superficies touchées et de nombre de foyers enregistré. Plus précisément, la semaine allant du 12 au 18 août était la semaine qui a connu le plus de départs de feu avec 72 006 hectares de superficies touchées et 291 foyers d'incendie.

Ces feux de forêts sont inédits par leurs ampleurs, leurs simultanités, mais surtout par les pertes humaines occasionnées (au moins 90 morts, dont 33 militaires), certains feux sont suspectés d'être d'origines criminelles par les autorités locales. Dans les jours qui suivent, d'autres feux sont signalés dans plusieurs wilayas du nord-est.

La production oléicole nationale a reculé en 2021 de 34 % à la suite de la destruction des vergers par les feux de forêt (DGF, 2022).

II.4.7 Analyse des feux de forêts de l'année 2022 :

L'année 2022, a enregistré une superficie brûlée de 27 685 ha. En quelques jours seulement, 89 000 hectares ont été incendiés, dont presque 60 % sont des forêts proprement dites. L'origine criminelle des départs de feux, simultanément en divers points du centre et de l'est du pays, particulièrement dans la wilaya de Tizi Ouzou, et qui se sont transformés au fil des jours en centaines de foyers d'incendies sur 35 wilayas.

Les feux de forêt génèrent non seulement des coûts économiques directs importants par les dégâts qu'ils génèrent mais également des coûts indirects qui se répercutent sur l'État (perte de patrimoine forestier, pertes de services rendus par les écosystèmes) et les usagers. Il serait intéressant que la recherche évalue en détail les impacts économiques des feux de forêt actuels et à venir et les coûts évités de la mise en œuvre d'une politique très volontariste en la matière, en tenant notamment compte de l'évolution du climat.

II.4.8 Analyse des feux de forêts de l'année 2023 :

A la fin de juillet 2023, les incendies qui avaient ravagé le nord du pays avaient fait au moins 34 morts et détruit des milliers d'hectares de forêts et de culture ainsi que des centaines

d'habitations. Ils ont causés la destruction de 41 000 hectares d'espaces forestiers répartis sur 37 wilayas.

II.4.9 Analyse des feux de forêts de l'année 2024 :

La superficie touchée par les feux de forêts en 2024 a atteint l'un des plus bas niveaux, les incendies ont détruit seulement 3 484 hectares, qui représentent 20 % du bilan de la wilaya de Sidi Belabes en 2014, répartis sur 732 foyers, au cours de l'année 2024.

Ce bilan concerne 35 wilayas sur les 40 couvertes par le dispositif de prévention et de lutte contre les incendies de forêts, mis en place exceptionnellement en mai cette année (au lieu de juin), en raison de :

- 🚧 Risque accru de 6 à 7 semaines supplémentaires est prévu pour l'Afrique du Nord ;
- 🚧 Fréquence accrue des incendies hors saison estivale, notamment en mai et en novembre pour la péninsule ibérique, et le Maghreb ;

C'est un bilan de "très acceptable", soulignant que plus de 41 000 hectares ont été ravagés par les incendies l'année passée 2023. Il s'agit de "l'un des bilans les plus favorables de l'Algérie " (DGF, 2024).

II.5 Stratégie nationale de lutte contre les feux de forêts :

L'Algérie a toujours porté une attention particulière à la gestion durable des forêts pour la protection de l'environnement, la lutte contre le changement climatique, la conservation de la biodiversité et la lutte contre la dégradation des terres ; d'autant plus que la gestion des forêts permet de mieux gérer les risques et les événements de feux de forêts, tout en renforçant les efforts de restauration. Un ensemble de stratégies, plans et textes législatifs ambitieux ont ainsi été développés pour appuyer la mise en œuvre des politiques publiques du secteur tels que le Plan national de reboisement, la Stratégie forestière à l'horizon 2035, la Stratégie de prévention et de lutte contre les feux de forêt et le Plan national de prévention et de gestion des incendies de forêt 2021-2030. Concernant les feux de forêt, classés risques majeurs conformément à la Loi 04-20 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, un plan général de prévention contre les feux de forêt est en cours de préparation et fera l'objet d'un texte d'application de la loi précitée.

De plus, dans la perspective de valoriser et de protéger les ressources forestières, une nouvelle loi portant régime général des forêts dite « Loi forestière » en adéquation avec l'évolution du

contexte national et adapté aux besoins actuels a été élaboré par la DGF et adopté par les députés de l'Assemblée populaire nationale en juin 2023. Cette loi n 23-21a pour objectif de définir et de fixer les règles de gestion, de protection, d'extension et de développement du patrimoine forestier national dans le cadre d'un développement durable, ainsi que l'exploitation des forêts et des terres à vocation forestière et leur protection de la déforestation et de l'érosion.

Elle a également pour objet la protection de la flore et de la faune sauvages, à la conservation des sols, à la lutte contre la désertification et à la valorisation des forêts et des richesses forestières, avec la contribution des autres secteurs concernés.

La loi comprend notamment l'ouverture aux investissements privés dans le secteur, la promotion de l'implication des populations limitrophes des massifs forestiers et un renforcement du respect des règles afin de mieux protéger les espaces naturels.

Dans le souci de renforcer la gestion des forêts algériennes, qui n'ont pas pu bénéficier depuis plusieurs décennies d'études d'aménagements forestiers et de traitements sylvicoles réguliers, la mise à jour des plans d'aménagement forestier est aujourd'hui considérée comme un impératif. Ces derniers constituent un guide indispensable à la gestion rationnelle et durable des forêts.

La loi introduit des peines de prison et des amendes face à tout auteur d'infractions relatives aux incendies et aux dégradations des forêts, infractions relatives aux défrichements, pâturages et labours, infractions relatives aux constructions et occupations illicites dans le domaine public forestier ou celles relatives aux prospections, sondages, fouilles et extractions minières illicites ou de dépôt de matériaux de construction et gravats outre infractions liées aux exploitations ou usages illicites des produits forestiers ligneux et les infractions relatives aux atteintes à la richesse faunistiques et floristique

Enfin, la gestion de l'information forestière et des feux de forêt est au cœur des préoccupations du secteur forestier en Algérie. Bien consciente de cette nécessité, la Direction Générale des Forêts a de ce fait mis en place une Sous-direction des systèmes d'information en 2020. Pour l'heure, la base de données est en cours de structuration et d'alimentation et devra être intégrée et interconnectée aux Conservations des forêts. Tous les acteurs thématiques du secteur qu'ils soient au niveau central ou déconcentré trouveront un intérêt certain dans l'exercice de leur fonction à ce que soit mis en place un tel système, dans une optique d'amélioration continue des pratiques et de mise en œuvre des politiques publiques.

L'État algérien s'est attelé, depuis plusieurs années, à structurer une organisation globale cohérente pour gérer les feux de forêt et à mettre en place les moyens humains et matériels pour assurer la réduction du risque de feux de forêt. Le présent travail retrace synthétiquement les acteurs, l'organisation de la gestion intégrée des feux de forêt et les moyens déjà disponibles. Les grands feux de forêt que l'Algérie et d'autres pays du pourtour méditerranéen ont connus en 2021 et 2022 ont remis la gestion de ce risque majeur en haut de l'échelle de priorité des politiques publiques dans un monde où l'effet des changements climatiques se font de plus en plus sentir.

II.5.1 Contexte institutionnel et parties prenantes

En matière de gestion et de protection des écosystèmes forestiers contre les feux de forêt, la Direction Générale des Forêts, en collaboration avec les autres organismes concernés par la prévention et la lutte contre les feux de forêt, met en exécution les dispositions législatives et réglementaires des textes suivants :

- 📄 Loi 84/124 du 23 juin 1984, qui, en application de ses articles 19, 20 et 23 rend nécessaire la participation des différentes structures de l'État dans la lutte contre les feux de forêts, fixe les obligations de certains organismes pour l'exécution ;
- 📄 Décret 80-184 du 19 juillet 1980, modifié et complété, portant mise en place des organes de coordination des actions de protection des forêts ;
- 📄 Décret 81-387 du 26 décembre 1981, déterminant les compétences et les attributions de la commune et de la wilaya dans le secteur de forêts et de la mise en valeur des terres ;
- 📄 Décret 85/231 du 25 août 1985, fixant les conditions et modalités d'organisation et de mise en œuvre des interventions et secours en cas de catastrophe ;
- 📄 Décret 85-232 du 25 août 1985, fixant les conditions et modalités de prévention des risques en cas de catastrophes ;
- 📄 Décret 87-44 du 10 février 1987, fixant les règles et les normes de prévention contre les feux de forêts dans le Domaine Forestier National et à proximité ;
- 📄 Décret 87-45 du 10 février 1987, portant l'organisation et la coordination des actions en matière de lutte contre les feux de forêts dans le Domaine forestier national ;
- 📄 Décret 301-07 du 27 septembre 2007, modifiant et complétant le Décret 80-184 du 19 juillet 1980 portant mise en place des organes de coordination des actions de protection des forêts ;

- 📄 Loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
- 📄 Décret exécutif n° 24-245 du 17 Moharram 1446 correspondant au 23 juillet 2024 fixant les modalités d'organisation et de coordination des actions en matière de prévention et de lutte contre les incendies de forêt.
- 📄 Décret exécutif n° 24-429 du 28 Joumada Ethania 1446 correspondant au 30 décembre 2024 fixant l'organisation de la campagne de lutte contre les feux de forêt

Plusieurs acteurs interviennent dans la lutte contre les feux de forêt. L'endossement par chacun de son rôle est un élément clé pour assurer l'efficacité globale de la gestion et la protection des écosystèmes forestiers contre les feux de forêt. L'organigramme des missions met en évidence cette complexité en classant les acteurs en fonction de leur implication dans les thématiques suivantes : sensibilisation, prévention, prévision, organisation de la réponse, reconstitution et coopération.

II.5.2 Institutions nationales

Les modalités d'organisation et de coordination des actions en matière de prévention et de lutte contre les incendies de forêt sont fixées par les dispositions du Décret exécutif n° 24-245 du 17 Moharram 1446 correspondant au 23 juillet 2024.

L'organisation et la coordination des actions en matière de prévention et de lutte contre les incendies de forêt, sont assurées, dans le cadre du plan de prévention et de lutte contre les incendies de forêt, par les organes suivants :

- 📄 La commission nationale de protection des forêts ;
- 📄 La commission de protection des forêts de wilaya ;
- 📄 Le comité opérationnel de circonscription administrative ou le comité opérationnel de daïra ;
- 📄 Le comité opérationnel communal.
- 📄 La commission nationale de protection des forêts présidée par le ministre chargé des forêts, comprend :
 - 📄 Le représentant du ministère de la défense nationale ;
 - 📄 Le secrétaire général du ministère de l'intérieur, des collectivités locales et de l'aménagement du territoire ;
 - 📄 Le secrétaire général du ministère de la justice ;
 - 📄 Le secrétaire général du ministère des finances ;
 - 📄 Le secrétaire général du ministère de l'énergie et des mines ;

- ✚ Le secrétaire général du ministère de la poste et des télécommunications ;
- ✚ Le secrétaire général du ministère du commerce et de la promotion des exportations ;
- ✚ Le secrétaire général du ministère des travaux publics et des infrastructures de base ;
- ✚ Le secrétaire général du ministère de l'hydraulique ;
- ✚ Le secrétaire général du ministère des transports ;
- ✚ Le secrétaire général du ministère du tourisme et de l'artisanat ;
- ✚ Le secrétaire général du ministère de la santé ;
- ✚ Le secrétaire général du ministère de l'environnement et des énergies renouvelables ;
- ✚ Le secrétaire général du ministère de l'économie de la connaissance, des start-up et des micro-entreprises ;
- ✚ Le secrétaire général de l'Observatoire national de la société civile ;
- ✚ Le secrétaire général du conseil supérieur de la jeunesse ;
- ✚ Le président de la chambre nationale de l'agriculture ;
- ✚ Le directeur général des forêts ;
- ✚ Le représentant du commandement de la gendarmerie nationale ;
- ✚ Le directeur général de la sûreté nationale ;
- ✚ Le directeur général de la protection civile ;
- ✚ Le délégué national aux risques majeurs ;
- ✚ Le directeur général des transmissions nationales ;
- ✚ Le président directeur général de la société algérienne de l'électricité et du gaz (Sonelgaz) ;
- ✚ Le directeur général de l'office national de la météorologie (ONM) ;
- ✚ Le directeur général de la société nationale des transports ferroviaires (SNTF) ;
- ✚ Le directeur général de l'agence spatiale algérienne (ASAL).

La commission nationale de protection des forêts peut faire appel, en tant que de besoin, à toute institution et/ou personne habilitée à contribuer à ses travaux.

La commission nationale de protection des forêts a pour missions :

- ✚ de veiller à l'application du plan de prévention et de lutte contre les feux de forêt ;
- ✚ d'examiner et d'approuver le programme national de sensibilisation, de vulgarisation et d'éducation relatif à la prévention et à la lutte contre les feux de forêt ;
- ✚ de procéder à l'examen du bilan national de la campagne précédente de prévention et de lutte contre les feux de forêt, élaboré par l'administration chargée des forêts et de

proposer toutes mesures et recommandations visant l'amélioration et le renforcement des dispositifs de prévention et de lutte contre les incendies de forêt ;

- ✚ d'examiner les dispositifs de prévention et de lutte contre les incendies de forêt mis en place par chaque secteur concerné et d'évaluer leur efficacité durant la campagne ;
- ✚ d'examiner toute autre question, en relation avec la prévention et la lutte contre les incendies de forêt, qui lui est soumise par son président.

La commission de protection des forêts de wilaya, présidée par le wali, comprend :

- ✚ le commandant du secteur militaire ;
- ✚ le président de l'assemblée populaire de wilaya (PAPW) ;
- ✚ le procureur général, territorialement compétent ;
- ✚ le commandant du groupement territorial de la gendarmerie nationale ;
- ✚ le chef de la sûreté de wilaya ;
- ✚ les walis délégués ou chefs de daïras concernés ;
- ✚ le conservateur des forêts de wilaya ;
- ✚ le directeur de la protection civile de wilaya ;
- ✚ le directeur des services agricoles de wilaya ;
- ✚ le directeur des travaux publics de wilaya ;
- ✚ le directeur des transports de wilaya ;
- ✚ le directeur de la santé et de la population de wilaya ;
- ✚ le directeur de l'énergie et des mines de wilaya ;
- ✚ le directeur de l'hydraulique de wilaya ;
- ✚ le directeur de l'environnement de wilaya ;
- ✚ le directeur du commerce de wilaya ;
- ✚ le directeur de la poste et des télécommunications de wilaya ;
- ✚ le représentant de l'Observatoire national de la société civile ;
- ✚ le représentant du conseil supérieur de la jeunesse.

La commission de protection des forêts de wilaya a pour missions :

- ✚ de mettre en œuvre le plan de prévention et de lutte contre les feux de forêt à l'échelle de wilaya, et d'assurer l'application des directives et recommandations formulées par la commission nationale de protection des forêts ;
- ✚ d'évaluer le déroulement de la campagne de prévention et de lutte contre les feux de forêt et d'élaborer son bilan qu'elle transmet à la commission nationale ;

- ✚ d'émettre des directives et des recommandations aux comités opérationnels de circonscription administrative, de daïra et de commune ;
- ✚ de coordonner, avec les comités opérationnels de circonscription administrative ou de daïra, les actions de prévention et de lutte contre les feux de forêt ;
- ✚ d'apporter le soutien nécessaire en moyens humains et matériels aux équipes d'intervention ;
- ✚ de prendre toutes mesures complémentaires jugées nécessaires à la prise en charge des situations exceptionnelles dans le cadre de la prévention et de lutte contre les feux de forêt ;
- ✚ d'examiner toute autre question, en rapport avec la prévention et la lutte contre les incendies de forêt

Le comité opérationnel de circonscription administrative ou de daïra, présidé par le wali délégué ou le chef de daïra, comprend :

- ✚ le représentant du secteur militaire ;
- ✚ le commandant de compagnie de la gendarmerie nationale ;
- ✚ le chef de sûreté de la circonscription administrative ou de la daïra ;
- ✚ le chef d'unité de la protection civile ;
- ✚ le chef de la circonscription des forêts ;
- ✚ le représentant de la direction de la santé et de la population de la wilaya ;
- ✚ le directeur délégué des services agricoles de la circonscription administrative ou le subdivisionnaire des services agricoles de la daïra ;
- ✚ le directeur délégué des ressources en eau et de l'environnement de la circonscription administrative ou le subdivisionnaire de l'hydraulique de la daïra ;
- ✚ le directeur délégué des travaux publics de la circonscription administrative ou le subdivisionnaire des travaux publics de la daïra ;
- ✚ le représentant de la direction des transports de la wilaya ;
- ✚ les présidents des assemblées populaires communales relevant de la circonscription administrative ou de la daïra ;
- ✚ le représentant de l'unité de l'Algérienne des eaux (ADE) ou l'entreprise chargée de la gestion de l'eau potable et de l'assainissement, territorialement compétente ;
- ✚ le représentant de la société algérienne de l'électricité et du gaz (Sonelgaz) ;
- ✚ le représentant de l'Observatoire national de la société civile ;
- ✚ le représentant du conseil supérieur de la jeunesse.

Le comité peut faire appel à toute institution et/ou personne habilitée à contribuer à ses travaux.

Le comité opérationnel de circonscription administrative ou de daïra a pour missions :

- ✚ de mettre en œuvre le plan de prévention et de lutte contre les feux de forêt ;
- ✚ d'assurer l'application des directives et des recommandations de la commission de protection des forêts de wilaya, au niveau de la circonscription administrative ou de la daïra ; — de coordonner, avec les comités opérationnels de la commune, les actions de prévention et de lutte contre les feux de forêt ;
- ✚ de mobiliser les moyens nécessaires à la lutte contre les feux de forêt ;
- ✚ d'évaluer le déroulement de la campagne de prévention et de lutte contre les feux de forêt.

Le comité opérationnel communal, présidé par le président de l'assemblée populaire communale, comprend :

- ✚ le chef de brigade de la gendarmerie nationale ;
- ✚ le chef de la sûreté urbaine concerné ;
- ✚ le chef d'unité de la protection civile du secteur d'intervention concerné ;
- ✚ le chef de district des forêts ;
- ✚ le directeur délégué des services agricoles de la circonscription administrative ou le subdivisionnaire agricole de la daïra ou leurs représentants ;
- ✚ le directeur délégué des travaux publics de la circonscription administrative ou le subdivisionnaire des travaux publics de la daïra ou leurs représentants ;
- ✚ le représentant de la direction des transports de wilaya ;
- ✚ le directeur délégué des ressources en eau et de l'environnement de la circonscription administrative ou le subdivisionnaire de l'hydraulique de la daïra ou leurs représentants ;
- ✚ le représentant de l'unité de l'Algérienne des eaux (ADE) ou l'entreprise chargée de la gestion de l'eau potable et de l'assainissement, territorialement compétente ;
- ✚ le chef du centre de la société Algérienne de l'électricité et du gaz (Sonelgaz) ou son représentant ;
- ✚ le représentant de l'observatoire national de la société civile ;
- ✚ le représentant du conseil supérieur de la jeunesse.

Le comité peut faire appel à toute institution et/ou personne habilitée à contribuer à ses travaux.

Le comité opérationnel communal a pour missions :

- ✚ de mettre en œuvre le plan de prévention et de lutte contre les feux de forêt à l'échelle de la commune, et d'assurer l'application des directives et recommandations de la commission de protection des forêts de wilaya, au niveau de la commune ;
- ✚ de mener des actions de sensibilisation, de vulgarisation et d'éducation en collaboration avec les riverains de la forêt ;
- ✚ de mobiliser et de mettre en œuvre les moyens d'intervention existant au niveau de la commune en coordination avec les institutions, les organismes et les opérateurs intervenant au niveau de la commune ;
- ✚ d'examiner toute autre question, en rapport avec la prévention et la lutte contre les incendies de forêt.

Lorsque l'incendie menace les personnes, les biens et l'environnement et nécessite la mobilisation de moyens non prévus dans le plan de wilaya de lutte contre les feux de forêt, les plans d'organisation des secours (ORSEC) sont déclenchés selon l'ampleur de la catastrophe, conformément à Loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 25 décembre 2004 qui a pour objet d'édicter les règles de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. Ces règles ont pour fondement les principes suivants:

- ✚ Le principe de précaution et de prudence;
- ✚ Le principe de concomitance;
- ✚ Le principe d'action préventive et de correction par priorité à la source;
- ✚ Le principe de participation et le principe d'intégration des techniques nouvelles.

L'Etat assure aux citoyens un accès égal et permanent à toute information relative aux risques majeurs et il est institué, en vertu de la présente loi, un enseignement des risques majeurs dans tous les cycles d'enseignement.

La prévention des risques majeurs est fondée sur des règles et des prescriptions générales applicables à tous les risques majeurs, des prescriptions particulières à chaque risque majeur, des dispositifs de sécurisation stratégiques et des dispositifs complémentaires de prévention. Le système national de gestion des catastrophes est constitué par une planification des secours et des interventions ainsi que des mesures structurelles pour la prise en charge des catastrophes.

II.5.3 Prévention des feux de forêt

II.5.3.1 Sensibilisation

La prévention vise, entre autres, à faire évoluer les comportements humains, en informant et en sensibilisant la population sur les feux de forêt. Un des objectifs majeurs de l'information est d'expliquer pourquoi il faut protéger la forêt et comment la protéger.

La Direction Générale des Forêts mène chaque année des initiatives de sensibilisation de novembre à juin. Les principales formes de sensibilisation sont :

- ✚ Les conférences et les journées portes ouvertes sur l'Administration forestière ;
- ✚ L'éducation en milieu scolaire et concours de dessins ;
- ✚ La distribution de plants forestiers pour le reboisement lors de journées nationales et internationales;
- ✚ La distribution d'affiches, dépliants, prospectus et autocollants ;
- ✚ L'installation de panneaux interdisant de faire du feu ;
- ✚ L'animation et la participation à des émissions télédiffusées ;
- ✚ L'animation des séances radiophoniques sur les ondes des chaînes nationales et locales ;
- ✚ L'appel à la vigilance des populations dans les quotidiens nationaux ;
- ✚ L'animation, par les imams de mosquées, de prêches lors de la prière du vendredi ;
- ✚ Les campagnes d'information sur les marchés, avec distribution d'affiches et d'autocollants ;
- ✚ L'information et la sensibilisation de proximité, au profit des agriculteurs et de la population riveraine, à travers une caravane nationale animée par les agents de la Protection civile en étroite collaboration avec les forestiers et les gendarmes ;
- ✚ Les campagnes de sensibilisation animées par les associations de chasseurs, les scouts et les associations environnementales.

Sans oublier d'améliorer le cadre d'intervention en matière de communication et de sensibilisation en précisant les statistiques relatives aux causes des feux de forêt, il est important de redoubler les efforts de communication durant la saison des feux de forêt et juste avant en utilisant les réseaux sociaux pour dédramatiser les événements et orienter la population vers le comportement à tenir.

Mettre en place une échelle de risque de feux de forêt pour diffusion à la population, à travers le panneauage sur les axes routiers principaux peut également permettre de bâtir une culture forte au niveau de la population. Cette dernière voie de communication du risque permet à tout citoyen de mettre quotidiennement à jour sa perception du risque de feux de forêt sur un territoire donné.

II.5.3.2 Prévision des feux de forêt

L'organisation de la campagne de lutte contre les feux de forêt est fixée par les dispositions du Décret exécutif n° 24-429 du 28 Joumada Ethania 1446 correspondant au 30 décembre 2024. La campagne de lutte contre les feux de forêt est organisée dans le cadre d'un plan de wilaya de lutte contre les feux de forêt.

Le plan de wilaya de lutte contre les feux de forêt, comprend l'ensemble des moyens humains et matériels de l'administration chargée des forêts, mobilisables en cas d'incendie de forêt, et les moyens des autres organismes et institutions dans le but d'assurer la lutte contre les feux de forêt. Le plan de wilaya de lutte contre les feux de forêt comprend, notamment :

- ✚ La carte du dispositif opérationnel de surveillance et d'intervention faisant ressortir la localisation des postes de vigie avec leurs champs d'observation, le positionnement de stationnement des brigades mobiles forestières de première intervention et le positionnement des unités d'intervention de la protection civile avec leurs champs d'intervention ;
- ✚ La carte des infrastructures et équipements existants sur le territoire concerné comportant les réseaux routiers et ferroviaires, les accès, les pistes forestières, le réseau de tranchées pare-feu, les points d'eau permanents, ainsi que les agglomérations et principales concentrations d'habitations, les équipements et infrastructures socio - économiques qui y sont implantés à l'intérieur de la forêt ou à proximité ;
- ✚ La classification des zones forestières, selon le risque d'incendie de forêt encouru ;
- ✚ La détermination des interfaces agglomérations-forêts en précisant les systèmes de constructions des habitations et les matériaux utilisés ;
- ✚ La matérialisation cartographique des pistes d'atterrissage et les aires de poser pour les aéronefs d'intervention, sont effectuées sur une carte d'Etat-major à l'échelle de 1/10.000ème au niveau de chaque grand massif forestier ;
- ✚ La liste des moyens humains et matériels des institutions et organismes concernés mobilisés pour intervenir en cas d'incendie de forêt, en fonction des priorités et des urgences ;
- ✚ La liste des riverains de la forêt bénévoles, répertoriés localement, ayant subi une initiation et/ou une formation à la lutte contre les incendies de forêt ;
- ✚ L'index téléphonique et les adresses des présidents et membres des commissions de protection des forêts de wilaya et des comités opérationnels de circonscription

administrative ou de daïra et de la commune ainsi que les responsables des organismes et institutions concernés pour intervenir contre les incendies de forêt.

En application de la Loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable un plan général de prévention des feux de forêts doit être mis en place et qui doit :

- ✚ comporter une classification des zones forestières selon le risque encouru par les villes,
- ✚ déterminer les agglomérations ou les établissements humains implantés dans des zones forestières ou à leur proximité et pour lesquels le déclenchement d'un feu de forêt peut constituer un risque majeur.

Sur la base de la classification des zones forestières, le plan général de prévention des feux de forêts doit déterminer en outre :

- ✚ les modalités de veille et d'évaluation des circonstances climatiques prévisibles ;
- ✚ le système de pré-alerte ou d'alerte ;
- ✚ les mesures de prévention applicables lors de l'annonce des avis de pré-alerte ou d'alerte.

II.5.3.3 L'intervention effective

La surveillance des massifs forestiers est assurée par le réseau de postes de vigie et les Brigades mobiles forestières. La DGF a mobilisé pour la campagne 2021 :

401 postes de vigies, avec un effectif de 960 éléments. Ce nombre semble insuffisant par rapport à la superficie forestière à surveiller : la norme théorique est d'un poste de vigie pour 7 000 ha de forêt (BNEDER, 2009). La Direction Générale des Forêts travaille actuellement sur le développement de cartes de visibilité des postes vigie pour l'ensemble des massifs forestiers afin d'améliorer la capacité de détection des feux de forêt et d'identifier les manques.

513 brigades mobiles forestières, avec un effectif de 1 017 éléments. Ce dispositif a été renforcé par des ouvriers intervenant sur des chantiers de travaux forestiers. Ils peuvent être réquisitionnés pour appuyer les équipes d'intervention. Environ 1 019 chantiers ont été installés, avec un effectif global de 9 481 ouvriers à travers l'ensemble des Wilayas du nord du pays.

En matière de détection et de responsabilité citoyenne, toute personne constatant la présence

d'un feu de forêt est tenue de procéder à son extinction et, si c'est impossible, d'en informer le poste forestier ou toute autre autorité. À ce titre, deux numéros verts sont mis à la disposition du public : le numéro « 14 » de la protection civile connu par tous et pour tous les dangers, le numéro « 1021 » spécifique aux feux de végétation de la DGPC et le « 1070 » spécifique aux feux de forêt de la DGF. L'alerte remonte par radio ou téléphone pour chaque foyer d'incendie déclaré du district à la circonscription, pour arriver ensuite au niveau du siège de la Conservation des forêts qui à son tour transmet l'information à la DGF.

La consolidation du système actuel de détection et l'alerte précoce passe en premier lieu par le renforcement et l'équipement des vigies sur la base d'une analyse d'inter-visibilité, le développement d'un outil de cartographie embarquée et la mise en place d'un carroyage DFCI permettant une signalisation de situation d'ignition précise et claire.

Le manque d'harmonisation des informations se retrouve également dans la transmission des alertes et des remontées d'événements « feux de forêt » qui n'utilisent d'ailleurs pas de système de géolocalisation standardisé.

Les premières interventions sur les incendies déclarés sont effectuées par la brigade mobile des services des forêts territorialement compétents qui, en cas de besoin, fait appel à l'unité de la Protection civile (Article 19 du Décret n°87-45 du 10 février 1987).

Lorsque l'ampleur de l'incendie le justifie, il est procédé à la mobilisation d'autres moyens.

La Protection civile, qui a la mission de combattre tous les sinistres (entre autres les feux de forêt), déploie des moyens importants et encadre, en coordination avec les Brigades forestières, la lutte contre les feux de forêt. Quand l'incendie prend de l'ampleur, les colonnes mobiles de la Protection civile sont mobilisées pour renforcer les interventions de la Wilaya sinistrée. La DGPC procède au pré-positionnement des colonnes mobiles au niveau de la Wilaya sont appelés « les postes avancés ».

Le plan d'intervention 2022 de la CNPF a mobilisé :

- 🚒 63 camions ravitailleurs de grandes capacités pour l'approvisionnement en eau,
- 🚒 des camions de lutte et des brigades mobiles de première intervention et 15 camions-citerne de 3 000 litres,
- 📻 2 084 équipements de communication radioélectrique de type VHF, pour l'alerte rapide et le renforcement de la coordination des moyens de lutte,
- 🚒 240 camions citernes feux de forêts légers (CCFFL), positionnés de manière à rehausser le dispositif d'intervention des Wilayas les plus affectées par les feux de forêt et

✚ 3 300 pompes dorsales.

Ces acquisitions ont permis de créer 30 colonnes mobiles de 8 CCFFL chacune, positionnées au niveau des Wilayas très affectées par les feux de forêt (DGf, 2022).

Du côté de la DGPC, ce sont 65 colonnes mobiles qui ont été installées au niveau de toutes les Wilayas, dont certaines, telle que Tizi Ouzou, sont dotées de deux à trois colonnes à la fois. Ces colonnes mobiles de la Protection civile sont composées chacune d'un véhicule de commandement, un bus, neuf engins anti-feu, une ambulance, un bus de transport des troupes et 45 éléments (DGPC, 2022).

Le groupement aérien de la DGPC est constitué de six (06) hélicoptères de type Agusta-Westland AW-139, de 25 pilotes d'hélicoptère, de 6 pilotes d'avion, du personnel médical, des ingénieurs et des techniciens d'aviation (MADR, 2021). Quant aux moyens humains, ils sont évalués à 15 000 éléments, tous grades confondus, réquisitionnés aussi bien au sein des colonnes mobiles qu'à travers les 495 unités de la Protection civile ou dans les secteurs des massifs forestiers qui assurent la première intervention. En ce qui concerne la préparation des ressources humaines à l'intervention, nous pouvons notamment citer les points d'intérêt suivants :

- ✚ Au niveau de certaines Wilayas dont Médéa, la DGF, la DGPC et la Commune ont mis en place un poste commun d'intervention, afin de mutualiser les moyens, les informations et les données locales de lutte contre le feu de végétation. Ce modèle permet depuis son installation une meilleure analyse de la situation et d'optimiser les interventions. Dans le protocole du pôle d'intervention commun, il est convenu, lors de l'apparition d'un sinistre plus important, de mettre un agent forestier dans le poste de commandement mobile (PC - mobile) de la DGPC.
- ✚ Un exercice de simulation, appelé « Gorgex 2018 », vise à réaliser un exercice global multiservices en faisant jouer aux différents acteurs leur propre rôle, en leur faisant utiliser à la fois les salles tactiques et les simulateurs de réalité virtuelle. Il s'agit également d'évaluer la réponse capacitaire de la Wilaya, tester le mécanisme de renfort inter-Wilayas et d'évaluer la coordination interservices.
- ✚ Au niveau des Wilayas, la Protection civile forme les forestiers aux techniques d'intervention. C'est pourquoi ces derniers se sentent confiant quant à l'exercice de première intervention.

En ce qui concerne l'établissement des contours de feu en vue de leur reporting, la DGF - à travers la SDSI - produit des couches géographiques à partir des images satellite Sentinel-2 et

Landsat. L'ASAL de son côté produit les contours des feux de forêt à partir des images satellite Alsat-1B (12 m) et Alsat-2 A et Alsat-2B (2,5 m) et Sentinel-2 (A et B) et Landsat-8 pour compléter les informations.

Les résultats comparés sont intégrés dans une base de données et servent de base statistique annuelle au reporting des surfaces brûlées. La collaboration entre l'ASAL et la DGF se fait à travers des conventions de prestation de services et a débuté en 2003 avec la mise à disposition des bilans annuels de feux par Wilayas. À partir de 2013, l'ASAL a mis à disposition des contours de feu sous format cartographique (fichier de forme). Depuis 2021, l'information complète sur les contours de feux est transmise à la SDSI et aux Conservations des forêts par la DPF (DGF).

II.5.4 Adéquation des moyens humains et matériels

Pendant la période administrative des feux de forêt, nombreux sont les agents mobilisés à 100 % à la cause, ce qui ne leur permet plus de vaquer à leurs autres obligations. À défaut de ressources humaines suffisantes, on délaisse donc certains besoins du secteur pour assurer la protection minimale du patrimoine. Malgré des efforts de renforcement des capacités et de mise à disposition de moyens matériels, les agents de terrain et en particulier les vigies ont encore besoin d'équipement et de formation supplémentaire pour remplir pleinement leur rôle et améliorer substantiellement la détection et le relai de l'alerte.

Dans le cadre de son plan d'urgence 2022-2025 pour l'amélioration de la prévention et la lutte contre les feux de forêt (DGF, 2022), la DGF insiste sur le besoin de renforcer les effectifs (tableau 4) et les moyens matériels.

En 2022, la DGF a pu acquérir 80 CCFFL pour renforcer l'efficacité d'intervention et souhaite acquérir encore 40 autres CCFF pour renforcer les territoires spéciaux tels que les parcs nationaux et les réserves de chasse qui recèlent une biodiversité remarquable. Un reliquat de 58 millions de DA a pu être dégagé pour l'achat de matériel pour la lutte contre les feux de forêt (habillement des saisonniers, pelles, pioches et tronçonneuses) (DGF, 2022).

Tableau 4 : Adéquation des moyens humains et matériels (DGF, 2022).

Moyens humains	Existant	Effectifs réels		Besoins/effectif		Écart	
		Corps technique	Ouvriers	Corps technique	Ouvriers	Corps technique	Ouvriers
Postes vigie	407	/	1 014	/	2 442	/	1 428
Brigades mobiles	478	4 200	1 114	4 302	4 302	102	3 188

Camions ravitailleurs	62	/	/	/	62	/	62
Colonnes mobiles	244	/	/	2 160	2 160	2 160	2 160
Effectifs pour l'entretien des forêts (chapitre 35-12)							
Total général		4 200	3 177	6 462	10 886	2 262	7 709

II.6 Recommandations :

Au regard de l'analyse de la stratégie nationale de lutte contre les feux de forêts et afin de restaurer et protéger le patrimoine forestier, il est important de :

- ✚ réinvestir massivement dans le secteur forestier à travers une augmentation de la contribution financière de l'État et de ses partenaires mais également en diversifiant les sources potentielles afin de pouvoir couvrir les besoins croissants d'investissement et de fonctionnement;
- ✚ réinvestir dans l'aménagement forestier car ses processus d'élaboration et de mise en œuvre concourent non seulement à assurer le développement et l'exploitation durables des ressources forestières et à améliorer la prévention des feux de forêt grâce à l'implication des populations et la valorisation des produits issus de la forêt, mais également à renforcer la prévision des feux de forêt;
- ✚ consolider les efforts stratégiques en cours (Plan général de prévention contre les feux de forêt, stratégie et plan d'action de mise œuvre au niveau de la DGF, rôles des acteurs et amélioration de la coordination de la gestion des incendies) pour le développement de cadre légaux d'intervention adaptés, l'organisation et la coordination de la gestion des forêts et des feux de forêt;
- ✚ mettre en place une gestion technologique des données du secteur forestier appropriée et propice à la mise en place d'un système interinstitutionnel de partage de données nécessaires à l'amélioration continue de la gestion du risque majeur feux de forêt;
- ✚ assurer le développement continu des capacités techniques nécessaires à la bonne gestion des forêts et des feux de forêt.

Chapitre III :
Risque d'incendies de forêts
dans la région Ouest
Algérienne

Chapitre III : Risque d'incendies de forêts dans la région Ouest Algérienne

Les incendies de forêts sont le principal facteur de dégradation de la forêt méditerranéenne et algérienne particulièrement par leur spécificité (espèces ligneuses inflammables et fortement combustibles) favorisant l'éclosion et la propagation du feu.

Les incendies ont provoqué la destruction d'environ 10 millions d'hectares de forêts à travers le monde (Sacquet, 2006). Les grands ennemis de la forêt sont outre le feu, les maladies, les pollutions, phénomènes surtout recensés dans les pays développés (Lavieille, 2004).

En 2000, l'Afrique a totalisé une perte de 230 millions d'hectares de terres brûlées, soit 7,7 % de la surface totale du continent, ce qui représente 64 % de la surface mondiale ravagée par les incendies (Belkaid, 2016). Cette estimation a été confirmée par la FAO (2009) qui a avancé qu'en 2004 la surface brûlée représentait 7,8 % de la superficie totale du continent africain.

En Algérie, on a estimé en moyenne que plus de 37 000 hectares de superficies boisées partaient en fumée chaque année durant la période 1979 et 1985 (Madoui, 2000).

L'Algérie est le pays le plus touché par les incendies en Afrique du Nord. En effet, des fréquences annuelles de 378 à 1 388 feux causent une perte de 41 258 à 34 596 Ha de terres brûlées durant les périodes 1876 à 1962 et 1963 à 2007 (Meddour et al., 2008).

L'absence d'une gestion adéquate sur le terrain contribue aussi à l'état actuel de déliquescence des forêts qui empêche le maintien et la durabilité du patrimoine forestier algérien (Mate, 2003).

Le risque de départ de feux est étroitement lié à l'action anthropique. En Algérie, entre 1985 et 2006, 86% des départs de feux dont l'origine est connue sont volontaires (Arfa *et al.*, 2009).

L'étude climatique intégrant les quatre paramètres, la température moyenne mensuelle, la moyenne mensuelle des précipitations, l'humidité et la vitesse du vent nous permettra d'établir la relation entre le climat et l'éclosion des feux ainsi que leur propagation pour pouvoir aboutir à une carte des risques de feux de la zone d'étude.

Ensuite, une évaluation du risque fréquentiel (IRF) et du risque surfacique (RMA) a été effectuée et restituée sous forme cartographique, à l'échelle des unités de gestion territoriale et de gestion forestière, afin de tirer des enseignements pratiques des feux passés. Une estimation d'un risque global, intégrant le peuplement végétal, a été réalisée après l'identification sur le terrain des « types de combustibles » au niveau des 9 wilayas

de la région étudiée. Les résultats obtenus s'avèrent instructifs et corroborent la pertinence des indices de risque IRF et RMA

III.1 Milieu physique

III.1.1 Situation géographique de la région d'étude :

La région d'étude se situe à l'Ouest algérien ; elle comprend tout le nord-ouest de l'Algérie et correspond approximativement aux wilayas suivantes : Oran, Aïn Témouchent, Mascara, Mostaganem, Relizane, Saïda, Sidi Bel Abbès, Tlemcen, Tiaret (figure 16). La capitale de la région est la ville d'Oran.

Cette région d'Algérie est limitée à l'est par la moyenne vallée du Chelif, à l'ouest par la région de l'Oriental marocain, au nord par la Mer Méditerranée et au sud par les hauts plateaux occidentaux, elle se caractérise aussi par la proximité des côtes espagnoles la distance entre la wilaya d'Aïn Témouchent et Almería.

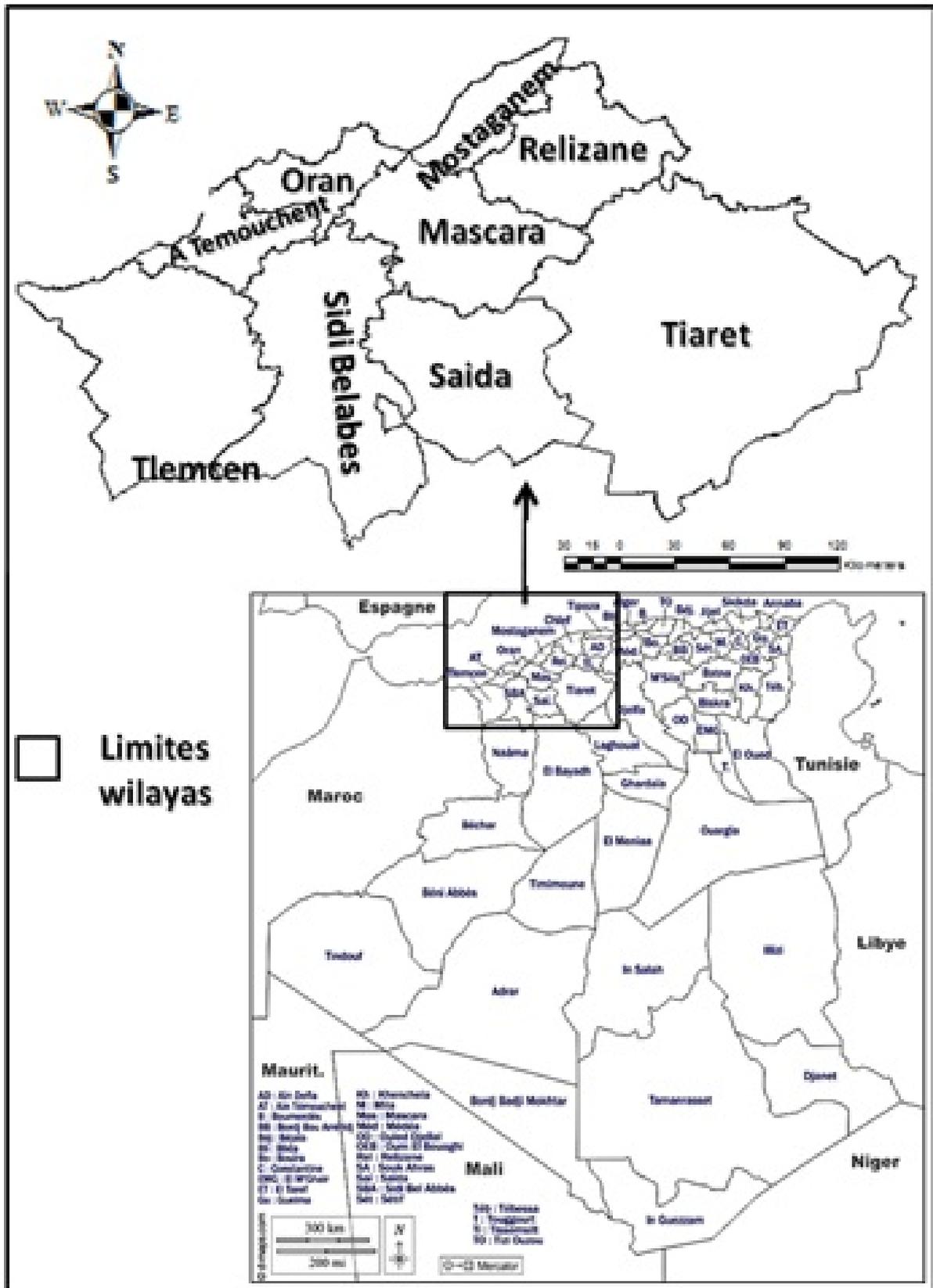


Figure 16 : Localisation de la région d'étude

Elle a une superficie de 27 547 Km² qui englobe les 03 bassins versants suivants (Saci,,2008) :

- 🚧 Côtiers oranais (code ANRH 04) : 5913 Km².
- 🚧 Tafna (code ANRH 16): 7245Km².
- 🚧 Macta (code ANRH 11) : 14389 Km².

Elle s'étend sur 09 wilayas (tableau 05) :

Tableau 05 : Superficies et démographies des wilayas de la région de l'Oranie

Wilaya	Superficies (Km ²)	Superficie forestière (Ha)	Population en 2019
Oran	2 121	39 326	2 118 603
Mostaganem	2 269	32 532	892 165
Mascara	9 541	90 222	955 230
Sidi Bel Abbes	9 096	205 672	713 377
Ain Timouchent	2 379	29 592	432 353
Tlemcen	9 061	225 000	1 101 383
Saida	6 764	112 300	330 641
Relizane	4 870	60 000	959 958
Tiaret	20 051	219 000	1 062 656

Source : Miclat, 2019.

III.1.2 Le relief :

Le relief de la région d'étude se présente comme suit :

III.1.2.1 La zone littorale :

Il surplombe la mer Méditerranée et représente vingt huit pour cent (28%) de la côte du pays, et a un ensemble diversifié de terrain représenté par :

a) Les espaces montagneux :

- **Monts des Traras** : C'est une chaîne montagneuse côtière. S'étendent de la frontière marocaine jusqu'à l'embouchure de la Tafna sur une superficie de 1223Km et d'une altitude moyenne variant de 500 à 1000m, le point culminant est Djebel Fillaoucène (1136m). Ils occupent le Nord de la wilaya de Tlemcen et le Nord-Ouest de la wilaya d'Aïn Témouchent et caractérisée par de fortes pentes et un couvert végétal faible soumis à une érosion intense.
- **Les Monts de Sebaa Chioukh** : C'est une chaîne oligocène marine son altitude moyenne comprise entre 600 et 800m. En raison de son climat semi-aride, ils sont exposés à l'érosion.
- **Les Monts de Téssala** : occupent le Sud d'Oran et une partie d'Aïn Témouchent et Sidi Bel Abbès. D'une altitude moyenne de 800m, culminent au sommet du Djebel Téssala (1061m) à Djebel Bouhaneche. leurs couverture végétale très dégradée et et les conditions climatiques ont contribué à la propagation de l'érosion.
- **Le Djebel Murdjadjo** : est une petite chaîne côtière qui domine la ville d'Oran. D'une altitude moyenne de 500m, Elle culmine dans sa partie occidentale à 589 m.

Sa couverture végétale demeure importante.

- **Le Dahra Ouest** : Présentant une altitude de l'ordre de 500m. il est caractérisé par l'absence d'une couverture végétale.

b) Les espaces des plaines :

- **Les plaines littorales et sublittorales** : Cette zone contient des plaines dites littorales d'El Malah, d'Ain El Turk, d'Oran Est, Habra, Sig, d'Achaacha, Sidi Lakhdar. Ces zones souffrent de nombreux problèmes, dont la salinité et le drainage, en plus des conditions climatiques et du manque de couvert végétal, qui ont conduit à l'érosion.

III.1.2.2 Les montagnes et les bassins intérieurs de l'Atlas Tellien :

Cette région se compose des unités physiques suivantes : Les monts de Tlemcen, les monts des Beni-Chougrane, les monts de Daïa ainsi que les plaines intérieures de Maghnia, Hennaya, Sidi Bel Abbès et de Ghriss et les plaines substeppiques de Sebdou et de Telagh (figure 17).

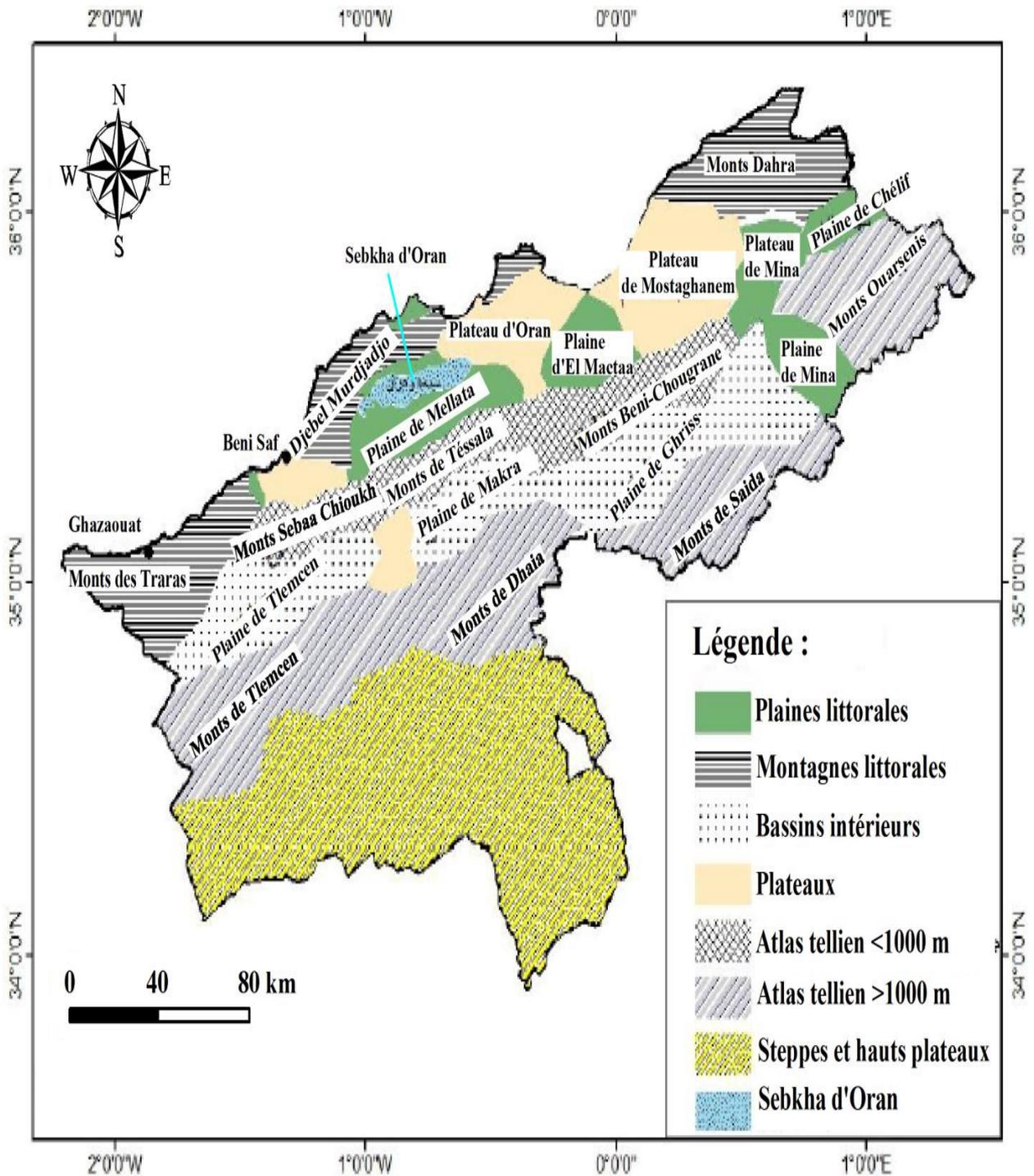


Figure 17 : Carte de la répartition du relief de la région de l'Oranie (Source : ANAU 2000 in Asnoun S., 2019, modifiée).

a) Les espaces montagneux :

- **Les Monts de Tlemcen** : sont une chaîne de l'Atlas tellien, Leur altitude varie de 800 m à 1 400 m et le point culminant est à 1 843 m au Djebel Tenouchfi. D'une

pluviométrie moyenne supérieure à 600mm/an et une couverture végétale importante.

- **Les Monts de Daïa** : font partie de l'Atlas tellien et constituent un relief accidenté. Leur altitude varie entre 1 300 et 1 400 mètres. La pluviométrie diminue et n'est que de 400 mm/an.
- **Les Monts de Saïda** : sont constitués par un relief accidenté et vaste découpé par l'érosion. De nombreuses cours d'eau en proviennent : Oued Tifrit, Oued Sidi Minmoun et Oued Saïda.
- **Les Monts des Béni Chougrane** : se caractérisent par des reliefs accidentés et une forte érosion. Leur altitude moyenne est de 700 m (le point culminant est 957 m dans les environs de la localité d'El Bordj)

b) Les plaines intérieures :

Les ressources agricoles les plus importantes se localisent dans les plaines de Maghnia, Hennaya, Sidi Bel Abbes et Mascara. Ces derniers restent vulnérables à cause de nombreux problèmes, notamment la sécheresse et l'érosion.

c) Les espaces substeppiques :

Se situe au Sud de la région, au Sud des wilayas de Tlemcen et de Sidi Bel Abbés. Ils sont utilisés en agriculture intensive et en céréales sèches, mais leurs rendements sont faibles et souffrent de la désertification.

III.1.2.3 Cadre géologique :

La nature géologique actuelle de la région d'étude est la conséquence des mouvements Hersiniens et Alpin qui ont conduit à la formation de plusieurs domaines qui sont du Nord au Sud:

- ✚ l'atlas tellien qui est une chaîne alpine prenant ça direction de l'Est vers l'Ouest ;
- ✚ le domaine Tlemcenien ou (Meseta) Oranaise qui est une zone de transition entre le domaine tellien est les hautes plaines Oranaise;
- ✚ les hautes plaines Oranaise, limitées au Nord par la Meseta Oranaise et au Sud par l'atlas saharien et se caractérise par une série de failles.

La carte géologique du Nord-Ouest Algérien (figure 18) montre plusieurs formations géologiques d'âge allant du paléozoïque au quaternaire (Ministère de l'hydraulique, Bureau National des Etudes Forestières in Asnoun, 2019).

Les formations du paléozoïque sont très peu nombreuses et peuvent être observées dans la région de l'Oued Lilly située sur la rive de l'Oued Rhiou à 95 km au Sud du barrage de Guerguer.

La région d'Oran est la région où les formations du Jurassique apparaissent avec leurs formes complètes et développées avec une large extension couvrant un grand pourcentage des montagnes de l'atlas tellien d'altitude supérieur à 1000 m.

L'époque du Crétacé a connu une transgression de la mer ce qui a conduit à la création d'importantes dépressions sur le tell actuel formant des bassins dans lesquels des sédiments de grande épaisseur ont été déposés caractérisés par une alternance de calcaire et de marne.

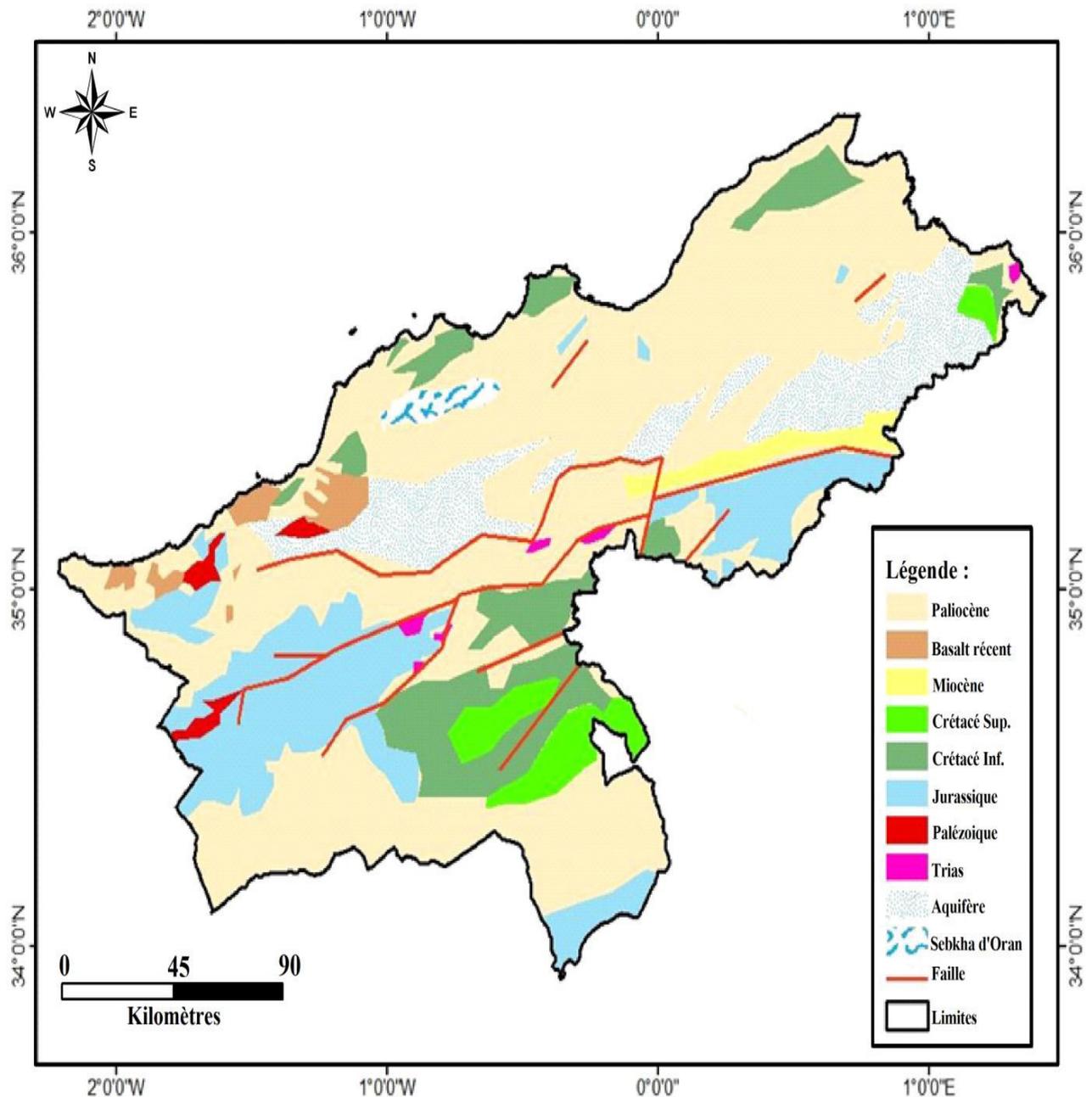


Figure 18 : Carte géologique du Nord-Ouest Algérien (Source : ANAU 2000 in Asnoun S., 2019, modifiée).

Les formations du Tertiaire se limitent à l'ère miocène, qui a connu un mouvement tectonique dans lequel de nombreuses formations sédimentaires ont été déformées, et elles apparaissent sur la carte (Figure 18) étendue sous la forme d'une bande longitudinale de couleur jaunâtre alors que l'époque est caractérisée par des sédiments sur les côtés des cours d'eau, représentés par les formations du pliocène (pliocène), les formations de cet âge sont des couches de marnes et de grès dont l'épaisseur dépasse les 50 m rarement. Selon la carte géologique (figure 18) elles représentent la plus grande partie du territoire de la région.

III.1.3 Aperçu pédologique :

Les sols d'Afrique du nord sont divisés en deux principaux types : les sols rouges fersiallitiques méditerranéens ou « terra rossa » et les sols carbonatées à croûte. Notre région d'étude comprend plusieurs types de sol à savoir :

- 🌍 Sols alluvionnaires : bordure occidentale du plateau de Mostaganem.
- 🌍 Sols dunaires : localement sur la bande littorale, ils sont importants dans la forêt littorale (50% de superficie).
- 🌍 Sols calcaires : présents pratiquement dans l'ensemble de la région.
- 🌍 Les sols rouges : Le trait le plus caractéristique des sols méditerranéen est la fertilisation en relation avec la décarbonatation, ce qui correspond à un ensemble de processus d'altération et de migration de composés en Fer dans le sol d'où la coloration rouge caractéristique : « sols rouges méditerranéens ».

Les sols carbonatés à croûte dominent la région méditerranéenne. Leur genèse est également controversée, étant donné leur localisation. Ils hébergent des chênaies vertes, des junipérais pré-steppiques ou des forêts de pin d'Alep.

Les Sols de notre région d'étude sont majoritairement salins, si on exclu les plaines et les montagnes (grès, schistes, calcaire, argile). Le nord de notre région d'étude est constitué par le marais de la Macta à l'est, des dépressions salines telles que la sebkha d'Oran à l'ouest et celle d'Arzew à l'est. Au nord-est, le sahel d'Arzew, fait face à la mer par des reliefs calcaires ou schisteux. Sur le versant sud-est, le sahel d'Arzew donne naissance aux régions fertiles de Gdyl. Il existe des sols de couleur blanche, grise, beige et brune riche en Fer mais aussi en Calcaire. Ce type de sol couvre les hautes plaines internes de notre région d'étude, situées après la première ceinture de montagnes, ce sont les hautes plaines de Sidi Bel Abbes, de Mascara et de Télagh.

Les monts de Tessala sont constitués d'affleurements calcaires gréseux devenant argileux en profondeur. Les monts des Béni-Chougrane sont à 90 % marneux et d'un faible pourcentage de grès.

III.1.4 Etude climatique :

Le climat est l'élément déterminant de l'environnement, les facteurs qui le composent sont le résultat du comportement du milieu ambiant, c'est-à-dire de l'enveloppe gazeuse, entourant la terre du point de vue humidité, pluies, température, éclairage vent et orage. Pendant l'été, saison chaude et sèche, la végétation sous l'action conjuguée de deux éléments ; la chaleur et le dessèchement, devient inflammable donc combustible.

Le climat de l'Algérie, de type méditerranéen, a deux saisons bien distinctes : saison hivernale, pluvieuse et saison estivale, sèche (Nacer, 1991).

III.1.4.1 Le choix des stations météorologiques :

La première difficulté pour l'étude du climat d'une région donnée est l'existence ou non de stations météorologiques de façon à bien couvrir la région ; la deuxième est la récolte des données nécessaires et la vérification de leur fiabilité. Notre étude s'appuie sur les données climatiques de neuf stations : Oran, Aïn Témouchent, Mascara, Mostaganem, Relizane, Saïda, Sidi Bel Abbès, Tlemcen, Tiaret (Tableau 06). Les stations ont été choisies avec le souci de couvrir toute l'aire étudiée.

Tableau 06: Les stations météorologiques choisies

Station	Wilaya	Code	Latitude	Longitude	Altitude
Zenata	Tlemcen	605300	34.86	-1.33	247
Tiaret	Tiaret	605110	35.35	1.43	1127
Sidi-Belabbes	Sidi-Belabbes	605200	35.2	-2.61	476
Saïda	Saïda	605360	34.86	0.15	752
Relizane	Relizane	604920	35.73	0.55	75
Es Senia	Oran	604900	35.63	-0.6	90
Mostaganem	Mostaganem	604570	35.88	0.11	138

Ghriss	Mascara	604593	35.2	0.13	527
Beni Saf	Ain Temouchent	605180	35.3	-1.35	70

III.1.4.2 les étages bioclimatiques

Le climat de la région étudiée est caractérisé par une continentalité plus marquée compte tenu de la latitude et de la disposition Est-Ouest des reliefs qui limitent le passage vers l'intérieur du pays des perturbations d'origine océaniques (Atlantiques) et Méditerranéennes porteuses de pluie.

La carte des étages bioclimatiques (figure 19) qui synthétisent les conditions offertes au couvert végétal, souligne encore davantage la portion congrue qui revient au domaine humide et sub-humide, alors que le domaine aride et semi-aride concerne la quasi-totalité de l'Oranie.

Le climat de l'Ouest de l'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par deux saisons bien distinctes, celle des pluies et celle de la sécheresse. L'influence du nord - ouest apporte des courants froids et humides, et celle du sud est beaucoup plus liée à des courants chauds et secs (figure 19).

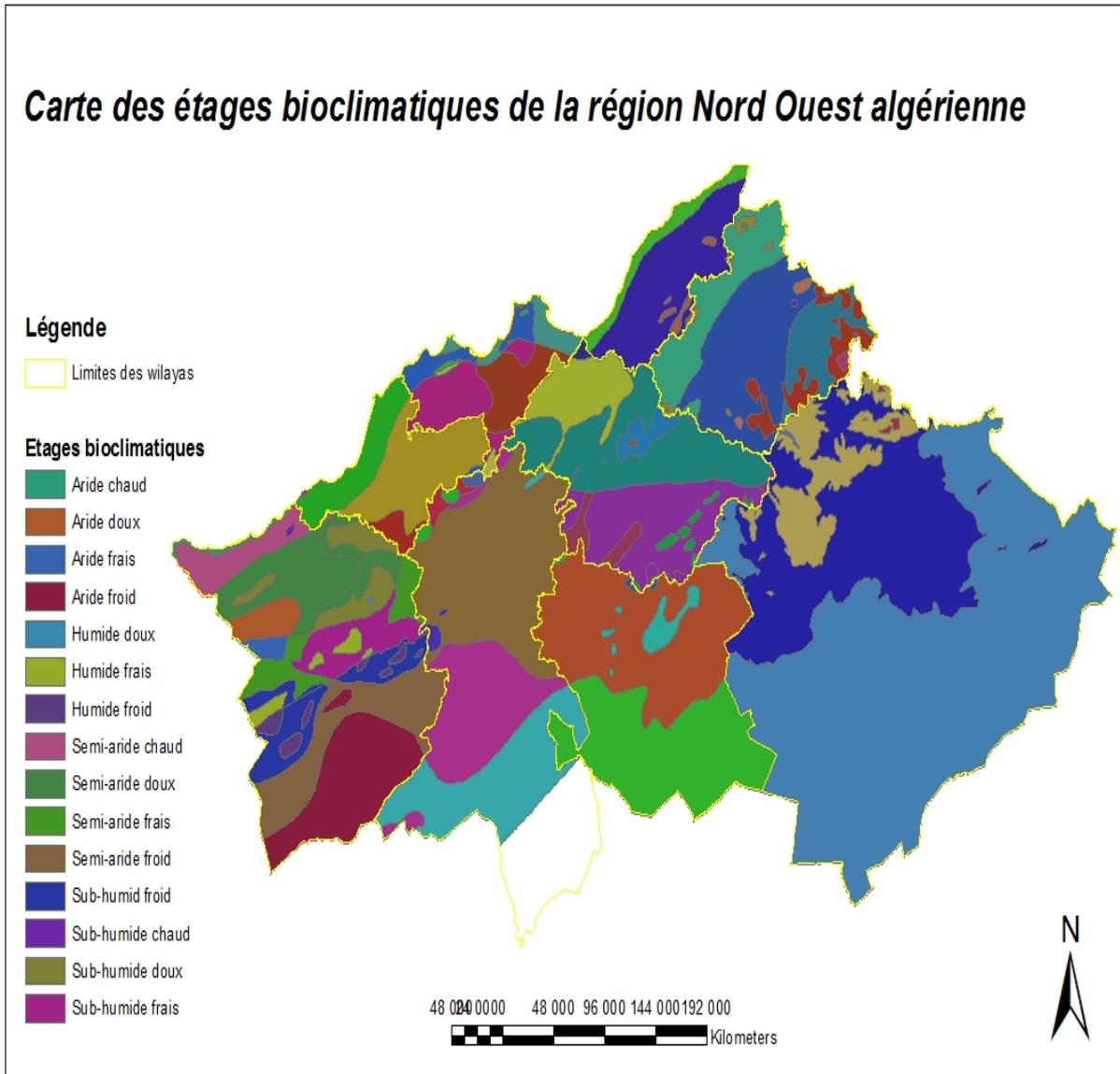


Figure 19 : Carte des étages bioclimatiques de la région Nord Ouest Algérienne

III.1.4.3 Précipitations annuelles

La région Ouest Algérienne est la partie la moins arrosée de l'Algérie maritime à cause de :

- ✚ la latitude de la côte oranaise qui se situe à la même latitude que les hautes plaines.
- ✚ vents frais chargés de l'humidité de l'atlantique qui sont arrêtés où bien déviés vers l'Est par la Sierra Nevada en Espagne et par le Rif marocaine.

Les données météorologiques de quelques villes côtières montrent qu'il y a une diminution des précipitations d'Est en Ouest, de même pour quelques villes du Tell. Nous remarquons qu'il y a une diminution progressive de 300 mm d'une ville à une autre. Ce

qui montre que l'ouest est moins arrosé que l'est. Cela va à l'encontre de la stabilité des sables dans la région.

C'est la somme des précipitations enregistrées sur une région pendant une durée d'une Année. La figure 20 montre une irrégularité nette des pluies où l'année 2023 est la moins pluvieuse avec 171.60 mm et l'année 2014 est la plus pluvieuse avec 800.30 mm.

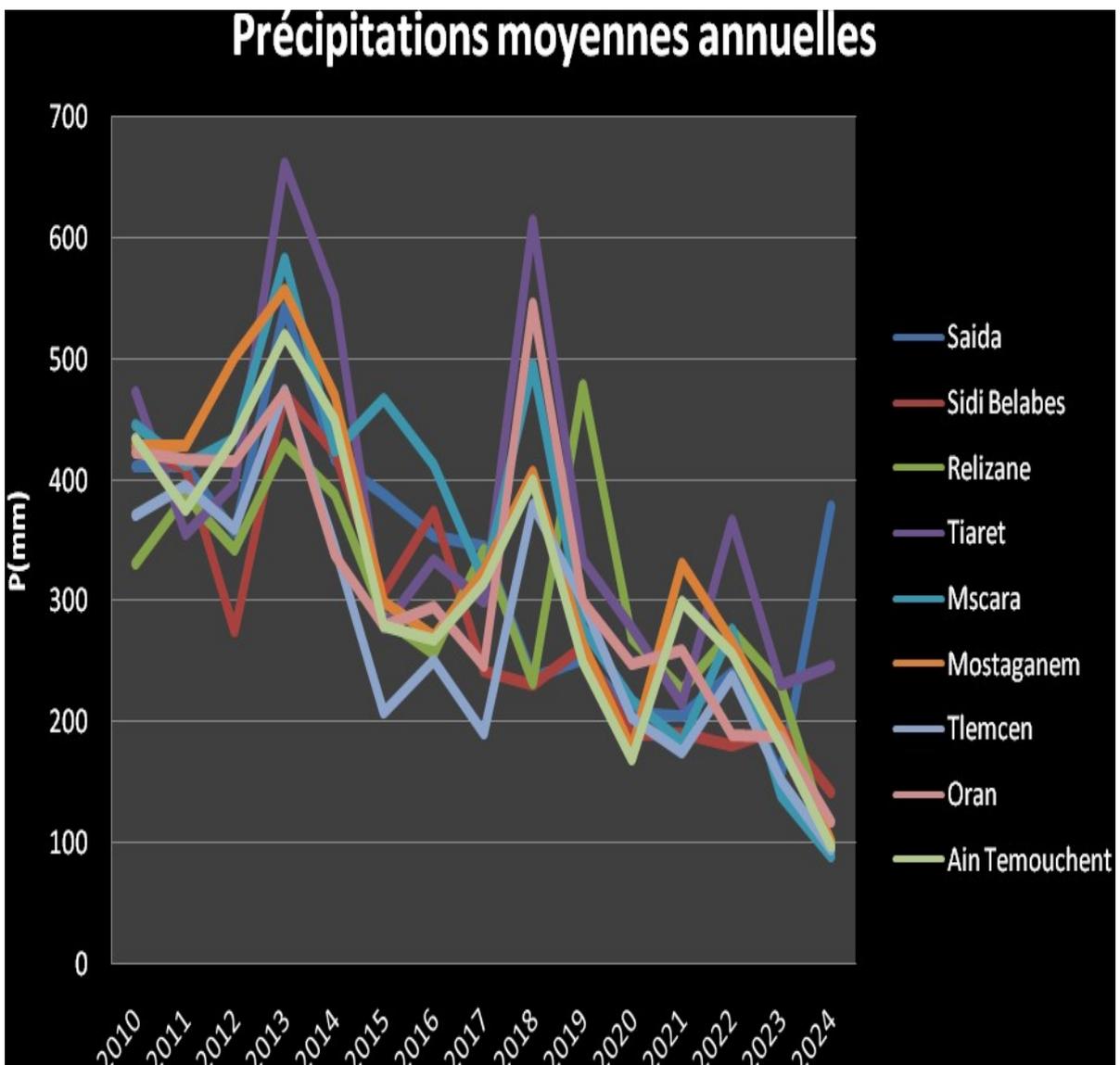


Figure 20: Précipitations moyennes annuelles de la région d'étude (2010-2024)

III.1.4.4 Les températures :

La température est un facteur écologique fondamental et un élément vital pour la végétation elle représente un facteur limitant de toute première importance, elle contrôle

l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés des êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 2003).

La figure 21 montre stabilité dans les températures annuelle mais reste que l'année 2010 est l'année la plus chaude avec une température moyenne annuelle de 23.40 °C alors que l'année 2014 est la moins chaude avec une température moyenne annuelle de 17.30 °C. Pour la periode de notre étude la température moyenne annuelle ne descend guère au-dessous de 17°C ce qui explique l'aridité de la région.

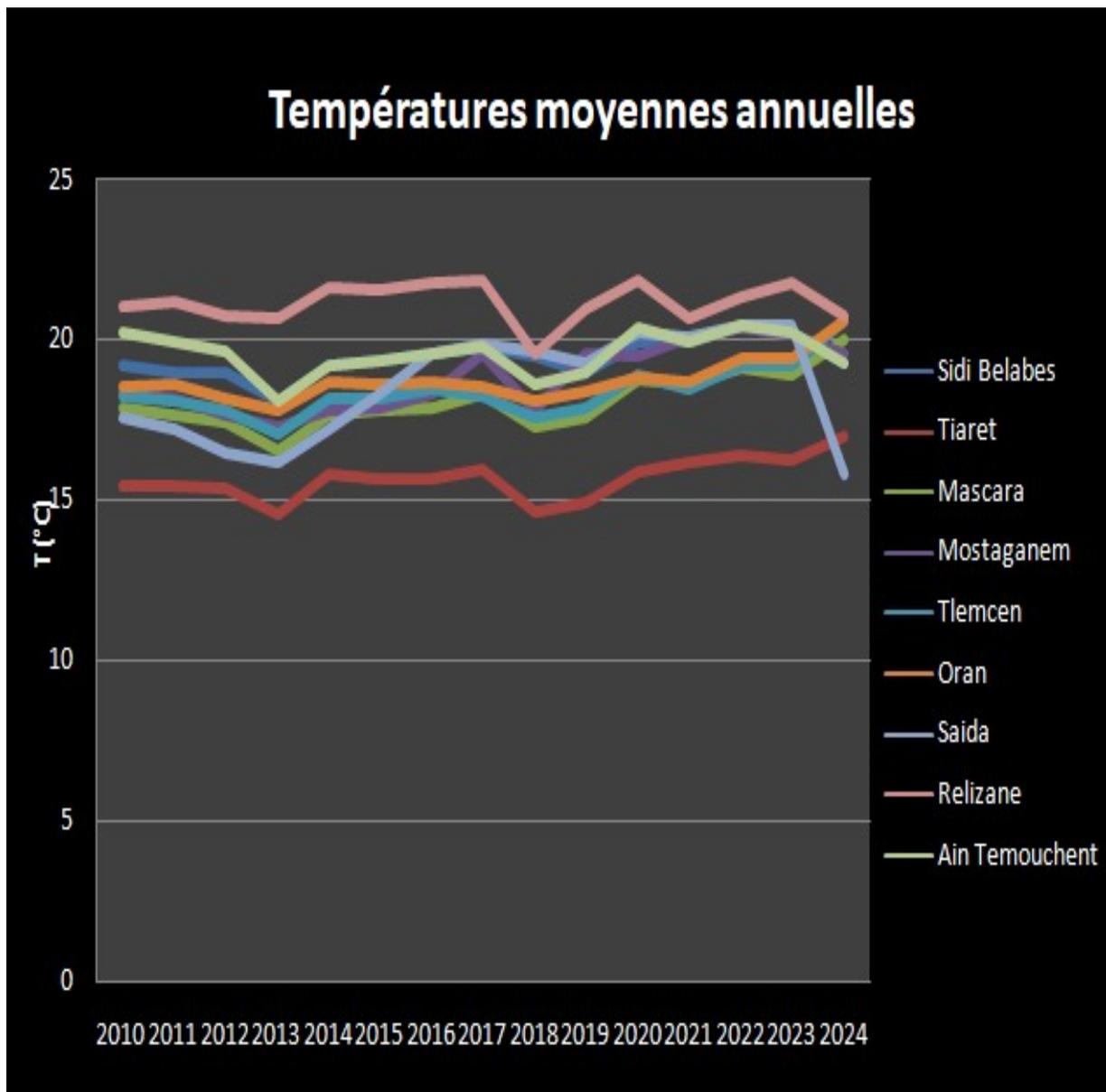


Figure 21: Températures moyennes annuelles de la région d'étude (2010-2024)

III.1.4.5 Synthèse bioclimatique:

La sécheresse estivale est sans aucun doute la plus forte. Elle motivé de nombreux chercheurs De Martonne (1926) ; Emberger (1930) ; Gaussen (1963) qui ont proposé différents indices exprimés sous forme d'équation, permettant d'identifier le climat par des formules mathématiques. Pour mettre en évidence la signification des moyennes des données climatiques nous avons utilisé des indices climatiques afin de déterminer le type de climat de la zone ainsi que la distribution de la végétation.

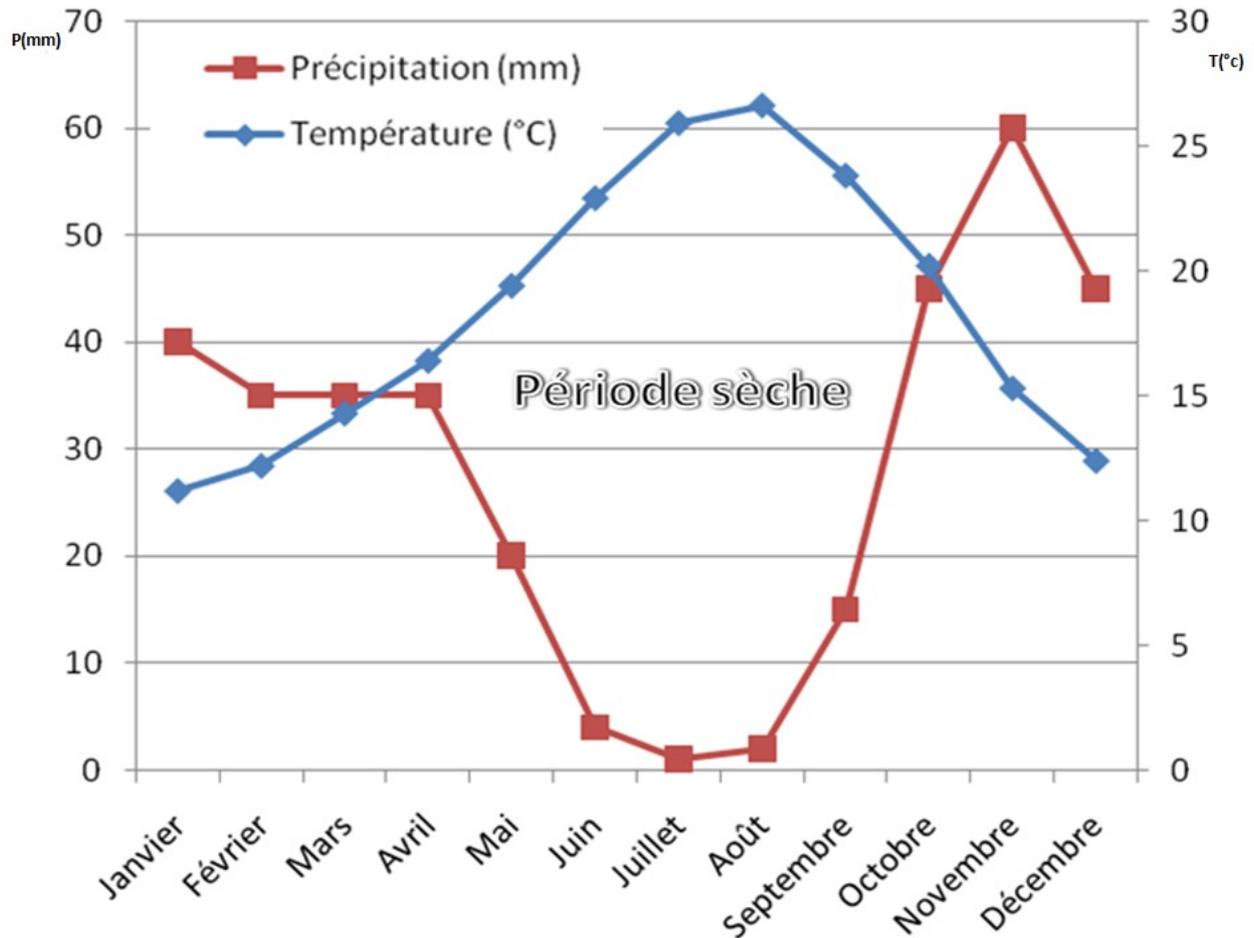


Figure 22: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gussen de la région d'étude pendant la période (2010-2024)

La figure 22 montre que la période sèche de la région étudiée s'étend sur 06 mois du mois d'avril jusqu'au mois de septembre.

III.1.4.6 Le vent :

Le vent est un élément du climat caractérisé par une vitesse et une direction donnée étroitement liée aux reliefs. La vitesse des vents représente évidemment, le principal

facteur de l'érosion éolienne puisque c'est d'elle que dépend la force avec laquelle les particules sont entraînées.

Selon la figure 23 les vents vent à des différentes intensités pendant tout l'année avec une vitesse maximale de 2.48 à 2.60 m/s en (Février, Mars, Mai), et vitesse minimale de 1.81 a 1.76 m/s en (Octobre, Décembre).

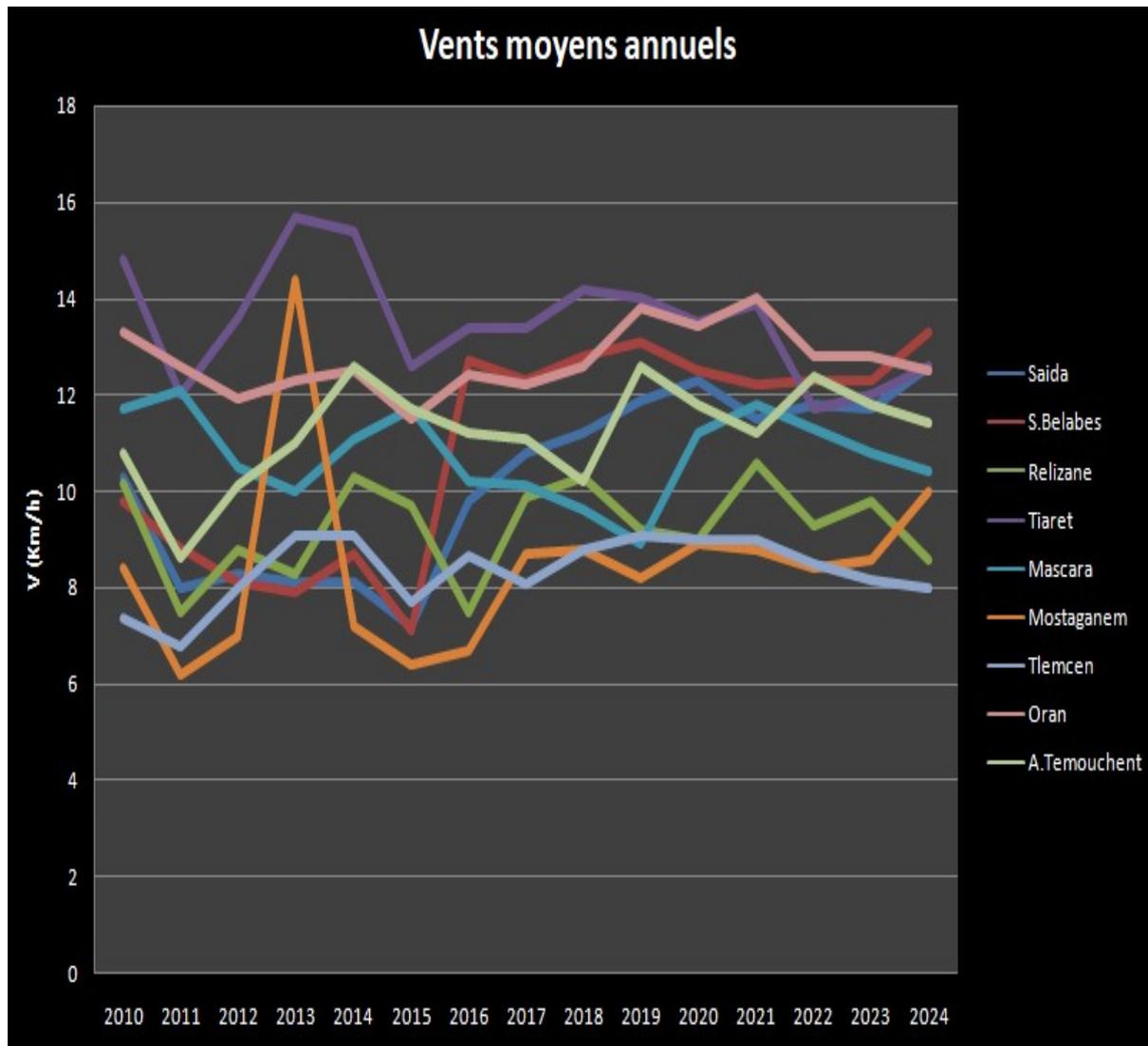


Figure 23: La moyenne annuelle du vent de la région d'étude (2010-2024)

III.1.5 La végétation :

Les couverts végétaux régulent les échanges d'énergie et de matière à l'interface sol-végétation-atmosphère. Ils puisent l'eau et les éléments minéraux nécessaires à leur développement et leur croissance dans le sol et produisent l'oxygène, via le processus de photosynthèse, indispensable à la vie sur terre.

La plupart des groupements végétaux ne sont pas stables : situation évolutive dans les formations végétales. Ce qui apparaît comme une situation stable ne révèle en fait qu'une

étude sur un laps de temps court. La prise en compte soit de l'évolution naturelle au cours des temps soit de l'évolution liée à l'anthropisme est l'étude du dynamisme de la végétation. Dans une région donnée, sur un sol donné, dans des conditions d'exposition déterminées, tous les groupements végétaux quels qu'ils soient évoluent finalement vers un état d'équilibre qui est le climax correspondant à l'ensemble des conditions édaphiques et climatiques

III.1.5.1 Les Séries de Végétation de la Région :

Les principales séries de végétation de la région s'étendent depuis le niveau de la mer jusqu'à 700 voir 1000 m d'altitude. Divers ensembles sont définis selon leurs exigences écologiques.

Dans la région les séries de végétation sont (figure 24):

- ✚ La série du genévrier de Phénicie,
- ✚ La série du chêne liège,
- ✚ La série du thuya de Berbérie,
- ✚ La série du chêne vert,
- ✚ La série de l'oléo lentisque,
- ✚ La série du Pin d'Alep,
- ✚ La série halophile.

a) La série du Genévrier de Phénicie : *Juniperus turbinata*

Au Maghreb, *Juniperus turbinata* est représenté par des individus à port arborescent, à peu près exclusivement liés aux bioclimats aride et semi-aride. En Algérie cette essence couvre 217 000 ha ce qui représente 9% de la surface boisée de l'Algérie septentrionale. Les formations que constitue le Pin d'Alep peuvent être rapportées aux Ephedromajoris-Juniperionturbinatae (Quézel, 1981).

En reboisement on utilise souvent le Pin d'Alep à titre d'associé et les résultats sont des plus satisfaisants. En fait cette série est utilisée comme terrain de parcours, mais cela provoque la dégradation.

b) La série du Chêne Liège : *Quercus suber*

Quercus suber est une espèce typiquement méditerranéenne, endémique de la Méditerranée occidentale (Zeraïa, 1981). En Algérie, la subéraie est localisée entre le littoral et une ligne passant approximativement par Tizi-Ouzou, Kherrata, Guelma et Souk Ahras (à l'est), couvrant 463 000 ha c'est-à-dire 20,5 % de la surface. Ce sont des formations largement répandues dans le thermo-méditerranéen exploitées par l'homme et ses troupeaux. Le chêne liège peut pénétrer le semi aride à la faveur de compensations

hydriques tel est le cas à la forêt de M'silla près d'Oran, de Tlemcen, de Mascara et de Tiaret.

c) La Série de l'Oléo-lentisque : (*Olea europea* et *Pistacialentiscus*)

Pistacia lentiscus est une espèce appartenant à la famille des Anacardiaceae. C'est un arbrisseau très commun dans le bassin méditerranéen (Baudière et al., 2002). *Olea europea* est une espèce appartenant à la famille des Oléacées, c'est un arbre très apprécié par la population méditerranéenne pour ces fruits et son huile. La série de l'oléo-Lentisque (si elle existe) est xérophile et thermophile. Elle n'évite que les sols salés et est à peu près la seule qui puisse vivre sur des sols très argileux.

En terrain plat, la série doit céder la place aux cultures, en terrain décliné, on doit la respecter et l'exploiter en taillis. La transformation en olivettes par la greffe donnerait de bons résultats ainsi que la plantation de caroubiers. Sur les pentes dénudées par l'érosion, la restauration des sols donnerait probablement des résultats satisfaisants exemple : pente septentrionale des Tessalas aux marnes abondantes.

d) La série du Thuya de Berbérie : (*Tetraclinis articulata*)

Tetraclinis articulata est une plante quasiment endémique de l'Afrique du nord et se rencontre notamment en situation littorale à l'ouest d'Alger et dans quelques gorges du tell littoral. Assez largement présent en Oranie littorale le thuya est une essence indifférente aux substrats mais tributaire des influences marines, présente dans toutes les formations végétales (Hadjadj, 1991, 1995).

L'optimum bioclimatique du thuya est le semi-aride, mais il s'observe également dans le subhumide inférieur sinon dans l'aride supérieur.

La série du Thuya correspond à des sols secs plus ou moins rocailleux, surtout calcaire, parfois siliceux et à climat nettement sec et chaud, doux en hiver.

La série du Thuya est très répandue en Afrique du nord, surtout dans la partie sèche à hiver peu rigoureux. Malgré ses qualités le thuya ne domine que la strate buissonnante et une partie de la strate arbustive.

La strate arborescente est dominée par le pin d'Alep largement favorisé par les reboisements.

e) La série du Chêne Vert : (*Quercus rotundifolia*)

Elle est considérée comme l'une des essences majeures de la région méditerranéenne et occupe une très grande partie de la surface forestière algérienne 354 000 ha ce qui représente 15,7 %. On la retrouve partout, aussi bien sur l'Atlas saharien que l'Atlas Tellien où elle forme de belles forêts, notamment en Kabylie et sur les monts de Tlemcen

(Haichour, 2009). Les travaux de Dahmani (1997) sur les peuplements de chêne vert en Algérie, ont permis de définir sur le plan syntaxonomique diverses structures organisés par le chêne vert au sein des classes des *Querceteapubescentis*, des *Querceteailicis*, des *Rosmarineteaofficinalis*, des *Tuberarieteaguttatae* et des *Stellarieteamediae*.

f) La série du Pin d'Alep : (*Pinus halepensis*)

Pinus halepensis est considérée actuellement comme l'une des essences les plus répandues du pourtour méditerranéen. En Algérie, le pin d'Alep avec ses 800 000 ha de couverture occupe bien la première place de la surface boisée du pays (Bentouati, 2006).

La régénération naturelle est quasiment absente dans les formations initiales denses, elle n'explose qu'après le passage de l'incendie, éliminant l'abondante litière et ouvrant les peuplements permettant ainsi l'apparition des jeunes semis qui s'associent souvent au genévrier, au lentisque, romarin, ciste et au thuya qui profite des conditions favorables (ombrage des arbres épargnés par le feu, cendre...) pour se mélanger au pin d'Alep. Les feux très fréquents dans la région, spécialement dans ce type de formations tendent à éliminer le pin d'Alep et favoriser le thuya qui arrive à résister aux incendies et agressions grâce à sa faculté de rejeté de souche.

i) La série Halophile :

Il s'agit de groupement d'halophytes annuelles et vivaces, qui exploitent en conditions semi-aride et aride, les concentrations édaphiques accessibles d'eau relativement salées (Aimé, 1991). Cette série occupe les cuvettes argileuses riches en sels minéraux (Chlorure et Sulfate de Sodium, Chlorure et Sulfate de Magnésium).

La steppe à Salicorne et Suaeda, elle représente la végétation de la plus grande partie des terres salées. Suivant les endroits, elle se présente en formation serrée ou en touffes clairsemées légèrement exhaussées. Dans de nombreux points de l'Afrique du Nord, la végétation est sous la dépendance à peu près exclusive de la richesse du sol en sels et plus particulièrement en Chlorures. Plus ou moins humides en hiver, ces endroits sont secs en été, constituant souvent des dépressions fermées, on y note en fonction de la consistance physique du sol et de son degré de salure, une zonation très nette allant de la présence des pionniers (Salicornes) à celle des plantes de terres normales.

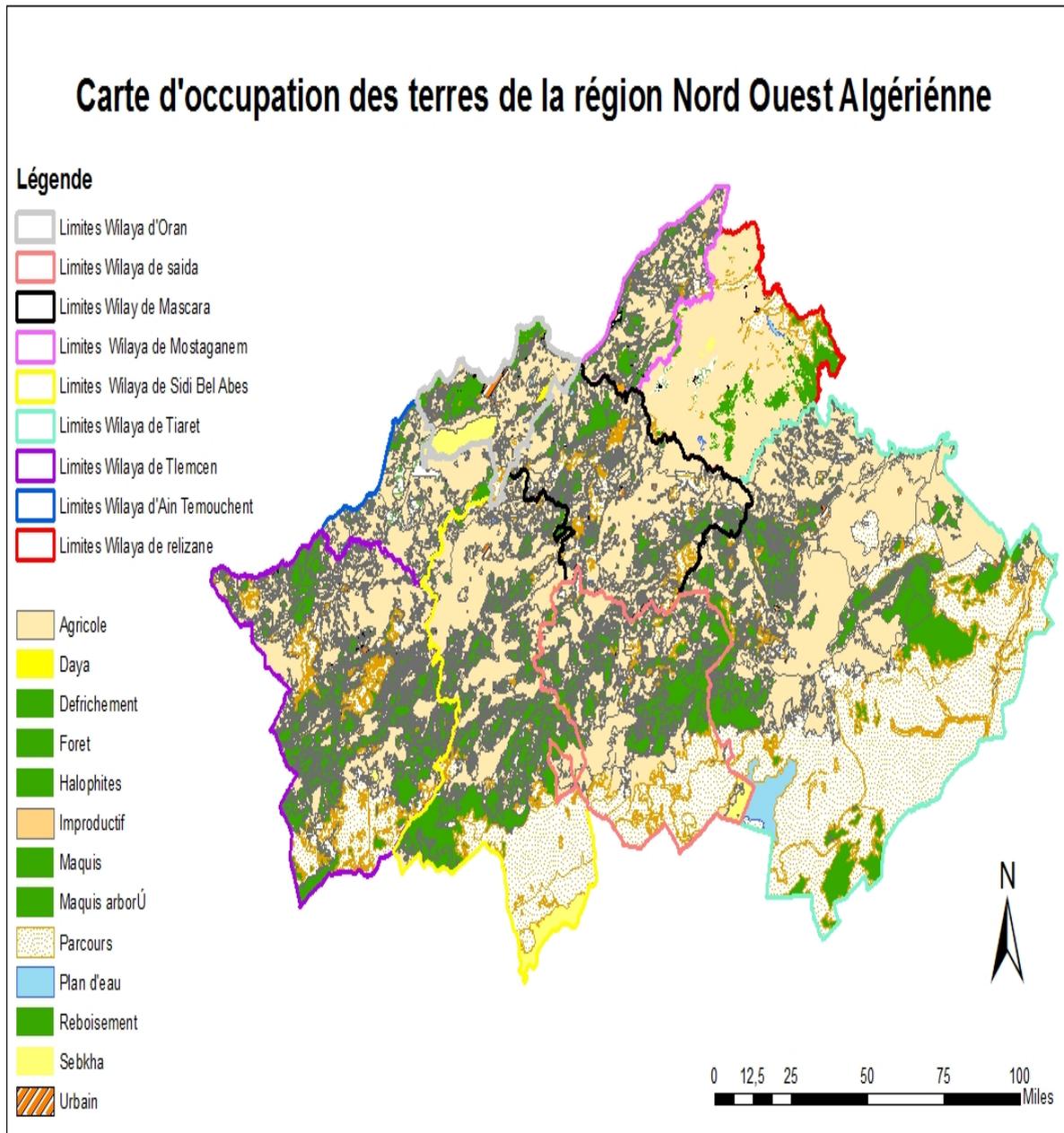


Figure 24: Carte d'occupation des terres de la région Nord Ouest Algérienne

III.2 Cartographie du risque d'incendie de forêt

III.2.1 Indice de Risque Fréquentiel (IRF)

Dans le système actuel de détermination du danger, le risque d'incendie est défini comme « la fréquence la plus probable d'incendies sur un territoire donné, lors d'une année » période habituelle employée en statistique. Elle est déterminée en fonction des nombres d'incendies répertoriés durant une période d'observation donnée (Velez, 1999).

L'Indice de Risque Fréquentiel d'incendie « **IRF** » sera donc :

$$IRF = Fi / SCM$$

Avec :

SCM : Surface totale du massif forestier (ha) ;

Fi : Fréquence annuelle des incendies.

$$Fi = ni / NA$$

Avec :

ni : Nombre d'incendies par an ;

NA : Nombre d'années de la période d'observation.

Pour évaluer l'IRF, nous utilisons les 06 classes de fréquence (tableau 07) proposées par **Velez (1999)** et modifiées par **Meddour-Sahar (2008)**.

Tableau 07 : Classes de l'Indice du Risque Fréquentiel

Degré de risque	IRF %
Très faible	< 1
Faible	1 – 2
Moyen	2 - 5
Élevé	5 - 10
Très élevé	10 - 20
Extrêmement élevé	> 20

(Source : **Velez, 1999**, échelle modifiée **Meddour-Sahar, 2008**)

Par ailleurs, pour mesurer la gravité des incendies en région méditerranéenne, il est plus exact de ramener la fréquence moyenne annuelle des feux à la surface forestière totale, plus exactement à 10 000 ha de terrain boisé (Angelidis, 1994 ; Velez, 1999 ; Dimitrakopoulos et Mitsopoulos, 2006). Ce qui semble nettement plus correct que de se baser uniquement sur le nombre annuel des incendies, en occultant la surface boisée, la comparaison entre les différentes régions devient plus objective.

A ce propos, Chevrou (1995) souligne que les comparaisons des nombres de feux et des surfaces brûlées entre régions ou pays doivent être réalisées sur des bases similaires, notamment en se rapportant toujours à une même unité de références par exemple :

- Nombre de feux et surface brûlée pour 1 000 ha de territoire ;
- Nombre de feux et surface brûlée pour 1 000 ha de forêts ;

🚒 Nombre de feux et surface brûlée pour 1 000 habitants ;

🚒 Nombre de feux et surface brûlée pour 1 000 unités de bétail.

III.2.2 Risque Moyen Annuel ou Degré de Gravité

Les impacts écologiques des incendies sont particulièrement importants, si ceux-ci sont récurrents et sur les mêmes lieux, à peu d'années d'intervalle. Ils entraînent un appauvrissement progressif et inéluctable des écosystèmes qui n'ont plus le temps de récupérer entre deux passages successifs du feu. Cette récurrence du feu est appréciée indirectement par le Risque Moyen Annuel « RMA », à l'échelle d'une parcelle boisée, d'une forêt ou même de la surface boisée d'une région administrative (commune, daïra, wilaya).

Pour mesurer le degré de gravité des incendies (ou « fire severity index » des anglophones) en région méditerranéenne, il est d'usage d'utiliser ce risque moyen annuel, exprimé en pourcentage de la surface boisée brûlée en moyenne chaque année par rapport à la superficie forestière totale du massif considéré (De Montgolfier, 1989)

Ce risque est donc défini comme étant la probabilité pour qu'une parcelle boisée soit incendiée en cours d'année, exprimée en pourcent par la formule suivante :

$$\text{RMA} = \text{SMA} \times 100 / \text{SCM}$$

Avec :

SMA : Surface moyenne incendiée par an (ha) ;

SCM : Surface totale du massif forestier (ha).

Pour évaluer le RMA, nous utilisons les 07 classes (tableau 08) proposées par Montgolfier, 1989.

Tableau 08 : Classes du Risque Moyen Annuel

Degré de risque	RMA %
Extrêmement faible	< 0.25
Très faible	0,25 - 0,5
Faible	0,5 – 1
Moyen	1 - 2
Élevé	2 - 4

Très élevé	4 - 8
Exceptionnellement élevé	>8

(Source : De Montgolfier, 1989).

Par exemple un RMA de 1 % implique qu'une parcelle boisée brûlera en moyenne une fois tous les 100 ans et dans un massif boisé de 100 000 ha, on peut prévoir qu'en moyenne 1 000 ha, brûleront chaque année. Par conséquent le délai moyen entre deux passages répétés du feu sur la même parcelle est dans ce cas de 100 ans (**De Montgolfier, 1989**).

III.2.3 Surface Moyenne par Incendie (SMI)

C'est le rapport entre la surface incendiée et le nombre de feu, il indique l'efficacité de la lutte.

$$SMI = SI / N \text{ feu}$$

Avec :

SI : surface incendiée

N feu : nombre de feu

S'il dépasse la moyenne il indique apparemment une intervention lente et une mauvaise prise en charge ou le manque du matériel pour maîtriser la lutte.

Et s'il est faible de la moyenne, il traduit une meilleure réactivité à éteindre les feux et une meilleure dotation en matériel de lutte contre les incendies de forêt.

III.2.4 Résultats et discussion :

III.2.4.1 Indice de risque fréquentiel pour la région d'étude

Pour l'indice de risque fréquentiel pour notre région d'étude quatre (04) classes ont été identifiées (figure 25) indice très faible, faible, moyen et élevé.

Les wilayas de Mascara et Oran représente un indice élevé avec respectivement une moyenne de 316/10 ha/an et 493.68 ha/an sur les 15 années de notre étude période 2010 à 2024. La wilaya de Tiaret indice de risque très faible avec une moyenne de 254.46 ha/an sur les 15 années de notre étude période 2010 à 2024. Pour les autres wilayas l'indice de risque est entre faible et moyen

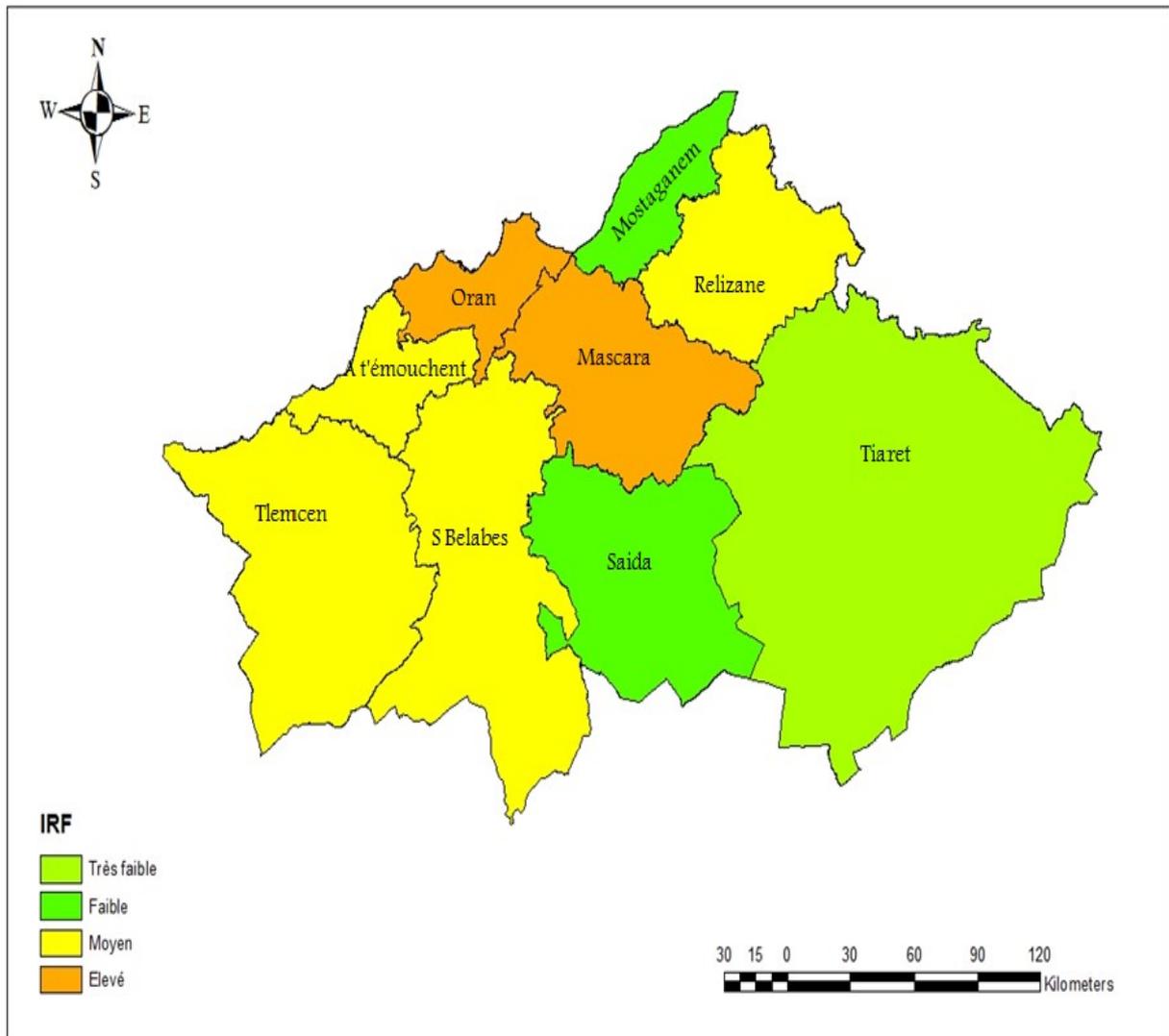


Figure 25: Indice de risque fréquentiel pour la région d'étude (2010-2024)

III.2.4.2 Le degré de danger dans notre région d'étude

Pour le degré de danger dans notre région d'étude quatre (04) classes ont été identifiées (figure 26) extrêmement faible, très faible, faible, et moyen.

Les wilayas de Mascara et Sidi Belabes représente degrés moyen avec respectivement une moyenne de 316/10 ha/an et 493.68 ha/an sur les 15 années de notre étude période 2010 à 2024. La wilaya de Tiaret indice de risque très faible avec une moyenne de

254.46 ha/an sur les 15 années de notre étude période 2010 à 2024. Pour les autres wilayas l'indice de risque est entre faible et moyen

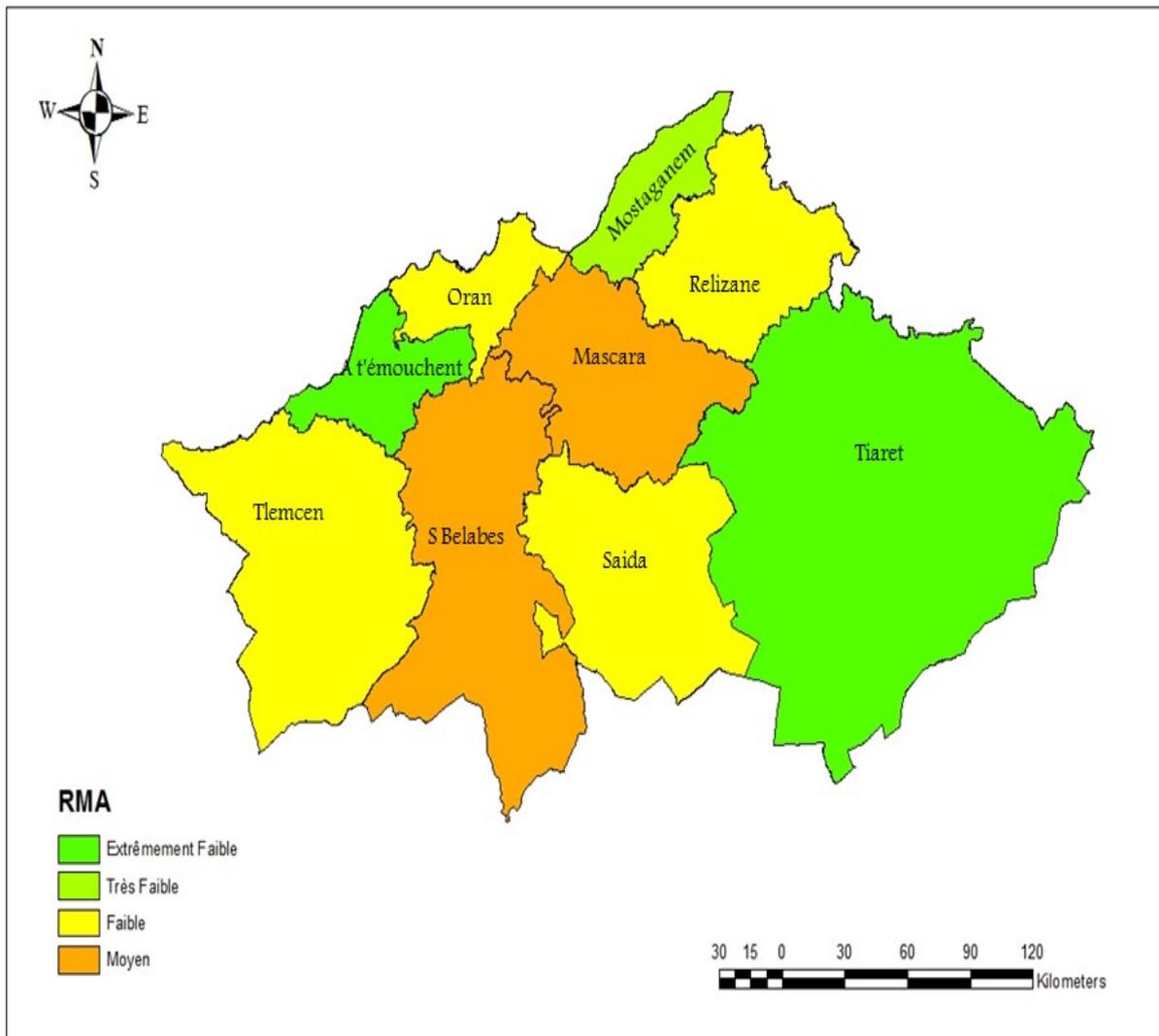


Figure 26: Le degré de danger dans notre région d'étude (2010-2024).

III.2.4.3 Discussion générale

Sur les 15 années analysées, nous avons examiné les données sur les feux de forêts, pour les 09 wilayas de la région Nord Ouest Algérienne. C'est la wilaya de Sidi Belabes qui a le bilan le plus lourd avec une superficie brûlée de 77 800 ha pour 1 151 foyers équivalent de 5 187 ha/ année. En deuxième position vient la wilaya de Tlemcen avec une superficie brûlée de 17 239 ha pour 555 foyers équivalent de 1 149 ha/ année.

En terme de superficie forestière la wilaya de Tiaret vient en deuxième position après Tlemcen et suivi de Sidi Belabes, pourtant la superficie incendiée pendant la même période est de 3 817 ha pour 237 foyers équivalent de 254 ha/ année.

Nous soulignons l'importance de la connaissance des zones sensibles pour décider le déploiement tactique des moyens humains et matériels, qui doivent se faire en tenant compte, en même temps, du danger (évalué par Indice de risque fréquentiel et Le degré de danger).

Pour terminer, la prévision du risque spatial ou temporel doit constituer un élément crucial dans la

Chapitre IV :

**Modélisation du risque des
feux de forêts (exemple de la
wilaya de Mascara)**

Chapitre IV : Modélisation du risque d'incendie de forêt (exemple de la wilaya de Mascara)

La géomatique est un outil très complémentaire à ces approches matériaux conventionnels pour la prévention et la gestion des catastrophes. En effet, Le SIG est un outil puissant de collecte, de gestion et d'analyse des collections Beaucoup d'informations liées à un territoire ou à un phénomène (Maktite et Faleh, 2017).

Notre travail vise à construire des cartes de risque d'incendie de forêt de la région de Mascara, la création de cette carte nécessite l'application du modèle établi par Dagorne et al (1993), et testé sur des parcelles forestières la région méditerranéenne.

Pour appliquer et valider ce modèle ont été utilisés le logiciel SIG d'ESRI (Environmental System Research Institute) Arc Gis version 10.8 qui est développé pour faciliter la gestion et l'analyse des données spatiales afin de répondre à une problématique donnée.

La réalisation de ce modèle nécessite un ensemble d'informations : morpho -métriques (pente, exposition et topo morphologie) Issues d'un DEM (DIGITAL ELEVATION MODEL) et les données se sont téléchargeables gratuitement sur USGS et des informations sur l'occupation des sols et les activités humains (agglomérations) issues d'une classification du machine learning Sentinel 2 de ESRI. Et le Biovolume et l'NDVI Les données utilisées se sont des images Sat Sentinel 2 sont téléchargeables gratuitement sur le site USGS (United States Geological Survey) géré par la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Et les données des oueds et les routes se sont apporté des autres directions de la wilaya de Mascara. Les données des forêts et les formations forestières et les notes de combustibilité se sont apporté à partir la conservation des forêts de la wilaya de Mascara et le tableau de C.E.M.A.G.R.E.F.

IV.1 Intérêt de la cartographie des feux de forêts :

La cartographie des zones incendiées est un maillon essentiel dans la gestion de la situation post-feu. Elle fournit des renseignements précieux pour tous les acteurs responsables de la gestion de ces territoires (Ministère de l'Agriculture, Conservation des forêts, Direction générale des Forêts (DGF), Bureaux d'études etc.). Son importance réside, d'abord, dans l'inventaire des dégâts afin d'évaluer les pertes écologiques et économiques, cette inventaire permet l'estimation et l'allocation des ressources (matérielles, humaines et financières) nécessaires à la mise en place d'un programme de restauration et de réhabilitation des zones touchées par les feux (Ezzine et al., 2005). Des opérations de reboisement peuvent être envisagées afin de reconstituer la forêt. Elles ne sont pas systématiques, mais permettent de

stabiliser le sol et ainsi d'éviter une possible érosion, surtout les régions méditerranéennes sont constituées par des terrains fortement pentus et sont touchées par de fortes pluies en automne (Zammit, 2008). D'autre part, la cartographie des zones incendiées permet la localisation spatiale de la région endommagée. Elle facilite l'analyse des différents facteurs impliqués dans le processus de feu, contribuant ainsi à la compréhension du comportement de l'incendie (qui dépend du combustible, des conditions météorologiques et de la topographie de la région) et aide à l'identification de la cause de l'incendie (Zammit, 2008).

IV.2 Méthodes de cartographie par télédétection des feux de forêts :

Les méthodes et les techniques utilisées pour la cartographie par télédétection des zones incendiées sont très diversifiées. Les méthodes varient d'un auteur à l'autre en raison de la diversité des types de feux, elle-même liée à la diversité des milieux écologiques (Kana et Etouna, 2006). Mais aussi, elles diffèrent en fonction de deux facteurs: le type et le nombre d'images utilisées. Le choix du type et du nombre d'images (bandes spectrales, résolution, couverture spatiale, temps de revisite du satellite, ...) doit prendre en compte les objectifs, les ressources financières, les ressources humaines ainsi que les délais. Selon Zammit (2008), les méthodes de cartographie de zones incendiées peuvent être divisées en deux catégories : les méthodes multi-temporelles et celles uni-temporelles.

a) Approches multi-temporelles :

Les méthodes multi-temporelles sont basées sur des techniques de détection de changements, sur les différences des caractéristiques spectrales d'un même objet situé dans des images acquises avant et après le feu. Elles sont généralement basées sur l'analyse d'images satellitaires basse résolution (de l'ordre du kilomètre par exemple, les satellites NOAA AVHRR, SPOT Végétation et MODIS pour le domaine de l'infrarouge thermique) ou moyenne résolution (de l'ordre de la centaine de mètres pour le domaine du visible et proche infrarouge par exemple MODIS) (Zammit, 2018). En effet, dans ce cas, le satellite nécessite un temps de revisite très court ainsi qu'une large couverture spatiale ce qui implique une résolution grossière. Cette approche très simpliste consiste à comparer directement certaines bandes spectrales des images acquises avant et après le feu (Hudak et Brockett, 2004). En effet, la végétation brûlée réfléchit beaucoup moins dans le domaine de l'infrarouge, cette approche ne donne pas de bons résultats car les deux images peuvent présenter des différences d'illumination et/ou d'angles d'incidence, qui peuvent engendrer des erreurs lors du calcul des variations des valeurs spectrales (Hudak et Brockett, 2004). De nombreuses méthodes sont fondées sur l'analyse de la variation d'indices de végétation entre les images avant-feu et

après-feu, acquises par le même satellite afin de tester l'efficacité des indices en fonction des bandes spectrales des différents satellites (Conese et Checcacci, 2006). Cependant, la comparaison d'une seule image avant feu avec une seule image après feu peut induire des erreurs si l'une des deux images comporte du « bruit » (nuages ou autres perturbations atmosphériques, ombre des nuages, ...) (Chuvienco et al., 2008).

b) Approches uni-temporelles :

Cette approche est basée sur l'utilisation de plusieurs images, dans ce cas, les indices de végétation sont très utiles puisqu'ils permettent de mettre en valeur les changements de la végétation et sont moins sensibles aux différences d'illumination des images (Conese et Checcacci, 2006). Les méthodes uni-temporelles sont basées sur les différences des signatures spectrales des différents objets présents dans l'image.

IV.3 Matériels et méthodes :

Dans cette étude nous avons appliquée deux méthodes bien distinctes : la première méthode consiste à réaliser de la carte des zones à risque des feux forêts de la wilaya de Mascara où nous nous sommes basés sur l'indice de départ de feux (IDF) exprimé par la relation suivante (Arfa, 2019) :

$$\text{IDF} = \text{RFerme} + \text{RMR} + \text{RAgri} + \text{RPiste}$$

R est le niveau de risque lié à la proximité des éléments suivants :

- Fermes indicatrices de l'activité d'élevage (RFerme) ;
- Maisons rurales indicatrices de la présence humaine (RMR) ;
- Terres agricoles (RAgri);
- Pistes forestières permettant l'accès aux massifs forestiers (RPiste).

Pour chacun de ces critères, les valeurs du niveau de risque R sont comprises entre 1 (risque faible) et 5 (risque très élevé). Les niveaux de risque retenus sont :

1. R = 1 : risque faible avec un pourcentage du nombre de feu égal à 5%;
2. R = 2 : risque modéré avec un pourcentage du nombre de feu égal à 10%;
3. R = 3 : risque moyen avec un pourcentage du nombre de feu égal à 20%;
4. R = 4 : risque élevé avec un pourcentage du nombre de feu égal à 30%;
5. R = 5 : risque très élevé avec un pourcentage du nombre de feu égal à 35%.

Les valeurs de l'indice de départ de feux sont comprises entre 4 et 16. Il est codé en 5 classes :

1. Faible : $IDF = 4$.
2. Modéré : $4 < IDF \leq 8$.
3. Moyen : $8 < IDF \leq 12$.
4. Élevé : $12 < IDF \leq 16$.
5. Très élevé : $IDF > 16$.

La deuxième méthode comprend une comparaison entre deux massifs très importants de la wilaya de Mascara, un massif très touché par les feux et un deuxième moins incendié.

Le modèle appliqué (figure 27) pour la deuxième méthode fait intervenir les trois principaux facteurs pour l'évaluation du risque de feu de forêt à savoir : la topomorphologie, le combustible et l'occupation humaine.

Le modèle en question repose sur la formule suivante :

$$IR = 5.IC + 2.IH + IM$$

Où :

IR : Indice de risque de feu de forêt

IC : Indice de combustibilité (facteur lié au combustible)

IH : Indice d'occupation humaine (facteur lié à l'activité humaine)

IM : Indice topomorphologique (facteur lié à la topomorphologie du terrain)

La caractérisation de cet indice est basée sur la variabilité spatiale du risque d'incendie dont la détermination est issue des paramètres physiques intervenant dans le modèle choisi (BELHADJAISSA et al, 2003).

A. L'indice de combustibilité (IC) :

Pour évaluer l'indice de combustibilité (IC), la méthode proposée par Mariel (1995) pour estimer la gravité potentielle d'un feu démarrant dans un peuplement forestier déterminé a été appliquée dans notre étude.

L'indice de combustibilité ou indice d'intensité potentielle du feu est exprimé par la relation suivante:

$$IC = 39 + 2,3 BV (E1 + E2 - 7,18)$$

Où

BV : représente le biovolume de la formation végétale.

E1 : représente les notes de combustibilité pour les ligneux hauts.

E2 : représente les notes de combustibilité pour les ligneux bas ou les herbacées.

B. L'indice d'occupation humaine :

Il est exprimé par la combinaison linéaire des deux indices soit:

$$IH = IV + ID$$

Où:

IV: indice de voisinage

ID: indice de présence humaine.

C. L'indice topomorphologique (IM) :

Trois paramètres topographiques interviennent dans le modèle: la pente, l'exposition et l'altitude.

Tous ces paramètres sont déduits à partir du modèle numérique de terrain (M.N.T) de la région. Cet indice est exprimé par la relation suivante:

$$IM = 3p + (m \times e)$$

Où

p : la pente

m : la topomorphologie

e : l'exposition

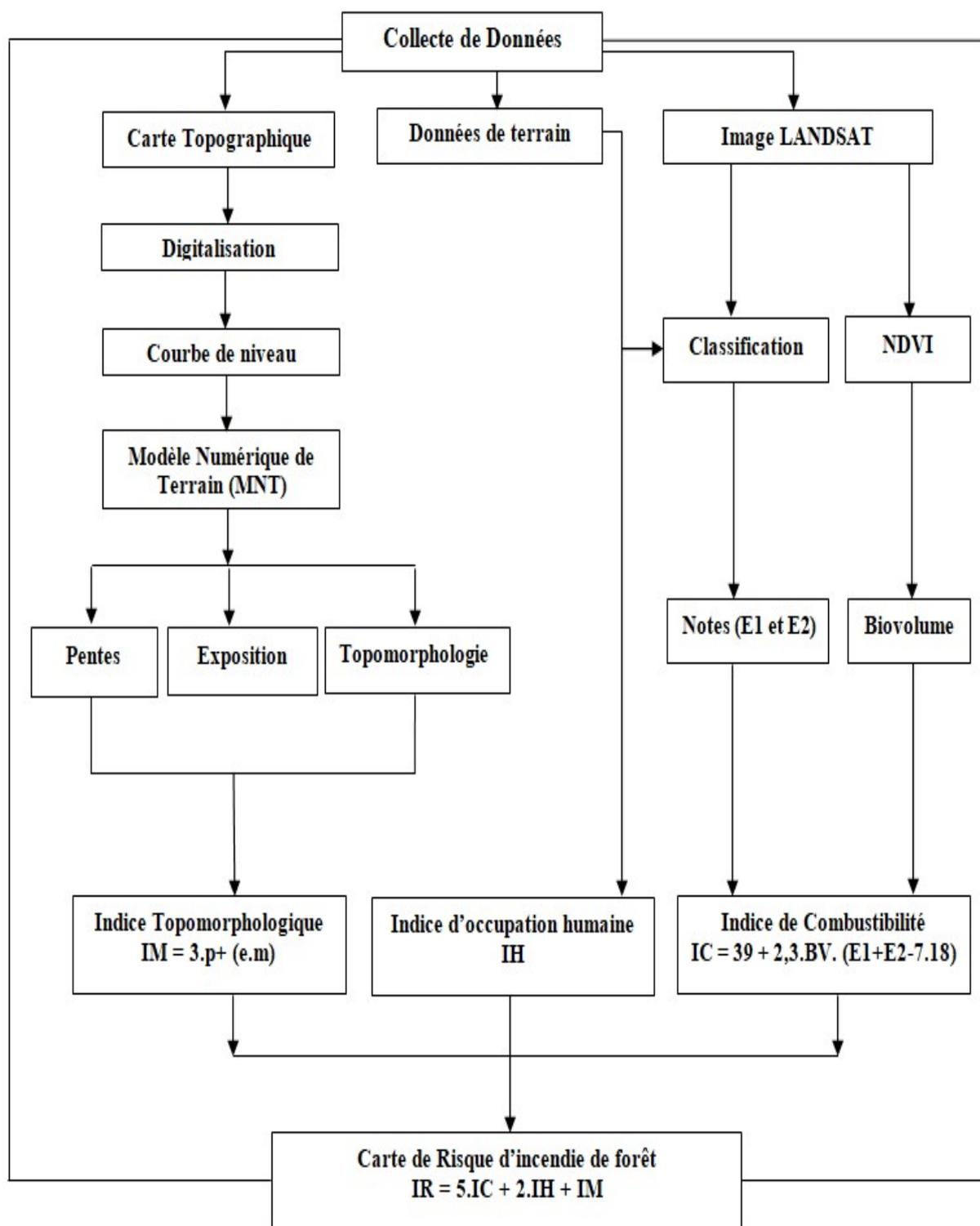


Figure 27 : Organigramme méthodologique

IV.3.1 Données exploitées :

Les données générées par les capteurs LANDSAT sont très utilisés pour la détection des feux. Ce sont des satellites qui ont une résolution spatiale élevée (de 60m et 15m) et résolution temporelle de 16 à 18 jours. Les domaines spectraux explorés concernent le visible, l'infrarouge proche et moyen ainsi que l'infrarouge thermique. Les premiers satellites LANDSAT ont été lancés en Juillet 1972, comme le MSS (Scanner Multi Spectral). La série des TM (Cartographe thématique- Thematic Mapper) a commencé en Juillet 1982 et sa version amélioré ETM+ (Cartographe thématique amélioré-Enhanced Thematic Mapper Plus) en avril 1999 et la série des OLI a commencé en 18 mars 2013.

Les données LANDSAT MSS, TM, ETM+ et OLI offrent de bonnes possibilités pour la caractérisation des régimes de feu et de leur impact sur la végétation par des moyens de télédétection (Broucke, 2009). En effet, des images existent depuis 1975 sur le territoire dans des canaux intéressants pour ce type d'étude. Pour une étude sur le régime du feu, il faudrait des images avec une régularité mensuelle au minimum, ce type de résolution peut permettre de détecter les surfaces incendiées et faire un suivi de la végétation après un feu. Cette régularité existe pour les images LANDSAT (Broucke, 2009). Les sources de téléchargement les données LANDSAT sont:

- Glovis sur <http://glovis.usgs.gov/>
- Earth Explorer sur <http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>

IV.3.2 Correction des données LANDSAT

Les images satellite LANDSAT 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +) constituent une source de données importante liées aux incendies. Cependant, l'échec du SLC a sérieusement limité les applications scientifiques des données ETM + puisque le correcteur de ligne de balayage (SLC) a échoué définitivement le 31 mai 2003. Depuis cette date l'instrument ETM+ fournit des données dégradées. En revanche, LANDSAT 5 a collecté avec succès des données depuis son lancement en 1984 jusqu'aux pannes du système de communication en novembre 2011, et a finalement été mis hors service en 2012. En raison de non disponibilité des images LANDSAT 5 en 2012, nous avons utilisé des images LANDSAT 7 ce qui laisser de grandes lacunes lors de la détection de la zone brûlée en 2012 en raison de la défectuosité du capteur Landsat7.

IV.4 Présentation de la zone d'étude :

La wilaya de Mascara est située au nord-ouest du territoire algérien, est limitée au nord par les wilayas d'Oran et de Mostaganem, à l'est par Tiaret et Relizane, au sud par Saïda, à l'ouest par la wilaya de Sidi Bel Abbès (figure 28). Elle comprend 47 communes et s'étend sur une superficie d'environ 513 000 ha dont 53 % est à vocation agricole.

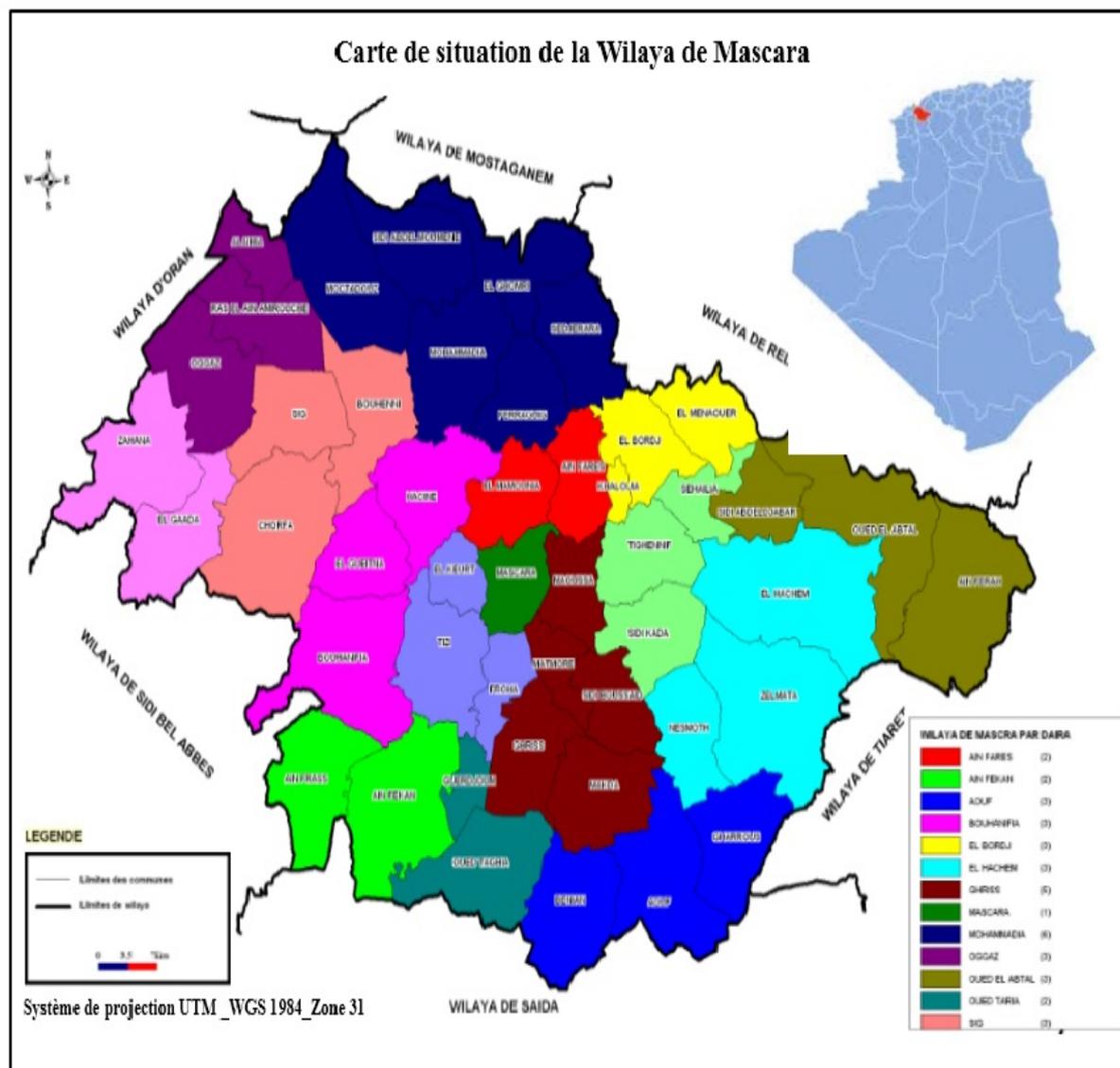


Figure 28 : Carte de situation de la wilaya de Mascara.

IV.4.1 Cadre socio-économique de la Wilaya

La population pour la Wilaya de Mascara au Mars 2018 est estimée à 955 230 habitants compte tenu de l'accroissement démographique dont le taux est de l'ordre de 2,03 %. La densité moyenne de la population est de 186 Hab/Km².

Par commune, l'examen des données disponibles révèle que l'évolution de la population n'est pas uniforme pour l'ensemble de la wilaya.

Globalement, les grandes tendances pouvant être dégagées concernant l'évolution de la population et les activités économiques sont :

✚ Une population relativement stable ou le phénomène de l'exode rural est demeuré marginal même si l'insécurité a engendré un flux migratoire vers les centres urbains. Il convient de signaler que ce mouvement tend à s'inverser.

✚ Un niveau d'équipement assez développé.

Au plan agricole, le travail de la terre constitue la principale activité et occupe plus de 65% de la population active. Cependant, la mauvaise pluviométrie se traduisant par une sécheresse prolongée, affecte le niveau de production et des ressources en eau.

IV.4.2 Cadre physique (caractéristiques physiques de la Wilaya) :

IV.4.2.1 Topo-morphologie :

La Wilaya de Mascara couvre une superficie totale de 513 500 Hectares. Son espace topographique peut être classé en quatre (04) zones relativement homogènes distinctes où sont dispersés 504 douars :

Le territoire de la wilaya de Mascara est composé de quatre unités morphologiques bien individualisées (figure 29) et toutes orientées Sud-Ouest/ Nord-Est. Du Nord-Ouest au Sud-Est. Ces quatre zones sont :

- 1- La plaine de Habra –Sig
- 2- Les Monts de Beni Chougrane
- 3- La plaine de Mascara -Ghriss
- 4- Les Monts des Saida (Aoufs)

Les deux (02) zones qui retiennent la priorité dans le développement forestier et la mise en valeur des terres de montagne sont ; les Monts de Beni Chougrane et les Monts des Saida (Aoufs). Ces deux (02) zones représentent 51 % de la superficie totale.

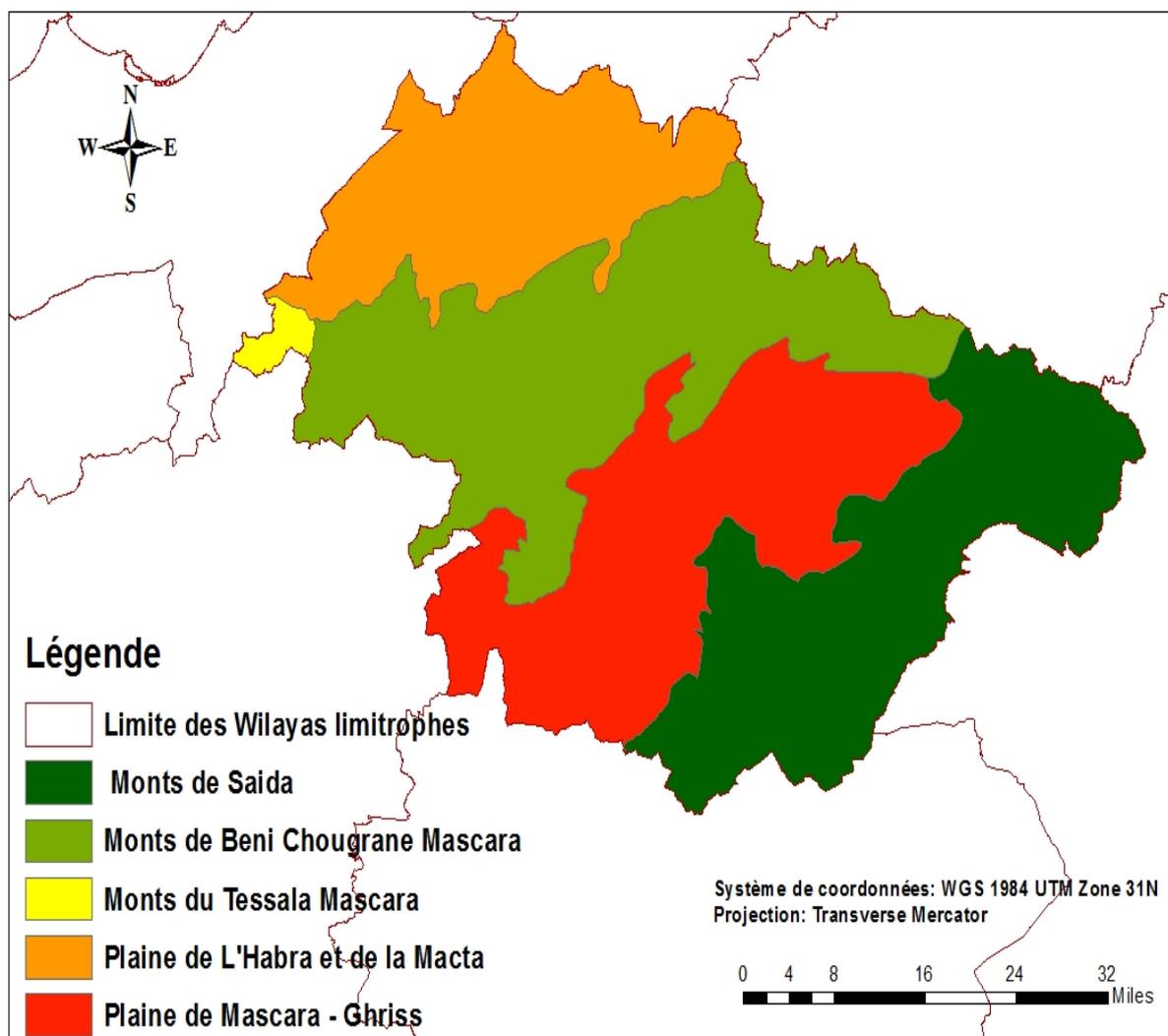


Figure 29: Zones homogènes de la Wilaya de Mascara

Les Monts de Beni Chougrane sont situés entre les plaines de Habra-Sig au Nord et la haute plaine de Ghriss au Sud. ils couvrent une superficie de 320 000 Hectares dont les 2/3 se trouvent localisées dans la Wilaya de Mascara représentant 34% de la superficie totale de la Wilaya.

Le couvert végétal dans les Beni-Chougrane ne dépasse pas les 20% de taux de couverture, les maquis qui sont le résultat de la dégradation des forêts représentent pratiquement 50%.les essences les plus représentatives sont le pin d'Alep et le Thuya.

Une partie des monts de Saida chevauche sur le territoire de la wilaya de Mascara pour une superficie de l'ordre de 845 Km² soit 16%.

La plaine de Mascara – Ghriss est limitée par les Beni Chougrane au Nord et les monts de Saida au Sud, sa superficie est de l'ordre de 1366 Km². Ce qui représente 27% de la superficie de la wilaya. .

La plaine Habra –Sig est une région de confluence d'oueds provenant de l'arrière pays montagneux des Beni Chougrane. Cette plaine se présente sous la forme de cuvette où convergent toutes les eaux provenant non seulement des reliefs du Sud (Beni Chougrane) mais également des reliefs collinaires de l'Est et de l'Ouest.

Globalement la plaine de la Habra détient environ 35% du potentiel des terres de la wilaya où les possibilités de mise en valeur intensive des terres sont possibles.

Les marais de la Macta représentent un ensemble de zones humides situées à environ 50 km à l'Est d'Oran et à 300 km environ à l'Ouest d'Alger. C'est une dépression triangulaire séparée du golf d'Arzew par un cordon dunaire littoral avec comme limite à l'est la wilaya de Mostaganem, à l'ouest la wilaya d'Oran, au nord la Mer Méditerranée et au sud par les Monts de Béni Chougrane. Cette zone englobe la plaine de Habra-Sig et est traversée par trois oueds : Oued Sig, Oued Habra et Oued Tine.

IV.4.2.2 Occupation des terres de la wilaya de Mascara :

A. L'agriculture :

Avec une superficie agricole utile d'environ 366 881 ha, soit 65 % de la superficie totale de la wilaya, la répartition spatiale, et les forme d'utilisation de ces surfaces agricoles sont considérablement influencées par la diversité du climat, du relief et la nature des sols. Ainsi dans les zones dites favorables à l'agriculture : la Plaine de l'Habra, la Macta, la Plaine de Mascara et de Ghriss on pratique surtout les cultures maraîchères, et les agrumes (D.S.A, 2023).

Par contre, dans les zones de montagnes dont la pente ne dépasse pas 15%, les fellahs pratiquent l'arboriculture fruitière et l'agriculture localisée. Egalement, selon la typologie de ses zones agricole, on y trouve deux d'agriculture :

-  **Agriculture de piémonts :** Elle est caractérisée par des cultures sur fortes pentes (supérieure à 12,5%) qui forment un ensemble continu avec des enclaves de parcours et maquis ou forêt.
-  **Agriculture montagne proprement dite :** Elle concerne l'intérieur des massifs dont les terres sont dispersées à cause de la dominance du parcours, les maquis et les forêts.

B. Les Parcours :

Terres de Parcours couvrent une superficie de 94 318 ha soit 17 % de la superficie totale de la wilaya (Figure 30).

Terres improductives couvrent une superficie de 21758 ha soit 3 % de la superficie totale de la wilaya. Il s'agit d'une wilaya agro- pastorale et le taux de boisement est faible.

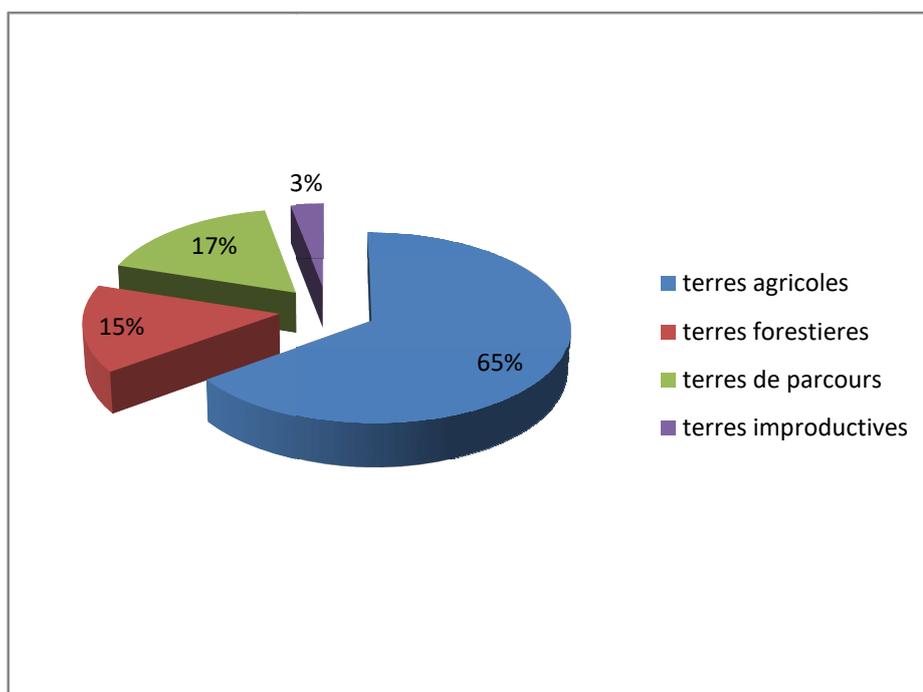


Figure 30: Répartition Générale des terres de Mascara (D.S.A, 2023).

C. Les forêts

La superficie forestière de la wilaya de Mascara est de 90 223 Ha soit un taux de boisement de 17.57 % dont 80 % de résineux et de 20 % de feuillus. Les principales formations forestières se trouvent localisées dans les Monts de Beni Chougrane et les Monts d'Aouf .

La superficie forestière de la wilaya est de 90 223 Ha répartie comme suit :

- ✚ Forêts : 37 470 Ha
- ✚ Maquis : 52 571 Ha
- ✚ Vides labourables : 182 Ha

Les principales essences forestières dominant la wilaya de Mascara sont :

a) **Chêne vert :**

Les reliques de cette formation se trouvent sur les versants les plus abrupts et les crêtes : Guetarnia (Béni Chougrane) et Nesmoth (monts de Saida). Le Pin d'Alep peut également se retrouver sur des massifs où domine le Pin d'Alep.

b) Chêne liège :

Il est encore très peu représenté, peut être 500 ha tout au plus, localisé dans les zones les plus pluvieuses et à sols Profonds, nesmoth dans les monts de Saida.

c) Pin d'Alep :

C'est l'essence la plus répandue dans la wilaya et les peuplements les plus étendus se trouvent dans les forêts de Guetarnia et de Stamboul et sur les contreforts des monts de Saida. Les peuplements très récents se trouvent éparpillés dans de nombreuses zones tel que signalé plus haut. L'abondance relative du Pin d'Alep dans la wilaya est lié au mécanisme de renouvellement propre à l'espèce, et même après les incendies à la condition que les intervalles entre incendies ne soient pas trop rapprochés.

d) Lentisque :

Représentant une grande plasticité vis-à-vis des précipitations et la nature des sols, cette série de végétation est la plus répandue dans la wilaya.

e) Thuya ou facies à thuya :

Comptant pour environ 9000 ha, cette association doit encore son existence grâce à sa rusticité. Elle se trouve sur les marnes à Sidi KAdda, et à Guetarnia et sur les calcaires à Sidi Kadda. Et elle s'adapte également à une pluviométrie réduite (versant Sud des Béni Chourgane et des monts de Saida). Les formations les plus importantes se rencontrent sur le haut plateau de Nesmoth.

Du point de vue des essences forestières, les formations de pin d'Alep pures ou en mélange, sont largement dominantes, soit 15% de l'assiette forestière (figure 31).

D'autres essences forestières telles que l'Eucalyptus et le Cèdre, sont présentes et occupent respectivement 1100 ha et 09 ha.

On rencontre également des formations de Pin d'Alep en mélange à d'autres essences (Chêne liège, peuplier et Eucalyptus).

Les maquis arborés de Pin d'Alep occupent une surface représentant environ 30% de la surface forestière totale de la wilaya.

Les maquis non arborés occupent plus de la moitié du couvert végétal de la wilaya.

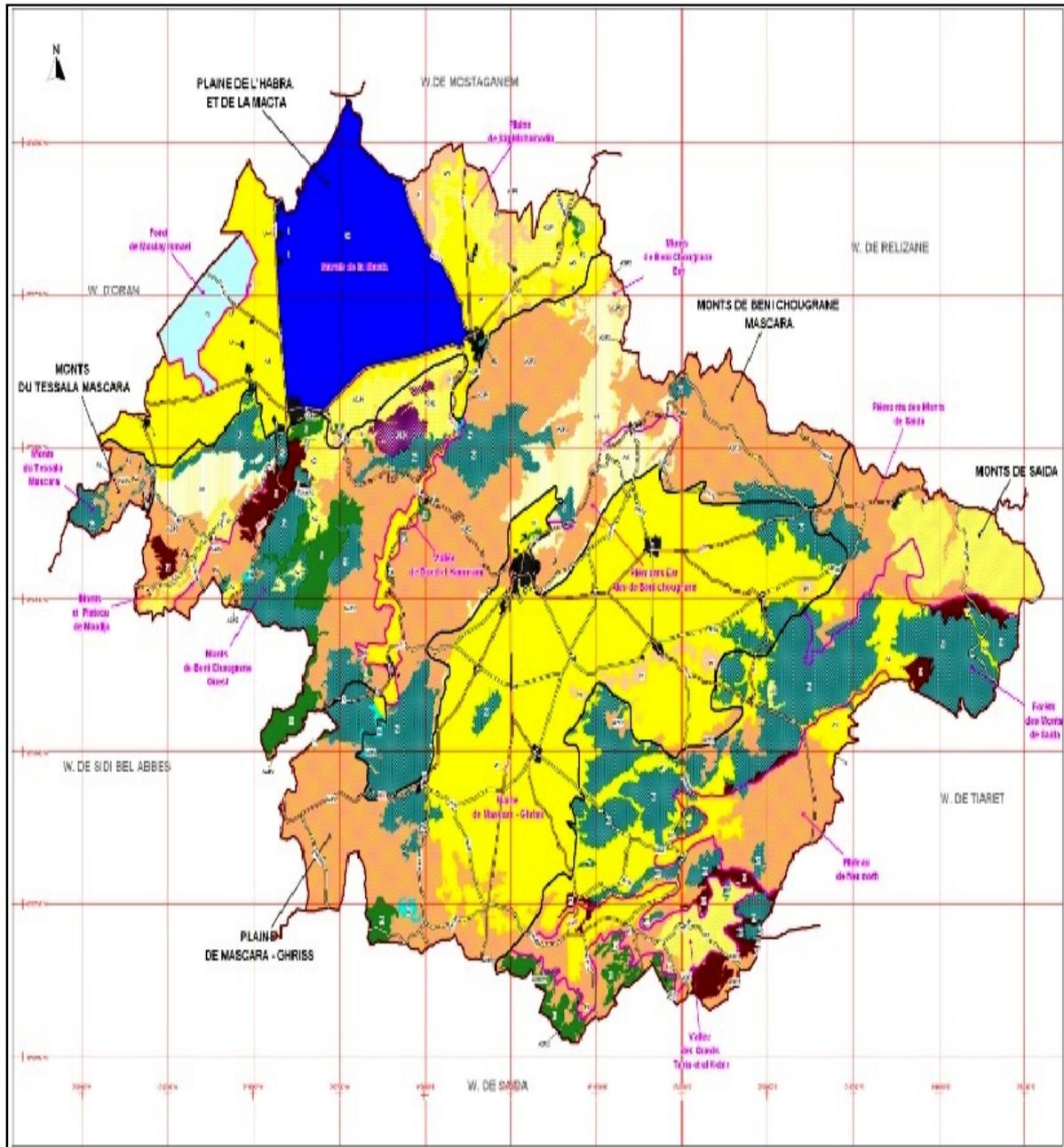


Figure 31: Carte d'occupation des terres (BNEDER, 2008)

IV.5 Cadre climatique:

Les conditions météorologiques relevées au cours de l'année sont le principal facteur dont dépendent, entre autres, les superficies parcourues par les feux (TRABAUD, 1980) et leur nombre décroît de façon importante en fonction de l'accroissement de la quantité des précipitations (TRABAUD, 1983).

Le régime thermométrique général est de type méditerranéen, relativement tempéré, avec un caractère continental sensible.

IV.5.1 La température:

Les températures moyennes annuelles varient entre 17°C et 19 °C, vu la situation géographique de la zone d'étude en zone montagneuse et l'étage bioclimatique semi-aride.

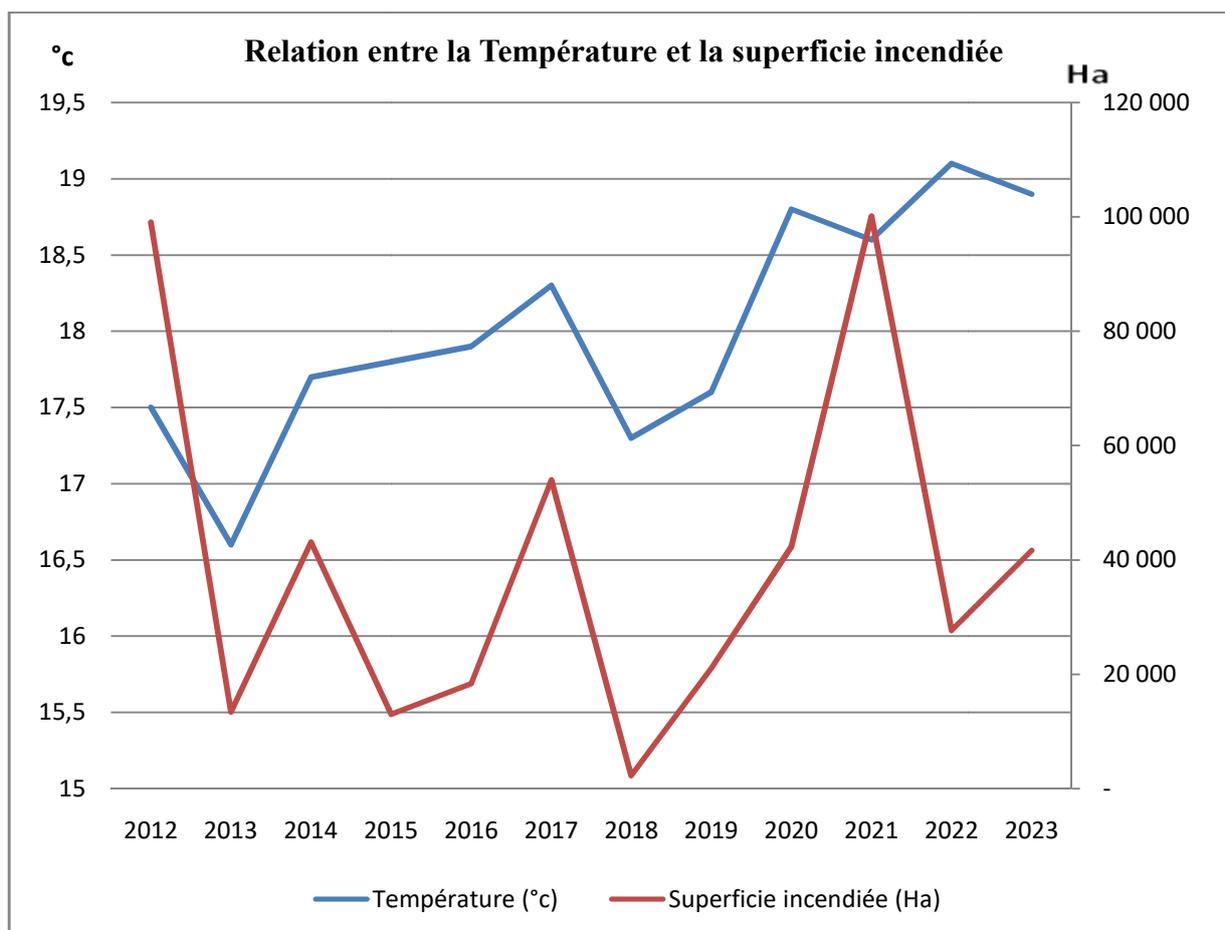


Figure 32: Relation entre la température moyenne annuelle et la superficie incendiée dans la wilaya de Mascara (2012 – 2023)

D'après la figure 32, la superficie brûlée augmente généralement avec l'élévation des températures qui ont une influence la propagation des feux par le dessèchement de la végétation ce qui la rend plus sensible et plus combustible.

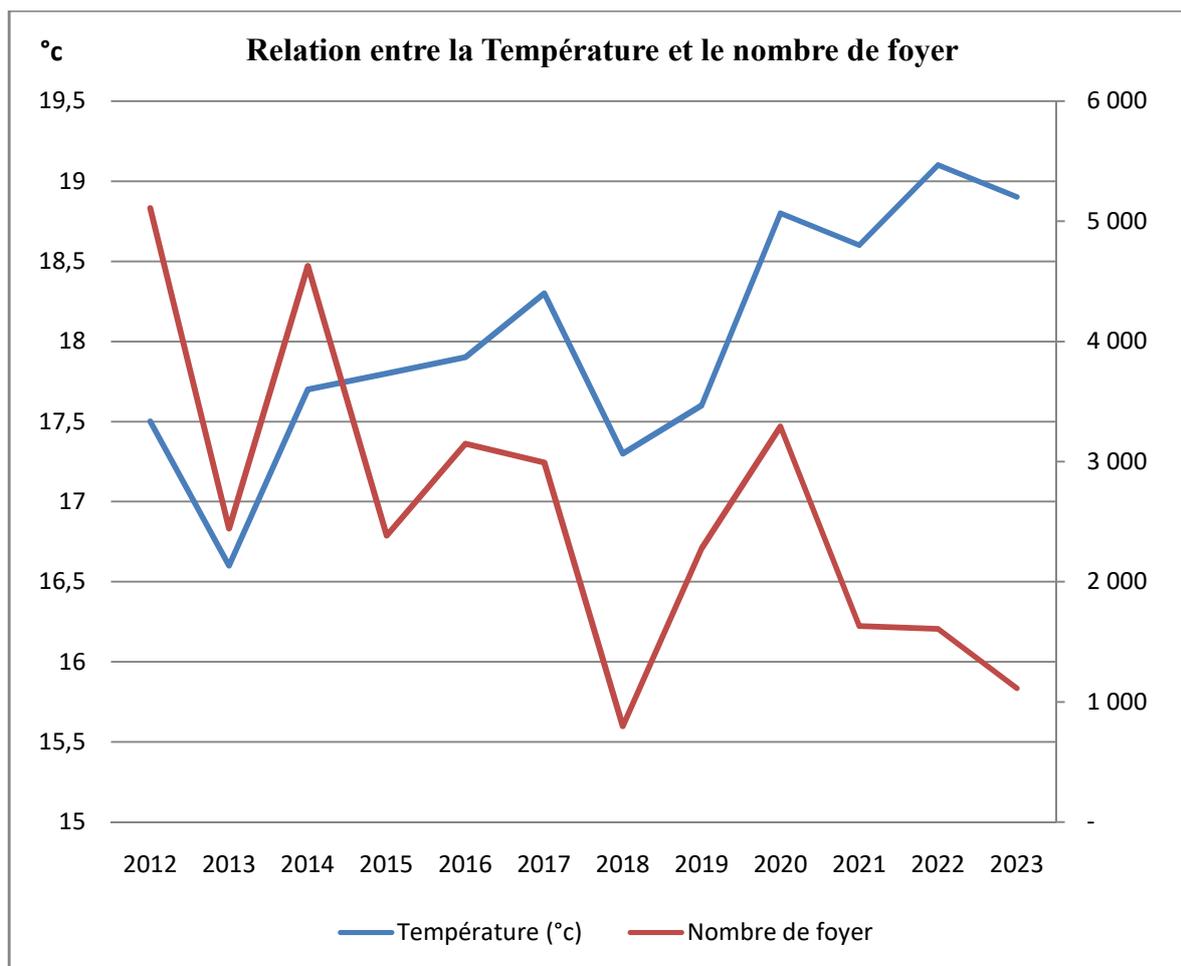


Figure 33: Relation entre la température moyenne annuelle et le nombre de foyer dans la wilaya de Mascara (2012 – 2023)

D'après la figure 33, le nombre de foyer augmente généralement avec l'élévation des températures induit un allongement de la saison de végétation de plusieurs jours par décennie : débourrement plus précoce, sénescence des feuilles plus tardive et cause la mortalité des arbres ce qui augmente le degré de combustibilité des forêts et facilite l'éclosion des feux. L'analyse de la régression linéaire entre l'éclosion du feu potentiel et la température moyenne montre une bonne corrélation positive avec un coefficient de corrélation de 0,78.

IV.4.2 La pluviométrie:

Les précipitations moyennes annuelles des cinq dernières années varient entre 150 et 200 mm (figure 34) ce qui est très peu pour que la végétation prospère dans les meilleures conditions. Les pluies sont néanmoins agressives sous forme d'orages intenses lors des changements de saison (à l'automne et en été) et lors des longues pluies volumineuses qui saturent les sols

déjà engorgés et les champs peu protégés par une végétation limitée (de décembre à la fin du printemps).

les sécheresses sont devenues plus courantes. Les arbres touchés par la sécheresse sont plus vulnérables aux insectes et aux pathogènes, entraînant ainsi une augmentation de la mortalité des arbres ce qui augmente le risque de feux de forêt de manière considérable.

D'après la figure 34 la superficie brûlée augmente généralement avec la diminution des quantités de pluie.

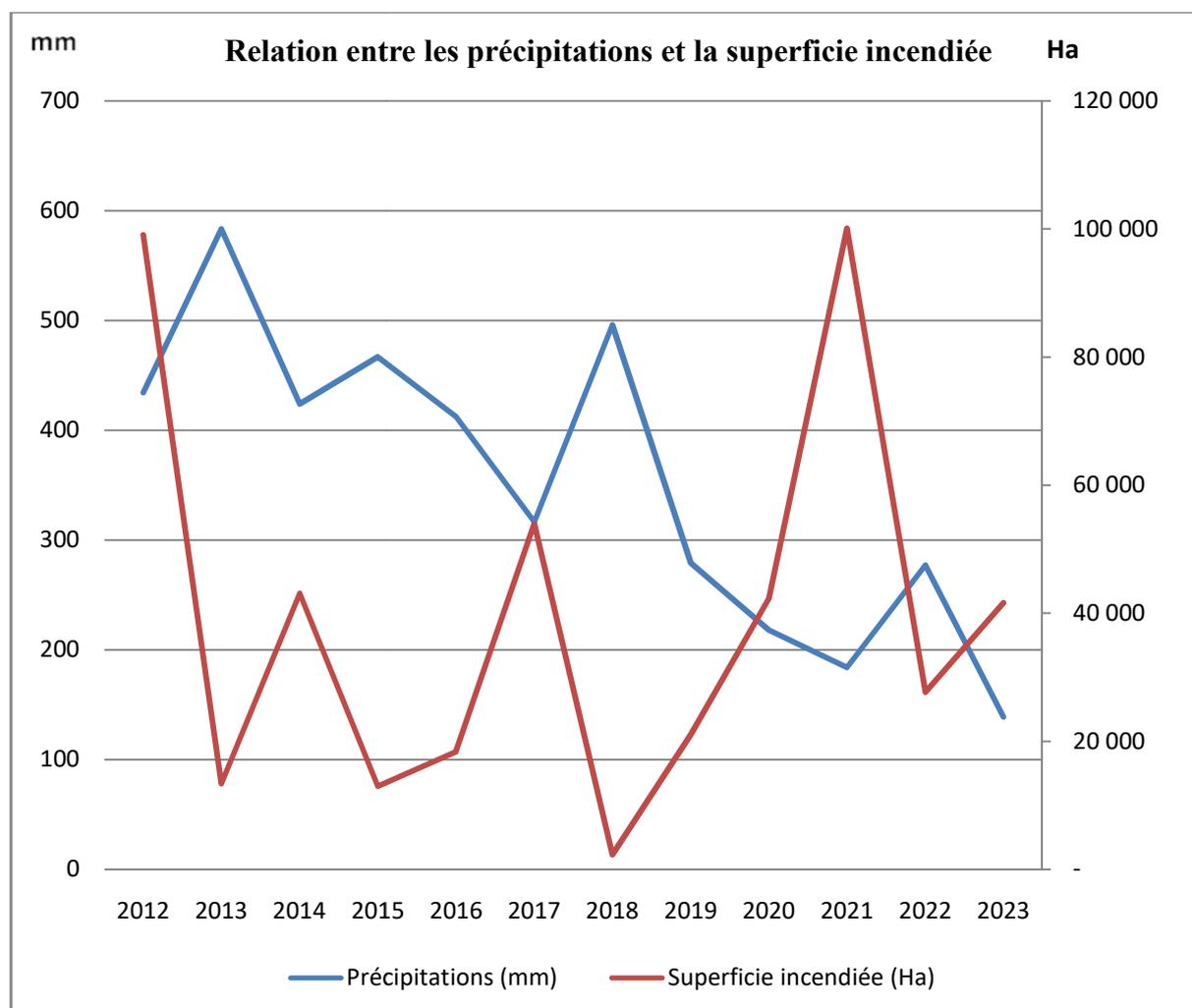


Figure 34: Relation entre la pluviométrie moyenne annuelle et la superficie incendiée dans la wilaya de Mascara (2012 – 2023)

Le ravinement des sols est du reste remarquable sur les flans des Beni Chougrane et des parties de notre zone d'étude et dépend de l'énergie du ruissellement. Celui-ci est lié à l'intensité des orages tombant sur des sols nus bien préparés pour former un lit de ruissellement en début de saison des pluies (automne). L'intensité et la fréquence des pluies

ont aussi beaucoup d'importance car ces paramètres règlent le déficit de saturation du sol : ainsi en hiver, les sols sont vite engorgés et ruissellent plus rapidement aggravant l'érosion. Le nombre de foyer augmente généralement avec la diminution des quantités de pluie (figure 35).

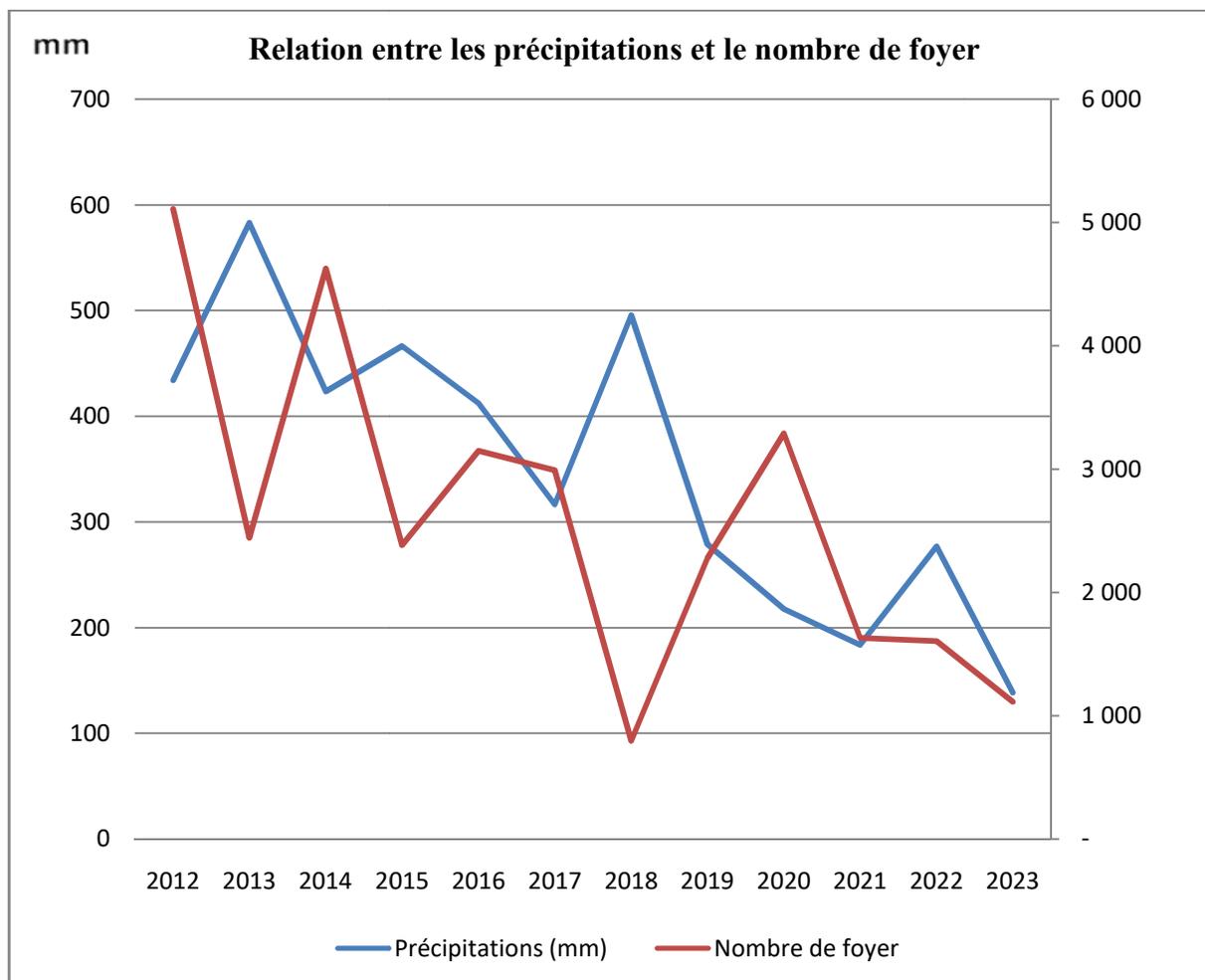


Figure 35: Relation entre la pluviométrie moyenne annuelle et le nombre de foyer dans la wilaya de Mascara (2012 – 2023)

L'analyse de la régression linéaire entre l'éclosion du feu et la pluviométrie moyenne (Figure 35), montre une corrélation positivement avec un coefficient de corrélation de 0.63.

IV.4.3 La vitesse du vent:

Parmi les paramètres intervenant dans le la propagation des incendies de forêt, le vent joue un rôle particulièrement important. Son action est multiple :

- ✚ il couche et allonge les flammes, favorisant donc la migration du feu;

✚ par apport de nouvelles quantités d'oxygène, il augmente la masse de comburant mis à la disposition du feu;

Selon (Lakhael, 2016) le vent apporte la chaleur aux combustibles adjacents, augmente la vitesse de propagation et peut produire des feux de cimes difficilement contrôlables. Selon la figure 36 la vitesse du vent augmente généralement la superficie incendiée.

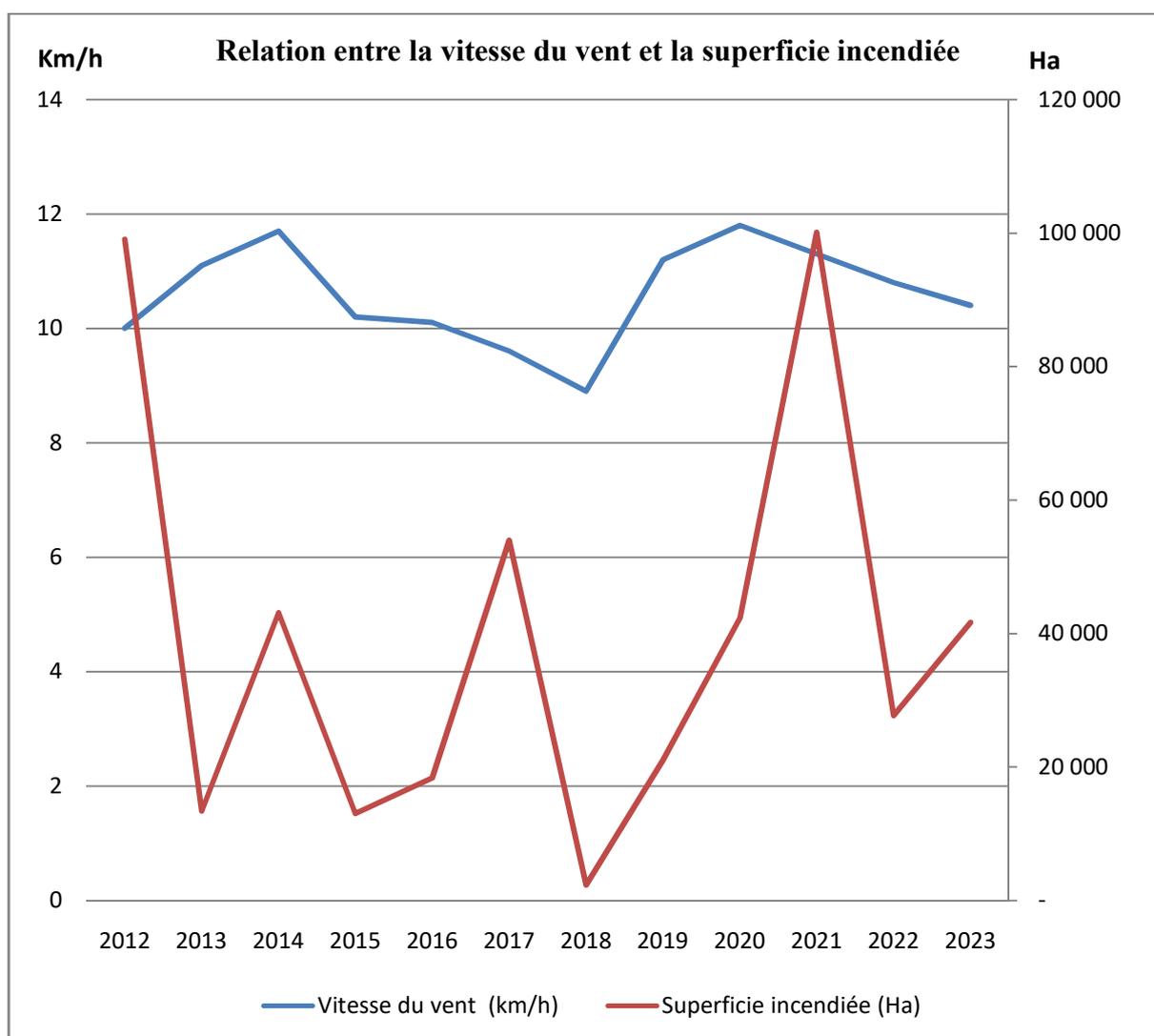


Figure 36: Relation entre la vitesse du vent moyenne annuelle et la superficie incendiée dans la wilaya de Mascara (2012 – 2023)

La vitesse du vent a un effet directe sur l'écllosion des feux où :

✚ il favorise le dessèchement des végétaux et des sols, augmentant ainsi les risques d'écllosion des feux ;

✚ par sa vitesse, sa turbulence, son type d'écoulement, il transporte parfois fort loin des brindilles enflammées allumant de nouveaux foyers en aval des sauveteurs.

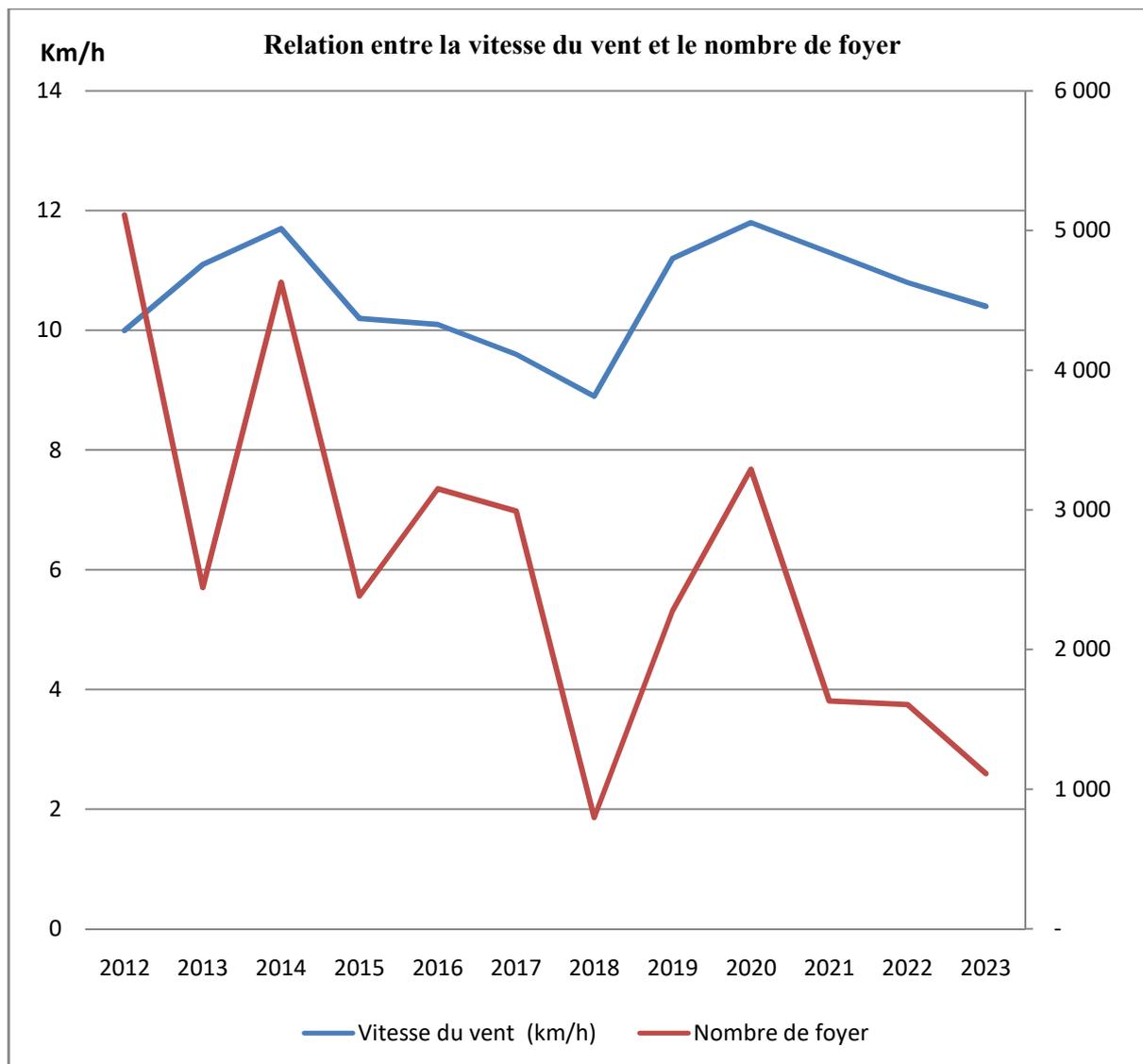


Figure 37: Relation entre la vitesse du vent moyenne annuelle et le nombre de foyer dans la wilaya de Mascara (2012 – 2023)

La figure 37 montre clairement l'effet du vent sur l'éclosion des feux. Le nombre de foyer augmente généralement avec l'élévation de la vitesse du vent.

L'analyse de la régression linéaire entre l'éclosion du feu la vitesse du vent moyenne (Figure 10), montre une bonne corrélation positive avec un coefficient de corrélation de 0,63.

IV.5 Cadre hydrographique :

Le territoire de la wilaya est réparti entre plusieurs bassins hydrographiques :

-  bassin versant de l'oued El Hammam : 57,2%
-  Bassin versant de l'oued Chélif : 22,0%
-  Bassin versant de l'oued Mekara : 17,8%
-  Bassins internes (Sebka d'Oran et salines d'Arzew) : 3%

La figure 38 montre que Oued El hammam est sans conteste le plus important, il collecte les eaux des oueds Melrir, Sahouat,-Taria, Froha, Maoussa et Fergoug. Ces apports sont estimés à 170 m3, le triplex Ouizret, Bouhanifia et Fergoug régularise son cours. L'oued Mebtouh (basse Makerra) traverse la partie occidentale des Beni Chougrane avant de déboucher dans la plaine de la Habra au niveau de Sig. Cet oued est régularisé par trois ouvrages dont deux sur le territoire de la wilaya (Chorfa et Sig).

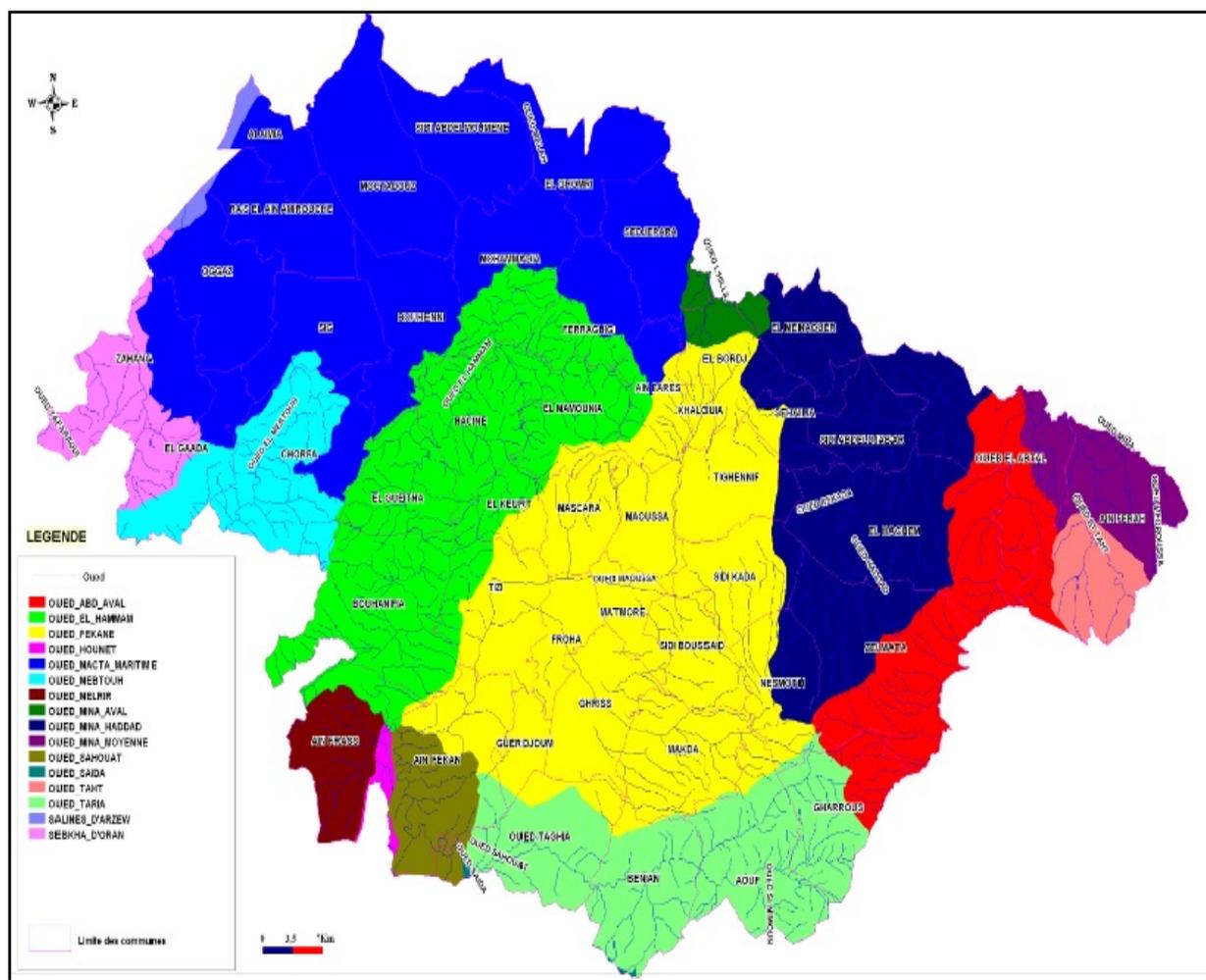


Figure 38: Réseau hydrographique de la wilaya de Mascara

IV.4 Equipement et infrastructures forestières de la Wilaya de Mascara :

Le tableau 09 indique l'infrastructure existante en kilomètre linéaire de pistes et en superficie de tranchées pare feux. Selon BNEDER (2008), les normes généralement admises pour la gestion intensive des forêts, il est nécessaire 2 km de pistes pour 100 Ha de forêts et 2,5 Ha de tranchées pare feux (TPF) pour 100 Ha de forêt.

Tableau 09: Superficie forestière et infrastructures de la wilaya de Mascara (B.N.E.D.E.R., 2008).

COMMUNE	SUPERFICIE FORESTIERE (HA)	POSTES DE VIGIE	TRANCHEES PARE FEU	POINTS D'EAU	PISTES (KM)	NOMBRE DE FOYERS DE 2008 A 2017	SUPERFICIE BRULEE (HA) DE 2008 A 2017
Zelamta	12 412.05	00	00	00	25	00	155.5
Bou Henni	7 511.77	00	00	00	15	00	00
Ain Ferrah	6 751.50	01	01	10	45	08	130.5
Nesmoth	6 495.36	00	00	00	25	04	265.5
Chorfa	5 357.77	00	00	00	20	08	65
Hachem	4 586,2	00	00	00	20	33	387
Hacine	3 472.37	1	18	4	30,70	00	00
El Gueithna	1 979.2	1	115	3	20,90	00	00
Gharrous	3 950	00	00	00	10	25	16
Ferraguig	1 822.89	3	51	00	36	00	00
Beniane	2 900	00	00	00	10	03	17
Mohamadia	705.4	1	00	1	19	05	10.25
Sig	1 700	1	70	2	39	10	120
Mamounia	630	1	00	00	12	00	00
El Menaouer	580	1	123	00	81,50	00	00

Chapitre IV : Modélisation du risque d'incendie de forêt (exemple de la wilaya de Mascara)

Aouf	1 550	00	50	3	93,50	12	26.6
Oggaz	6 506	00	00	00	60,70	01	01
Tizi	500	00	00	00	00	00	00
Bouhanifia	6 457	5	137	9	87,60	07	482
Ain Fekan	4 458	00	00	02	30	04	24.9
Sedjerara	420.42	00	00	00	00	00	00
Ghriss	450	00	00	00	00	00	00
Oued Taria	3 400	00	00	00	00	00	00
Ain Fares	400	2	3	00	1,20	00	00
El Ghomri	350	00	00	00	00	00	00
Matemore	350	00	00	00	00	00	00
Zahana	350	00	12	00	31	06	54.3
S.A.Eldjebar	334	00	00	00	00	00	00
S.Boussaid	1 251	00	00	1	2	00	00
El Keurt	250	00	00	00	00	00	00
Oued El Abtal	3 237	1	51	00	44,50	12	57
El Gaada	150	00	21	00	15	00	00
Makdha	150	3	13	2	13	00	00
Alaimia	106.5	00	00	00	00	00	00
Froha	46.57	00	00	00	00	00	00
Sehailia	100	00	00	00	00	00	00
Guerdjourn	60	00	00	00	00	00	00
Mascara	26.30	00	00	00	1,25	00	00
R.A.Amirouche	50	00	00	00	00	00	00
Khalouia	34.4	00	17	1	55,50	00	00
Tighennif	3.5	00	00	00	00	00	00
TOTAL	90 223	21	682	38	1 059,35	138	1 145

Le réseau des pistes doit permettre un accès rapide et protégé, aussi bien qu'un réapprovisionnement rapide, ce qui rend souvent inadéquates les pistes très longues sur lesquelles les engins se déplacent lentement, pour atteindre un espace végétal où l'incendie est susceptible de se propager rapidement.

Le tableau 09 montre clairement la relation entre le réseau de piste et la superficie brûlée, dans les forêts de superficies importantes et un nombre de pistes bas, la superficie brûlée est grande et le contraire. Dans la commune de Hachem d'une superficie forestière de 4 586,2 ha et un volume de piste de 20 km la superficie brûlée est de 387 ha, dans la commune de Nesmoth d'une superficie forestière de 6 495.36 ha et un volume de piste de 25 km la superficie brûlée est de 265.5 ha alors que dans la commune d'Ain Fekan d'une superficie forestière de 4 458 ha et un volume de piste de 30 km la superficie brûlée est de 24.9 ha et dans la commune de Feraguig d'une superficie forestière de 1 822.89 ha et un volume de piste de 36 km la superficie brûlée est de 00 ha Pour l'ensemble des forêts de la Wilaya, l'infrastructure en pistes existantes est de 1 059.35 km, soit une densité de 1,4 km de piste pour 100 Ha de forêt (Figure 39), ce qui est insuffisant au regard de la norme qui est de 2 km de pistes pour 100 Ha de forêts (BNEDER. 2008).

Le total des pistes à programmer dans le programme de développement de la Wilaya pour atteindre la norme est de 786 km. Ces besoins sont particulièrement élevés au niveau des forêts de la commune de Zalamta (143 km), la commune de Nesmoth (89,5 km) et de la commune de Cheurfa (354 km). Aussi, de nombreuses pistes n'ont pas les qualités requises pour obtenir une bonne efficacité (largeur trop faible, protection latérale absente ou insuffisante) et nécessitent des travaux d'aménagement. Les pistes existantes seront progressivement mises aux normes, et ce peut être l'occasion d'abandonner celles qui ne seraient pas jugées efficaces pour les remplacer par d'autres qui le seront.

En ce qui concerne les tranchées pare feu, les forêts de la wilaya comptent un total de 936 Ha de TPF, alors que les besoins sont de 1 305 Ha, les besoins sont particulièrement importants pour les forêts de Zalamta (193,5 Ha), Nesmoth (111,5Ha), Sdamas Guerbi (153 Ha), Cheurfa (529,5 Ha).

Le nombre de maisons forestières existant est supérieur à la norme d'une maison forestière pour 10 000 Ha de forêts, ceci au niveau global (total de 12 maisons forestières alors que le besoin normatif est de 8 maisons forestières) et également au niveau de chaque forêt, sauf pour la forêt de Cheurfa où il y a un léger déficit d'une maison forestière.

L'équipement en postes vigies est suffisant. Il existe au total 28 postes vigies alors que les besoins normatifs calculés sur la base d'un poste vigie pour 7 000 Ha de forêt, sont de 11 postes vigies.

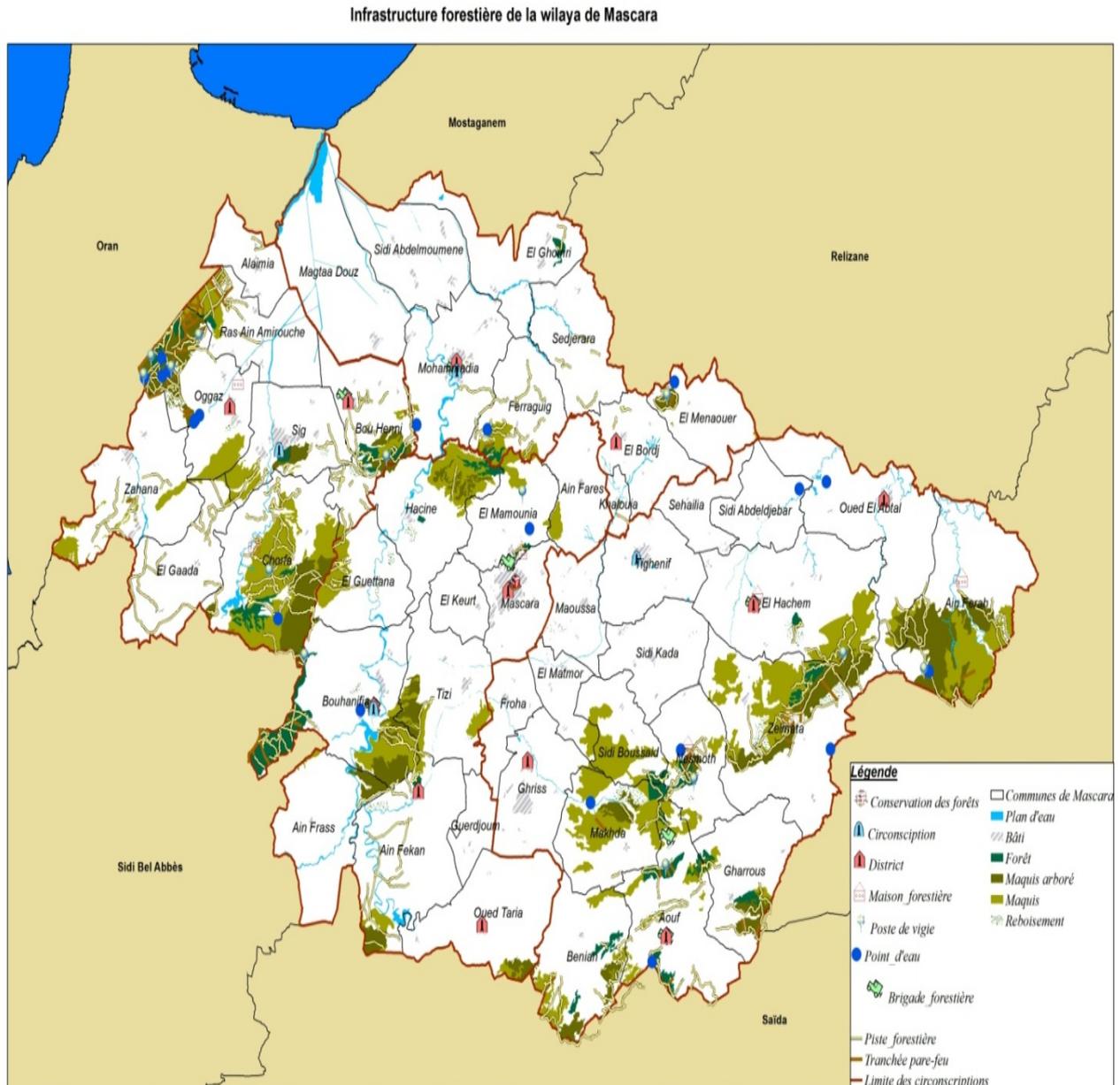


Figure 39: Carte des infrastructures forestières de la Wilaya de Mascara.

IV.5 Activités dans les forêts :

Dans le domaine forestier national, les usages consistent, pour les personnes vivant à l'intérieur ou à proximité du domaine forestier national, dans l'utilisation de ce dernier et de

certaines de ses produits pour leurs besoins domestiques et l'amélioration de leurs conditions de vie.

Les vides à l'intérieur de la forêt sont destinés à la mise en valeur des terres pour la plantation fruitière (tableau 10) au profit des riverains qui, par la suite protégeront la forêt contre les incendies par la détection rapide des éclosions et la transmission et dans la lutte pour stopper la propagation des feux.

Tableau 10: Activités dans les forêts de la wilaya de Mascara.

Wilaya	Commune	Périmètre	Superficie (Ha)	Activité
Mascara	Zahana	Djeniène Meskine	4	Arboriculture fruitière (plantation de l'olivier et de l'amandier)
	Chorfa	Anantra	2	
		Haoudh Kouabi	7	
		Djelaba	2	
	Menaouer	Temaznia	4	
	Makhda	Djebel Timatmart	4,57	
		Djebel Bourdim	6,25	
	Aouf	Sidi Reffas	4	
		Djebel Zerakine	3	
	Nesmoth	Gorot El Bordji	3	
		Ain Sidi Dahou	6	
	Zelamta	Khanafou	3	
		Bled Hayoum	11,5	
		Guergour	2,50	
TOTAL	7	14	62,82	

IV.6 Résultats et discussions :

IV.7 Carte de sensibilité aux feux de forêts de la Wilaya de Mascara :

La figure 40 nous renseigne sur la variabilité spatiale du risque relatif à la probabilité d'occurrence des feux au niveau des massifs forestiers de la Wilaya de Mascara. D'après les résultats obtenus sur le tableau 11, la classe à risque élevé est la plus représentée et concerne

plus de 74 % des massifs forestiers. Seul 0,16 % des massifs forestiers présente un risque faible.

Tableau 11: Classes de l'Indice de Risque de feu (IDF).

IDF	Signification	Pourcentage (%)	Superficie (ha)
IDF = 4.	Risque faible	0,16	14 4,35
$4 < IDF \leq 8$	Risque Modéré	8,26	745 2,41
$12 < IDF \leq 16$	Risque Élevé	74,97	67 640,18

L'étude des bilans des incendies de la wilaya montre que les massifs les plus touchés par les feux se situent au sud et à l'est de la wilaya où les maquis occupent la première place des formations forestières.

Les incendies se déclarent dans la saison estivale et principalement en août (Meddour *et al.* 2013).

Le dispositif de lutte contre les feux de forêts enregistre un manque très important en termes d'infrastructure de prévention et de lutte surtout dans les régions situées dans la classe à risque élevé où on trouve des massifs forestiers non accessibles.

Les zones forestières appartenant aux deux classes à sensibilité modérée et faible (Figure 40) sont surtout les forêts de petites superficies (30 ha à 100 ha) et accessibles et faciles à gérer en terme de prévention et de lutte.

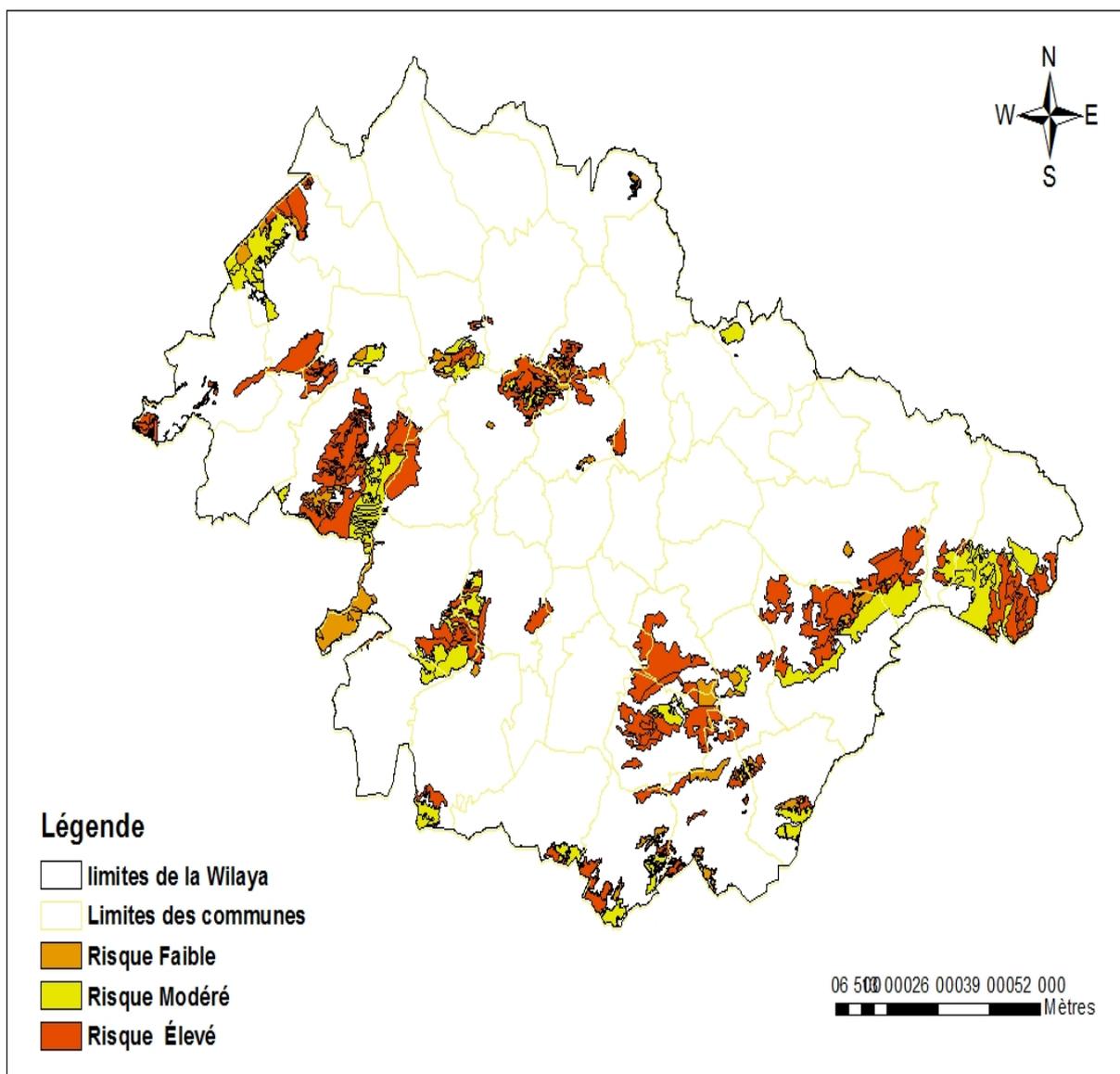


Figure 40: Carte des zones à risque aux feux de forêts de la Wilaya de Mascara.

Selon Benbakkar et al., 2024 La carte des zones à risque des feux de forêts montre clairement la vulnérabilité forte des massifs forestiers de la wilaya de Mascara.

Toutefois, beaucoup de mesures doivent être prises tant dans le domaine de la prévention (sensibilisation, information), que de la prévision (infrastructure de lutte et équipement du terrain) et enfin dans l'efficacité et la rapidité dans la lutte contre les incendies.

IV.8 Indice Topomorphologique (IM) :

A. La pente :

La pente « p » est un facteur d'accélération du front de feu (Mederbel et al., 2009).

La pente est très importante pour la propagation du feu, tant que la pente est raide le feu bouge vite. La pente modifie l'inclinaison relative de la flamme par rapport au sol et favorise,

lorsque Propagation vers le haut, efficacité du transfert de chaleur radiatif et convection. Par conséquent, les incendies croissants brûlent plus rapidement sur les pentes plus raides. Exister En revanche, le feu qui tombait l'a vu ralentir considérablement. Ces 5 classes de pente sont retenues en fonction de leur incidence, fréquence d'apparition et distribution spatiale. La réalisation de la carte de pente a été faite à partir de DEM et SLOPE.

Quatre classes de pente ont été retenues en fonction de leur incidence, leur fréquence d'apparition et leur distribution spatiale (tableau 12).

Tableau 12 : Classes de pentes forêt de Beni Khemis

PENTE	Classe	Pourcentage (%)	Superficie (ha)	CODE
0% <P<15 %	Faible	21.50 %	530,83	1
15%<P<30 %	Moyenne	38.36 %	947,11	2
30 %<P<60	Forte	35.82 %	884,39	3
P > 60 %	Très forte	00.31 %	07,65	4

Les classes de pentes (figure 41) pour la forêt de Beni Khemis est subdivisé en 4 classes : 1^{ère} classe faible de 21.50 % de la surface totale; 2^{ème} classe moyenne de 38.36 % de la surface totale ; 3^{ème} classe forte de 35.82 % de la sur face totale ; 4^{ème} très forte de 00.31 % de la surface totale.

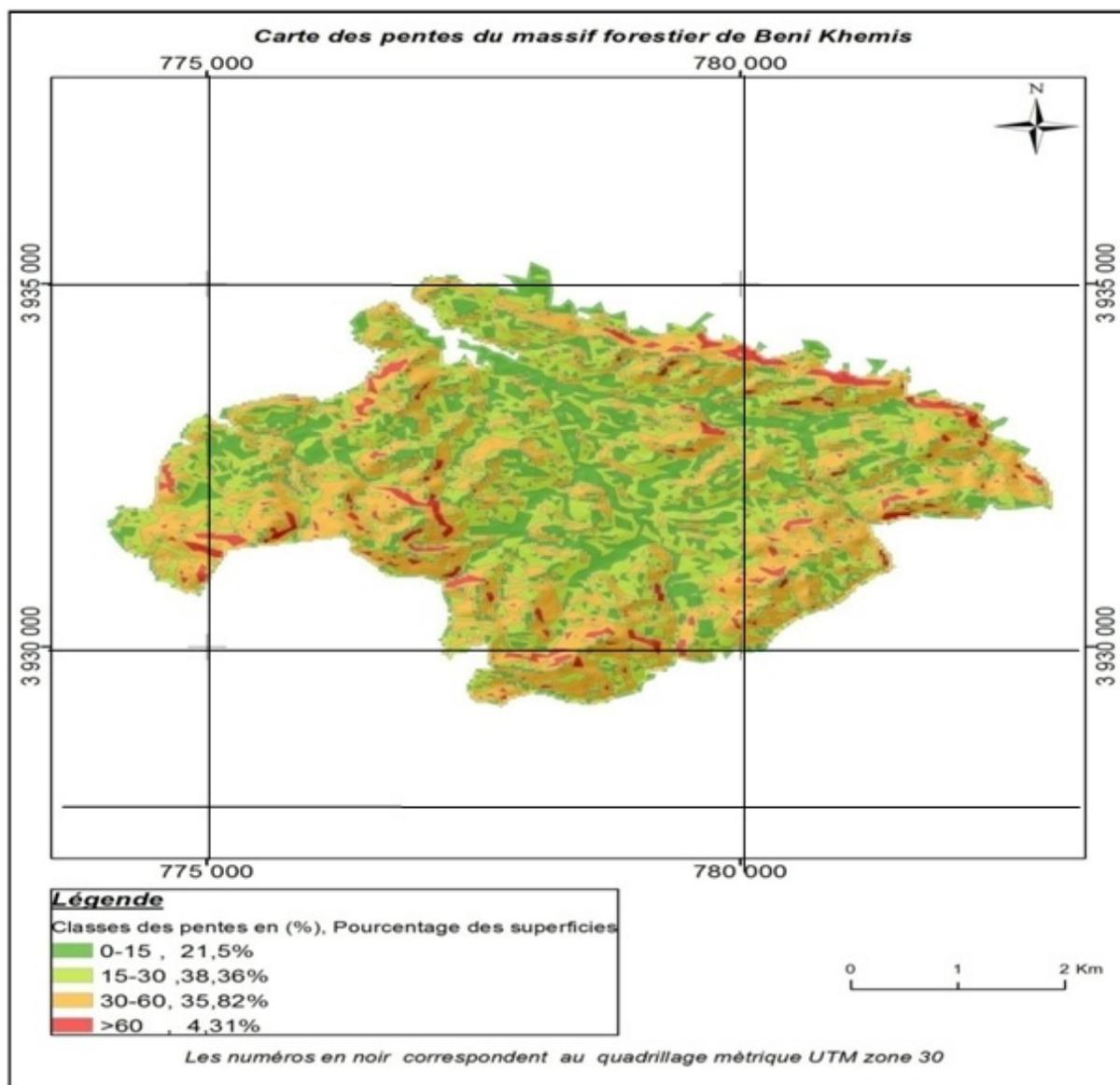


Figure 41: Cartes des pentes forêt de Beni Khemis

Quatre classes de pente ont été retenues en fonction de leur incidence, leur fréquence d'apparition et leur distribution spatiale (tableau 13).

Tableau 13 : Classes de pentes forêt de Guetarnia

PENTE	Classe	Pourcentage (%)	Superficie (ha)	CODE
0% <P<15 %	Faible	46.00 %	1296,28	1
15%<P<30 %	Moyenne	09.49 %	267,43	2
30 %<P<60	Forte	44.45 %	1252,60	3
P > 60 %	Très forte	00.04 %	01,12	4

Les classes de pentes (figure 42) pour la forêt de Beni Khemis est subdivisé en 4 classes : 1^{ère} classe faible de 46.00 % de la surface totale; 2^{ème} classe moyenne de 09.49 % de la surface totale ; 3^{ème} classe forte de 35.82 % de la sur face totale ; 4^{ème} très forte de 00.31 % de la surface totale.

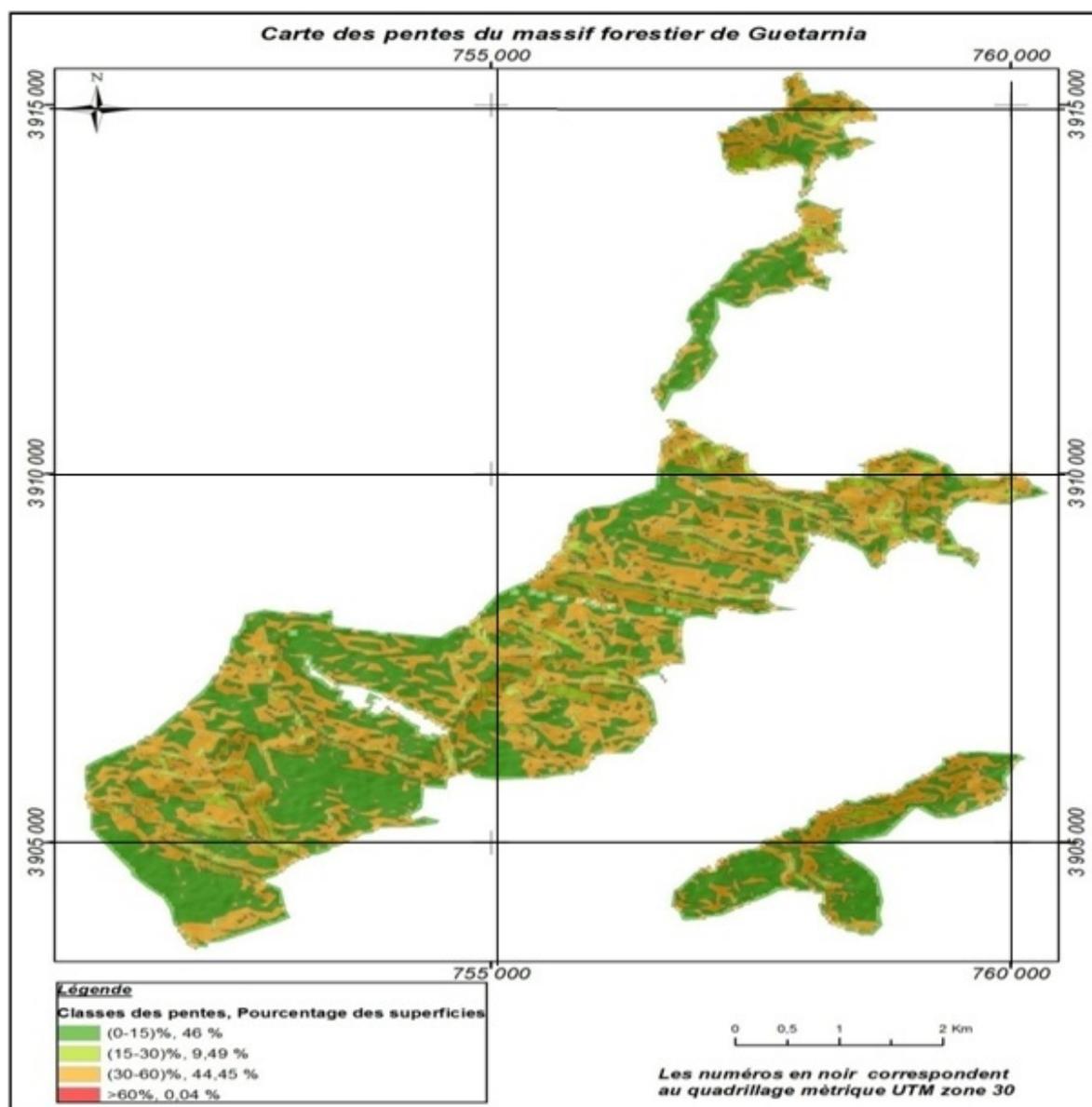


Figure 42: Cartes des pentes forêt de Guetarnia

B. L'exposition :

L'exposition traduit la situation du versant par rapport aux vents dominants et à L'ensoleillement. Elle détermine les versants chauds ou frais à partir de son ensoleillement.

Huit classes d'exposition ont été définies, chaque exposition correspondant à un quartier de 45° centré sur la valeur moyenne de cette exposition (tableau 14):

Tableau 14: Classes des expositions

SIGNIFICATION	FD GUETARNIA (%)	FD BENI KHEMIS (%)
Nord	12.30	08.50
Nord Est	12.67	13.47
Est	11.76	09.94
Sud Est	14.65	08.03
Sud	14.37	11.33
Sud Ouest	10.39	10.46
Ouest	05.25	12.41
Nord Ouest	03.66	17.21

L'exposition N-NO-NE domine la forêt de Beni Khemis avec une proportion de 39.18 %. Cette situation ne favorise les feux de forêt (figure 43).

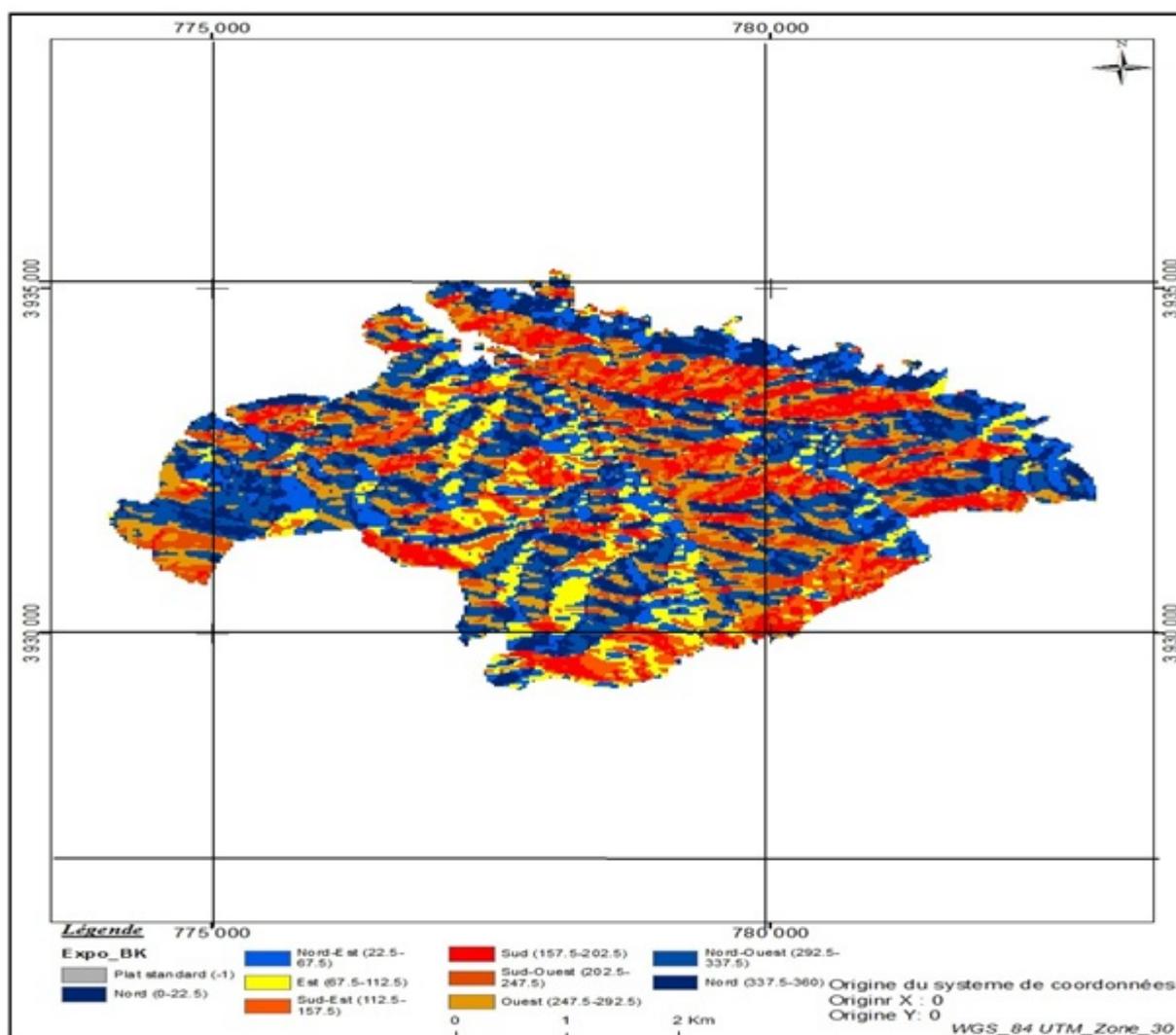


Figure 43: carte des expositions forêt de Beni Khemis

L'exposition dominante dans la forêt de Guetarnia est S-SE-N avec une proportion de 39.38 % pour l'ensemble de la superficie. , Cette situation favorise les feux de forêt dans la forêt (figure 44).

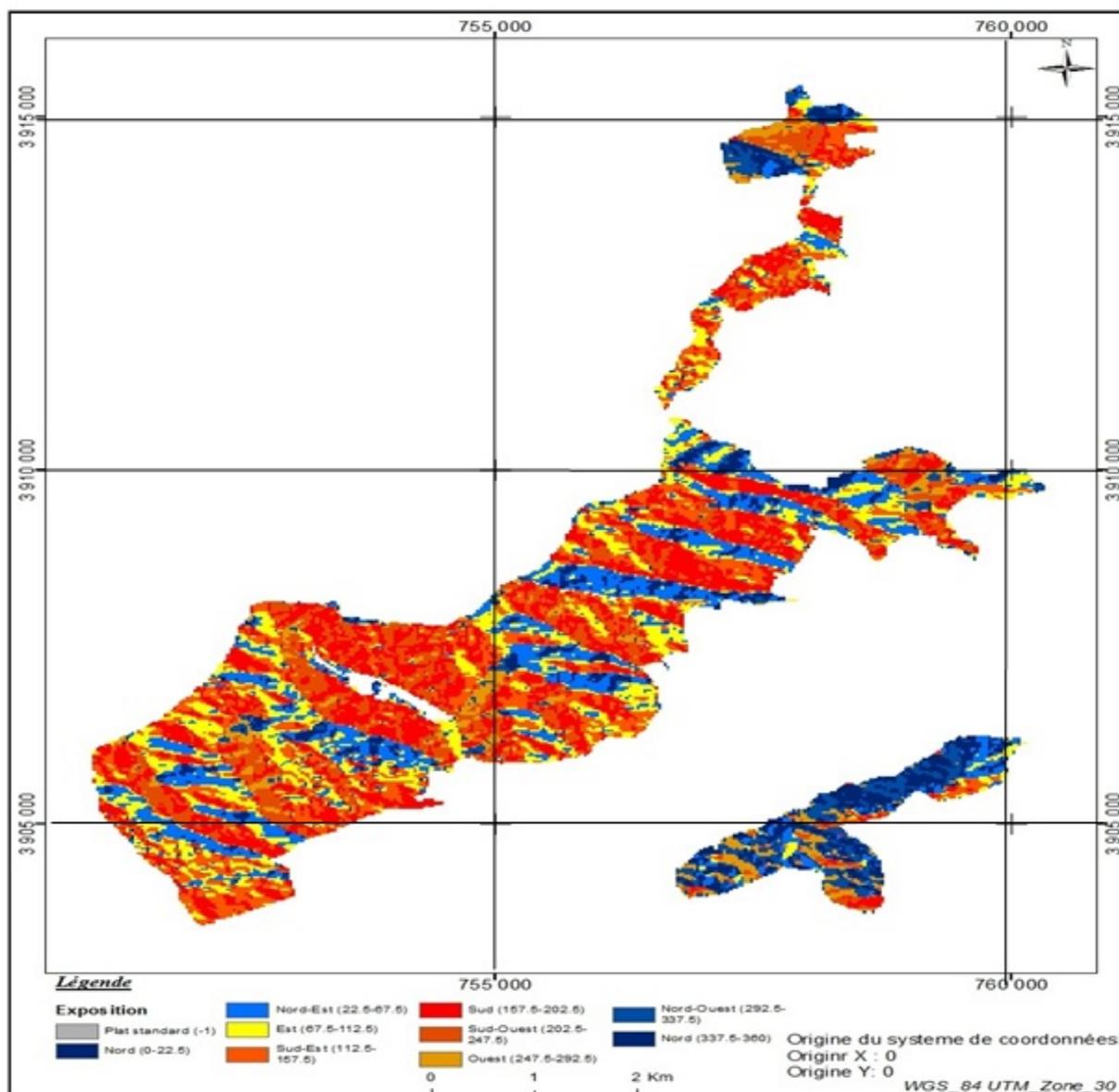


Figure 44: carte des expositions forêt de Guetarnia

C. Cartes topomorphologiques:

La position dans le versant ou la topomorphologie «m» pondère l'intensité du feu en fonction de la position sur le relief. La topomorphologie a été retenue en fonction des classes de pentes dérivées du MNT. Les quatre classes définissent les situations topographiques de plus en plus défavorables pour la lutte (Tableau 15):

Tableau 15: Classes de la topomorphologie forêt de Beni Khemis

P	Topographie	Pourcentage %	Superficie (ha)	CODE
P < 3 %	Plaine	14.58 %	359.98	1
3%<P<12.5 %	Bas piémont	32.21 %	795.26	2
30%<P<60 %	Haut piémont	52.35 %	1 292.52	3
P>60%	Montagne	00.85 %	20.98	4

Les classes des bas et hauts piémonts dominent la forêt domaniale Beni Khemis avec 84.56 % de la superficie globale (figure 45).

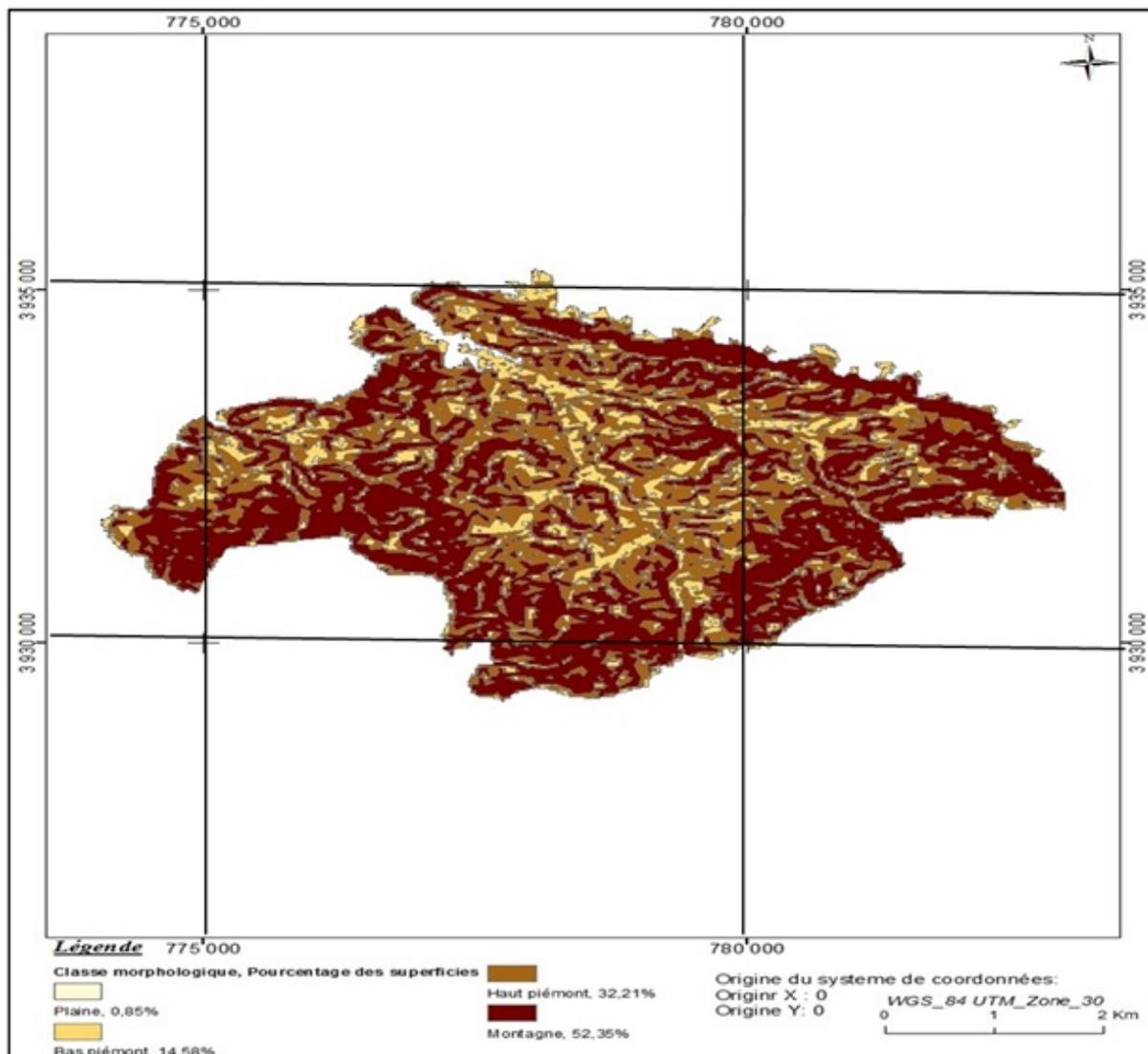


Figure 45: carte Topomorphologique forêt de Beni Khemis

Quatre classes définissent les situations topographiques de plus en plus favorables pour l'éclosion des feux (Tableau 16):

Tableau 16 : Classes de la topomorphologie forêt de Guetarnia

P	Topographie	Pourcentage %	Superficie (ha)	CODE
P < 3 %	Plaine	01.76 %	49.60	1
3%<P<12.5 %	Bas piémont	32.48 %	915.29	2
30%<P<60 %	Haut piémont	47.27 %	1 332.06	3
P>60%	Montagne	18.49 %	521.05	4

Les classes des bas et hauts piémonts dominent la forêt domaniale de Guetarnia avec 79.75 % de la superficie globale (figure 46).

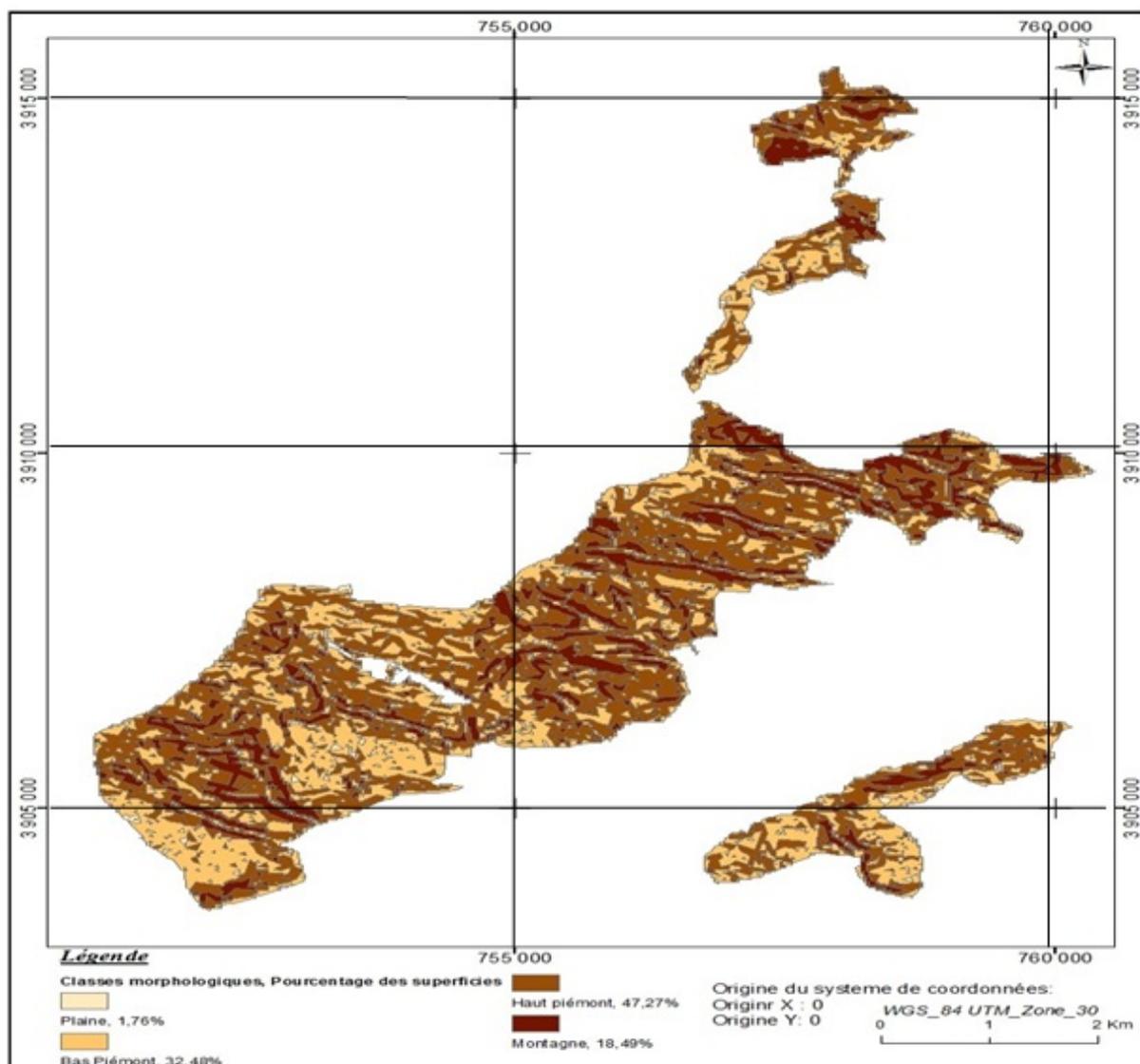


Figure 46 : Carte topomorphologique forêt de Guetarnia

D. Cartes de l'indice topomorphologique :

L'indice topomorphologique est obtenu par superposition de la carte de pentes, de. L'indice topo-morphologie présente une forte relation avec la pente, l'exposition et la topo-morphologie. Les résultats obtenus nous ont permet d'obtenir quatre classes topomorphologiques récapitulées selon leurs importance (tableau 17).

Tableau 17: classes de l'indice topomorphologique forêt de Beni Khemis

IM	Signification	Pourcentage %	Superficie (ha)	CODE
IM < 9	Peu favorable	07.51	211.65	1
9 < IM < 14	Moyennement Favorable	23.66	666.49	2
14 < IM < 19	Favorable	16.20	456.32	3
IM > 19	Très favorable	52.65	1483.16	4

Plus que la moitié de la superficie de La forêt domaniale Beni Khemis avec 1483.16 ha se trouve dans des conditions topomorphologiques très favorables à l'accentuation du feu (figure 47).

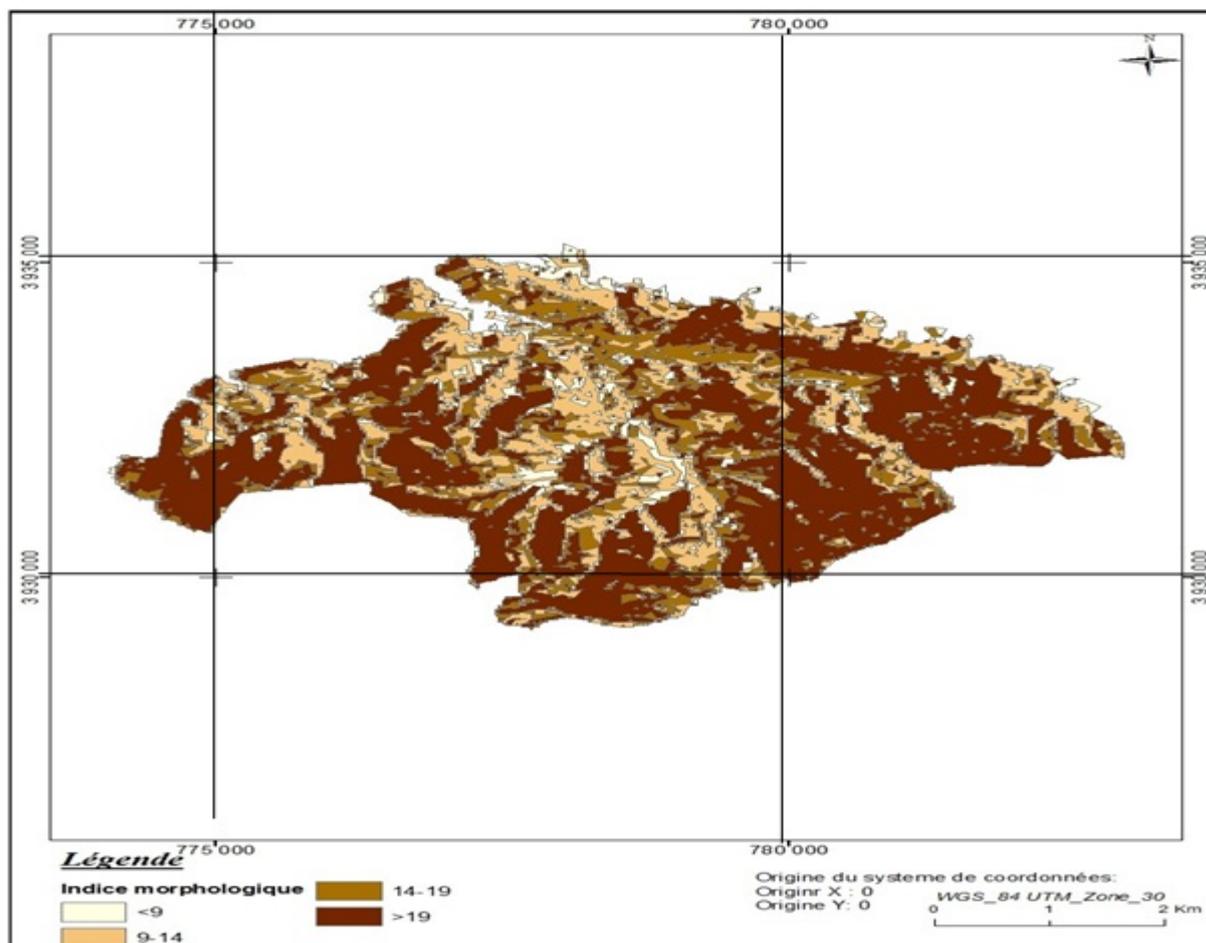


Figure 47: carte de l'indice topomorphologique forêt de Beni Khemis

Plus que la moitié de la superficie de la forêt domaniale de Guetarnia avec 1 484,21 ha se trouve dans des conditions topomorphologiques très favorables à l'accentuation du feu (tableau 18).

Tableau 18: classes de l'indice topomorphologique forêt de Guetarnia

IM	Signification	Pourcentage %	Superficie (ha)	CODE
IM < 9	Peu favorable	15,48	397,61	1
9 < IM < 14	Moyennement Favorable	20,09	515,89	2
14 < IM < 19	Favorable	06,64	170,45	3
IM > 19	Très favorable	57,79	1 484,21	4

L'indice topo-morphologique pour la forêt de Guetarnia est subdivisé en 4 classes : 1^{ère} classe peu favorable de 15.48 % de la surface totale; 2^{ème} classe moyennement favorable de 20.09 % de la surface totale ; 3^{ème} classe favorable de 06.64 % de la surface totale à cause de la pente moyen et le couvert végétale moyen ; 4^{ème} très favorable de 57.79 % de la surface totale (figure 48).

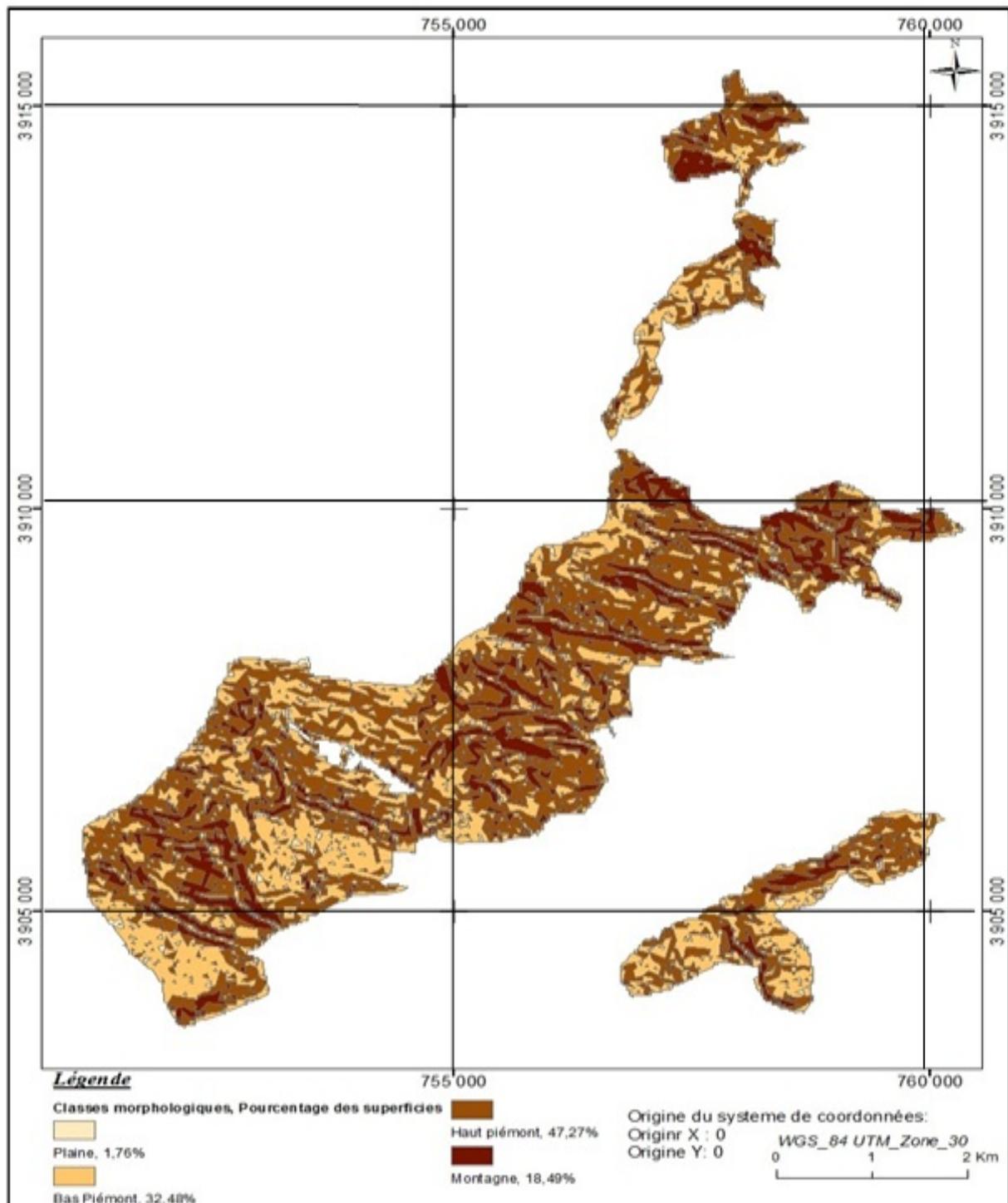


Figure 48: Carte de l'indice topomorphologique forêt de Guetarnia

IV.9 L'indice de combustibilité

A. Carte de l'indice de végétation NDVI:

La carte de combustibilité a été réalisée à partir de la carte NDVI. Les valeurs de l'NDVI sont comprises entre -1 et $+1$, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau et les nuages pour lesquelles la réflectance dans le

rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, la réflectance étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, de sorte que le NDVI présente des valeurs proches de 0. Quant aux formations végétales elles ont des valeurs positives, généralement comprises entre 0,1 et 1. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

Pour les besoins de l'étude, un indice de végétation de la région a été calculé à partir d'une combinaison des bandes rouge et proche-infra-rouge de l'image satellitaire, LANDSAT 8, correspondant au 30 du mois de juin 2017. Cet indice est utilisé pour bien discriminer les deux composantes éco systémiques: sols et plantes d'une part et pour calculer le biovolume de la forêt d'une autre part (figure 38 et 39).

La formule utilisée pour calculer le NDVI est la suivante :

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

Avec :

PIR : La bande Proche-infra-rouge.

R : La bande rouge.

Les valeurs de l'NDVI changent avec l'état de la végétation. La valeur de l'NDVI pour la forêt de Beni Khemis est comprise entre 0.05 et 0.40. Le maximum atteignait la valeur de 0.40 ce qui correspond à une activité chlorophyllienne maximale, alors que la valeur minimale n'enregistrait que 0.05 (figure 49). Cette dernière valeur intéresse les pistes DFCI, les pare-feux peu ou non végétalisés et les formations végétales peu couvrantes.

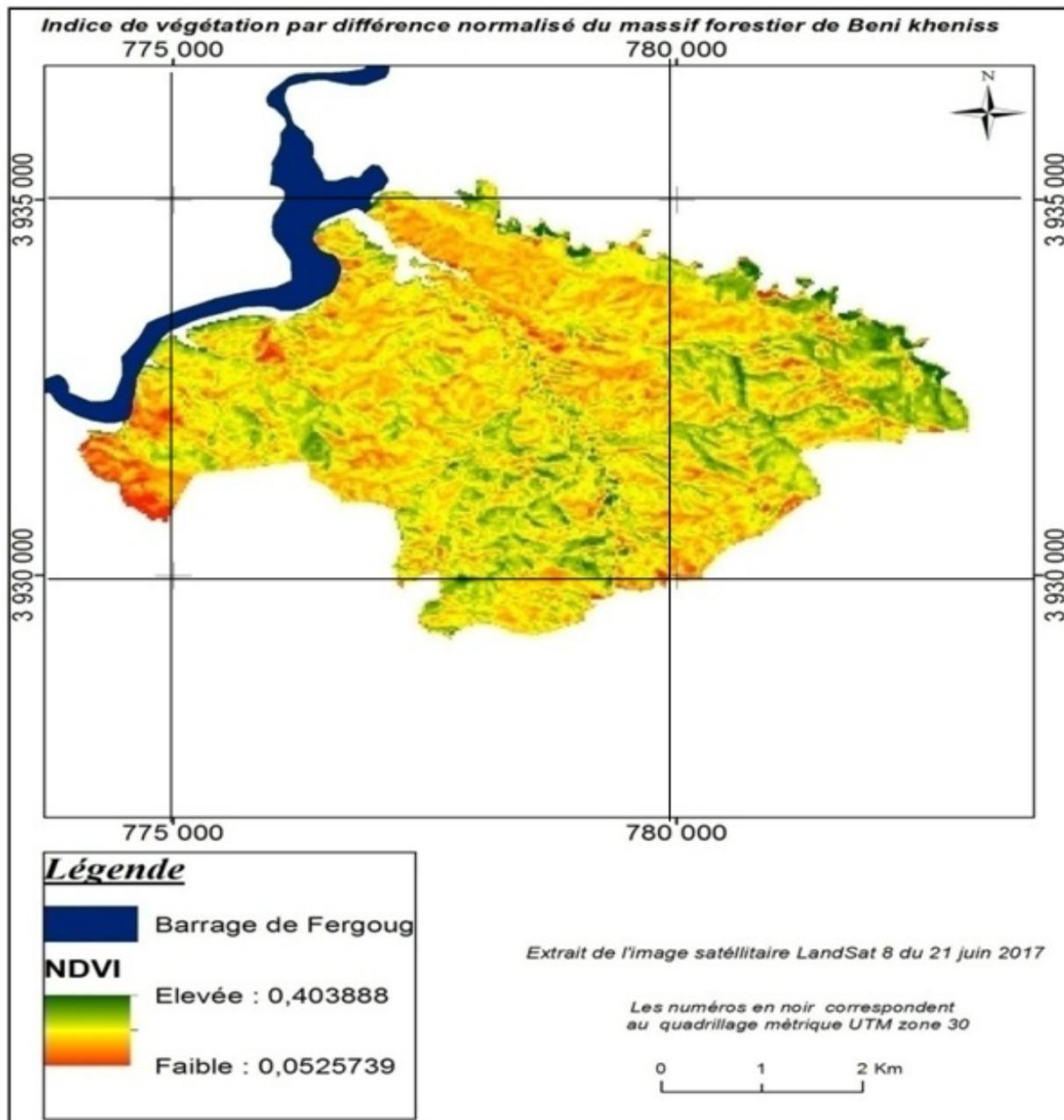


Figure 49: carte de l'indice de végétation forêt de Beni Khemis

Les valeurs de l'NDVI changent avec l'état de la végétation. La valeur de l'NDVI pour la forêt de Guetarnia est comprise entre 0.01 et 0.45. Le maximum atteignait la valeur de 0.40 ce qui correspond à une activité chlorophyllienne maximale, alors que la valeur minimale n'enregistre que 0.05 (figure 50). Cette dernière valeur intéresse les pistes DFCI, les pare-feux peu ou non végétalisés et les formations végétales peu couvrantes.

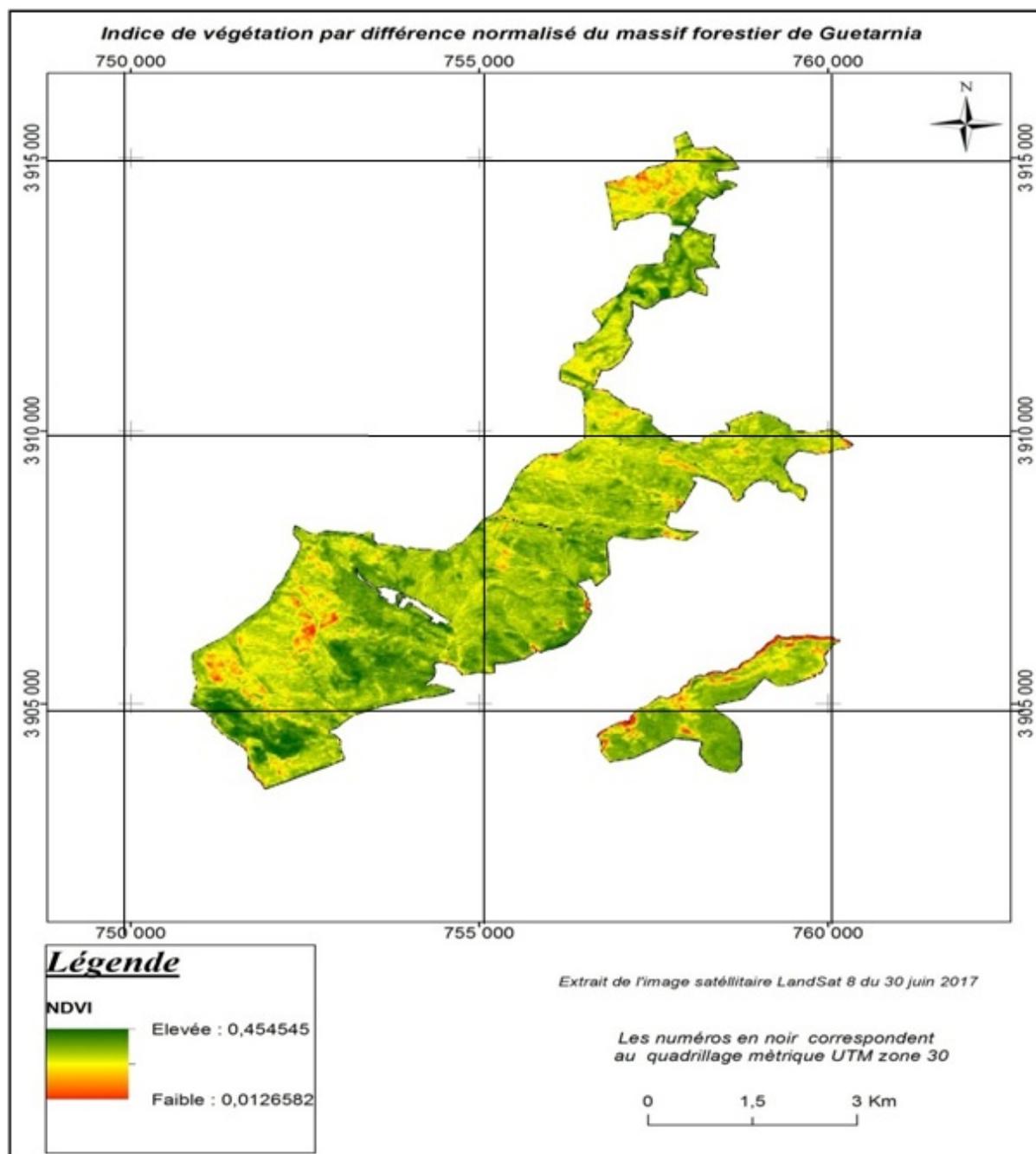


Figure 50: carte de l'indice de végétation forêt de Guetarnia

IV.10 Carte de l'indice de combustibilité:

La carte de l'indice de combustibilité (IC) a été extraite à partir de la carte NDVI (Figure 6) et de la note de combustibilité de chaque espèce (tableau 19). La densité de la végétation ou la biomasse relative est considérée comme un facteur important dans l'extension des incendies de forêt. Elle a été déterminée en calculant l'indice de végétation normalisé (NDVI) à partir des images satellitaires, par contre les notes d'intensité calorifique des espèces présentes dans la forêt (E1 et E2) ont été extraites de celles établies par le CEMAGREF à l'exception du

Chêne liège présent dans la forêt domaniale de Guetarnia qui a été assimilé au chêne vert qui est l'espèce la plus proche, et du *Tetraclinis articulata* présent dans la forêt domaniale de Beni Kheis qui a été assimilé au *Juniperus* qui est l'espèce la plus proche (tableau 19).

Tableau 19: les notes de combustibilité

Essence	Note de combustibilité
Chêne kermès (<i>Quercus coccifera</i>)	8
Chêne vert (<i>Quercus ilex</i>)	7
Pin d'Alep (<i>Pinus halepensis</i>)	7
Genévrier oxycèdre (<i>Juniperus oxycedrus</i>)	7
Doum (<i>Chamaerops humilis</i>)	7
Thuya de Barbarie (<i>Tetraclinis articulata</i>)	7
Olivier (<i>Olea europea</i>)	5
Romarin (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	5
Filaria (<i>Phillyrea latifolia</i>)	5
Pistachier lentisque (<i>Pistacia lentiscus</i>)	4

La carte des notes de combustibilités a été élaborée à partir de la carte de formation forestière et du tableau des notes de combustibilités qui a pour formule: $E = E1 + E2$. Avec : E1 : les notes de combustibilité pour les ligneux hauts ; E2 : les notes de combustibilité pour les ligneux bas ou les herbacées.

E1, E2 ont été reportés sur la table attributaire, qui consiste à créer 3 colonnes : 1^{ère} colonne d'E1, la 2^{ème} colonne d'E2 la 3^{ème} colonne de E.

E1 et E2 ont été renseignés à partir du tableau des notes de combustibilité de l'espèce végétale. Ils prennent en considération le type de plante qui brûle rapidement ou non, et si sa longueur est courte ou longue, nous affectons à chaque plante sa valeur à partir du tableau.

L'estimation du biovolume global de la végétation à partir de l'NDVI, nécessite de mettre en place une échelle d'équivalence entre les deux valeurs. Sachant que les valeurs théoriques du biovolume varient entre 0 et 50 et que celles de l'NDVI, concernant la végétation, sont comprises entre 0,1 et 1, il suffit donc de faire correspondre ces deux intervalles. Dans ce cas, la valeur 0,1 de l'NDVI correspondra à la valeur 0 du biovolume et celle de 1 sera équivalente à 50. Cependant, avant d'effectuer cette équivalence, une dernière étape de validation doit être

réalisée pour vérifier si les valeurs de l'NDVI calculées sur l'image satellite expriment bien la quantité réelle de biomasse (tableau 20).

Tableau 20: Indice de combustibilité de la forêt de Beni Khemis.

IC	Note de risque	Pourcentage (%)	Superficie (ha)	CODE
IC < 39	Faible	0.01	00,25	1
39 < IC < 42	Modéré	46.10	1138,21	2
42 < IC < 45	Elevé	53.77	1327,58	3
IC > 45	Très élevé	0.10	02,47	4

L'indice de combustibilité de la forêt domaniale de Beni Khemis fait montrer un risque élevé dont la valeur est de 53.77. Cependant, le risque faible est désigné par la valeur de 0.001. On remarque que la superficie porte un indice combustibilité de la forêt domaniale de Beni Khemis élevé est de 1327,58 ha et l'indice de combustibilité modéré est de 1138,21 ha (figure 40).

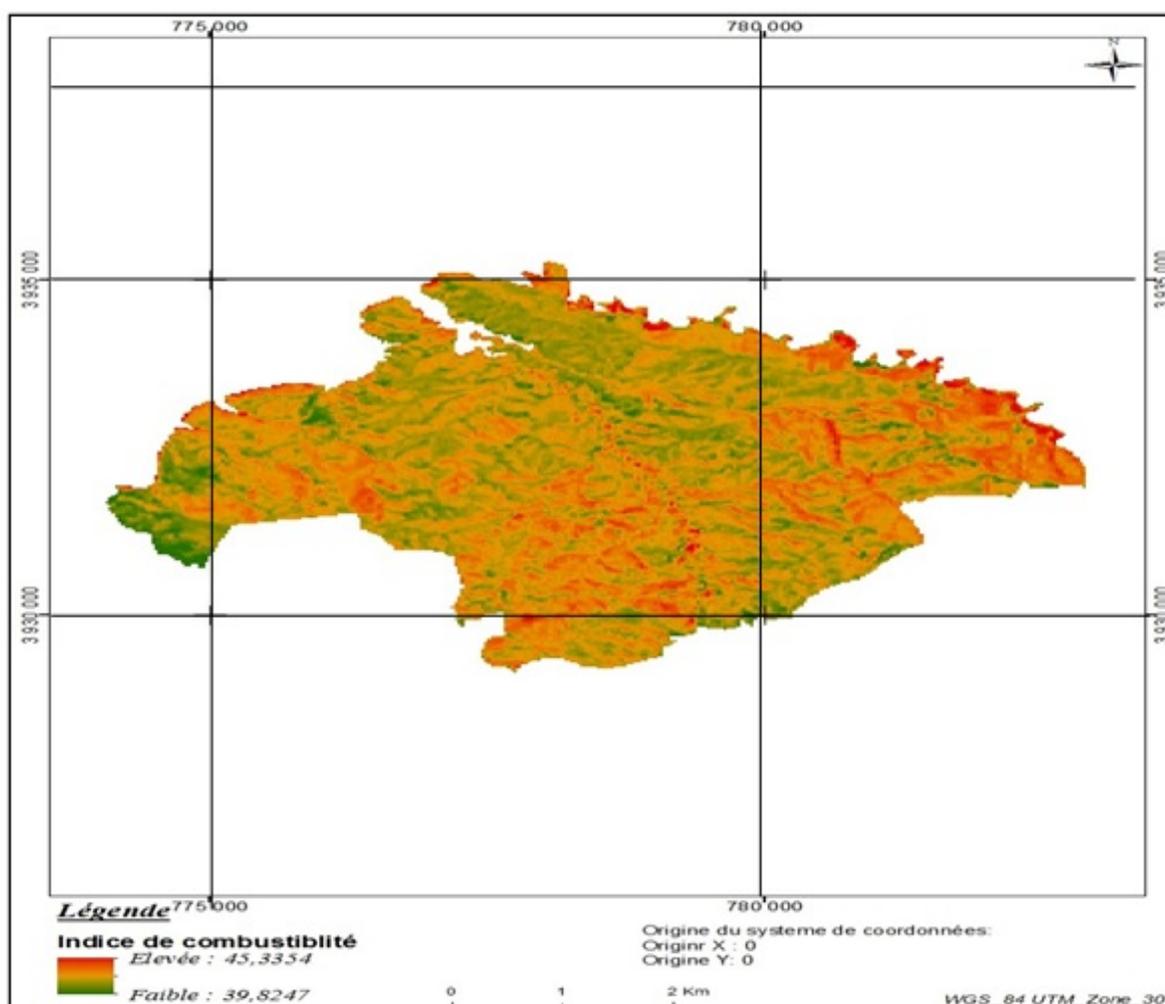


Figure 51: carte de l'indice de combustibilité forêt de Beni Khemis

D'après le tableau 21 ; On remarque que 2659.04 ha présente un risque modéré à élevé et elle représente 92.55 (%) de la superficie globale de la forêt domaniale de Guetarnia.

Tableau 21: Indice de combustibilité de la forêt de Guetarnia.

IC	Note de risque	Pourcentage (%)	Superficie (ha)	CODE
IC < 39	Faible	7,42	213,31	1
39 < IC < 42	Modéré	82,20	2 361,71	2
42 < IC < 45	Elevé	10,35	297,33	3
IC > 45	Très élevé	0,02	0,56	4

L'indice de combustibilité de la forêt domaniale de Guetarnia montre un risque modéré dont la valeur est de 82,20. Cependant, le risque faible est désigné par la valeur de 7,42 (figure 52).

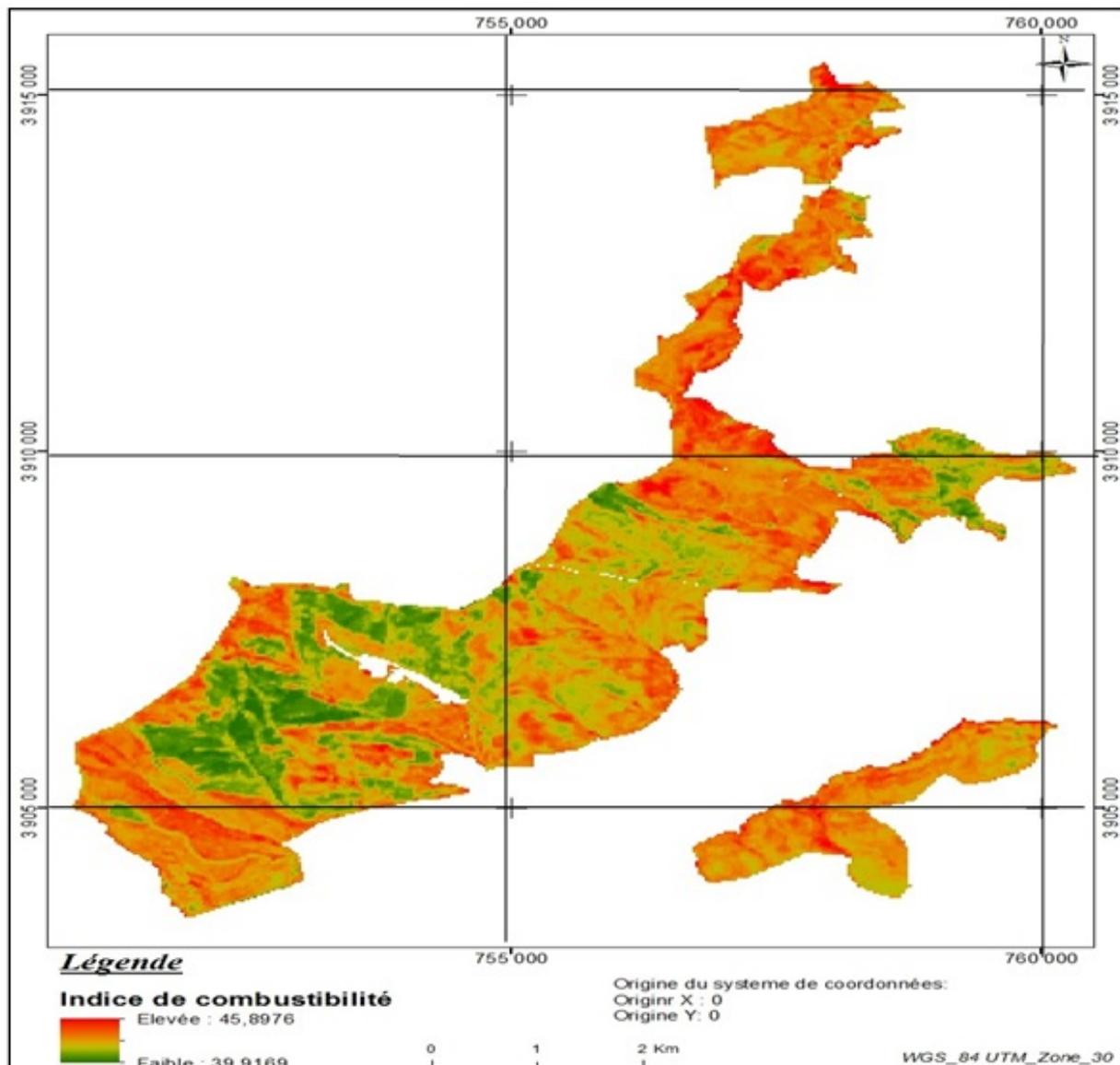


Figure 52: carte de l'indice de combustibilité forêt de Guetarnia

IV.11 L'indice de l'occupation humaine :

L'Indice d'occupation Humaine, représente des petites superficies favorables au risque de feu de forêt suite à la faible densité humaines et au manque des infrastructures implantées dans les deux forêts.

Dans la plupart des cas, les causes des incendies liés à l'homme restent inconnues, principalement pour éviter délibérément l'attribution de la responsabilité pour les dommages et l'indemnisation des coûts des dommages.

Puisque l'homme est responsable de la plupart des mises à feu (volontaires et involontaires) des forêts, il est impossible de modéliser le comportement humain.

Pour évaluer l'effet humain sur les risques d'incendie, on a digitalisé les différentes routes, chemins et les zones d'habitats à partir d'occupation de sol et Google Earth.

IV.12 Cartes de l'indice de Risque de Feu :

Le calcul de l'indice de risque du feu est le résultat de croisement de la couche de l'indice de combustibilité, et de la couche de l'indice topomorphologique et l'indice d'activité humain.

La zone comporte des surfaces favorables à très favorables pour le déclenchement des incendies et cela émane, à coup sûr des peuplements ou des espèces végétales, la plupart des zones se caractérisent par un indice de risque moyen, fort et très fort.

D'après les résultats obtenus, la la forêt domaniale de Beni Khemis est dominée par un indice à risque très fort avec une proportion de 52.64 (tableau 22).

Tableau 22: Classes de l'Indice de risque de feu de la forêt de Beni Khemis

IR	Signification	Pourcentage (%)	Superficie (ha)
IR <6	Risque faible	7,51	211,65
6 < IR < 9	Risque moyen	23,65	666,49
9 < IR < 12	Risque fort	16,20	456,32
IR > 12	Risque très fort	52,64	1 483,16

Plus que la moitié de la superficie de notre zone d'étude se trouve dans des conditions topomorphologiques très favorables à l'accentuation du feu. La forêt domaniale Beni Khemis (1483.16 ha) et la forêt domaniale de Guetarnia (1 484,21 ha).

L'indice de combustibilité modéré représente 82.20 % de la superficie de la forêt domaniale de Guetarnia alors que les indices de combustibilité modéré et élevé représentent 99,87 % de

la superficie de la forêt domaniale de Beni Khemis (Figure 53). Ces conditions, peuvent accentuer le risque d'avoir des incendies.

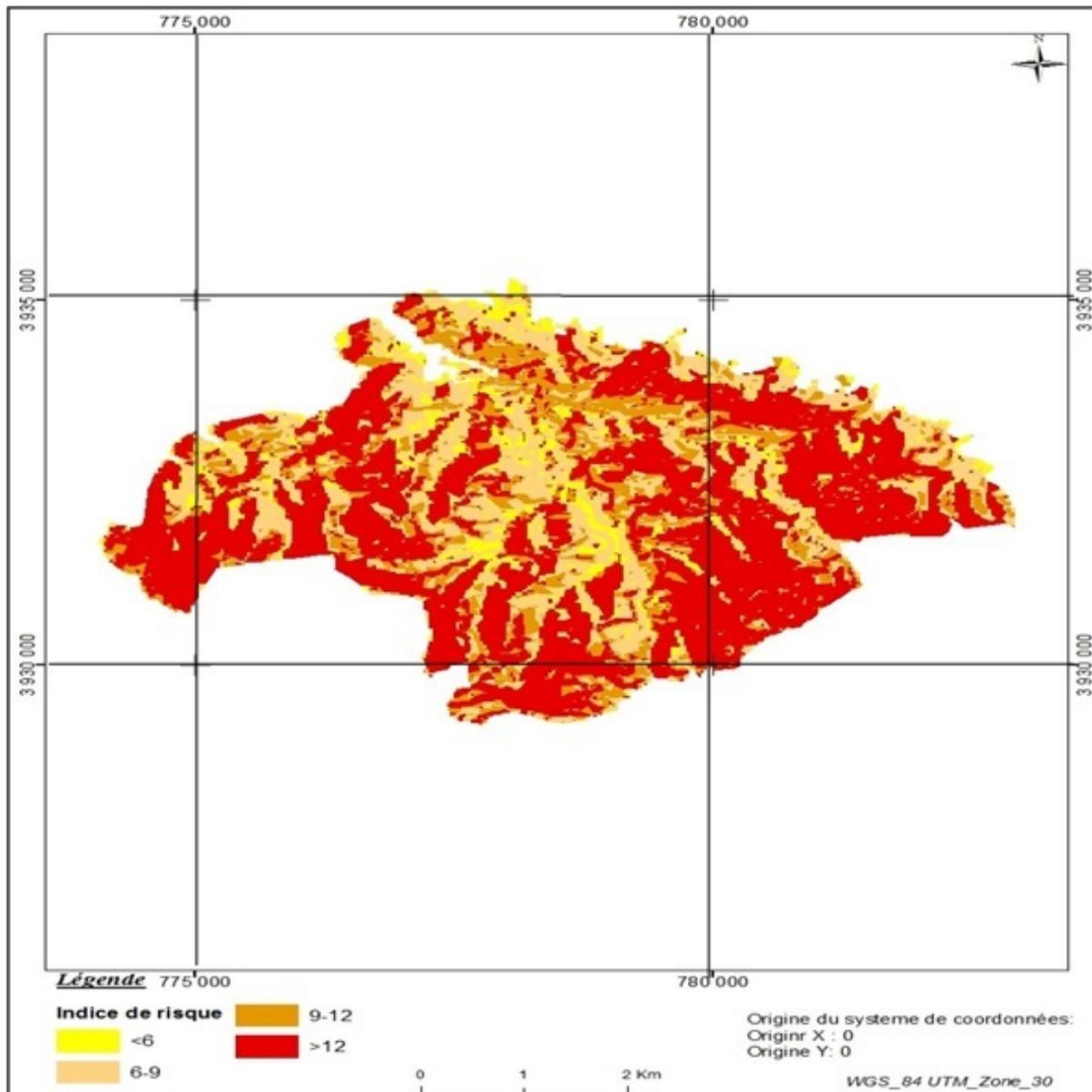


Figure 53: carte de l'indice de risque forêt de Beni Khemis

D'après le tableau 23 la forêt domaniale de Guetarnia est dominée par un indice à risque très fort avec une proportion de 74.97 %.

Tableau 23: Classes de l'Indice de Risque de feu de la forêt de Guetarnia

IR	Signification	Pourcentage (%)	Superficie (ha)
IR <6	Risque faible	0,16	3,57
6 < IR < 9	Risque moyen	8,26	210,60
9 < IR < 12	Risque fort	16,62	423,71
IR > 12	Risque très fort	74,97	1 911,71

Plus que la moitié de la superficie de notre zone d'étude se trouve dans des conditions topomorphologiques très favorables à l'accentuation du feu. La forêt domaniale Beni Khemis (1 483.16 ha) et la forêt domaniale de Guetarnia (1 484,21 ha) (Figure 54).

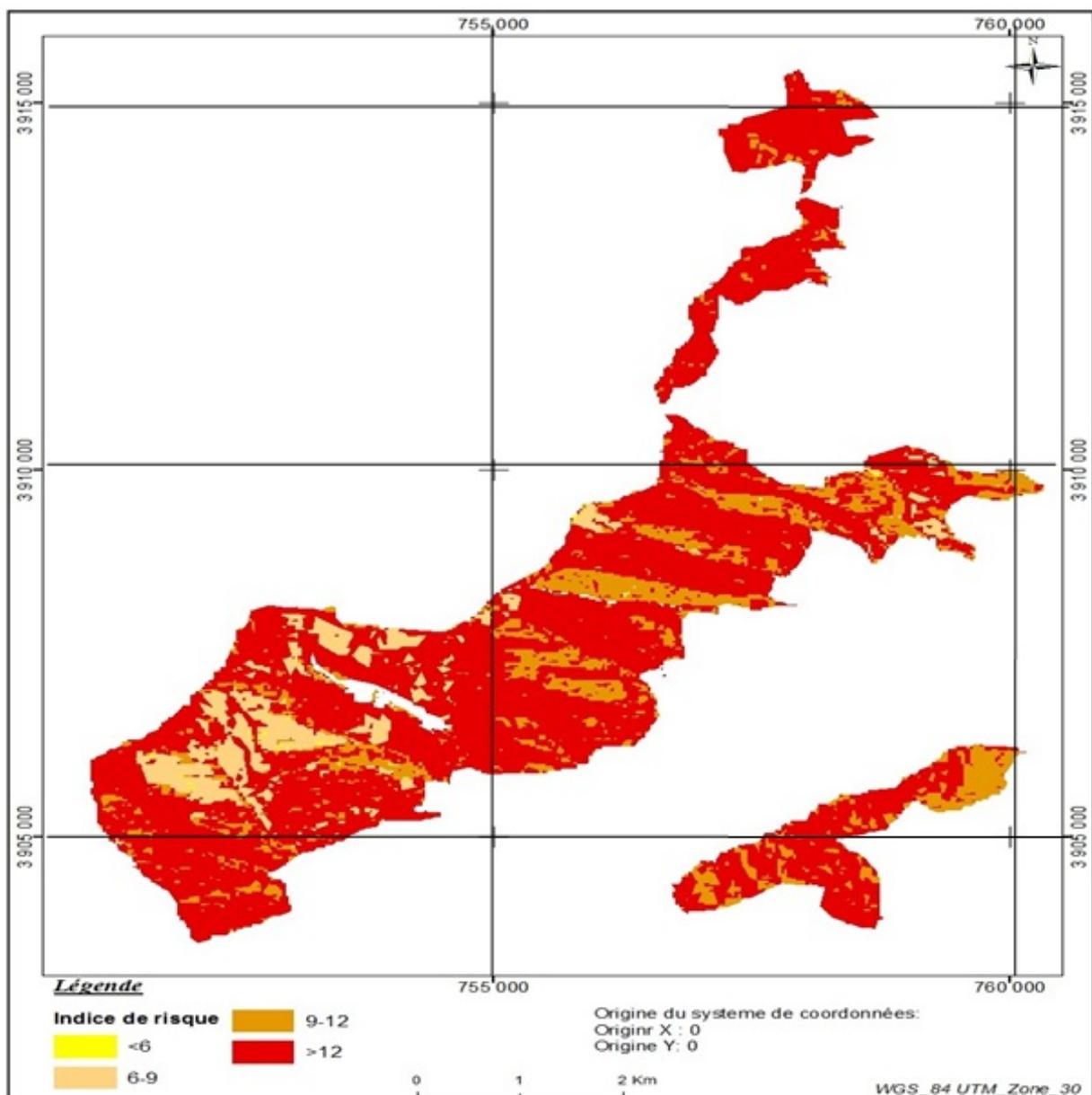


Figure 54: carte de l'indice de risque forêt de Guetarnia

IV.13 Validation du Modèle

Pour valider ce modèle, une comparaison a été faite entre les cartes de risque de feu et les incendies depuis l'année 1998 à l'année 2017, cette comparaison permet de prouver les résultats de l'analyse et fournir un élément d'évaluation de la dégradation des forêts.

Les cartes de validation du modèle (Figures 55 et 56) illustrent la superposition des points d'incendie et les zones à risque sur la zone d'étude afin de confirmer les résultats de l'analyse du risque des feux. Pour la forêt domaniale de Beni Khemis, sur cinq incendies, un seul est situé dans la zone à vulnérabilité moyenne et quatre incendies sont situés dans la zone à vulnérabilité très forte.

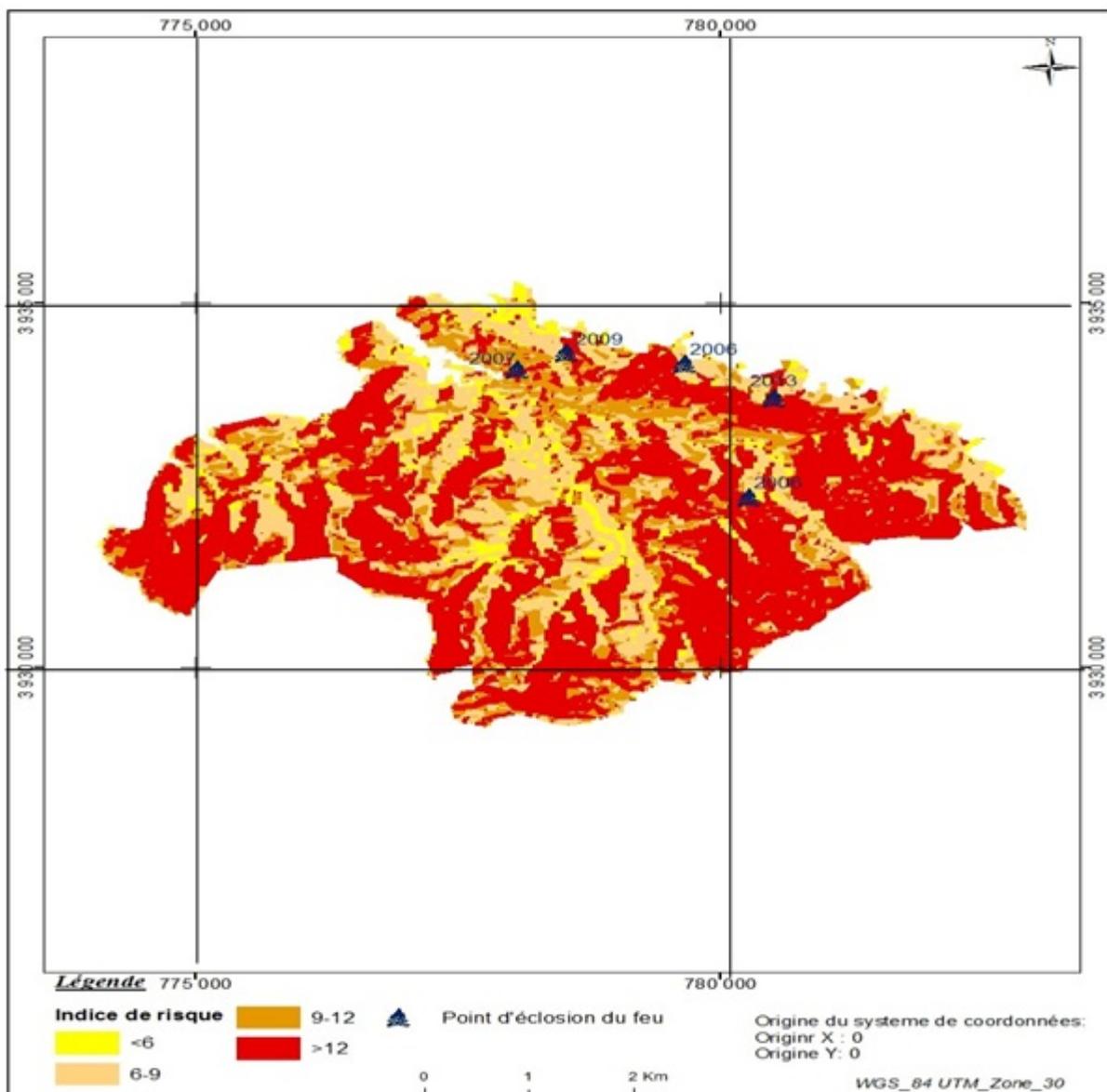


Figure 55: Carte de validation du modèle forêt de Beni Khemis

Pour la forêt domaniale de Guetarnia, sur onze incendies, trois sont situés dans la zone à vulnérabilité moyenne et huit incendies sont situés dans la zone à vulnérabilité très forte.

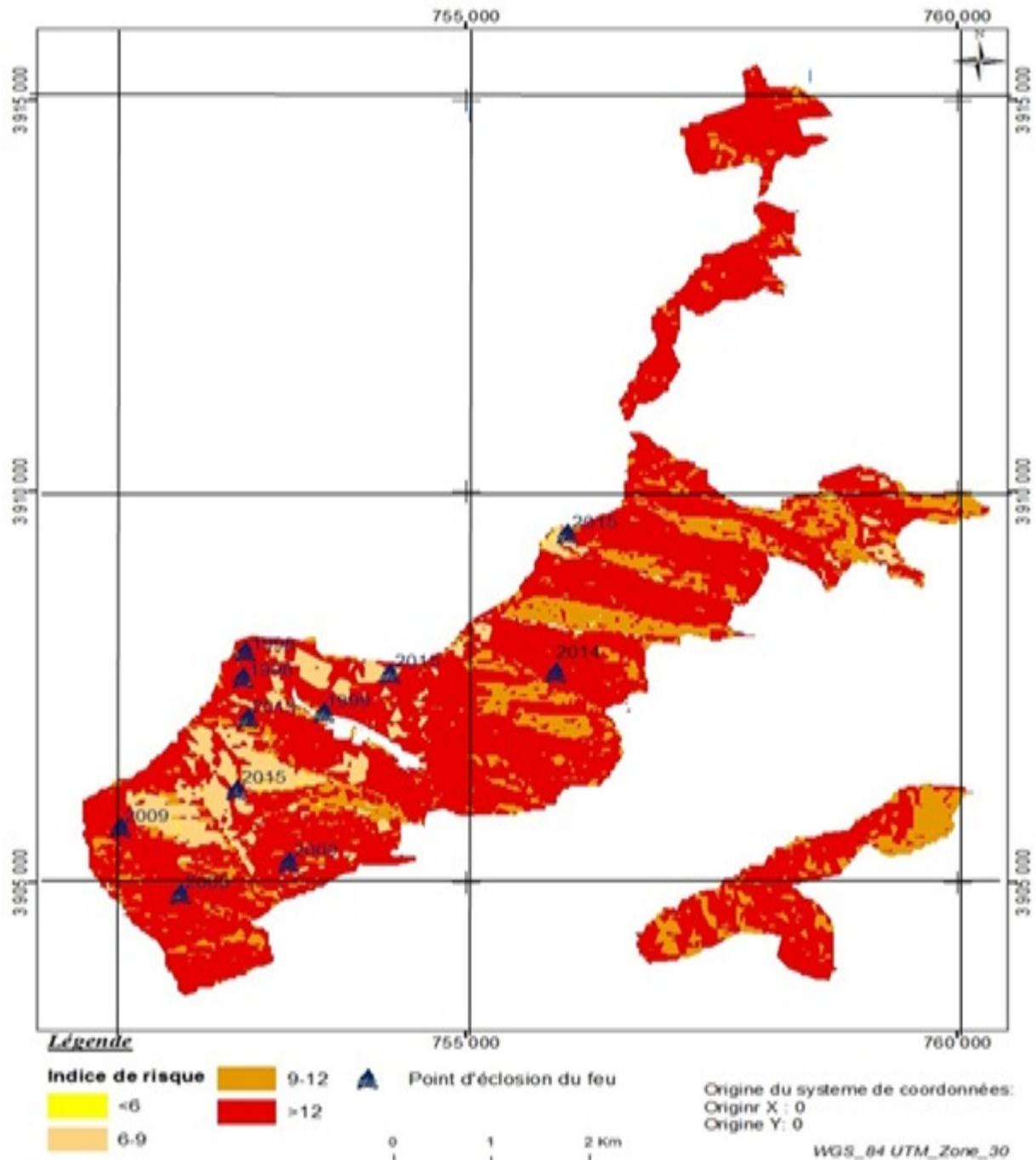


Figure 56: carte de validation du modèle forêt de Beni Khemis

IV.14 Synthèse du risque :

Au terme de ce travail qui a pour objectif de hiérarchiser la zone d'étude en parcelle en fonction du degré de risque en feu, on a constaté quelques conclusions et résultats préliminaires:

Les incendies des forêts sont dus non seulement à certains effets naturels, mais aussi aux différentes interventions de l'homme, en fonction de l'ampleur et de l'action des groupements humains sur ce milieu, notamment au bord de différentes routes.

Le patrimoine forestier étudié est fortement touché par le phénomène 'incendie, sa régression s'est remarquablement accélérée sous la pression de la démographie.

La carte d'indice topomorphologique fournit des informations sur le risque d'inflammation en se basant sur le degré d'influence de plusieurs facteurs (pente, exposition du versant et l'altitude).

La carte d'indice de combustibilité permet d'identifier l'interaction d'une espèce avec le feu. La sensibilité de la couverture végétale à l'indice de forêt est fortement liée aux conditions climatiques.

Pour la carte d'indice humain qui représente la superposition de la carte du réseau routier et la carte des zones d'habitat avec la carte des zones forestières, a identifié l'indice de l'impact humain, mis en évidence par le nombre de départ des feux. Cette carte montre l'influence de l'effet humain sur la forêt.

La carte finale qui représente l'indice de risque de feu est définie comme la somme de plusieurs paramètres (l'indice topomorphologie, l'indice de combustibilité et l'indice humain). Les résultats montrent qu'une grande partie de la zone à risque très fort et moyennement fort est due à l'intersection de plusieurs facteurs.

La carte du risque de feu fournie par cette méthode ne permettra pas de lutter contre le feu, mais elle reste un moyen crucial pour informer sur les zones vulnérables aux incendies, afin d'intervenir sur le milieu avec une gestion durable.

Selon Benbakkar et al.,2024 La carte des risques d'incendie de forêt n'est pas un moyen de contrôle, mais permet aux décideurs et aux gestionnaires de mettre en place un système de surveillance, de détection et de contrôle fiable. D'autre part, elle aide à acquérir des équipements appropriés pour un contrôle plus efficace et permet de planifier une bonne gestion forestière pour la réduction des risques.

La validation du travail par les points des incendies survenus au cours des années objet de notre étude enregistrés par l'administration des forêts, a prouvé l'efficacité de la méthode sur la zone méditerranéenne malgré l'absence des facteurs anthropiques dans son déroulement.

Conclusion:

Notre zone d'étude est une zone écologique et socio-économique importante. Malheureusement, elle est souvent victime d'incendies et d'actions d'êtres humains qui conduisent à sa dégradation. Ce modèle a été développé dans le cadre de cette étude. L'étude consistait à la réalisation d'une carte des facteurs de risque à travers l'utilisation des techniques géomatiques pour fournir des systèmes de télédétection et d'information géographique (SIG). Ces techniques permettent la combinaison d'un ensemble important de données relatives aux paramètres intervenant dans le processus de feux sur un seul support cartographique. La cartographie du risque incendie de forêts constitue un moyen et un outil d'aide à la décision en terme de prévention et de protection du potentiel forestier dans cette région. La méthode proposée par Dagorne a montré que le risque d'incendie le très élevé dans les deux forêts.

Par conséquent, cette région nécessite une attention particulière pour réduire les dommages causés par les incendies et protéger la continuité écologique, ceci ce fait par le renforcement des moyens matériels et humains.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'étude et l'évaluation des risques d'incendies au niveau de nos zones d'étude à l'aide de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques (SIG), ont permis d'établir des cartes de risque de feu de forêt en superposant plusieurs couches d'informations .

Cette étude jumelée entre l'analyse statistique et l'indice du départ de feu, montre que le feu a joué un rôle primordial dans l'état actuel de l'écosystème forestier algérien.

La fréquence des départs des feux n'a cessé d'augmenter à travers le temps, avec un nombre de foyer très élevés ces dernières quinzaines d'année montrant l'inefficacité des dispositifs de lutte contre les feux de forêts dans les 40 départements du nord du pays.

Les informations relatives à la cartographie, aux conditions météorologiques et aux moyens de prévention sont indispensables pour conduire des études statistiques pour permettre des prévisions de plus en plus fiables, et améliorer la prévention et la gestion du risque des incendies de forêts.

Finalement, les cartes des zones à risque des feux de forêts montrent clairement la vulnérabilité forte des massifs forestiers de la région Nord Ouest Algérienne.

Toutefois, beaucoup de mesures doivent être prises tant dans le domaine de la prévention (sensibilisation, information), que de la prévision (infrastructure de lutte et équipement du terrain) et enfin dans l'efficacité et la rapidité dans la lutte contre les incendies.

La politique de l'état algérien depuis les années 2007 avec le lancement du programme de proximité de développement rural intégré (PPDRI) doit prendre en compte le volet socio-économique par l'intégration de la population riveraine dans une approche participative bien étudiée.

La carte du risque du feu de forêt, n'est pas un moyen de lutte, mais elle permettra aux décideurs et aux gestionnaires de mettre en place un dispositif de lutte fiable d'une part, et d'acquérir des équipements appropriés permettant une lutte plus efficace d'autre part.

La carte de validation nous a permis de détecter les zones les plus vulnérables aux feux de forêts, et de programmer un plan d'action pour la lutte efficace contre ce redoutable ennemi de la forêt.

L'étude du risque des feux de forêts permet de :

 prévoir les risques d'éclosion et de propagation d'un feu de forêt, l'évolution dans le temps de la position du front de flammes, les moyens de lutte à positionner sur le terrain ;

calculer automatiquement dans l'espace la croissance et le comportement explicites des feux sauvages pour les allumages simples ou multiples dans des états hétérogènes de la topographie, des carburants et du temps ;

montrer les différentes formes de feux en fonction du vent, de la végétation, de l'humidité et de l'heure d'éclosion ;

fournir l'appui opérationnel à la suppression du feu en prévoyant le comportement des feux sauvages en situation de feu d'évasion

La localisation d'une éclosion n'est pas aléatoire. Le lieu d'éclosion est particulier. Il rassemble des susceptibilités qui se combinent et qui, au-delà d'un seuil, amènent à l'incendie. Ces susceptibilités répondent à une pression sociale sur un environnement particulier. L'occupation humaine imprime sur l'espace des pressions qui, lorsqu'elles s'appuient sur un type de végétation adaptée avec des conditions climatiques propices, provoquent une éclosion d'incendie. Le feu est ainsi le produit d'un système de forces sociales et environnementales en interaction. Il serait intéressant de mesurer la pression anthropique d'un territoire qui, combinée à une étude sur les comportements potentiels des feux, localisent les zones les plus à même de générer des feux violents et de proposer une méthode reproductible pour modéliser les risques. La recherche universitaire et l'intervention des pompiers sur le terrain trouvent ici un lien tangible, l'une justifiant l'autre et vice versa, s'enrichissant mutuellement. Les pompiers utilisent, les conclusions des chercheurs qui eux même vont puiser dans les observations de ces derniers, matière à enrichir leurs bases de données.

D'après les résultats obtenus par notre étude, on peut affirmer que l'application de la géomatique pour évaluer les risques d'incendie de forêts constitue un outil efficace pour l'installation d'un dispositif de lutte contre les feux de forêts, et une aide précieuse à la décision d'une politique rationnelle en matière de gestion du patrimoine forestier.

Comme perspectives à cette étude, il serait intéressant de :

Evaluation approfondie de la qualité des données de l'historique des incendies dans les statistiques nationales et l'homogénéisation ces données.

Homogénéisation des données dans les recherches afin d'aboutir à la précision des résultats.

Élargissement de la base de données géographique relative aux départs de feu de forêt à l'ensemble de toutes les wilayas restantes pour obtenir une localisation spatiotemporelle des feux à l'échelle nationale. Cela permettra de comparer les différentes wilayas, en prenant en compte la particularité de chacune d'elles ;

-  Modélisation du risque des feux de forêts pour renforcer la prévision dans les zones sensibles aux feux de forêts;
-  Etablissement de l'indice forêt/météo basé sur les données météorologiques afin de prévoir le risque journalier d'éclosion et de propagation du feu;
-  Intensification des reboisements en choisissant des espèces moins combustibles.
-  Généralisation de l'utilisation de la géomatique, pour permettre un suivi des changements climatiques, notamment pour des grandes superficies.
-  Intégration de la population locale dans le dispositif dans la lutte contre les feux de forêts.

**Références
bibliographiques**

Aimé S., (1991) - Etude écologique de la transition entre les bioclimats subhumides, semi-aride dans l'étage thermo méditerranéen du tell oranais (Algérie occidentale).Thèse de doctorat en sciences.189p+annexes.

Alexandiran D. & Gouiran M., (1990) + *les causes d'incendie : levons le voile* », [archive]. Revue Forestière Française », S, fascicule thématique, Espaces forestiers et incendies.

Angelidis A., (1994) - La politique de l'Union Européenne concernant la protection des forêts contre les incendies. CIHEAM, IAM Zaragoza, « La protection contre les incendies de forêt », 9-20 mai 1994, 57 p.

Arfa A.M.T., (2019) - Application du SIG et de la télédétection pour un outil cartographique d'aide à la gestion des feux de forêts dans la wilaya d'El Tarf. Thèse de doctorat en Écologie et Environnement. Frères Mentouri Constantine 1. Algérie.

Arfa A. M.T., (2008) - Les incendies de forêt en Algérie : Stratégies de prévention et plans de gestion Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Ecologie et Environnement option écologie végétale. P2-3.

Arfa A.M.T., (2008) - Les incendies de forêts en Algérie: stratégies de prévention et plans de gestion, Mémoire de Magister en écologie végétale et environnement, Université de Constantine.

Arfa A.M.T., Benderradji M.E.H., Alatou D., (2009)- « Analyse des bilans des incendies de forêt et leur impact économique en Algérie entre 1985-2006 », New Medit, Vol.8, No.1, 46-51.

ASAL., (2013) - Bilan des feux de forêts en Algérie à partir des images satellitaires-Campagne estivale 2013. https://asal.dz/?page_id=1249

ASAL., (2014) - Bilan des feux de forêts en Algérie à partir des images satellitaires-Campagne estivale 2014. https://asal.dz/?page_id=1255

ASAL., (2017) - Incendie de forêt dans les wilayas de Bejaia, Sétif, Skikda et Tipaza, durant le mois de juin 2017. <https://asal.dz/?p=348>

ASAL., (2020) - Évaluation des superficies touchées par l'incendie de forêt survenu entre le 06 et le 09 août 2020 au niveau de la commune de Khelil (Wilaya de Bordj Bou Arreridj), à partir de l'imagerie satellitaire Alsat-1B. <https://asal.dz/?p=2611>

ASAL., (2020) - Signature d'une convention entre l'ASAL et la DGF 2020. <https://asal.dz/?p=1967>

B.N.E.D.E.R., (2008)- Etude d'inventaire forestier national : Rapport sur la caractérisation des formations forestières de la wilaya de Mascara, Direction Générale des Forêts, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et de la Pêche.

Baptista, G. M., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A. (2017) -Monitoring Fuel Material, Area and Burn Severity: Their Relationship with a Carbon Cycle by Means of Remote Sensing Data In: Wildfires: Perspectives, Issues and Challenges of the 21st Century Edited by: António Bento Gonçalves, António Vieira, Maria Rosário Costa, and José Aranha. 129-161 Hauppauge New York: Nova Science Publishers.

Belgherbi B., Benabdeli K., Mostefai K.,(2019)- mapping the risk of forest fires in algeria: application of the forest of guetarnia in western algeria.

Belgherbi, B. (2002)- Intégration des données de télédétection et des données multisources dans un système d'information géographique (SIG) pour la protection des forêts contre les incendies (cas de la forêt de Guetarnia-Ouest d'Algérie). Thèse, Université de Tlemcen, Algérie

Belhadjaissa., (2003)- Application du SIG et de la télédétection dans la gestion des feux de forêts en Algérie. CNTS d'Arzew, 16p.

Belhadj-Aissa, M., Belhadj-Aissa, A., Smara,Y., (2003).— Application du SIG et de la télédétection dans la gestion des feux de forêts en Algerie. 2 nd FIG Regional Conference, Marrakech, Morocco

Belkaid H., (2016)- Analyse spatiale et environnementale du risque d'incendie de forêt en Algérie : Cas de la Kabylie maritime. Thèse, Doc. Université Nice Sophia Antipolis. Nice, France, 245 p + annexes. <http://doi.org/10.4236/ojf.2013.31006>

- Benabdeli K., (1996) - Mise en évidence des formations basses dans la sauvegarde des écosystèmes forestiers : cas des mots de d'haya (Algérie accidentel) *Ecologia mediterranea* xx11, p 101 -102.
- Benabdeli K., (2000) - 50 connaissances pour préserver l'environnement.
- Benbakkar H A., Souidi Z., Bardadi A., Gonçalves A B., (2024)- Forest fires risk in a semi arid region: a case study in western algeria. *Intern. Journal of Profess. Bus. Review.* |Miami, v. 9 | n. 5| p. 01-20 | e04680 | 2024. <https://openaccessojcs.com/JBReview/article/view/4680>
- Benbakkar H A., Souidi Z., Bardadi A., Kattar S., Gonçalves A B.,(2024)- Spatio-temporal analysis and risk management of forest fires (West Algerian region). *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 2024, Vol. 66 (4), 285–300. DOI: 10.2478/ffp-2024-0021.
- Bentouati A., (2006)- Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) du massif de Ouled Yagoub (Khenchela – Aurès). Thèse de doctorat. Inst. d'Agronomie. Univ. Batna .107 p.
- Berchiche., 1986 in Belgherbi., (2002)- Intégration des données de télédétection géographique (S.I.G). Pour la protection des forêts contre les incendies (cas de la forêt Guetarnia - ouest d'Algérie) thèse de magister.
- Blandin P (1992) - De l'écosystème à l'éco-complexe. In: *Sciences de la nature, sciences de la société* /M. Jollivet (éd.). Paris : L'Harmattan, pp. 267-280.
- Bouasria A., (2004) - Analyse spatiale et écologie du paysage : concepts, outils et application au bassin versant de l'Ouvèze, mémoire de DEA, CERMOSSEM, IGA, UJF, Le Pradel.
- Boudy P., (1950) - Economie forestier Nord-Africaine, monographie et traitement des essences forestières tome 2 : fascicule1, édition Larousse, Paris, p 216.
- Boudy P., (1950) - Economie forestier Nord-Africaine, monographie et traitement des essences forestières tome 2 : fascicule1, édition Larousse, Paris, p 216.
- Boudy P., (1950) - Economie forestier Nord-Africaine, monographie et traitement des essences forestières tome 2 : fascicule1, édition Larousse, Paris, p 216.

- Boudy P., (1955) - Economie forestière Nord-Africaine. Tome IV. Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. Larousse, Paris, 481 p.
- Boudy P., (1955) - Economie forestière Nord-Africaine. Tome IV. Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. Larousse, Paris, 481 p.
- Boumediene K., (2011)- Les résineux dans la région de Tlemcen ((Nord-Ouest Algérien)) Aspects écologiques, inflammabilité et combustibilité. Mémoire de Magister en : Ecologie et Environnement. Université des sciences et de la technologie « Houari BOUMEDIENE ».
- Brotons, L., P. Pons, and S. Herrando.,(2005) - Colonization of dynamic Mediterranean landscapes: where do birds come from after fire? *Journal of Biogeography* 32:789–798.
- Broucke S., (2009) -État de l'art sur la détermination du régime du feu par des moyens de télédétection. Rapport sur l'évaluation du régime du feu par des moyens de télédétection et qualification des données.
- C.C.F.F., (2007) - Débroussailler votre terrain est votre meilleure protection [En ligne], Disponible sur : « <http://ccff.pertuis.free.fr/schedule.htm> » (Consulté le 10/03/2007)
- C.C.T., (1999) - Cours de télédétection du Centre canadien de télédétection (C.C.T.).
- Canepa A., (2023) - Socio-economic risk factors and wildfire crime in Italy: a quantile panel approach. *Empirical Economic*. DOI: 10.1007/s00181-023-02462-2
- CEMAGREF., (1989) - Guide technique du forestier méditerranéen Français, protection des forêts contre les incendies, volume II, France, Fiches 5 et 8.
- Chautrand L., (1972) - In « Les incendies de Forêts ». Bull. Techn. d'Inf. Du ministère de l'Agriculture. 268, pp. 397-542.
- Cheddad N, et Chabna Ia. B., (2007) - L'évolution du foret algérienne.cas de la région de Mascara, mémoire d'ingénieur en Ecologie Végétale et Environnement, spécialité ; écosystème forestier, p10-15.
- Chevrou R., (1995) - Quelques précautions à prendre en cas d'analyse statistique. Options Méditerranéennes, Série A. Séminaires Méditerranéens, 25, 15-17.

Chuvieco E, Englefield P, Trishchenko A P, Luo Y., (2008) -Generation of long time series of burn area maps of the boreal forest from NOAA-AVHRR composite data. *Remote Sensing of Environment*, 112: 2381–2396.

Chuvieco, E., (1999) - *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin* (Berlin: Springer)

Cimage., (2007) - Causes de la déforestation dans le monde [En ligne], Disponible sur : « <http://www.cimage-ltd.com/deforesn.html> » (Consulté le 05/03/2012)

Clarini J., (2014) - Histoire d'un livre. L'analyse des conflits de propriété dans le XVIIIe siècle anglais, menée par l'historien britannique Edward P. Thompson dans « La Guerre des forêts », résonne fortement à l'ère d'Internet. *Journal Le monde* du 23 janvier 2014.

Colin P Y, Jappiot M, Mariel A, Lampin C, Veillon S., (2001) - Protection des forêts contre l'incendie, Edit. FAO/C.E.M.A.G.R.E.F, Cahier FAO Conservation n°36, 149 p.

Conese C, Checcacci E., (2006) -Burned forest mapping from satellite images. In *International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area (ISEIM)*, Corte-Ajaccio, France.

D.P.A.T., (2005) - *Annuaire statistique de la wilaya de Mascara*, 80p.

D.S.A., (2023) - *Fascicule des statistiques agricoles de la wilaya de Mascara*.

Dagorne A., Duche Y., Castex J.M., Ottavi J.Y., (1994) - Protection des forêts contre l'incendie et système d'information géographique : application à la commune d'Auribeau-sur-Siagne (Alpes Maritimes). *Forêt Méditerranéenne*, , XV (4), pp.409-420.

Dahmani M., (1997) - Diversité biologique et phytogéographique des chênaies vertes d'Algérie. *Ecologia Mediterranea*. XXII (3/4) : 19-38.

Dahmani M., (1997) - le chêne vert en Algérie : syntaxonomie , phy-toécologie et dynamique des peuplements. Thèse doctorat en science. USTHB. Alger.383p.

De Diego, J., Fernández, M., Rúa, A., (2023) - Examining socioeconomic factors associated with wildfire occurrence and burned area in Galicia (Spain) using spatial and temporal data. *Fire Ecology*, 19 (18). DOI: [10.1186/s42408-023-00173-8](https://doi.org/10.1186/s42408-023-00173-8)

De montgolfier J., (1989) Protection des forêts contre les incendies. Guide technique du forestier méditerranéen français. Ed. CEMAGREF, Division des techniques forestières méditerranéennes, Aix-en-Provence, fiches 1 à 16.

Degos G, (1972) - Etude théorique de la lutte contre les feux de forêts, PHD– Thèse faculté des sciences, Marseille, France, p 409

Dernegi D (2010) - Profil d'écosystème. Hotspot de la biodiversité du bassin méditerranéen. Arlington,USA, Critical Ecosystem Partnership Fund. 258 pp.

DGF., (2018) - Les feux de-forts en Algérie analyse et perspectives.
<https://www.interieur.gov.dz/images/LES-FEUX-DE-FORTS-EN-ALGRIE--ANALYSE-ET-PERSPECTIVES--Pr-Benkheira.pdf>

Díaz-Delgado R, Lloret F, Pons X., (2003) - Influence of fire severity on plant regeneration by means of remote sensing imagery. - International Journal of Remote

Dimitrakopoulos A.P & Mitsopoulos I.D., (2006) - Global Forest resources assessment. Report on fires in the Mediterranean Region. Working paper FM/8/E, Forestry Department, FAO. Rome, 43 p.

Direction générale des forêts., (2005) - Superficies, potentialités, et bilan d'incendies des forêts algériennes.

Direction générale des forêts., (2018) - Superficies, potentialités des forêts algériennes.

Direction générale des forêts., (2018) - Rapport annuel. Bilan d'incendies des forêts algériennes.

DUCHE et DAGORNE., (1993) - Cartographie du niveau de risque d'incendie, exemple du massif des Télédétection en agriculture, Première partie : Principes généraux de la télédétection (image spatiale et son contenu), Actes colloques de Montpellier, 13-15 Mars 1990, P 11-27.

Elouissi., (2001) - Utilisation de la télédétection spatiale pour la cartographie de changement de la végétation dans les monts des Beni-chougrene (Mascara), Thèse de magister, C.U.M. Sces. Agronomie, 155 p

Emberger L., (1955) - Une classification biogéographique des climats. Trav Lab Bot Zool Fac Sci Serv Bot Montpellier; 7: 3-43.

Espelta J M, Retana J, A Habrouk, J Luis Ordonez, F de Solà-Morales., (2002)- Regeneration patterns of three Mediterranean pines and forest changes after a large wildfire in northeastern Spain. *Ecoscience*, 2002

Eugenio M G, Lloret F., (2004) - Fire recurrence effects on the structure and composition of Mediterranean *Pinus halepensis* communities in Catalonia (Northeast Iberian Peninsula). *Ecoscience*, 2004

Eurofor., (1994) - L'Europe et la forêt. Parlement Européen. ISBN 92-823-0623-2.

Ezzine H, Saidi M, Casanova J L, Montes A, Ghribe A., (2005) - Conception et mise en place d'un système à base de données NOAA-AVHRR, pour la prévention et le suivi des incendies de forêts au Maroc. *Geo observateur*, (14).

F.A.O., (2001) - Situation des forêts du monde, Edition FAO, p 181.

Faleh A, Lakhouaja H, Sadiki A, Chaaouan J., (2012) - GIS, teledetection and evaluation of forest risk "Example of forest Khezana (Province Chaouene)", *Journal of Papeles de Geografia*, 55-56, 37-48.

FAO., (2008) - Repor: Workshop on forest fires in the Mediterranean region: Prevention and regional cooperation, Sabaudia, Italy, Rome, FAO, 28 p.

FAO., (2010) - Global forest resources assessment 2010. Main report. FAO Forestry Paper No. 163. Rome.

FAO., (2013) - Etat des forêts méditerranéennes. Disponible en ligne <http://www.fao.org/3/i3226f/i3226f.pdf>

FAO., (2015) - Évaluation des ressources forestière mondiales 2015. Répertoire de données de FRA2015. Rome, FAO. 253 pp.

FAO., (2020) - État des forêts méditerranéennes 2018. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome et Plan Bleu, Marseille.

- Feller M.C., (1996) - Use of Prescribed Fire for Vegetation Management, Integrated Forest Vegetation Management : Options and Applications, FRDA report 251, 19 pp.
- Forêt., (2011) - <http://www.les-amis-des-animaux.be/2011-la-foret-foret38-la-foret-wallonne>.
- Forman R.T.T., and Godron M., (1986) - Landscape ecology. Wiley, New York.
- Forman R.T.T., et Godron M., (1986) - Landscape Ecology, Wiley, New-York.
- FOSA., (2000) - L'étude prospective du secteur forestier en Afrique. Algérie. FAO, Rome, 60 p. <http://www.fao.org/3/x6771f/x6771f.pdf>.
- Francois Lefèvre, Thomas Boivin, Aurore Bontemps, Francois Courbet, Hendrik Davi, et al., (2020) - Valoriser et renforcer les mécanismes d'évolution génétique par la sylviculture, pour l'adaptation au changement climatique. Revue forestière française, 2020, 72 (5), pp.383-410.
- Ghazi A., et Lahouati, R., (1997) - Algérie 2010. Sols et ressources biologiques. Inst. Nat. Etudes de stratégie globale, 45 p.
- Giancarlo C., (1991) - Problèmes et perspectives concernant les incendies des forêts- leur prévention et leur maîtrise – X congrès forestier mondial, France
- Giorgi F., (2006) - Climate change hot-spots. Geophysical Research Letters, 33(8): L08707.
- Girard M.C et Girard C.M.,(1999)- Traitement des données de télédétection, Dunod, Paris, 529 p, 1999.
- Hadjadj A S., (1991) - Les peuplements de *Tetraclinis articulata* sur le littoral d'Oran (Algérie). *Ecologia mediterranea*, XVII : 63-78.
- Hadjadj A S., (1995) - Les peuplements du thuya de berbérie (*Tetraclinis articulata*, Vahl, Master) en Algérie : phytoécologie, Syntaxonomie et potentialités sylvicoles. Thèse Doc. d'Etat, Université Aix-Marseille III, 159 p.
- Haichour R., (2009) - Stress thermique et limite écologique du Chêne vert en Algérie. Mémoire de magistère UMC, 90-104.

- Hudak A.T, Brockett B .H., (2004) - Mapping fire scars in a southern African savannah using landsat imagery. *Int. J. Remote Sensing*. 25, 3231–3243.
- Huston M. A., (1994) - Biological diversity. The coexistence of species on changing landscapes, xix, 681 p. Cambridge University Press, 1994
- IGN., (2017) - Estimation) d'après données et graphiques 2014 collectées par l'IGN et publiés en 2017 (IGN (2017)
- Jappiot M., (2000) - Evaluation et cartographie du risque d'incendie de forêt à l'aide d'un SIG. Exemple d'un massif forestier du sud de la France. *Revue de forêt méitérmnéenne*. XXI.
- Kana C, Etouna Joachim E., (2006) - Apport de trois méthodes de détection des surfaces brûlées par imagerie Landsat ETM+ : application au contact forêt- savane du Cameroun. *European Journal of Geography*.
- Keeley J. E., & Pausas J. G., (2022) - Evolutionary ecology of fire. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 53, 203-225.
- Khelifi H., et Sadki N., (1994) - Esquisse géobotanique des régions de Collo, Skikda, et Annaba (Nord-Est Algérien). *Colloques Phytosociologiques XXIII*. Bailleul, 1994. Pp: 594- 615.
- Lavieille J.M., (2004) - Droit international de l'environnement,^e édition mise à jour,Paris, Ellipses, 191p.
- Lavorel, S., Gachet, S., Sahl, A., Colace, M.-P., Gaucherand, S., Burylo, M. & Bonet, R., (2009) - A plant functional traits data base for the Alps – understanding functional effects of changed grassland management. *Data Mining for Global Trends in Mountain Biodiversity* (eds. C. Körner & E. Spehn), pp. 106–123. CRC Press/Taylor and Francis, Boca Raton
- Leveque C., (2001) - Ecologie, De l'écosystème à la biosphère. Dunod, Paris, 502 p.
- Lindner M, Maroschek M, Netherer S, Kremer A. Barbati A, Garcia-Gonzalo J, Seidl R, Delzon S, Corona P, Kolström M, Lexer M.J, Marchetti M., (2010) - Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 698–709.

- Lloret F, Calvo E, Pons X, Díaz-Delgado R., (2002)- Wildfires and landscape patterns in the Eastern Iberian Peninsula. *Landscape Ecology*, 17 (8) (2002), pp. 745-759
- Madoui A., (2000) - Forest fires in Algeria and case of domanical forest of Bou-Taleb. *Inter. Forests Fires News*, April, n° 22, ECE/FAO, Agriculture and Timber Division, Geneva, p. 9-15.
- Madoui A., (2003) - La forêt algérienne. *Bulletin Association Internationale Forêts Méditerranéennes*, n° 11, Marseille, France.pdf
- Maktite A. et Faleh A., (2017) - Cartographie des zones à risque d'incendies de forêts à l'aide du SIG et la télédétection dans l'arrière-pays du port Tanger Med, *European Scientific Journal*, . URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n32p205>,
- Mariel, A., (1995) - Cartographie du niveau de risque d'incendie: exemple du massif des Maures, CEMAGREF.
- MATE., (2003) - Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Manuel d'information sur la gestion des déchets solides ménagers, février 2003, 240 pages.
- Meddour, O.S. , Lovreglio, R. Meddour, R. Leone, V. Derridj, A., (2013) - Fire and people in three rural communities in kabylia (Algeria). *Open J. For.*, 30–40,
- Meddour-Sahar O., Bouisset C. Et Derridj A., (2013) - « *a gestion du risque incendie de forêt en Algérie : des mesures curatives ou préventives* » 6^{ème} Conférence Internationale/ sur les Stratégies de Prévention des Incendies dans les Forêts d'Europe du Sud Bordeaux, Centre de Congrès, 2013.
- Meddour-Sahar O., Meddour R., et Derridj A., (2008) - Les feux de forêts en Algérie sur le temps long (1876-2007), *Les Notes d'analyse du CIHEAM*, 39, septembre 2008, 11 p.
- Merdas S., (2007) - Bilan des incendies de forêts dans quelques wilayas de l'Est algérien; cas de Bejaia, Jijel, Sétif et Bordj Bou-Arréridj. *Mémoire de Magistère*, Univ. de Constantine, 51 p.
- Min Wu, Jinmu Luo, Tao Huang, Lulu Lian and al., (2022) - Effects of African BaP emission from wildfire biomass burning on regional and global environment and human health. *Environment International*, 162. DOI: [10.1016/j.envint.2022.107162](https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107162)

- Moriondo M., Good P., Durao R., Bindi M., Giannakopoulos C., Corte-Real J., (2006)- Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Research* 31, 85-95.
- Mouillot F, JP Ratte, R Joffre, JM Moreno, S Rambal., (2003) - Some determinants of the spatio-temporal fire cycle in a Mediterranean landscape (Corsica, France) - *Landscape Ecology*, 2003 – Springer
- Mouillot F., Rambal S., Joffre R., (2002) - "Simulating the effects of climate change on fire frequency and the dynamics of a Mediterranean maquis woodland", *Global Change Biology*, Vol.8, 423–437
- Perriez F, Jean H B, François B, Patrice F, Jean P B, Jean P D., (2003) - Rapport sur la protection des incendies de forêt après les feux de l'été 2003. Orée. P 126.
- Peyre S., (2001)- L'incendie, désastre ou opportunité ? L'exemple des Pyrénées Orientales. *Forêt Méditerranéenne*. 194-199p.
- Priosy C., (1999) - Apport des données radar à synthèse d'ouverture pour l'étude de la dynamique des écosystèmes forestiers, Thèse de Docteur de l'Université Paul Sabatier.
- Quézel P., (1981) - Les hautes montagnes du Maghreb et du ProcheOrient : essai de mise en parallèle des caractères phytogéographiques. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 37 : 353-372.
- Raunkiaer S., (1905) - On biologiske typer, med hensyn til planteres tilpasning til at overleve ugunstige Aa.
- Rebai A., (1983) - Les étages bioclimatiques de la végétation de la Péninsule Ibérique. *Anales Jard. Bot., Madrid*, 37 (2), 215-268.
- Robitaille A., (1995) - La cartographie des districts écologiques du ministère des Ressources naturelles du Québec. *Revue forestière française*, vol. XLVII, n° 2, 1995, pp. 173-189.
- S.E.F.O.R., (1980) - La forêt méditerranéenne et ses problèmes. Techniques agricoles et productions méditerranéennes. G.P. Maisonneuve et Larose, Paris, 502 p.

Saci D., (2008) - Utilisation des grands transferts d'eau dans l'aménagement du territoire "cas de l'Oranie ". These de Magister. Option : Hydraulique, fac. SI, Univ. Aboubakr BelkaïdTlemcen, 133p.

Sacquet A.M., (2006) - Atlas mondial du développement durable. Collection Atlas /Monde. Paris, éditions Autrement.88 p.

Seigue A., (1985) - La forêt circum-méditerranéenne et ses problèmes. Maisonneuve et Larose Ed. Paris : 502 p

Souidi et Benbakkar., (2017) - Algeria: a mediterranean region very sensitive to forest fires. URI:<http://hdl.handle.net/10316.2/41233>.

Souidi Z., Bento-Gonçalves A., Vieira A., (2015) - Forest fires in Algeria: Occurrences, Causes and Prevention In: Wildland Fires: A Worldwide Reality Edited by: António Bento Gonçalves and António Vieira. 153-170 Hauppauge New York: Nova Science Publishers.

Souidi, Z., Kattar, S., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., (2017) - Forest Fire Risk Assessment and Cartography in Algeria: A Methodological Approach In: Wildfires: Perspectives, Issues and Challenges of the 21st Century Edited by: António Bento Gonçalves, António Vieira, Maria Rosário Costa, and José Aranha. 187-201 Hauppauge New York: Nova Science Publishers.

Souza, C., Tenneson, K., Dilger, J., Wespestad, C., Bullock, E., (2024) - Forest Degradation and Deforestation. In: Cardille, J.A., Crowley, M.A., Saah, D., Clinton, N.E. (eds) Cloud-Based remote sensing with Google Earth Engine. Springer, Cham., 1061-1091. DOI: 10.1007/978-3-031-26588-449.

Trabaud .,(1992) - Sécheresse, attention aux feux de forêt. journal l'Alsace centrale (publier me 12 mars 2012).

Trabauld., (1980) -Impact biologique et écologique des feux e végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des zones de garrigues du Bas- LanTghuesdeo c D. r. Etat Sci. Naturelles, Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, 288 p.

Trabauld.,(1983) - The effects of different fire regimoens soil nutrients leveilns Quercus coccifera garrigue. In "Medit.-Type Ecosystems. Role of Nutrients" (Eds. F.J. Kruger, D.T. Mitchell, J.U.M. Jarvis). Ecological studies 43 (Springer-Verlag, Berlin) pp. 233-243.

Vázquez A, Moreno V., (1998) - Patterns of lightning-, and people-caused fires in peninsular Spain. - International Journal of Wildland Fire, 1998 - CSIRO Publishing

Velez R., (1999) - Protection contre les incendies de forêt : principes et méthode d'action. CIHEAM, Zaragoza. Options Méditerranéennes, Série B : Études et Recherches No. 26, 118 p.

Viedma O, Moreno J M, Rieiro I., (2006) - Interactions between land use/land cover change, forest fires and landscape structure in Sierra de Gredos (Central Spain). Environmental Conservation 33 (3), 212-222

Vieira, A., Bento-Gonçalves, A., Karasov, O., Burdun, I., Uacane, M., Ombe, Z., (2017) - The Recurrence of Forest Fires in the Gorongosa National Park (Mozambique) In: Wildfires: Perspectives, Issues and Challenges of the 21st Century Edited by: António Bento Gonçalves, António Vieira, Maria Rosário Costa, and José Aranha. 97-108 Hauppauge New York: Nova Science Publishers.

Vilar L., Camia A., San-Miguel-Ayanz J., (2014) - “Modelling socio-economic drivers of forest fires in the Mediterranean Europe”, in Domingos X.V., *Advances in forest fire research*, Imprensa da Universidade de Coimbra, 1874-1882.

Wang X., Zhao H., Zhang Z., Yin Y., Zhen S., (2023) - The Relationship between Socioeconomic Factors at Different Administrative Levels and Forest Fire Occurrence Density Using a Multilevel Model. *Forests*, 14 (2), 391. DOI: [10.3390/f14020391](https://doi.org/10.3390/f14020391)

Zammit O., (2008) - Détection de zones brûlées après un feu de forêt à partir d'une seule image satellitaire spot 5 par techniques SVM. Thèse de doctorat en Automatique, Traitement du Signal et des Images. Université de Nice-Sophia Antipolis.

Zeraïa, L., (1981) - Essai d'interprétation comparative des données des forêts de chêne-liège de Provence cristalline (France méridionale) et d'Algérie. Thèse de doct. Univ de Marseille III. 367 p.

Annexes

FOREST FIRES RISK IN A SEMI ARID REGION: A CASE STUDY IN WESTERN ALGERIA

Hadj Ali Benbakkar^A, Zahira Souidi^B, Abdelkader Bardadi^C,
Antonio Bento-Gonçalves^D



ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article history: Received: January, 29th 2024 Accepted: April, 02nd 2024</p>	<p>Purpose: The objective of this study was to measure the fire risk of forests and to compare areas with high sensitivity to forest fires.</p>
<p>Keywords: Forest Fire; Risk; Geographic Information System; Remote Sensing; Algeria.</p> 	<p>Theoretical Framework: Many authors have demonstrated the fragility of Algerian forests in the face of fires (Belhadj, 2003; Souidi et al., 2010 and 2017). In this research paper, the researchers focused on identifying the factors responsible for the risk of forest fires in Algeria using a state-of-the-art tool, the Geographic Information System (GIS). The researchers explained a scientific process for exploring new indicators using GIS, and showed how to develop a forest fire risk map.</p> <p>Design/Methodology/Approach: The elaboration of the fire risk map requires the application of a model set up, and tested on forest areas in the Mediterranean region. The applied model involves the three main factors of forest fire risk assessment: topomorphology, fuel, and human occupation.</p> <p>Findings: According to the results obtained, our study area is dominated by a very high risk index. In addition, more than half of the surface area of our study zone is located in topomorphological conditions that are highly conducive to the multiplication of fires and can increase the risk of forest fires breaking out. This study will help us to better control the risk of fires and to manage fire-fighting operations in the field.</p> <p>Research, Practical & Social Implications: Mapping the risk of forest fires using GIS will help land managers and planners to identify sensitive areas for better preservation and intervention in the event of fire.</p> <p>Originality/Value: The results show that the number of forest fires is increasing over time and that managing them is becoming increasingly difficult. The use of a GIS for all stakeholder and managers will make it possible to combat forest fires.</p> <p>Doi: https://doi.org/10.26668/businessreview/2024.v9i5.4680</p>

^A PhD of Forestry and Environmental Studies. Department of Biology, Faculty of SNV, University of Mascara, Algeria. E-mail: hadj.benbakkar@univ-mascara.dz Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-7614-0111>

^B PhD of Forestry, Ecology and Environmental Studies. Department of Biology, Faculty of SNV, University of Mascara; Applied Hydrology and Environment Laboratory, University of Temouchent. Algeria. E-mail: souidi.z@univ-mascara.dz Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9198-6984>

^C Doctor of Environmental and Ecology. Department of Agrofood, Sciences Technology Faculty, University of Temouchent. Algeria. E-mail: abdelkader.bardadi@univ-temouchent.edu.dz Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-3203-4579>

^D PhD of Geography and Cartography. Department of Geography, Social Sciences Institute, University of Minho, Guimaraes, Portugal. E-mail: bento@geografia.uminho.pt Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9646-156X>

RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM UMA REGIÃO SEMIÁRIDA: UM ESTUDO DE CASO NO OESTE DA ARGÉLIA

RESUMO

Objetivo: O objetivo deste estudo foi medir o risco de incêndio das florestas e comparar áreas com alta sensibilidade a incêndios florestais.

Referencial Teórico: Muitos autores demonstraram a fragilidade das florestas argelinas diante de incêndios (Belhadj, 2003; Souidi et al., 2010 and 2017). Neste trabalho de pesquisa, os pesquisadores se concentraram em identificar os fatores responsáveis pelo risco de incêndios florestais na Argélia usando uma ferramenta de última geração, o Sistema de Informações Geográficas (GIS). Os pesquisadores explicaram um processo científico para explorar novos indicadores usando o GIS e mostraram como desenvolver um mapa de risco de incêndio florestal.

Desenho/Metodologia/Abordagem: A elaboração do mapa de risco de incêndio requer a aplicação de um modelo criado e testado em áreas florestais na região do Mediterrâneo. O modelo aplicado envolve os três principais fatores de avaliação de risco de incêndio florestal: topografia, combustível e ocupação humana.

Resultados: De acordo com os resultados obtidos, nossa área de estudo é dominada por um índice de risco muito alto. Além disso, mais da metade da área de superfície de nossa zona de estudo está localizada em condições topográficas altamente propícias à multiplicação de incêndios e que podem aumentar o risco de ocorrência de incêndios florestais. Esse estudo nos ajudará a controlar melhor o risco de incêndios e a gerenciar as operações de combate a incêndios no campo.

Pesquisa, Implicações Práticas e Sociais: O mapeamento do risco de incêndios florestais usando o GIS ajudará os gerentes e planejadores de terras a identificar áreas sensíveis para melhor preservação e intervenção em caso de incêndio.

Originalidade/Valor: Os resultados mostram que o número de incêndios florestais está aumentando com o passar do tempo e que seu gerenciamento está se tornando cada vez mais difícil. O uso de um GIS para todas as partes interessadas e gerentes possibilitará o combate aos incêndios florestais.

Palavras-chave: Incêndio Florestal, Sistema de Informações Geográficas, Sensoriamento Remoto, Risco, Argélia.

RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES EN UNA REGIÓN SEMIÁRIDA: ESTUDIO DE UN CASO EN EL OESTE DE ARGELIA

RESUMEN

Propósito: El objetivo de este estudio fue medir el riesgo de incendio de los bosques y comparar áreas con alta sensibilidad a los incendios forestales.

Marco Teórico: Numerosos autores han demostrado la fragilidad de los bosques argelinos frente a los incendios (Belhadj, 2003; Souidi et al., 2010 and 2017). En este trabajo de investigación, los investigadores se centraron en identificar los factores responsables del riesgo de incendios forestales en Argelia utilizando una herramienta de última generación, el Sistema de Información Geográfica (SIG). Los investigadores explicaron un proceso científico para explorar nuevos indicadores utilizando el SIG, y mostraron cómo desarrollar un mapa de riesgo de incendios forestales.

Diseño/Metodología/Enfoque: La elaboración del mapa de riesgo de incendios requiere la aplicación de un modelo establecido y probado en zonas forestales de la región mediterránea. El modelo aplicado incluye los tres factores principales de la evaluación del riesgo de incendios forestales: topografía, combustible y ocupación humana.

Resultados: Según los resultados obtenidos, en nuestra zona de estudio predomina un índice de riesgo muy elevado. Además, más de la mitad de la superficie de nuestra zona de estudio se encuentra en condiciones topográficas muy propicias para la multiplicación de los incendios y que pueden aumentar el riesgo de que se produzcan incendios forestales. Este estudio nos ayudará a controlar mejor el riesgo de incendios y a gestionar las operaciones de extinción sobre el terreno.

Investigación, implicaciones prácticas y sociales: La cartografía del riesgo de incendios forestales mediante SIG ayudará a los gestores y planificadores del territorio a identificar las zonas sensibles para preservarlas mejor e intervenir en caso de incendio.

Originalidad/Valor: Los resultados muestran que el número de incendios forestales aumenta con el tiempo y que su gestión es cada vez más difícil. La utilización de un SIG por todas las partes interesadas y los gestores permitirá luchar contra los incendios forestales.

Palabras clave: Incendios Forestales, Sistema de Información Geográfica, Teledetección, Riesgo, Argelia.

1 INTRODUCTION

Fire is a difficult element to control, particularly in view of the climate change that has been occurring in recent years (Avetisyan et al., 2022; Milanović et al., 2021). Sometimes the control is lost leading to a wildfire that brings about global, regional and local forest degradation (González-Pérez et al., 2004; Bowman et al., 2009; Bento-Gonçalves et al., 2012; Bento-Gonçalves et al., 2015). It plays a major role in changing our environment and in the imbalance of ecosystems, sometimes irreversibly. This situation, combined with unfavorable natural factors (irregular climate with hot and dry seasons, rugged terrain...), contributes to the acceleration of erosion and soil degradation processes. As in the whole Mediterranean region (Peterson, 2014; Kalem et al., 2022; Sivrikaya & Küçük, 2022), the situation of forest fires in Algeria is serious and the risk of fire is high (Souidi et al., 2015; Souidi et al., 2017). These negative factors have led, in our region as elsewhere, to soil impoverishment, and ultimately, to desertification, endangering forest sustainability and the agricultural and pastoral activities, and to disturbing the ecological balance. According to the General Directorate of Forests (Algeria), forest fires ravaged 482,000 acres from 2003 to 2017; including 6721 acres of the forest of Mascara in the West of Algeria. During this period, 8 fires were recorded in the forest area of Guetarnia and 3 in Beni Khemis, leading to the loss of 326 acres and 34 acres, respectively. Aware of the seriousness of the situation and concerned with defending, restoring and developing this patrimony, the Algerian State has made great efforts. In general, it can be said that since independence, and more particularly in the last decades, the achievements in forest management have been very significant. However, the risk is still present and the means are still insufficient.

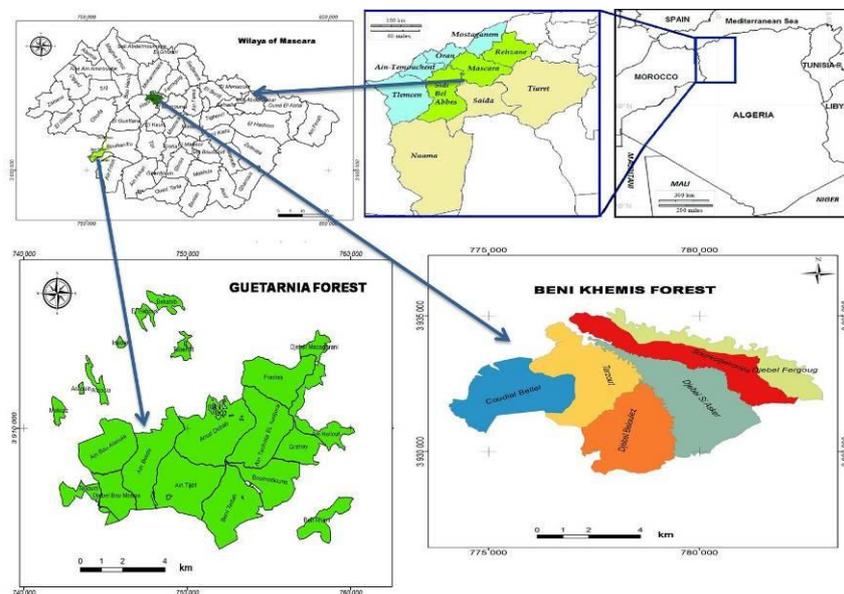
Currently, prevention is based on modern means, such as the Geographic Information System and Remote Sensing, which allow a good management of fire risk using cartography (Baptista et al., 2017; Vieira et al., 2017). Besides, satellite imagery provides insights and useful information about the environment at different scales ranging from metric to continental scale (Belhadj-Aissa et al., 2003). Based on what has been said, this paper is part of this perspective and describes the use of a method combining remote sensing data analysis with field data analysis to observe forest degradation. Moreover, it specifically aims to assess the sensitivity of forests to the fire through a model that integrates various parameters and spatial data.

2 DATA AND METHODOLOGY

The area covered in our study is located in the Wilaya of Mascara (Figure 1) and covers two geographically distant sites, Guetarnia and Beni Khemis forests, which have differences in terms of relief and number of fires (one forest is frequently affected by fires and the other is less affected). The 1st site, the forest of Guetarnia, is 2,818 acres and is divided into 06 cantons where the Aleppo pine (*Pinus halepensis*) dominates with an area of 1,620 acres, the shrubs with an area of 718 ha, Berber cedar (*Tetraclinis articulata*) with an area of 100 acres, and cork oak (*Quercus suber*) with an area of 43 acres. This forest is located in a mountainous territory. In this regard, 55.29% of its area (5,606.47 acres) is located in a slope class of 15 to 30%, and 37.91% (3,844.12 acres) in slopes of less than 15% (Souidi et al., 2010). On the other hand, the 2nd site, the forest of Beni Khemis has an area of 2,469 acres and is divided into 6 cantons where the Berber cedar (*Tetraclinis articulata*) dominates, and the wild olive tree (*Olea europea*) and the Aleppo pine (*Pinus halepensis*) are found in few specific areas due to reforestation; these species form a dense stand. Besides, the site has slopes with favorable soil and moisture conditions.

Figure 1

Location of the study area (Guetarnia and Beni Khemis forest)



Source: Prepared by the authors (2023).

The rocky substratum of the Guetarnia forest dates back to the Miocene and Cretaceous and is composed of soft and eroded rocks (Belgharbi, 2002), giving rise to a limestone soil, drained

by a dense water courses with the presence of many ravines. The physical environment of Beni Khemis forest is characterized with a dissected and vigorous relief and steep slopes. According to Bouchetata & Bouchetata (2006), almost all of the land is occupied by Cretaceous or Neogene marl series, except for the sandstone outcrops that arm the tops of some units. Lithology reveals a diversity of surface formations with a predominance of marly and clay soils that are sensitive to water erosion. Moreover, the forest is drained by a number of wadis and tributaries, whose flow is irregular and depends greatly on the duration and intensity of the rains. The hydrographic network is composed of the Fergoug “wadi”, the Tarzout “wadi” and the Hammam “wadi” which carry rainwater to the Fergoug dam, which is located at the foot of this forest.

The climate of the region is Mediterranean (with continental temperate feature) with average temperatures from 10°C in winter to 36°C in summer. However, rains are aggressive (intense storms) with an annual average of 344 mm and an annual evaporation average of 169 mm. The winds are frequent with an average annual velocity of 28 m/s, while humidity is 76% per year, on average.

The water stress, resulting from irregular rains and prolonged drought, favors the decline of the forest strata and the increase of their sensitivity to fire.

2.1 METHODOLOGICAL APPROACH

In this research, the researchers used a scientific process based on GIS to map the risk of forest fires. A "multi-criteria spatial decision support system" was used to find and validate forest fire risks. There are many different decision support systems, with definitions varying from one field to another and from one country to another.

To draw up the fire risk map we opted to apply a model established by Dagorne et al. (1994), which has been tested on woodland areas in the Mediterranean region. The model applied involves the three main factors in wildfire risk assessment: topomorphology, fuel and human occupation, and is based on the following formula:

$$\mathbf{IR} = \mathbf{5.IC} + \mathbf{2.IH} + \mathbf{IM} \quad (1)$$

Where:

IR: Forest Fire Risk Index;

IC: Combustibility Index (fuel-related factor);

HI: Human Occupancy Index (factor related to human activity);

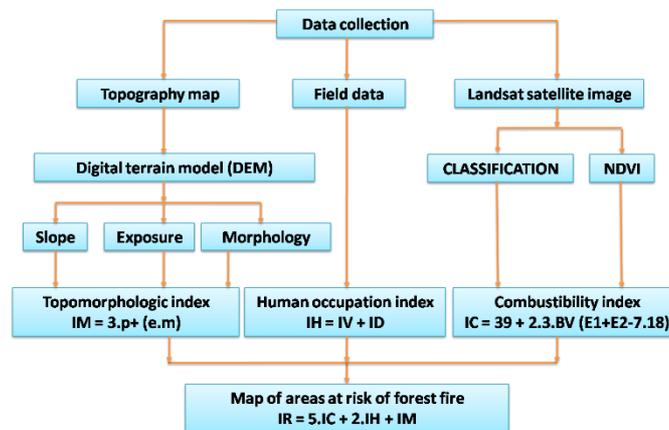
IM: Topomorphological Index (factor related to the topomorphology of the terrain).

The characterization of this index is based on the spatial variability of the fire risk, which is determined by the physical parameters involved in the chosen model (Belhadj-Aissa et al., 2003).

The researcher followed several steps to be able to run the model using GIS, taking into account various criteria to validate the forest fire risk index and identify potentially fire-prone areas. The detailed flow chart is shown in Figure 2.

Figure 2

GIS process



Source: Prepared by the authors (2023).

The combustibility Index (IC): To evaluate the combustibility Index (IC), we used the method proposed by CEMAGREF (1990 & 1999) to estimate the potential severity of a fire starting in a given forest stand. The combustibility Index or potential intensity index of the fire is expressed by the following relationship:

$$IC = 39 + 2.3 BV (E1 + E2 - 7.18) \quad (2)$$

Where:

BV: is the bio volume fuel, which is obtained by multiplying the mean height of the dominant strata and their percentages of recovery in tenths, varying their value between 0 and 50;

E1 and **E2:** are heat intensity values of the two dominant species (E1 to high woody and E2 average note of low woody and herbaceous).

The formula used to calculate the NDVI is as follows:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{PIR} - \text{R}}{\text{PIR} + \text{R}} \quad (3)$$

Where:

PIR: the Near Infrared Band; **R**: The red band.

The human occupation index (IH): It is expressed by the linear combination of the two indices:

$$\text{IH} = \text{IV} + \text{ID} \quad (4)$$

Where:

IV: Neighborhood Index;

ID: Human Presence Index

The topomorphological Index (IM): The slope angle has a considerable influence on the speed of the fire propagation that requires radiation. Indeed, for a fire uphill, the forces exerted vertically at an angle with the direction of fire propagation generate hot gas flows towards the vegetation, not yet burned. Three morphological parameters are involved in the topomorphologic model: slope, exposure, and elevation. The effect of these three combined parameters is expressed by the following equation:

$$\text{IM} = 3\text{p} + (\text{m} \times \text{e}) \quad (5)$$

Where:

p: the slope (coded between 1 and 4);

m: the morphology of the area (coded of 1 to 4);

e: exposure (coded 0 to 3).

3 RESULTS AND DISCUSSION

Once the first phase of the research had been completed, i.e. the collection of data according to the methodological approach (Figure 2), the researcher produced the various maps needed to calculate and spatialise the 3 indexes using the GIS model. The researcher carried out the modelling using GIS, taking into account the various criteria in order to validate all the fire-risk zones.

3.1 TOPOMORPHOLOGIC INDEX (IM)

The topomorphological index is obtained by superimposing the map of slopes, exposure and topomorphology, and integrating the topomorphological index formula into the GIS.

Slope: The slope gradient (p) is a factor that accelerates the fire front (Mederbel et al., 2009). Moreover, four slope gradient classes (Table 1) were selected based on their incidence, frequency of occurrence, and spatial distribution.

Table 1

Slope gradient classes

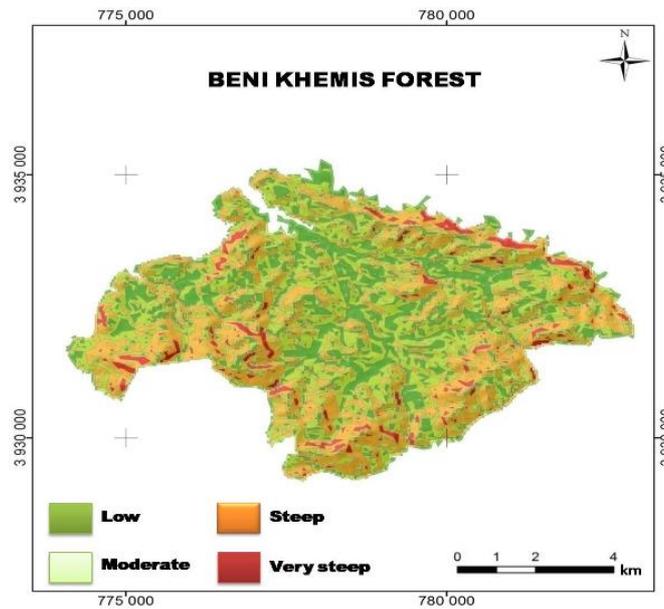
Slope	Area Guetarnia forest		Area Beni Khemis forest		Grade
	(%)	(Acres)	(%)	(Acres)	
Low	46.00 %	1296.28	21.50 %	530.83	1
Moderate	09.49 %	267.43	38.36 %	947.11	2
Steep	44.45 %	1252.60	35.82 %	884.39	3
Very steep	00.04 %	01.12	00.31 %	07.65	4

Source: Prepared by the authors (2023).

In this context, moderate and steep slope gradient classes are the most dominant in the forest of Beni Khemis with 74.18%, and the low and steep slope classes dominate Guetarnia forest (90.45%). An slope model (Figure 3 & 4) for forests sites is created in this study to identify the slope of the study area.

Figure 3

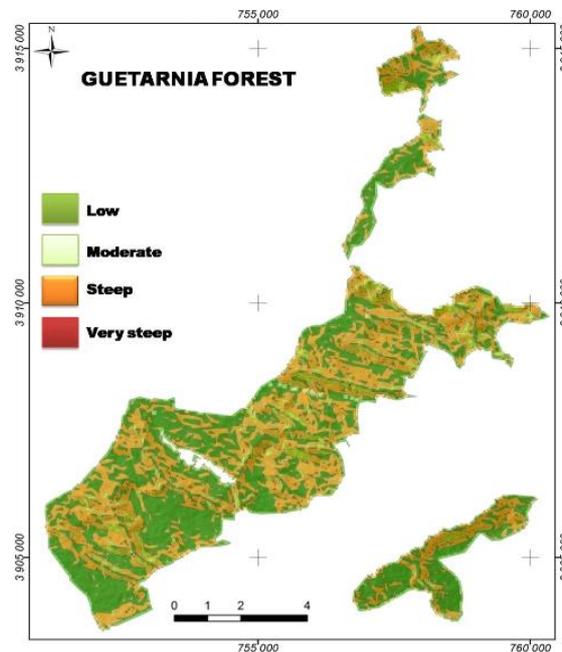
Slope gradient of Beni Khemis forest



Source: Prepared by the authors (2023).

Figure 4

Slope gradient of Guetarnia forest



Source: Prepared by the authors (2023).

Exposure: The slope exposure (Table 2) reflects the situation of the slope in relation with the prevailing winds and sunshine. In this regard, eight exposure classes have been identified; each one corresponds to a 45° district centered on the average value of this exposure.

Table 2

Exposure grades

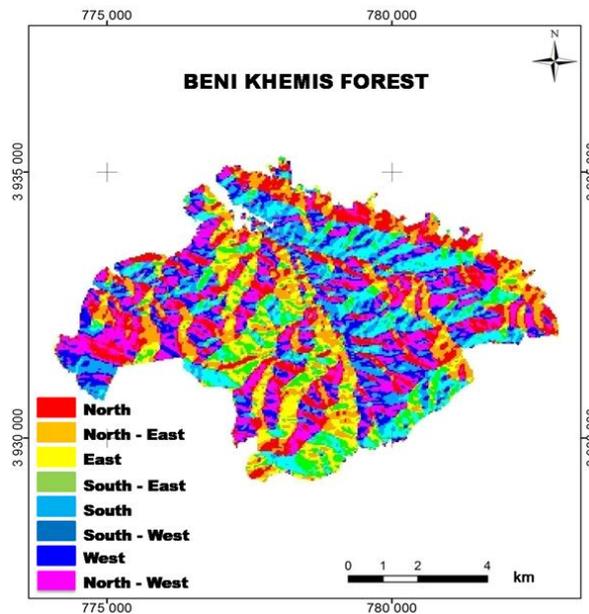
Exposure	Area Guetarnia forest (%)	Area Beni Khemis forest (%)
North	12.30	08.50
North East	12.67	13.47
East	11.76	09.94
South East	14.65	08.03
South	14.37	11.33
South West	10.39	10.46
West	05.25	12.41
North West	03.66	17.21

Source: Prepared by the authors (2023).

An exposure model (Figure 5 & 6) for forests sites is created in this study to identify the slope exposure of the study area. The dominant exposure in Guetarnia forest is S-SE-NE with a rate of 39.38% for the whole. On the other hand, the N-NW-NE group dominates Beni Khemis forest with a rate of 39.18%. This situation encourages forest fires in the Guetarnia state forest.

Figure 5

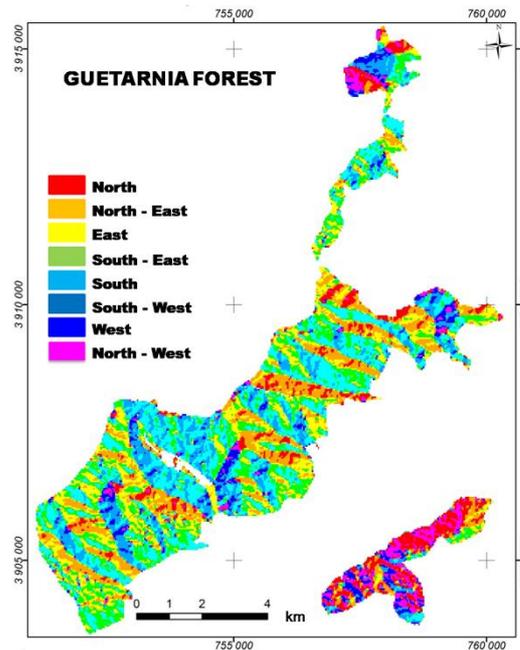
Slope exposure of Beni Khemis forest



Source: Prepared by the authors (2023).

Figure 6

Slope exposure of Guetarnia forest



Source: Prepared by the authors (2023).

Topomorphology: The position on the slope, or topomorphology (m), weights the intensity of the light according to the position on the relief. The topomorphology was chosen according to the slope gradient classes derived from Digital Elevation Model (DEM). The four classes of topomorphology in table 3 define the topographical situations that are increasingly unfavorable for firefighting:

Table 3

Topomorphological grades

Slope	Topography	Area Guetarnia forest		Area Beni Khemis forest		Grade
		(%)	(ha)	(%)	(acres)	
Low	Plain	01.76 %	49.60	14.58 %	359.98	1
Moderate	Lower piedmont	32.48 %	915.29	32.21 %	795.26	2
Steep	High piedmont	47.27 %	1 332.06	52.35 %	1 292.52	3
Very steep	Mountain	18.49 %	521.05	00.85 %	20.98	4

Source: Prepared by the authors (2023).

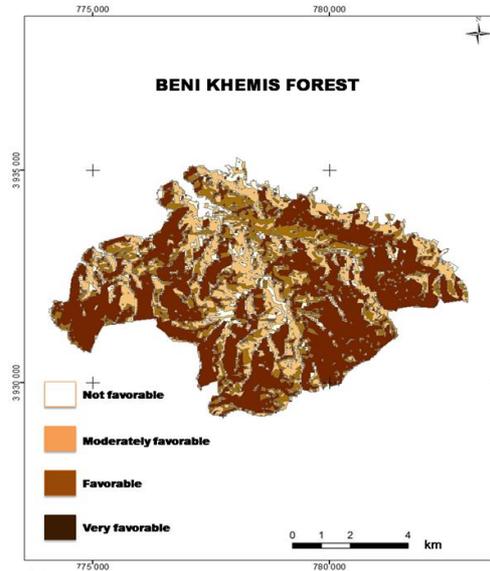
The lower and high piedmont grades dominate in the two forests, with 84.56% in Beni Khemis forest and 79.75% in Guetarnia forest.

The topomorphological index is obtained by superimposing the slope gradient map, the exposure, and the topomorphology, and by integrating the topomorphological index formula

into the GIS. The obtained results gave four topomorphological classes, summarized according to their importance (Figure 7 & 8) for the forests sites.

Figure 7

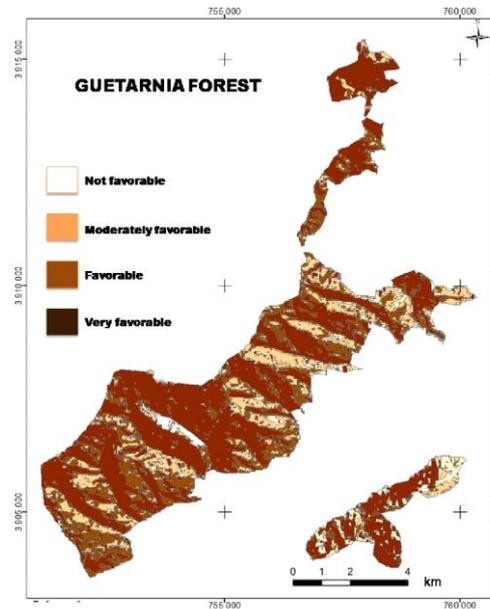
Topomorphological index of Beni Khemis forest



Source: Prepared by the authors (2023).

Figure 8

Topomorphological index of Guetarnia forest



Source: Prepared by the authors (2023).

More than half of the surface of our study area (1,483.16 acres in Beni Khemis forest and 1484.21 acres in Guetarnia forest) is under topomorphological conditions that are very favorable to increase fire (Table 4).

Table 4

Grading topomorphological index

IM	Signification	Area Guetarnia forest		Area Beni Khemis forest		Grade
		(%)	(acres)	(%)	(acres)	
Low	Not favorable	15.48	397.61	07.51	211.65	1
Moderate	Moderately Favorable	20.09	515.89	23.66	666.49	2
Steep	Favorable	06.64	170.45	16.20	456.32	3
Very steep	Very favorable	57.79	1 484.21	52.65	1483.16	4

Source: Prepared by the authors (2023).

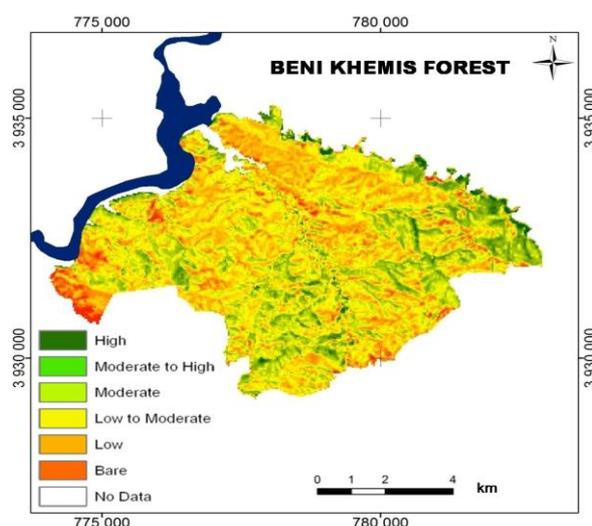
3.2 COMBUSTIBILITY INDEX

The combustibility index (IC) map was extracted from the Normalized Digital Vegetation Index (NDVI) and the combustibility grade for each species. Vegetation density or relative biomass is considered an important factor in the spread of forest fires.

Vegetation index: For the aims of the study, a vegetation index for the forests study (Figure 9 & 10) was calculated based on a combination of the red and near-infrared bands of LANDSAT 8 satellite image of June 30, 2017. This index is used to calculate the bio volume of the forest and distinguish between the two eco-systemic components: soils and plants.

Figure 9

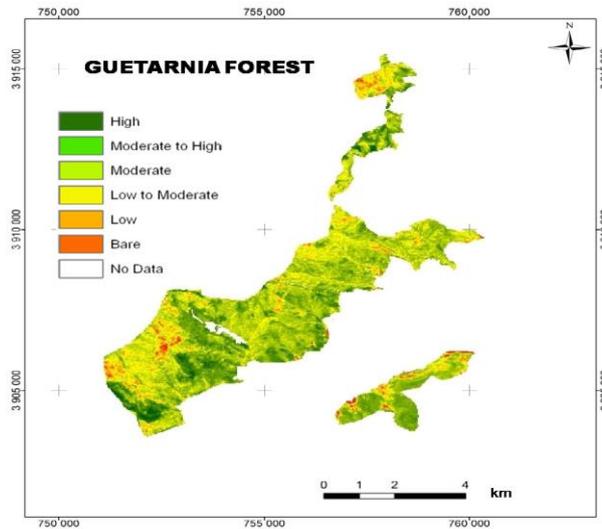
NDVI of Beni Khemis forest



Source: Prepared by the authors (2023).

Figure 10

NDVI of Guetarnia forest



Source: Prepared by the authors (2023).

Combustibility grade: On the other hand, the calorific intensity ratings of the species present in the forests studied (Table 5) were extracted from the table established by CEMAGREF (1990), with the exception of the cork oak (*Quercus suber*), present in the Guetarnia forest, which was assimilated to the holm oak (*Quercus ilex*), which is the closest species. The Barbary cedar (*Tetraclinis articulata*), present in the Beni Khemis forest, was assimilated to the juniper (*Juniperus oxycedrus*), which is also the closest species.

Table 5

Grading combustibility

Species	Grade of combustibility
Kermes oak (<i>Quercus coccifera</i>)	8
Holm oak (<i>Quercus ilex</i>)	7
Aleppo pine (<i>Pinus halepensis</i>)	7
Oxy-cedar juniper (<i>Juniperus oxycedrus</i>)	7
Doum (<i>Chamaerops humilis</i>)	7
Barbarycedar (<i>Tetraclinis articulata</i>)	7
Olivier (<i>Olea europea</i>)	5
Rosemary (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	5
Filaria (<i>Phillyrea latifolia</i>)	5
Pistachio mastic (<i>Pistacia lentiscus</i>)	4

Source: CEMAGREF, 1990.

The moderate combustibility index (Table 6) represents 82.20% of the area of Guetarnia forest while the moderate and high combustibility indices represent 99.87% of the area of Beni Khemis forest.

Table 6

Grading combustibility index

IC	Guetarnia forest		Beni Khemis forest		Grade
	(%)	(acres)	(%)	(acres)	
Low	7.42	213.31	0.01	00.25	1
Moderate	82.20	2 361.71	46.10	1 138.21	2
High	10.35	297.33	53.77	1 327.58	3
Very high	0.02	0.56	0.10	02.47	4

Source: Prepared by the authors (2023).

3.3 THE HUMAN OCCUPATION INDEX

The human occupation index represents small areas that are favorable to the risk of forest fires due to low human density and the lack of infrastructure, in the two forests. Table 7 shows the existing infrastructure in terms of linear kilometers of tracks and surface area of fire breaks.

Table 7

Forestry infrastructures

Forest	Forest área (Ha)	Post monitoring (U)	Fire break trench (Ha)	Points water (Ha)	Forest tracks (Km)
Guetarnia	2 818.82	03	65	00	47
Benikhemis	2 469.87	1	18	00	10
Total	5 288.69	04	143	00	57

Source: Prepared by the authors (2023).

According to generally accepted standards for intensive forest management, 2 km of tracks are needed for every 100 ha of forest and 2.5 ha of firebreaks for every 100 ha of forest. For both forests, the existing trail infrastructure totals 57 km, representing a density of 1.66 km of trail per 100 ha in the Guetarnia forest and 0.40 km of trail per 100 ha in the Benikhemis forest, which is insufficient in terms of prevention. As far as firebreaks are concerned, the wilaya's two forests have a total of 143 hectares of firebreaks, whereas the need is for 132.5 hectares, which is sufficient to protect the forests, provided they are developed.

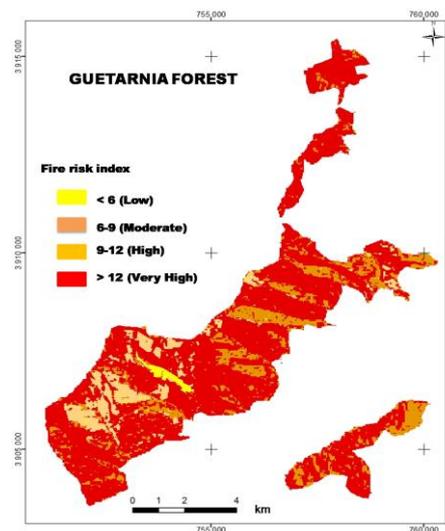
3.4 FIRE RISK

The fire risk index map (Figure 11 & 12) is the result of crossing the combustibility index, the topomorphological index, and the human activity index by applying the formula (1) shown in methodology.

According to the results obtained (Table 8), our study area is dominated by a very high-risk index, with a rate of 74.97% in Guetarnia forest and 52.64% in Beni Khemis forest. Besides, more than half of the surface of our study area (1,483.16 acres in Beni Khemis forest and 1484.21 acres in Guetarnia forest) is under topomorphological conditions that are very favorable to fire increase. In addition, the moderate combustibility index represents 82.20% of the area of Guetarnia forest and the moderate and high combustibility indices represent 99.87% of the area of Beni Khemis. These conditions can increase the risk of starting fires.

Figure 11

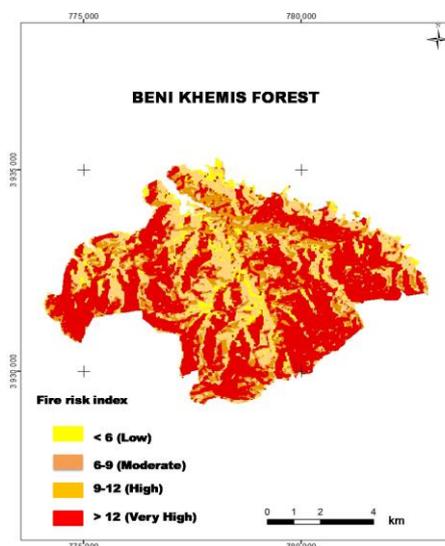
Fire risk index of Guetarnia forest



Source: Prepared by the authors (2023).

Figure 12

Fire risk index of Beni Khemis forest



Source: Prepared by the authors (2023).

Table 8

Grading the fire risk index

IR	Guetarnia forest		Beni Khemis forest		Grade
	(%)	(acres)	(%)	(acres)	
Low	0.16	3.57	7.51	211.65	1
Moderate	8.26	210.60	23.65	666.49	2
High	16.62	423.71	16.20	456.32	3
Very high	74.97	1 911.71	52.64	1 483.16	4

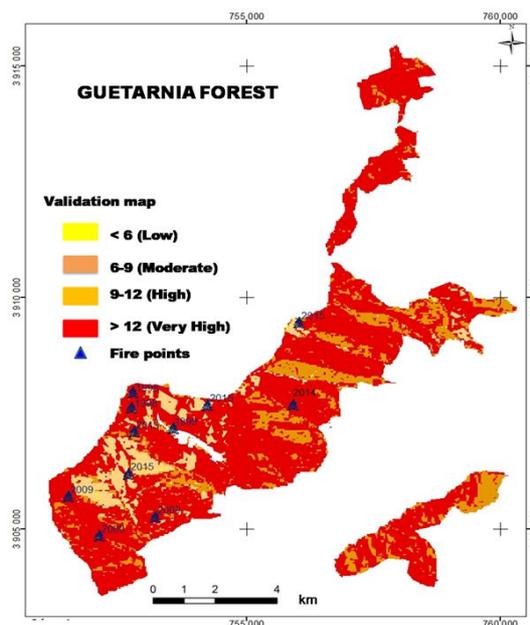
Source: Prepared by the authors (2023).

3.5 MODEL VALIDATION

To validate this model, a comparison was made between fire risk maps and fires from 1998 to 2017. This comparison proves the results of the analysis and provides an element of forest degradation assessment. The model validation maps illustrate the superposition of fire points and risk areas on the study area to confirm the results of the fire risk analysis. In this line, out of eleven fires in Guetarnia forest, three are located in the medium vulnerability area and eight are located in the very high vulnerability area (Figure 13). For Beni Khemis forest, out of five fires, only one is located in the medium vulnerability area and four are located in the very high vulnerability area (Figure 14).

Figure 13

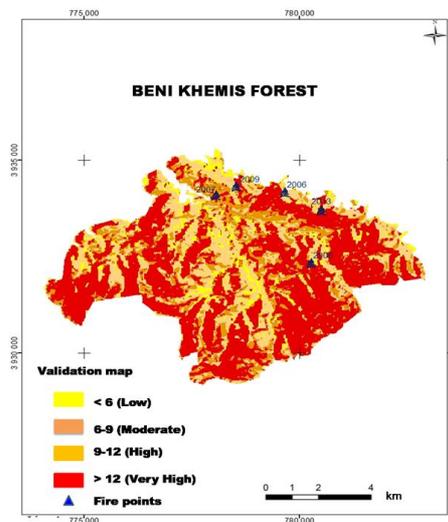
Validation forest fire risk for Guetarnia



Source: Prepared by the authors (2023).

Figure 14

Validation forest fire risk for Beni Khemis



Source: Prepared by the authors (2023).

4 CONCLUSION

The study and evaluation of fire risks in the study area using remote sensing and geographic information systems (GIS) allowed the production of forest fire risk maps through overlaying several layers of information. The forest fire risk map is not a means of control, but allows decision makers and managers to establish a reliable monitoring, detection, and control system. On the other hand, it helps acquire appropriate equipment for more effective control and makes it possible to plan good forest management for risk reduction.

From the results obtained in our study, we can say that the application of geomatics to evaluate the risks of forest fires is an effective tool for the installation of a system for monitoring, detecting, and combating forest fires, and for setting a rational forest management policy.

REFERENCES

- Avetisyan, D., Velizarova, E. & Filchev, L. (2022). Post-fire forest vegetation state monitoring through satellite remote sensing and In situ data. *Remote Sensing*, 14(24), 6266. <https://doi.org/10.3390/rs14246266>
- Baptista, G. M., Bento-Gonçalves, A. & Vieira, A. (2017): Monitoring Fuel Material, Area and Burn Severity: Their Relationship with a Carbon Cycle by Means of Remote Sensing Data. In A. Bento Gonçalves, A. Vieira, M. Rosário Costa & J. Aranha (Eds.). *Wildfires: Perspectives, Issues and Challenges of the 21st Century* (pp. 129-161) Hauppauge New York: Nova Science Publishers.

- Belhadj-Aissa, M., Belhadj-Aissa, A. & Smara, Y. (2003, December 2-5). *Application du SIG et de la télédétection dans la gestion des feux de forêts en Algérie*. [Conference presentation]. 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco. <http://www.fig.net/archive/report>
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Úbeda, X. & Martin, D. (2012). Fire and soils: key concepts and recent advances, *Geoderma*, 191, 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.01.004>
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Ferreira-Leite, F. & Vinha, L. (2015): Wildland Fires. In A. Bento Gonçalves & A. Vieira (Eds.). *Wildland Fires: A Worldwide Reality* (pp. 3-14) Hauppauge New York: Nova Science Publishers.
- Bouchetata, A. & Bouchetata, T. (2006). Development proposals of the sub-watershed of Wadi Fergoug (Algeria) weakened by drought episodes and subjected to water erosion. *Drought*, 17(3), 415-24.
- Bowman, D. M. J. S., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., D'antonio, C. M., Defries, R. S., Doyle, J. C., Harrison, S. P., Johnston, F. H., Keeley, J. E., Krawchuk, M. A., Kull, C. A., Marston, J. B., Moritz, M. A., Prentice, I. C., Roos, C. I., Scott, A. C., Swetnam, T. W., Vanderwerf, G. R. & Pyne, S. J. (2009). Fire in the Earth system. *Science*, 324, 481–484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- CEMAGREF (1990). *Protection des Forêts contre l'Incendie*. 1 brochure de 18 fiches en couleurs.
- CEMAGREF (1999). Protection des forêts contre les incendies. *Guide technique du forestier méditerranéen français* (Chap. 4). Irstea Ed., France.
- Dagorne, A., Duche, Y., Castex, J-M. & Ottavi, J-S. (1994). Protection of forests against fire & GIS: Application to the town of Auribeau of Siagne (Alpes Maritimes). *Mediterranean Forest Review*, 15(4), 409-420.
- Gonzalez-Perez, J.A., Gonzalez-Vila, F.J., Almendros, G. & Knicker, H. (2004): The effect of fire on soil organic matter — a review, *Environment International*, 30(6), 855–870. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.02.003>
- Kalem, S., Ürker, O., İlemin, Y., Tavşanoğlu, Ç., Kaynaş, B. Y., Günlü, A., Parlar-Ürker, Ö. & Köşk, U. C. (2022). *Ecological and Socio-Economic Effects of Large Forest Fires in the Mediterranean Region of Turkey*. Technical Report in Turkish, WWF-Türkiye and NATURA Association, Print World, Istanbul. https://funecol.org/kalem-et-al_2022_wwf-natura-yangin-raporu/
- Peterson, D. L. (2014). Fire in Mediterranean Ecosystems: *Ecology, Evolution and Management*. By J. E. Keeley, W. J. Bond, R. A. Bradstock, J. G. Pausas & P. W. Rundel. Cambridge University Press, United Kingdom. *Fire Ecology*, 10, 86–87. <https://doi.org/10.4996/fireecology.1001086>
- Milanović, S., Marković, N., Pamučar, D., Gigović, L., Kostić, P. & Milanović, S. D. (2021). Forest fire probability mapping in eastern Serbia: logistic regression versus random forest method. *Forests*, 12(1), 5. <https://doi.org/10.3390/f12010005>

- Sivrikaya F. & Küçük O. (2022). Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, 68 (3): 101537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101537>
- Souidi, Z., Hamimed, A., Donze, F., Seddini, A. & Mederbal, K. (2010). Estimation de l'évapotranspiration d'un couvert forestier en Algérie par télédétection. *Revue Teledetection*, 9(3-4), 164-181. DO- 10.17184/eac.10287736v9n34
- Souidi, Z., Bento-Gonçalves, A. & Vieira, A. (2015): Forest fires in Algeria: Occurrences, Causes and Prevention In A., Bento Gonçalves & A., Vieira (Eds). *Wildland Fires: A Worldwide Reality* (pp. 153-170) Hauppauge New York: Nova Science Publishers.
- Souidi, Z., Kattar, S., Bento-Gonçalves, A. & Vieira, A. (2017): Forest Fire Risk Assessment and Cartography in Algeria: A Methodological Approach In A. Bento Gonçalves, A. Vieira, M. Rosário Costa & J. Aranha. (Eds.). *Wildfires: Perspectives, Issues and Challenges of the 21st Century* (pp. 187-201). Hauppauge New York: Nova Science Publishers.
- Vieira, A., Bento-Gonçalves, A., Karasov, O., Burdun, I., Uacane, M. & Ombe, Z. (2017): The Recurrence of Forest Fires in the Gorongosa National Park (Mozambique) In A. Bento Gonçalves, A. Vieira, M. Rosário Costa, & J. Aranha. (Eds.). *Wildfires: Perspectives, Issues and Challenges of the 21st Century* (pp. 97-108). Hauppauge New York: Nova Science Publishers.

Spatio-temporal analysis and risk management of forest fires (West Algerian region)

*Hadj Ali Benbakkar*¹, *Zahira Souidi*¹ ✉, *Salim Kattar*², *António José Bento Gonçalves*³

¹ University of Mascara, Faculty SNV, Laboratory LRSBG, Algeria, e-mail: souidi.z@univ-mascara.dz

² Lebanese University, Faculty of Agriculture and Veterinary Sciences, Department of Environment and Natural Resources, Lebanon

³ University of Minho, Department of Geography, Campus de Azurem, Guimaraes, Portugal

ABSTRACT

The forest fires constitute a major danger for the forests in the Western Algerian region. They are caused by a combination of several factors, particularly climatic and anthropogenic, which are often amplified by the composition of vegetation that is considered highly flammable during the dry season. The priority for action to deal with this phenomenon is to strengthen monitoring resources and apply preventive silvicultural measures to avoid the outbreak of fires, without forgetting efforts to educate and raise public awareness. A systematic examination of data retrieved from the General Forests Directorate of Forest Fires stretching between 2003 and 2017 reveals the spatiotemporal, spatial and temporal evolution of fires in the Western Algerian region. The statistical approach applied in this study allowed us to identify the periods in which our forests are mostly vulnerable to fires, allowing the programming of an action plan for an effective forest fire management.

The fire danger map produced by calculating the Fire Danger Index can be a decision-support tool for forest managers to locate areas at high risk in order to take preventive measures to limit the loss of natural resources, properties, and even human lives.

KEY WORDS

Algeria, climate change, forest fire, spatiotemporal analysis

INTRODUCTION

If we look at the ecology of fire, fire is a natural process that has always existed. Natural ecosystems, particularly forests, have always been subject to fire ever since plants first colonized the land over 400 million years ago (Keeley and Pausas 2022). In recent years, catastrophic wildfires have broken out on every con-

tinental around the world, successively breaking sad records for surface area, damage, and casualties (Rigolot et al. 2020). The biggest enemies of the forests are fires, diseases, pollutions, and phenomena mainly localized in developed countries (Lavieille 2004). This figure is tending to increase in many parts of the world, particularly around the Mediterranean basin.

Mediterranean forests are affected by fires every year, and mountain and temperate forests are also affected at a more local level (Curt et al. 2020). These forests were subject to fires, which are caused by lightning or poorly extinguished embers carelessness. However, fires could rarely spread over large areas in an uncontrolled way, given the lack of continuity between forest patches or the low density of trees and undergrowth (Plana et al. 2016).

In 2000, Africa lost more than 230 million acres due to fire, i.e., 7.7% of the continent total surface and 64% of the devastated surface worldwide (Belkaid 2016). The global annual burnt area has been estimated at 350 Mha per year, 72% of which has been in Africa in recent decades (Wu et al. 2022).

Algeria's forest cover has declined since 1990. Algeria is a very vulnerable country when it comes to fires, which are mainly man-made, given that the forests are public property and freely accessible. Managing and protecting Algeria's forests is currently a priority. In Algeria, it is estimated that more than 37,000 acres of the woody surfaces have been ravaged from 1979 till 1985 (Madaoui 2000): an average of 8,750 ha or 0.52% per year has been lost. Algeria has lost 10.5% of its forest cover or 175,000 ha, mainly through forest fires. Although the government has launched major reforestation programs, the forest area in Algeria is decreasing from 0.8% of the forest area (17,898 ha) in 1990 to 0.6% in 2010 (Merdas et al. 2017).

It is the biggest victim of fires in North Africa as it witnessed yearly from 378 to 1,388 fire incidents, which led to a loss between 34,596 and 41,258 acres during the periods from 1876 to 1962 and 1963 to 2007 (Meddour-Sahar et al. 2008). Two periods characterize this region: a cold season from November to April, with minimum temperatures recorded at around 2°C, and a hot season from May to October, with maximum temperatures of 35°C. Maximum heat stress is accentuated by a hot southerly wind, the sirocco, which occurs mainly in summer and increases evapotranspiration. Rainfall is concentrated during the cold season. Average annual rainfall is between 300 and 500 mm (ONM, 2013).

Fires are generally caused by anthropogenic activities as the case in Algeria (Souidi and Benbakar 2017; Souidi et al. 2015), where 86% of the incidents between 1985 and 2006 were reported as man-made (Arfa et al. 2009). The absence of an appropriate management con-

tributes to the current delicate state of the forest that hinders the conservation and sustainability of this Algerian patrimony (MATE 2003).

Numerous analyses have been carried out on forest fires to determine their causes, such as modeling the socio-economic factors behind fires (Vilar et al. 2016; Wang et al. 2023; de Diego et al. 2023; Canepa 2024). In Algeria, we can mention the work by Souidi et al. (2017) in the western region and Arfa et al. (2018 and 2019), which analyzed and tried to model and map all the fires in the forests of the Wilaya of Targuiya in the east region between 1985 and 2012 to understand and follow their spatiotemporal evolution. Furthermore, Belkaid (2016) carried out an analysis on the spatial variability of fires putting in evidence main human factors that determine the distribution of fires in three villages of the Wilaya of Tizi-Ouzou in the center region. The combination of different data should provide an overall picture of the decline in forest heritage (Souza et al. 2024).

Policies of forest-fire management include three phases: The 1st is setting the regulations (establishing committees and enacting laws), the 2nd is the prevention phase (equipment and infrastructure), and the 3rd is the extinction (intervention of the forest agents and the fire brigades).

This study focuses on the second and third phases, analyzing available equipment and infrastructure to guide managers toward a more effective fire prevention system. The realization of a base map is a reliable step to detect and point out the insufficient measures taken against forest fires.

We will try through a descriptive statistical approach to analyze the temporal progression of fires in 40 Wilayas in North Algeria during 2003–2017. The distribution of fires in the north of the country, according to the three main regions, is fairly identical, with 29% in the east, 41% in the center, and 30% in the west (Souidi and Benbakar 2017). The conditions under which fires break out are practically the same throughout the country. The aim of such data analysis is to uncover the general tendencies in fires' behavior. We, therefore, opted for the Wilaya of Mascara as a semi-arid region in the West of Algeria, which offers the same conditions as Algeria's other wilaya and is a good case study given the availability of data.

The climatic study includes 4 parameters that have an impact on the outbreak and spread of fire: the month-

ly average temperature, the monthly average precipitations, humidity, and wind speed. According to many authors, such as Abatzoglou and Williams (2016), Brown et al. (2021), and Jay et al. (2018), the frequency and size of forest fires are expected to increase in the future due to climate change. Consequently, forest management with adequate infrastructure and equipment for better fire control and management will become more important.

One of the main objectives of the fight against forest fires is to prevent the potential risk of fire (danger) so that managers can take the necessary decisions to limit the start and spread of fire. In this study, we used human activities as the main basis for estimating fire risk using a fire danger index (FDI). It include the major factors that play a part in forest fire spread (Hardy

and Hardy 2007). The results obtained will enable us to better understand the surrounding factors and improve forest fire management.

MATERIAL AND METHODS

Study zone

Algeria has a surface of 2,381,741 km² and is divided into 58 Wilayas (provinces) and 1541 municipalities. It has 2 important mountain ranges: the Tellian Atlas (from “Tell” a region in Algeria) in the North and the Saharian Atlas in the South. They divide the country into 3 types of environments characterized with their relief and morphology; from north to south, we find the Tellian system, the steppic high plains, and the Sahara (Fig. 1).

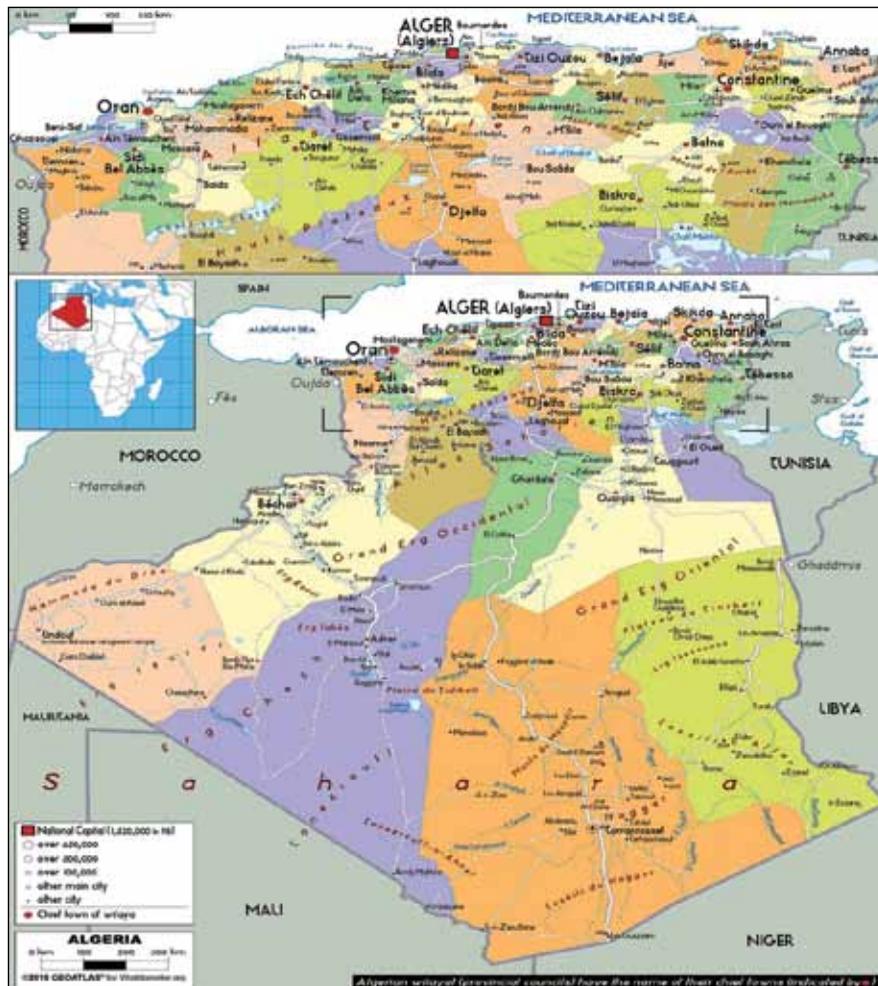


Figure 1. Localization of the north zone in Algeria

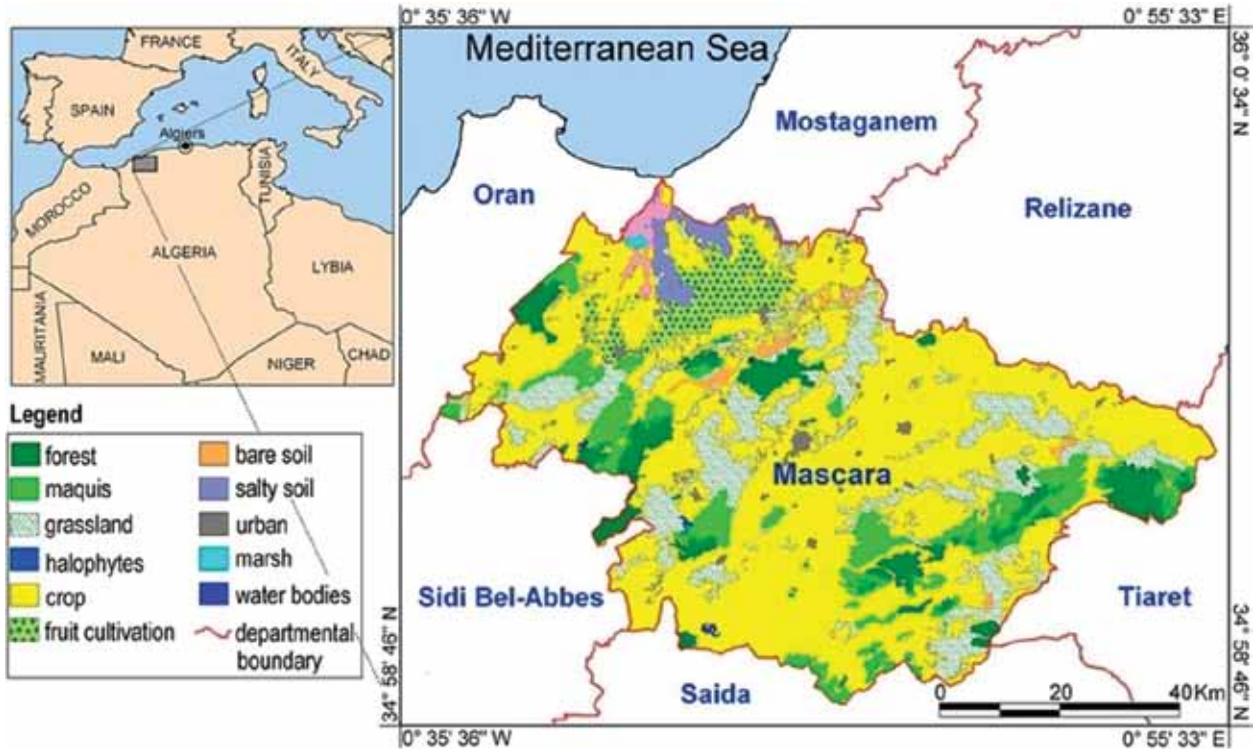


Figure 2. Location of the study zone

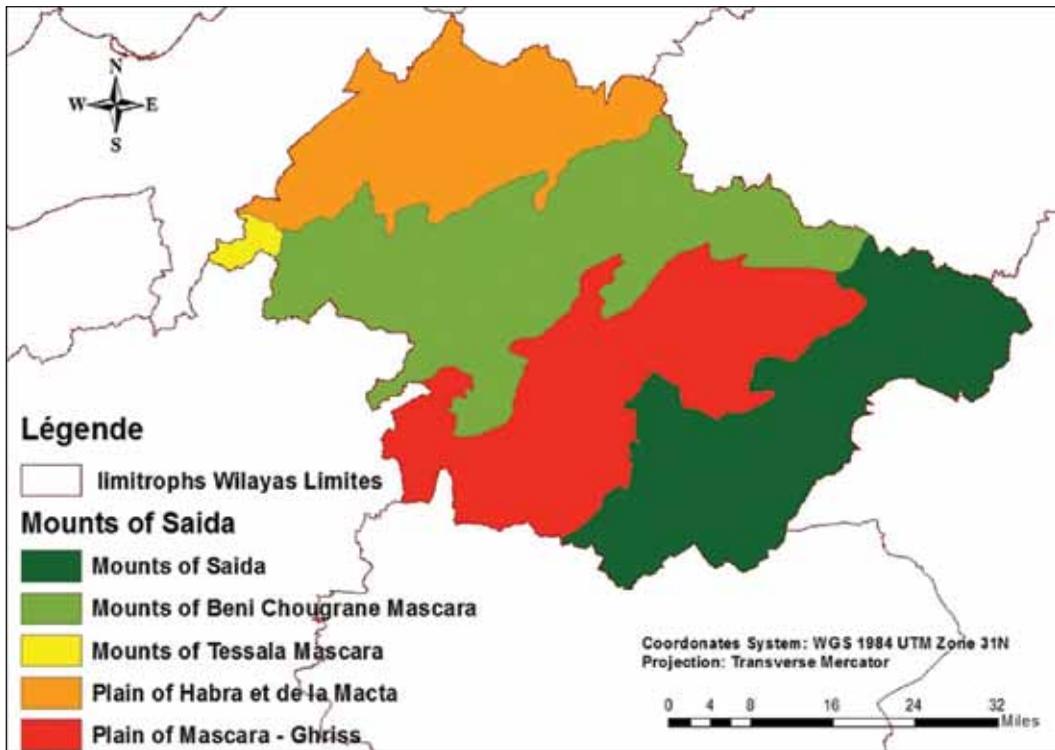


Figure 3. Homogenous zones of Mascara

The relief is divided into 2 rainfall gradients: a North–South decreasing gradient and a West–East increasing gradient (Tabet 2008).

Forest lands occupy 4,115,908 acres, i.e., 16.7% of North Algeria. They are made up of 58% scrubland and woody scrubland. However, natural forests and reforested sites cover only 42% of the total forest formations.

The Wilaya of Mascara, located in the West, is an adequate case study as it covers a surface of 513,000 acres with 47 municipalities (Fig. 2). Its topographic space may be classified into 5 relatively distinct homogeneous zones with 504 douars (Algerian countryside). It is a semi-arid region with an average altitude of 600 m, ranked as a middle mountains area.

The territories of the Wilaya of Mascara are made up of 5 individualized morphologic unities (Fig. 3) that are all oriented South-West/North-East.

The 5 zones are as follows:

1. Habra-Sig plain
2. Beni Chougrane mounts
3. Mascara-Ghriss plain
4. Said (Aoufs) mounts
5. Tessala Mascara mounts

The two important zones in the forested development and valorization of the mountain lands are the mounts of Beni Chougrane and the mounts of Saida (Aoufs) which represent 51% of the total surface. The forest surface of Mascara is 90,223 acres, i.e., a level of forestation of 17.57% of which 37,470 acres are forests, 52,571 acres are scrubland, and 182 acres are arable spaces.

Methodological approach

A data analysis on the burned surfaces and the fire zones has been carried out from the internal archives and documents of the General Directorate of Forests which is part of the Ministry of Agriculture, Rural Development and Fishing. These data are available in the form of annual records of fires. Collected forest fires data (number of fires, damaged surface, and year of record) are saved in the form of Excel sheets, allowing all kinds of data manipulation and visual interpretations.

The methodological approach is based on the study of two parameters: the burned surface and the number of fires during 15 years (2003–2017) in 40 Wilayas of the North and Mascara.

The realization of the infrastructure map and that of forest fire dangers required the use of the Geographic

Information System “ArcGIS 10.3” in order to integrate the collected data on the field (GPS points) in a digitalized database.

We studied three types of infrastructure proposed in Algeria’s forest fire-fighting plan, DFCI plan “Defense Forests Fire,” which are the fire break trenches, the tracks, and the lookout point. The aim of the fire-break trenches is to create a discontinuity of forestation in order to reduce the intensity of fires. They must be established perpendicularly to the winds’ orientation (Arbonnier and Faye 1988).

The rapid and guaranteed arrival to the incident can be guaranteed only through a sufficient number of the tracks that are well maintained.

Surveillance generally relies on lookout points located in high spots. Operators observe big parts of the territory with 360° coverage in order to make alerts when they suspect fires and precisely localize their occurrences.

The climatic study of Matmore station in Mascara for the period of 2007–2017 (474 m altitude, municipality n°14) (Fig. 3) contains the following 5 parameters: average annual and monthly temperature, average annual and monthly precipitations, humidity, evaporation, and wind speed. This climatic study enables us to make the relation between the climate and fire occurrence and spread. Indeed, assessing the impact of climate change on the future size of fires is important. Regional climate model simulations in the United States predict an overall increase in fire potential and an extension of the forest fire season in the future climate (Yu et al. 2023).

A number of dynamical methods have been developed in order to produce short-term hazard indices, such as the Fire Probability Index and the Fire Weather Index (Laneve et al. 2020; Vitolo et al. 2020). Multiple fire danger indices (FDIs) that incorporate weather and fuel conditions have been developed and utilized to support wildfire predictions and risk assessment (Tores et al. 2017; Hadisuwito and Hassan 2020; Yu et al. 2023; Atalay et al. 2024). In this paper, we have integrated different human activities in the realization of a map indicating fire-prone zones. The aim is to answer this question: Which areas present a high risk of fire starting?

To model fire danger, we opted for the Fire Danger Index (FDI) developed by Arfa et al. (2019) in Algeria, which is expressed with the following relationship (eqn. 1):

$$FDI = DFarm + DRH + DAgric + DTrack \quad (1)$$

were:

D – the danger level related to the approximation of the following elements:

- farms that indicate cattle ranching activities (Dfarm);
- rural houses indicate the human presence (DRH)
- agricultural lands (DAgric);
- forest tracks that allow the access to the forest massifs (DTrack).

For each of these criteria, the values of danger level D range from 1 (low danger) to 5 (very high danger). These danger levels are determined according to the rate of the declared fire numbers between 1985 and 2012 and the distance that separates them of each criterion. The hazard levels retained are as follows:

1. D = 1: Low danger with a fire number rate equal to 5%
2. D = 2: Moderate danger with a fire number rate equal to 10%
3. D = 3: Average danger with a fire number rate equal to 20%
4. D = 4: High danger with a fire number rate equal to 30%
5. D = 5: very high danger with a fire number rate equal to 35%

The values of FDI are between 4 and 16. There are 5 classes code:

1. Low: $FDI = 4$
2. Moderate: $4 < FDI \leq 8$
3. Average: $8 < FDI \leq 12$
4. High: $12 < FDI \leq 16$
5. Very high: $FDI > 16$

RESULTS AND DISCUSSION

Record of the fires of 40 Wilayas in the North of Algeria

The global burned surface between 2003 and 2017 in North Algeria (Tellian Atlas) was 482,000 acres for 40,000 fires with an average of 32,133 acres per year. In the years 2007, 2012, 2014, and 2017, the burned surface exceeded 40,000 acres for each year with a total of 42% of the global burned sur-

face with a peak in 2012 which witnessed 99,000 acres burned. They are subject to seasonal variability due to meteorological factors (precipitation, temperature, wind) or biotic factors (fuel type and structure). The North-Eastern region of Algeria (Skikda, Annaba, and Tarf) is the mostly damaged (Arfa et al. 2018). Table 1 shows that the burned surface in these three Wilayas during 2015–2018 was 31,333 acres, which represented 45% of the total burned surface (68,993 acres).

Table 1. Record of the fires per Wilaya during 2015–2018

WILAYA	2015	2016	2017	2018	Number of fires	Burned surface
1	2	3	4	5	6	7
Chlef	88	74	90	46	298	673
Oum El Bouaghi	7	24	22	4	57	123
Batna	11	12	34	10	67	481
Bejaia	70	193	181	24	468	9,286
Blida	272	245	185	77	779	1,862
Bouira	87	79	92	11	269	385
Tebessa	4	6	20	10	40	78
Tlemcen	101	42	31	20	194	4,945
Tiaret	39	55	30	5	129	920
TiziOuzou	125	269	392	67	853	6,847
Alger	128	160	99	58	445	57
Djelfa	10	8	28	25	71	27
Jijel	174	287	135	2	598	2,463
Setif	13	26	27	13	79	964
Saida	24	36	16	16	92	2,041
Skikda	23	64	198	15	300	8,134
S.B.Abbes	314	296	94	21	725	8,616
Annaba	30	108	38	8	184	3,020
Guelma	9	29	55	12	105	6,090
Constantine	12	14	23	10	59	591
Medea	84	133	183	70	470	2,967
Mostaganem	56	86	49	32	223	311
Mascara	32	15	11	2	60	846
Oran	76	56	38	14	184	504
B.B.Arreridj	39	32	49	12	132	255
Boumerdes	104	123	109	23	359	1,299
El Tarf	49	169	203	0	421	20,179
Tissemsilt	74	57	52	7	190	664
Khenchela	11	41	52	28	132	437

	1	2	3	4	5	6	7
Souk Ahras		54	90	98	2	244	1,244
Tipasa		134	183	196	48	561	1,196
Mila		4	15	22	16	57	501
Ain Defla		81	92	91	24	288	1,486
Ain Temouchent		36	13	21	24	94	151
Relizane		6	6	17	2	31	144
TOTAL		2,381	3,138	2,981	758	9 258	89,787

Analysis of fire data of the Northern region of Algeria (Fig. 4) shows a good correlation ($R^2= 0.69$) between the number of fires and the burned surface during 2003–2017. The two indexes are well related.

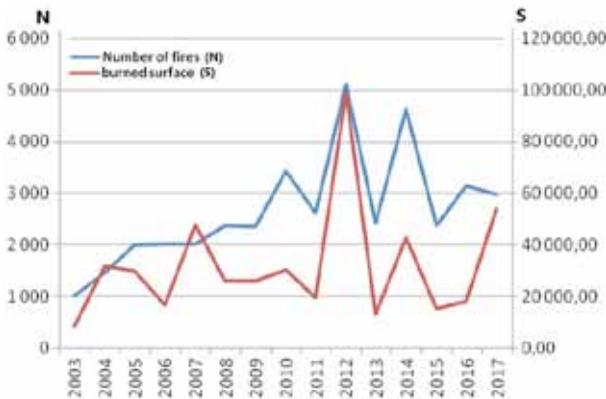


Figure 4. Annual distribution of fires in the Northern region of Algeria (2003–2017)

Figure 4 shows a stability in the period of 2003–2011 and a peak in 2012 which was marked with hot waves making the whole Northern region of Algeria witness significant temperature rise (Boudjemline et al. 2016).

Zeineddine (2011) confirms the return of rains during the last years of the period between 2002 and 2006. The rain which falls on the Algerian territory became more intense in 2007, 2008, 2009, 2010, and 2011, which explains the low number of fires during those years.

Record of fires in Mascara

The global burned surface during the period from 2003 until 2017 in Mascara (Fig. 5) is 6,721 acres in 286 fires, with an average of 448 acres per year. In 2005 and 2014, the burned surface exceeded 1,000 acres with a rate of 47% of the global burned surface. In 2005, there was a peak with a surface of 2,042 acres. The correlation

coefficient is equal to 0.71, which means that the number of fires and the burned surface of Mascara during 2003–2017 are well correlated.

The total burned surface depends on the meteorological conditions. The number of fire occurrences related to imprudence is correlated with the density of the population in the natural space which depends on the meteorological conditions. In relatively “wet” years, there has been little human presence in the natural area, resulting in fewer incidents, small fires that can be easily fought, and, consequently, a low surface area burnt.

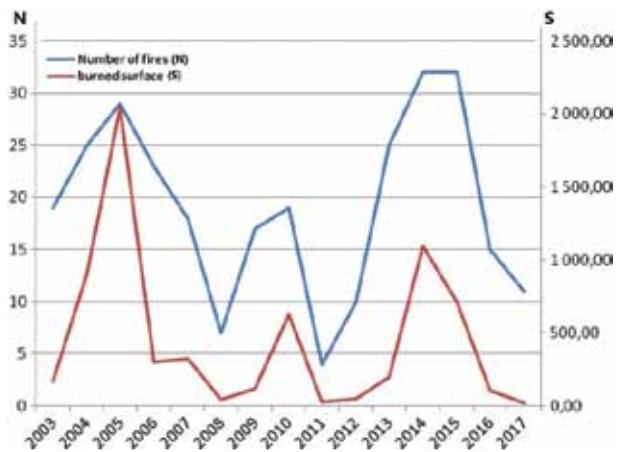


Figure 5. Annual distribution of fires in Mascara during 2003–2017

Distribution of forest fires per type of formation

We clearly see that the scrubland of Mascara (53% of the forest massifs) is the formation that is most subject to forest fires with a rate of 61.12% during this decade. The

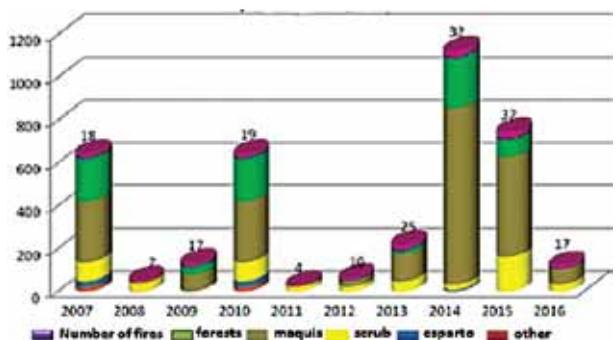


Figure 6. Distribution of fires in Mascara per type of formation (2007–2016)

forests witnessed fires with a percentage of 21.43%–14.36% for the scrub (Fig. 6). According to Belgherbi et al. (2018), the matorral is vulnerable to the fires more than the other forest formations.

Distribution of forest fires per hours of the day

The most sensitive part of the day subject to fires is between midday and 4 pm where the temperature reaches its peak. 50% of the fire incidents have been registered during this period of the day.



Figure 7. Distribution of fires according to the hours of the day (2003–2017)

The number of fire occurrences depends on the ignition of the combustibility and the water state of the vegetation determined by the dryness and humidity of the ground and the air (Chevrou 1998; Souidi et al. 2009). According to Souidi (2010), the water stress concurs with the hottest and most humid hours of the day (maximal temperature, maximal humidity).

Climatic study of Mascara

The climate of Mascara belongs to the tempered Mediterranean type characterized with two seasons. The humid season starts from October till May, while the dry season starts from June to September. The very rough terrain complexity contributes to the creation of various micro-climates in the region.

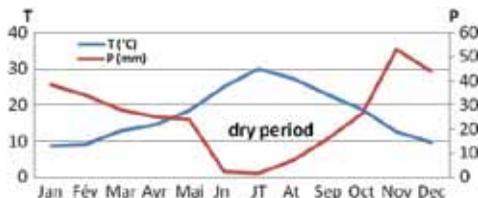


Figure 8. Ombrothermic diagrams of Bagouls and Gausson

The Ombrothermic diagrams of Gausson (Fig. 8) that are traced with data of the rains and average tem-

perature of the period 2003–2017 show a dry period that lasts from April to October (i.e., 6 months) with the variations of the climate from one year to another. This period tends to become longer.

Relation between the annual averages of the climatic parameters and the fires

The meteorological conditions are the major factor on which the burned surfaces depend and their number decreases in an important way according to the quantity of the precipitations (Yu et al. 2023; Turco et al. 2023).

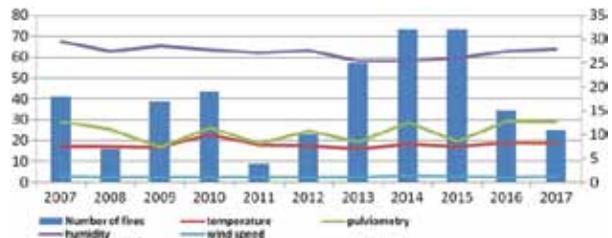


Figure 9. Relation between the annual averages of the climatic parameters and the number of fires in Mascara (2007–2017)

The monthly annual averages vary between 28°C and 32°C due to the geographic situation of the study zone which is mountainous and its semi-arid region. According to Figure 9, the number of fires generally increases as the temperature rises, which influences fire ignition by drying out vegetation, making it sensitive and flammable. The increase in the area burnt and the intensity and severity of fires, which will have a significant impact on forest ecosystems, is the consequence of the impact of climate change on the fire regime (Flannigan et al. 2000; Yu et al. 2023).

The annual average precipitations vary between 20 and 30 mm, which are quite little for the prosperity of the vegetation in the best conditions.

The number of fires increases generally with the increase of the wind speed, which has an influence on fire ignitions by drying the vegetation making it vulnerable and leading to the spread of the fire and to the creation of new fires from the transported flames.

Analysis of the annual averages of the climatic parameters does not show clearly their relation with the fire occurrences. This requires an in-depth study of the monthly averages of the climatic parameters.

Relation between the monthly averages of the climatic parameters and the fires

Monthly average temperatures

The monthly average temperatures of Mascara are high, but they vary a bit during the year. We notice that it is hot throughout the Wilaya. Figure 10 shows that the hottest months are July and August of every year which is the period that witnesses a high number of fires.

The number of fires is superior to the average in 2013, 2014, and 2015. The registered temperatures during June and July are the highest with values that respectively are 25.70°C, 28.80°C, and 27.80°C.

The hottest month in the studied period is August of 2017. However, its number of fires is inferior to the average because 2017 was a rainy year with 420 mm; January was the rainiest month with 114 mm.

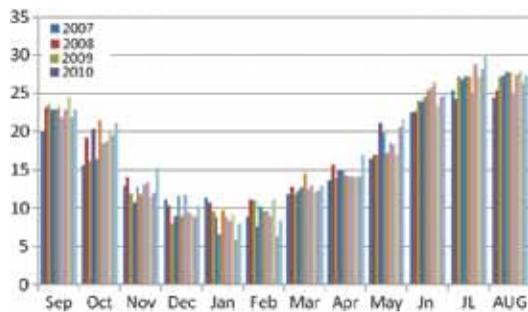


Figure 10. The monthly average temperatures of Mascara (2007–2017)

Figure 11 shows a heterogeneous distribution of the rainfall intensity in Mascara. The climatic variability noticed in the Wilaya is related to the low frequency of the rainy days in general and the daily rains.

The modification noticed on the cumulus of the rainfall height is accompanied with a modification of the length of the rainy season.

The monthly average rainfall of Mascara is less high and does not exceed 114 mm, but they vary a bit during the year. We notice that it is hot in Mascara. Figure 11 shows that the rainiest months are November, December, and January of each year; it is the period where the fires are almost absent.

The number of fires is superior to the average in 2013, 2014, and 2015, and the registered temperatures during June, July, and August are the highest with values that are 25.70°C, 28.80°C, and 27.80°C, respectively.

The least rainy months are those of the dry season (Fig. 8) which is the period where forest fires are abundant. According to Turco et al. (2023), forest fire regimes have been linked in some cases to climate change, such as warmer summer temperatures, below-average precipitation, and fewer rainy days during the fire season in the western United States.

The rainiest month of the period of study is November of 2013, but with a number of fires superior to the average. According to the Forests Conservation Department of Mascara, this increase was due to the carbonization activities that represent the only income of the Southern region of the Wilaya.

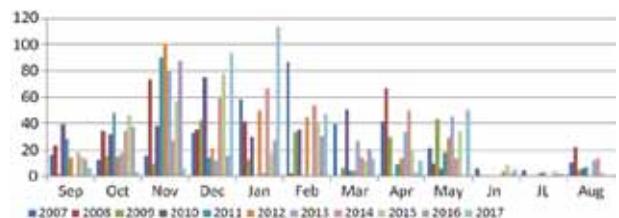


Figure 11. The monthly average precipitations of Mascara (2007–2017)

Figure 12 shows that the monthly average humidity (2007–2017) in Mascara varies between 35.5% (July) and 81.9% (January). The monthly average humidity is generally superior to 50% and relatively varies during the year. However, higher values are registered in November, December and January, which correspond to the humid period.

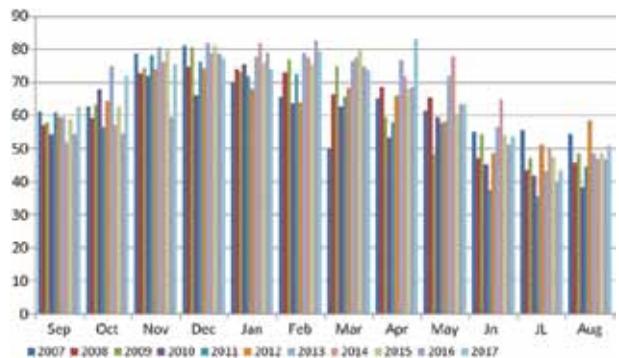


Figure 12. The monthly average humidity in Mascara (2007–2017)

Despite the high values of humidity, the number of fires registered was superior to the average in 2013,

2014, and 2015. According to the Forest Conservation Department of Mascara, this increase is due to the carbonization activities that represent the only income of the Southern region of the Wilaya.

In 2014 and 2015, the biggest burned surface was in the forest of Guetarnia, Canton Boumidouna, and it was a voluntary fire by those who looked for honey.

Figure 13 shows stability in the wind speed during the dry season. In 2013, 2014, and 2015, when the number of the fires was superior to the average, the wind speed exceeded 3 m/s in June and 2.7 m/s in July and August. According to the Forest Conservation Department in Mascara, the burned surface during these years was the most important exceeding 1,000 acres in 2014 and 711 acres in 2015.

The burned surface reflects the efficiency of the fight against the fire dangers. It depends on meteorological conditions with a higher surface when the air and vegetation are very dry and the wind is strong. This creates numerous strong fires that are difficult to fight (Benoit De Coignac 1996).

The wind accelerates the drying of the plants and the grounds. It brings the heat to the combustibles and increases the speed of the fire spread making it difficult to control.

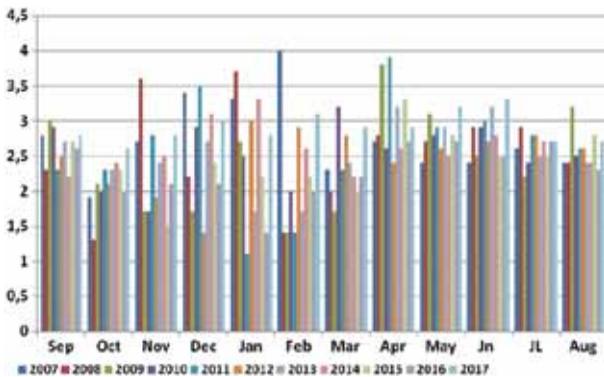


Figure 13. The monthly average wind speed in Mascara (2007–20017)

The dominating winds are those of the West and North-West during the four seasons (Fig. 14). In summer, the air masses of the Sahara arrive through the Atlas Mountain range and spread toward the Tell. The circulation of the sirocco, a hot and dry wind, leads to the drainage of the vegetation and increases the combustibility and inflammability of the vegetation.

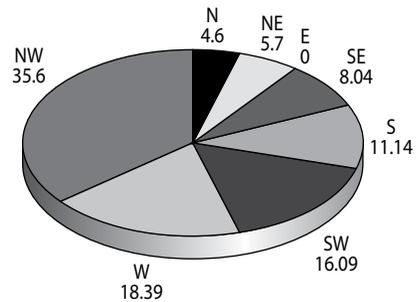


Figure 14. The wind orientation in Mascara (2007–2017)

Equipment and forest infrastructure of Mascara

Table 2 indicates the existing infrastructure in linear kilometers of tracks and in surface of firebreak trenches throughout Mascara (Fig. 2).

According to BNEDER (2008), the generally accepted norms for the intensive management of the forests require 2 km of tracks for 100 acres of forest and 2.5 acres of firebreak trenches for 100 acres of forest.

Table 2 shows clearly the relation between the networks of tracks and the burned surface. In the forests that have an important surface and a low number of tracks, the burned surface is big, and vice versa. In the municipality of Hachem which has a forest surface of 4,586.2 acres and a track volume of 20 km, the burned surface is 387 acres; in the municipality of Nesmoth which has a forest surface of 6,495.36 acres and a track volume of 25 km, the burned surface is 265.5; in the municipality of Ain Fekan which has a forest surface of 4,458 acres and a track volume of 30 km, the burned surface is 24.9 km; while in the municipality of Ferraguig with a 1,822.89 acres of forests and a track length of 36 km, there were no fires.

In Mascara, the forest tracks are 1,059.35 km long, i.e., a density of 1.4 km for each 100 acres of forest (Fig. 15). This is insufficient regarding the norm that recommends 2 km of track for each 100 acres of forest (BNEDER 2008). The total number of tracks to be considered in the development program for the Wilaya of Mascara, to meet the standard, would be 786 km. These needs are relatively high at the level of the forests of Zelmata municipality (143 km), Nesmoth municipality (89.5 km), and Cheurfa municipality (354 km). Furthermore, the existing tracks are not very efficient and do not meet the requirements (insufficient width and absent or insufficient lateral protection) and need maintenance.

Table 2. Forest surface and infrastructure of Mascara (BNEDER 2008)

No. of municipalities	Name of municipalities	Forest surface (acre)	Lookout points	Firebreak trenches	Points of water	Tracks (km)	Number of households from 2008 to 2017	Burned surface (acres) 2008-2017
1	2	3	4	5	6	7	8	9
09	Zelamta	12,412.05	00	00	00	25	00	155.5
37	Bou Henni	7,511.77	00	00	00	15	00	00
11	Ain Ferrah	6,751.50	01	01	10	45	08	130.5
45	Nesmoth	6,495.36	00	00	00	25	04	265.5
43	Chorfa	5,357.77	00	00	00	20	08	65
07	Hachem	4,586.2	00	00	00	20	33	387
04	Hacine	3,472.37	1	18	4	30.70	00	00
38	El Gueithna	1,979.2	1	115	3	20.90	00	00
41	Gharrous	3,950	00	00	00	10	25	16
33	Ferraguig	1,822.89	3	51	00	36	00	00
19	Beniane	2,900	00	00	00	10	03	17
31	Mohamadia	705.4	1	00	1	19	05	10.25
26	Sig	1,700	1	70	2	39	10	120
39	Mamounia	630	1	00	00	12	00	00
21	El Menaouer	580	1	123	00	81.50	00	00
23	Aouf	1,550	00	50	3	93.50	12	26.6
27	Oggaz	6 506	00	00	00	60.70	01	01
03	Tizi	500	00	00	00	00	00	00

1	2	3	4	5	6	7	8	9
02	Bouhanifa	6,457	5	137	9	87.60	07	482
18	Ain Fekan	4,458	00	00	02	30	04	24.9
35	Sedjerara	420.42	00	00	00	00	00	00
12	Ghriss	450	00	00	00	00	00	00
22	Oued Taria	3,400	00	00	00	00	00	00
24	Ain Fares	400	2	3	00	1.20	00	00
34	El Ghomri	350	00	00	00	00	00	00
14	Matemore	350	00	00	00	00	00	00
30	Zahana	350	00	12	00	31	06	54.3
46	S.A.Eldjebar	334	00	00	00	00	00	00
16	S.Boussaid	1,251	00	00	1	2	00	00
40	El Keurt	250	00	00	00	00	00	00
10	Oued ElAbtal	3,237	1	51	00	44.50	12	57
29	El Gaada	150	00	21	00	15	00	00
15	Makdha	150	3	13	2	13	00	00
28	Alaimia	106.5	00	00	00	00	00	00
13	Froha	46.57	00	00	00	00	00	00
47	Sehailia	100	00	00	00	00	00	00
42	Guerdjoum	60	00	00	00	00	00	00
01	Mascara	26.30	00	00	00	1.25	00	00
44	R.A.Amirouche	50	00	00	00	00	00	00
20	Khalouia	34.4	00	17	1	55.50	00	00
06	Tighennif	3.5	00	00	00	00	00	00
	Total	133,121.33	21	682	38	844.35	138	1,145

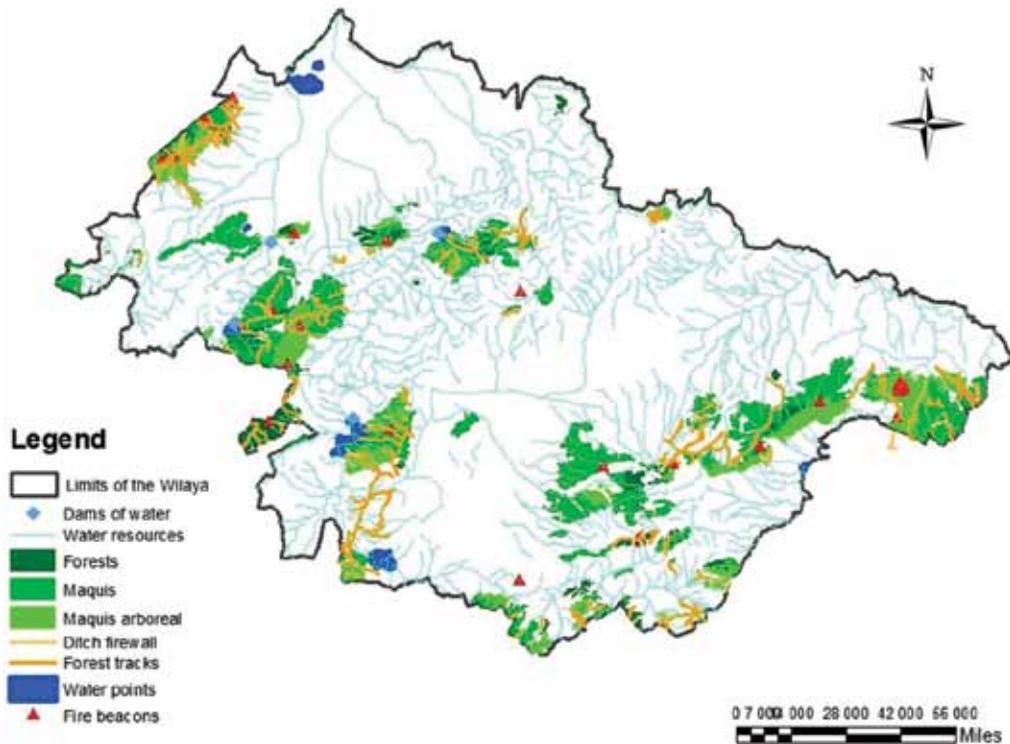


Figure 15. Map of the forest infrastructure in Mascara

The existing tracks will be progressively adapted to the norms which may be the opportunity to get rid of the inefficient ones.

As for the firebreak trenches, the forests of the Wilaya have 936 acres of trenches. However, they need 1,035 acres. The needs are important for the forests of Zelmata (193.5 acres), Nesmoth (111.5 acres), Sdamas Guerbi (153 acres), and Cheurfa (529.5 acres).

The number of forest houses is superior to the norm that states 1 forest house for each 10,000 acres. Under the general rules, Mascara is allowed to have 8 houses instead of its usual 12, and the same applies to most of the forests, with the exception of Cheurfa, where the number of forest houses is low. The equipment with lookout points is sufficient as there are 28 points in total, while 11 points are required according to the norms.

Activities in the forests

Activities in the national forest are restricted for the people living inside or near those forests, and these activities usually include collecting products for the domestic needs and the enhancement of the life conditions.

The empty spaces inside the forest are meant to valorize the lands for the plantation of fruits (Tab. 3) for the

Table 3. Activities in the forest

Wilaya	Municipality	Perimeter	Surface (acres)	Activity
Mascara	Zahana	Djeniène Meskine	4	Fruit arboriculture (plantation of olives and almonds)
	Chorfa	Anantra	2	
		Haoudh Kouabi	7	
		Djelaba	2	
	Menaouer	Temaznia	4	
	Makhda	Djebel Timatmart	4.57	
		Djebel Bourdim	6.25	
	Aouf	Sidi Reffas	4	
		Djebel Zerakine	3	
	Nesmoth	Gorot El Bordji	3	
		Ain Sidi Dahou	6	
	Zelmata	Khanafou	3	
		Bled Hayoum	11.5	
		Guergour	2.50	
TOTAL	7	14	62.82	

inhabitants who will protect the forest against the fires by being the first to detect fires and fight against their spread.

Map representing the classification of Mascara forests according to their vulnerability to forest fires.

Figure 10 shows the spatial variability of the fire dangers in the forests of Mascara. Findings show that the most endangered class, which is the most represented, covers more than 74% of the forests. Only 0.16% of the forests are at low danger class.

Table 4. Classes of Fire Danger Index (FDI)

FDI	Signification	Percentage (%)	Surface (acre)
FDI = 4.	Low danger	0.16	144.35
$4 < \text{FDI} \leq 8$	Moderate danger	8.26	7,452.41
$12 < \text{FDI} \leq 16$	High danger	74,97	67,640.18

The study of the fire records of Mascara shows that the most damaged forest massifs are located in the South and East of the Wilaya, where the scrubland oc-

cupies the 1st place among forest formations (Meddour-Sahar et al. 2013).

Firefighters signaled a lack in their infrastructure especially in the regions at high risk and where the forest massifs are not accessible.

The forest zones belonging to two classes of “moderate” and “low danger” (Fig. 16) are the smallest forests with surfaces of 30 acres to 100 acres, and they are accessible and easy to manage concerning prevention and fight.

CONCLUSIONS

This study using the statistical analysis and the FDI show that the fire played a primordial role in the current state of the Algerian forest ecosystem.

The fire frequency is only increasing with time, with a high number of fires in the last 15 years showing the inefficiency of the fire-fighting systems in the forests of 40 Wilayas.

Acquiring the needed information on the cartography, meteorological conditions, and available preven-

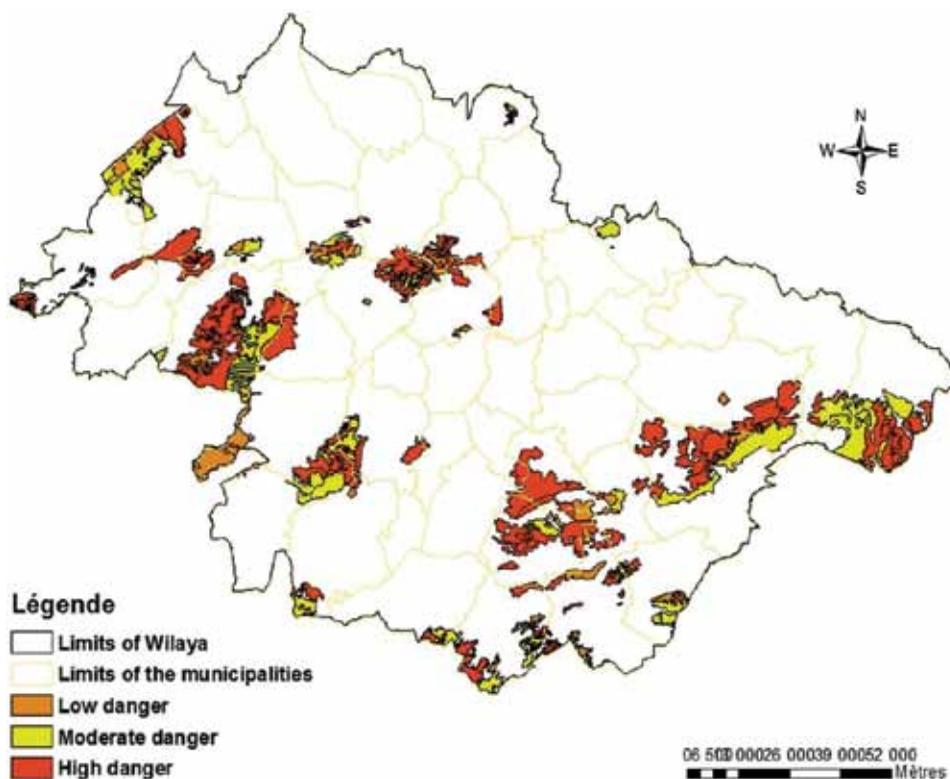


Figure 16. Map representing the fire-endangered zones of Mascara

tion tools was necessary for statistical studies to allow more trustworthy previsions and enhancement management tools against fires.

Finally, the map of the zones under investigation shows clearly the high fire vulnerability of the forest massifs of Mascara.

Many measures need to be taken in the sake of prevention (raising awareness, information) and prediction (infrastructure of the fight and field equipment) and in the speed and efficiency of fire fights.

The policy of the Algerian government that dates back to 2007 with the proximity program of integrated rural development must take into consideration the socio-economic side through integrating the countryside's in a well-designed participative approach.

The map of the forest infrastructure and the map of the fire-prone zones are important tools that should help managers set a good firefighting system protecting the natural resources of the country.

REFERENCES

- Abatzoglou, J.T., Williams A.P. 2016. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113 (42), 11770–11775. DOI: 10.1073/pnas.1607171113.
- Arbonnier, M., Faye, B. 1988. Etude de la forêt classée de Koupentoum (fascicule 1). Projet d'Aménagement et de Reboisement des Forêts du Centre Est (PARCE), Ministère de la Protection de la Nature, Dakar.
- Arfa, A.M.T., Benderradji, M.H., Alatou, D. 2009. Analyse des Bilans des incendies de Forêt et leur Impact Economique en Algérie entre 1985 et 2006. *New Medit*, 8 (1), 46–51.
- Arfa, A.M.T., Benderradji, M.H., Saint-Gerand, T., Alatou, D. 2018. Spatiotemporal evolution of wildfires in North-eastern Algeria: Case of the Province of El Tarf. *Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology*, 4, 3275–3285.
- Arfa, A.M.T., Benderradji, M.H., Saint-Gerand, T., Alatou, D. 2019. Cartographie du risque feu de forêt dans le Nord-est algérien : cas de la wilaya d'El Tarf. *Cybergeo: European Journal of Geography*. DOI: 10.4000/cybergeo.32304.
- Atalay, H., Dervisoglu, A., Sunar, A.F. 2024. Exploring forest fire dynamics: fire danger mapping in Antalya Region, Türkiye. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13 (3), 74. DOI: 10.3390/ijgi13030074.
- Belgherbi, B., Benabdeli, K., Mostefai, K. 2018. Mapping the danger of forest fires in Algeria: application of the forest of Guetarnia in western Algeria. *Ekológia (Bratislava)*, 37 (3), 289–300. DOI: 10.2478/eko-2018-0022.
- Belkaid, H. 2016. Analyse spatiale et environnementale du risque d'incendie de forêt en Algérie : Cas de la Kabylie maritime. Thèse Doctorat, Université Nice Sophia Antipolis, Nice, France.
- Benoit, De Coignac, G. 1996. La prévention des grands incendies de forêt. *Forêt Méditerranéenne*, 17 (2), 97–106.
- BNEDER (Bureau National d'Etude pour le Développement Rural). 2008. Etude d'inventaire forestier national: Rapport sur la caractérisation des formations forestières de la wilaya de Mascara. Direction Générale des Forêts, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et de la Pêche, Algérie.
- Boudjemline, F., Matari, O., Faci, M., Farhi, Y. 2016. Cas des vagues de chaleur sur l'Algérie en 2009 et 2012. Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides. *Journal Algérien des Régions Arides (JARA)*, Numéro spécial.
- Brown, E.K., Wang, J., Feng, Y. 2021. US wildfire potential: A historical view and future projection using high-resolution climate data. *Environmental Research Letters*, 16 (3), 034060. DOI: 10.1088/1748-9326/aba868.
- Canepa, A. 2024. Socio-economic risk factors and wildfire crime in Italy: a quantile panel approach. *Empirical Economic*, 66, 431–465. DOI: 10.1007/s00181-023-02462-2.
- Chevrou, R. 1998. Prévention et lutte contre les grands incendies de forêts. *Forêt Méditerranéenne*, 19 (1), 41–64.
- Curt, T., Rigolot, É., Dupuy, J.L., Pimont, F., Ruffault, J. 2020. Prévenir les risques d'incendies de forêt dans un contexte de changement global, *Sciences Eaux and Territoires*, 3 (33), 50–55.
- de Diego, J. et al. 2023. Examining socioeconomic factors associated with wildfire occurrence and burned area in Galicia (Spain) using spatial and temporal

- data. *Fire Ecology*, 19 (18). DOI: 10.1186/s42408-023-00173-8.
- Flannigan, M.D., Stocks, B.J., Wotton, B.M. 2000. Climate change and forest fires. *Science of The Total Environment*, 262 (3), 221–229. DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00524-6.
- Hadisuwito, A.S., Hassan, F.H. 2020. A comparative study of the forest fire danger index calculation methods using backpropagation. *Journal of Physics. Conference Series*, 1529 (5), 052051. DOI: 10.1088/1742-6596/1529/5/052051.
- Hardy, C.C., Hardy, C.E. 2007. Fire danger rating in the United States of America: An evolution since 1916. *International Journal of Wildland Fire*, 16 (2), 217. DOI: 10.1071/WF06076.
- Jay, A. et al. 2018. Chapter 1: Overview. In: Fourth national climate assessment. Volume II: Impacts, risks, and adaptation in the United States. U.S. Global Change Research Program. DOI: 10.7930/NCA4.2018.CH1.
- Keeley, J.E., Pausas, J.G. 2022. Evolutionary ecology of fire. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 53, 203–225.
- Laneve, G., Pampanoni, V., Shaik, R.U. 2020. The Daily Fire Hazard Index: A Fire Danger Rating Method for Mediterranean Areas. *Remote Sensing*, 12 (15), 2356. DOI: 10.3390/rs12152356.
- Lavieille, J.M. 2004. Droit international de l'environnement. Ellipses, Paris .
- Madoui, A. 2000. Forest fires in Algeria and case of domanian forest of Bou-Taleb, Setif. *International Forest Fires News*, 22, 9–15.
- MATE (Ministère de l'Aménagement du Territoire et l'Environnement). 2003. Plan d'action et stratégie nationale sur la biodiversité. Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à l'évaluation et la réduction des risques menaçant les éléments de la diversité biologique en Algérie. T.VI, Projet Alg /97/G31.
- Meddour-Sahar, O., Lovreglio, R., Meddour, R., Leone, V., Derridj, A. 2013. Fire and people in three rural communities in Kabylia (Algeria): Results of a survey. *Open Journal of Forestry*, 3 (1), 30–40. DOI: 10.4236/ojf.2013.31006.
- Meddour-Sahar, O., Meddour, R., Derridj, A. 2008. Les feux de forêts en Algérie sur le temps long (1876–2007). *Les Notes d'analyse du CIHEAM*, 39, 1–11.
- Merdas, S., Mostephaoui, T., Belhamara, M. 2017. Reforestation in Algeria: History, current practice and future perspectives. *Reforesta*, 3, 116–124. DOI: 10.21750/R EFOR.3.10.34.
- ONM – Office Nationalde Météorologie. 2013. Bilan météorologique.
- Plana, E. et al. 2016. Le feu et les incendies de forêt en méditerranée ; l'histoire d'une relation entre forêts et société. Cinq mythes et réalités, pour en savoir plus. Projet eFIREcom. Editions CTFC.
- Rigolot, É., Dupuy, J.L., Pimont, F., Ruffault, J. 2020. Les incendies de forêt catastrophiques. *Annales des Mines – Responsabilité et Environnement*, 2 (98), 29–35. DOI: 10.3917/re1.098.0029.
- Souidi, Z. 2010. Apport de la télédétection pour l'estimation de l'état hydrique d'un couvert forestier dans une perspective de prévenir le risque d'incendie de forêt en Algérie. Thèse doctorat, Université de Tlemcen, Algérie.
- Souidi, Z., Benbekkar, H. 2017. Algeria: a mediterranean region very sensitive to forest fires. *Territorium*, 24, 177–186.
- Souidi, Z., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A. 2015. Forest fires in Algeria: Occurrences, causes and prevention. In: Wildland fires: A worldwide reality (eds. A.J. Bento Gonçalves, A.A. Batista Vieira). Nova Science Publishers, Inc., USA, 153–170.
- Souidi, Z., Hamimed, A., Mederbal, K., Donze, F. 2009. Mapping latent heat flux in the western forest covered regions of Algeria using remote sensing data and a spatialized model. *Remote Sensing*, 1, 795–817.
- Souidi, Z., Salim, K., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A. 2017. Forest fire risk assessment and cartography in Algeria: A methodological approach. In: Wildfires, perspectives, issues and challenges of 21st century (eds. A.J. Bento Gonçalves, A.A. Batista Vieira). Nova Science Publishers, Inc., USA, 185–200.
- Souza, C., Tenneson, K., Dilger, J., Wespestad, C., Bullcock, E. 2024. Forest degradation and deforestation. In: Cloud-based remote sensing with google earth engine (eds. J.A. Cardille, M.A. Crowley, D. Saah, N.E. Clinton). Springer, Cham., 1061–1091. DOI: 10.1007/978-3-031-26588-449.

- Tabet, S. 2008. Le changement climatique en Algérie orientale et ses conséquences sur la végétation forestière. Mémoire de magistère, Université Mentouri de Constantine, Algérie.
- Torres, F.T.P., Lima, G.S., Martins, S.V., Valverde, S.R. 2017. Analyse de l'efficacité des indices de danger d'incendie dans la prédiction des incendies de forêt. *Revista Arvore*, 41 (2), e410209.
- Turco, M. et al. 2023. Anthropogenic climate change impacts exacerbate summer forest fires in California. *PNAS*, 120 (25), e2213815120. DOI: 10.1073/pnas.2213815120.
- Vilar, L., Gómez, I., Martínez-Vega, J., Echavarría, P., Riaño, D., Martín, M.P. 2016. Multitemporal modelling of socio-economic wildfire drivers in Central Spain between the 1980s and the 2000s: Comparing generalized linear models to machine learning algorithms. *PLoS One*, 11 (8), e0161344. DOI: 10.1371/journal.pone.0161344.
- Vitolo, C. et al. 2020. ERA5-based global meteorological wildfire danger maps. *Science Data*, 7, 216. DOI: 10.1038/s41597-020-0554-z.
- Wang, X., Zhao, H., Zhang, Z., Yin, Y., Zhen, S. 2023. The relationship between socioeconomic factors at different administrative levels and forest fire occurrence density using a multilevel model. *Forests*, 14 (2), 391. DOI: 10.3390/f14020391.
- Wu, M. et al. 2022. Effects of African BaP emission from wildfire biomass burning on regional and global environment and human health. *Environment International*, 162, 107162. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107162.
- Yu, G., Feng, Y., Wang, J., Wright, D.B. 2023. Performance of fire danger indices and their utility in predicting future wildfire danger over the conterminous United States. *Earth's Future*, 11, e2023EF003823. DOI : 10.1029/2023EF003823.
- Zeineddine, N. 2011. Vers un retour des pluies sur la rive sud du bassin méditerranéen occidental: analyse et évaluation de la tendance pluviométrique sur plus d'un demi-siècle en Algérie. *The Annals of Valahia, University of Târgoviște. Geographical Series*, 11 (1), 31–36.

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/315898860>

Algeria: a mediterranean region very sensitive to forest fires

Article · March 2017

DOI: 10.14195/1647-7723_24_13

CITATIONS

4

READS

72

2 authors, including:



Souidi Zahira

University Mustapha Stambouli of Mascara

40 PUBLICATIONS 359 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



EuMIXFOR. European Mixed Forests: Integrating Scientific Knowledge in Sustainable Forest Management [View project](#)



Estimating surface water and energy balance from remote sensing in the thermal infrared range [View project](#)



L'Algerie: une region mediterraneene tres sensible aux incendies de foret

Autor(es): Zahira, Souidi; Hadj, Benbakar

Publicado por: Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança; Imprensa da Universidade de Coimbra

URL persistente: URI:<http://hdl.handle.net/10316.2/41233>

DOI: DOI:https://doi.org/10.14195/1647-7723_24_13

Accessed : 17-Apr-2017 13:07:34

A navegação consulta e descarregamento dos títulos inseridos nas Bibliotecas Digitais UC Digitalis, UC Pombalina e UC Impactum, pressupõem a aceitação plena e sem reservas dos Termos e Condições de Uso destas Bibliotecas Digitais, disponíveis em <https://digitalis.uc.pt/pt-pt/termos>.

Conforme exposto nos referidos Termos e Condições de Uso, o descarregamento de títulos de acesso restrito requer uma licença válida de autorização devendo o utilizador aceder ao(s) documento(s) a partir de um endereço de IP da instituição detentora da supramencionada licença.

Ao utilizador é apenas permitido o descarregamento para uso pessoal, pelo que o emprego do(s) título(s) descarregado(s) para outro fim, designadamente comercial, carece de autorização do respetivo autor ou editor da obra.

Na medida em que todas as obras da UC Digitalis se encontram protegidas pelo Código do Direito de Autor e Direitos Conexos e demais legislação aplicável, toda a cópia, parcial ou total, deste documento, nos casos em que é legalmente admitida, deverá conter ou fazer-se acompanhar por este aviso.



An aerial photograph showing a large-scale landslide on the left side of a densely forested hillside. The landslide has created a wide, brown, debris-filled path that descends towards a residential settlement. The settlement consists of numerous small, closely packed houses with dark roofs. The surrounding area is covered in lush green trees, and the overall scene is captured from a high-angle perspective, emphasizing the scale of the geological event relative to the human-made structures.

territorium • 24

MULTIDISCIPLINARIDADE NA ANÁLISE
DAS MANIFESTAÇÕES DE RISCO

Imprensa da Universidade de Coimbra
Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

2017



L'ALGERIE: UNE REGION MEDITERRANEENE TRES SENSIBLE AUX INCENDIES DE FORET*

ALGERIA: A MEDITERRANEAN REGION VERY SENSITIVE TO FOREST FIRES

Souidi Zahira

Université de Mustapha Stambouli Mascara, Laboratoire LRSBG
souidi.z@gmail.com

Benbakar Hadj

Université de Mascara, Laboratoire LRSBG
h.benbakar@yahoo.fr

RESUMÉ

Comme dans de nombreux pays de la Méditerranée, les zones boisées en Algérie sont soumises à un risque récurrent des incendies de forêt qui est favorisée par l'extrême inflammabilité des espèces forestières méditerranéennes durant l'été. Ce travail tente de clarifier l'évolution et les causes des feux de forêt en Algérie et de donner un aperçu des efforts déployés au niveau national pour réduire le risque d'incendie de forêt.

Mots-clé: Forêt méditerranéenne, incendie, causes, prévention, Algérie.

ABSTRACT

As in many other Mediterranean countries, the forested areas in Algeria are subject to a recurrent risk of forest fires that is favored by the extreme flammability of the Mediterranean forest species during the summer. This paper tries to clarify the evolution and the causes of forest fire in Algeria and to give an overview of the efforts undertaken at national level for reduce the forest fire risk.

Keywords: Forest fire, risk, Mediterranean country, Algeria.

RESUMO

Argélia: uma região do Mediterrâneo muito sensível a incêndios florestais - Como em muitos países do Mediterrâneo, as florestas da Argélia estão sujeitas a um risco recorrente de incêndios florestais, o qual é favorecido durante o verão pela extrema inflamabilidade das espécies florestais mediterrâneas. Este trabalho tenta esclarecer as tendências e as causas dos incêndios florestais na Argélia e procura fornecer uma visão geral dos esforços desenvolvidos a nível nacional para reduzir o risco de incêndio.

Palavras-chave: Floresta mediterrânea, incêndios florestais, causas, prevenção, Argélia.

RESUMEN

Argelia: Una región mediterránea muy sensible a los incendios forestales - Al igual que en muchos países mediterráneos, los bosques de Argelia están sujetos a un riesgo recurrente de los incendios forestales, que se ve favorecido durante el verano por la extrema inflamabilidad de las especies forestales mediterráneas. En este trabajo se intenta aclarar las tendencias y las causas de los incendios forestales en Argelia, así como proporcionar una visión general de los esfuerzos realizados a nivel nacional para reducir el riesgo de incendio.

Palabras clave: Bosque mediterráneo, incendios forestales, causas, prevención, Argelia.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no I Seminário da Rede Incêndios-Solo e I Simpósio Ibero-Afro-Americano de Riscos, tendo sido submetido em 28-12-2015, sujeito a revisão por pares a 09-01-2016 e aceite para publicação em 05-04-2016.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 24, 2017, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introduction

Les forêts méditerranéennes constituent l'un des lieux de diversité végétale les plus importants de la planète, représentant 10% des plantes à fleurs dans le monde sur guère plus de 1,6% de la surface de la terre mais inégalement réparties (TABLEAU I). Située dans une zone de transition entre les continents européen, africain et asiatique, cette mosaïque de chênes-lièges, de chênes verts, de cèdres, de pins et d'oliviers abrite 25 000 espèces végétales dont 13 000 sont endémiques (Kazakis et Ghosn, 2008). Les forêts servent aussi d'habitat à une extraordinaire diversité d'animaux. Les forêts couvraient 82% des terres en Méditerranée ; aujourd'hui, la couverture n'est que de 17%. Cette dégradation est due essentiellement aux activités humaines et en particulier aux feux.

Le feu est un aléa naturel le plus important pour les forêts et les zones boisées du bassin méditerranéen. Chaque année, environ 50 000 feux ravagent entre 700 000 et 1 million d'hectares de terres causant d'énormes dommages sur le plan social, économique et écologique ainsi que la perte de vies humaines (Kazakis et Ghosn, 2008).

Les écosystèmes méditerranéens ont évolué sous l'influence périodique des feux et ont développé des mécanismes d'adaptation au feu par une sélection naturelle. Certaines espèces produisent des rejets à partir de la souche ou des racines après le feu alors que d'autres libèrent de grandes quantités de graines qui germent facilement dans les conditions régnant après un feu.

TABLEAU I - Distribution des surfaces forestières en Méditerranée (en 2005).

TABLE I - Distribution of forest areas in the Mediterranean (in 2005).

Pays	Surface totale du pays (km ²)	Surface forestière des pays méditerranéens (km ²)	Taux du couvert forestier (%)
Algérie	2 381 741	40 710	1,71
Egypte	1 001 450	23	0,00
France	675 000	160 000	23,71
Grèce	131 957	40 000	30,31
Italie	301 336	100 000	33,18
Malte	316	13	4,11
Maroc	710 850	91 010	12,80
Portugal	92 358	40 000	43,31
Espagne	505 911	180 000	35,61
Tunisie	163 610	8 307	5,08

Source/Fonte: Euro-Mediterranean statistics (2007).

La suppression de tous les feux n'est ni physiquement possible, ni écologiquement souhaitable (Conard et Latham, 2000). Les feux de forêt font partie intégrante du cycle de vie des écosystèmes méditerranéens, ceci depuis des millénaires et continueront à l'être aussi dans le futur. Les hommes ont aussi influencé les écosystèmes méditerranéens et ce depuis des millénaires, créant une relation dynamique avec leur environnement naturel. Il n'est pas possible de comprendre les structures actuelles de la végétation dans le bassin méditerranéen sans prendre en considération les activités anthropogéniques et les utilisations des terres dans le passé. La forte pression exercée par l'homme (brûlage, abattage, pâturage sur terres non arables, défrichage, aménagement de terrasses, exploitation puis abandon de terres arables) a donné naissance à un paysage fortement marqué par l'activité humaine.

L'intervention humaine a été si forte qu'elle exerce encore un impact significatif sur les structures actuelles et futures de végétation. Les changements observés au cours de ces dernières décennies quant à la fréquence des feux reflètent étroitement les changements socio-économiques récents en cours dans les pays méditerranéens. Les statistiques sur les causes des feux de forêt dans la région méditerranéenne sont loin d'être complètes mais il est manifeste que la majorité des feux sont dus à l'homme. Des causes naturelles, comme la foudre, peuvent effectivement être à l'origine de feux de forêt et quand de tels feux se déclarent dans des zones isolées, l'étendue des dégâts peut être considérable. Dans l'ensemble, toutefois, le nombre de feux d'origine naturelle est faible comparé à ceux causés par l'homme.

Bien que la principale raison pour l'augmentation des feux au cours des dernières décennies soit probablement le facteur anthropique, il faut également prendre en considération les facteurs climatiques. Les feux se déclarent essentiellement en été quand les températures sont élevées et quand sont faibles l'humidité de l'air et la teneur en eau des combustibles (Hoff et Rambal, 1999). Les prévisions concernant les changements climatiques indiquent une diminution des précipitations annuelles, une augmentation de la température de l'air et des périodes de sécheresse plus longues (IPCC, 2001). Bien qu'il existe un certain degré d'incertitude quant à la moyenne et la variation des changements en matière de précipitations, toutes les prévisions tendent à indiquer une future hausse du déficit en eau (Moisselin, 2003). Ces changements aboutiront à une augmentation de la probabilité d'allumage de feux et de leur propagation non seulement dans la région méditerranéenne mais aussi dans les autres régions du monde sujettes aux incendies.

Le climat méditerranéen, avec des étés longs et secs et des hivers doux avec de faibles précipitations, a abouti au développement d'écosystèmes dits de type

méditerranéen. Ces écosystèmes ont développé des mécanismes d'adaptation (espèces sclérophylles à feuilles persistantes et phénomène d'allélopathie) afin de surmonter les conditions climatiques difficiles (température de l'air élevée et sécheresse en été). Ces mécanismes provoquent une accumulation de combustibles forestiers secs et inflammables. En outre, beaucoup de plantes méditerranéennes produisent des substances inflammables comme les huiles essentielles et les résines. Dans de telles conditions climatiques et compte tenu des propriétés des combustibles, une simple, même petite, augmentation de chaleur peut facilement être à l'origine d'un feu et de sa propagation.

Selon de récentes études (Hoff et Rambal, 1999), la période favorable au déclenchement des incendies s'allonge fortement chaque année. L'année 2003 en fut une triste illustration avec huit mois de sécheresse, des températures extrêmes et des surfaces brûlées record au Portugal (425 726 ha) et en Espagne (1 481 721 ha) (TABLEAU II). L'Algérie se place en troisième position après la France et la Grèce dans le sens croissant des surfaces incendiées annuellement.

Le feu est la menace naturelle la plus importante pour les forêts et les zones boisées du bassin méditerranéen (Alexandrian *et al.*, 1999). Il détruit beaucoup plus d'arbres que toutes les autres calamités naturelles: attaques de parasites, insectes, les tornades, le gel, etc. Le nombre annuel moyen de feux de forêt dans tout le bassin méditerranéen est proche de 50 000, soit deux fois plus que dans les années 1970 (Alexandrian *et al.*, 1999). La zone brûlée annuelle cumulée dans les pays méditerranéens est d'environ 600 000 ha (Alexandrian *et al.* 1999).

Prenant conscience qu'il y avait un problème mais n'en comprenant pas entièrement les raisons, tous les pays ont réagi en accroissant leur capacité d'extinction, en particulier tout au long des années 1990, et par conséquent en augmentant leurs budgets de lutte contre

les incendies. Ces efforts ont eu pour effet de diminuer la surface brûlée totale chaque année pendant les saisons des incendies relativement calmes. Néanmoins, le danger potentiel de catastrophes importantes continue à exister. Etant donné l'accumulation croissante de combustibles, la superficie brûlée atteint à nouveau des sommets élevés lors de périodes critiques pour les incendies. De plus, les dommages sont très élevés étant donné que les feux se déclarent ou atteignent facilement les zones de contact de plus en plus étendues entre espaces naturels et urbains.

Les incendies de forêts en Algérie

La couverture forestière

L'Algérie est un pays méditerranéen situé entre les latitudes 19 ° et 37 ° N, et les longitudes 9 ° W et 12 ° e, d'une superficie de 2 381 741 km² dont 90% des terres est un désert dans la partie sud. C'est dans le nord de l'Algérie, que les plus grandes superficies forestières sont localisées avec un climat doux méditerranéen. Deux périodes caractérisent cette région: une saison froide de novembre à avril, avec des températures minimales enregistrées autour de 2 °C et une saison chaude de mai à octobre avec des maxima de 35 °C. Les contraintes thermiques maximales sont accentuées par un vent chaud du Sud, le sirocco, qui se manifeste surtout en été et augmente l'évapotranspiration. Les pluies sont concentrées pendant la saison froide. La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 300 à 500 mm (ONM, 2013).

L'Algérie est un pays très affecté par les incendies de forêt, pourtant, les feux en méditerranée font souvent seulement référence aux cinq états membres méridionaux de l'union européenne (Vélez, 1999).

Le couvert forestier algérien a régressé depuis 1990 (TABLEAU III). Une moyenne de 8750 ha ou 0,52% par année a été perdue. L'Algérie a perdu 10,5% de sa couverture forestière soit 175 000 ha, principalement par les feux de forêt. Bien que le gouvernement a initié d'important programmes de reboisement, la superficie forestière en Algérie diminue, nous passons de 0,8% de la superficie forestière (17 898 ha) en 1990 à 0,6% en 2010 (FAO, 2011). L'Algérie enregistre aujourd'hui seulement 1 492 000 ha de peuplements forestiers (DGF, 2013).

Evolution des incendies

L'Algérie, est l'un des rares pays à avoir des statistiques assez complètes sur les incendies de forêt. Elle a enregistré ses incendies de forêt depuis 1876 ce qui en fait une étude approfondie de ses évolutions possibles. Les principales sources de données utilisées sont celles de Marc (1916), Boudy (1948), Grim (1989) et la Direction générale des forêts de l'Algérie (2014).

TABLEAU II - Superficie brûlée en région méditerranéenne entre 1985 et 2010.

TABLE II - Area Burned in the Mediterranean between 1985 and 2010.

Pays	Superficies brûlées par an (ha)	Nombre de feux par an
France	21 323	3 771
Grèce	32 856	1 308
Algérie	35 025	1 637
Italie	77 262	7 867
Portugal	101 166	16 578
Espagne	132 305	13 740

Source/Fonte: European Commission (2010).

TABLEAU III - Evolution du couvert forestier en Algérie (1000 ha) de 1990 à 2010.

TABLE III - Trends of forest cover change in Algeria (1000 ha) between 1990 and 2010.

Année	Couvert forestier	Taux du changement	Taux annuel du changement (%)	Couverture forestière (exclue les peuplements forestiers)	Surface des peuplements forestiers
1990	1667	-	-	1334	333
2000	1579	-9	-0,54	1234	345
2005	1536	-9	-0,55	1166	370
2010	1492	-9	-0,58	1088	404

Source: Direction Générale des Forêts (DGF, 2013).

Les statistiques montrent pour certains pays une réelle tendance à la hausse comme l'Espagne, la Grèce, l'Italie, le Maroc (Alexandrian *et al.*, 1999), mais pour l'Algérie aucune tendance apparente ne ressort des statistiques, on remarque seulement que quelques années présentent un maximum très élevé (TABLEAU IV) qui sont en relation souvent avec des périodes d'instabilité du pays (par exemple 1913, 1956, 1983 et 1994). Durant la période de 1881 à 2014, l'Algérie est passée par de nombreuses phases d'instabilités : guerre contre le colonialisme 1911-1920, guerre de libération de 1951 à 1962, situation conjoncturelle de 1991 à 2000.

La superficie moyenne annuelle brûlée (de 1881 à 2014) en Algérie est proche de 38 292 ha (TABLEAU IV) représentant environ 1% de toutes les forêts existantes du pays, ce qui équivaut à 4,1 millions d'hectares (FOSA, 2000)

La surface cumulée brûlée dans la période 1881-2006 (125 ans) est estimée à environ 5 millions d'hectares (4.834.874 ha). Néanmoins, il convient de noter que ces incendies ont été souvent récurrents dans certains endroits que dans d'autres, et que ces surfaces cumulées sont des indicateurs de l'étendue des dégâts.

La fréquence des feux et des surfaces incendiées

En Algérie, une évaluation globale sur les feux de forêt est réalisée chaque année après chaque campagne, du 1er Juin au 31 Octobre par la Direction générale des forêts (DGF) qui permet de comprendre l'évolution des incendies de forêts dans le temps et l'espace pour prévenir le risque de feu.

Il a été noté que suivant les années le feu est plus prépondérant d'une formation végétale à l'autre (TABLEAU V). L'année 2005 et 2006 sont particulières, pour un nombre d'éclosion pratiquement semblable, l'année 2005 comptabilise une superficie incendiée très importante par rapport à l'année 2006. Les formations forestières sont les plus susceptibles au feu avec une superficie totale incendiée de 28 380 ha en 2005. L'année 2013 par contre avec un nombre d'éclosion plus important (2 342) la superficie incendiée a diminué. Il est clair que le nombre d'éclosion des feux n'est pas en corrélation avec

la superficie incendiée. Les conditions écologiques et la rapidité d'intervention sont les paramètres principaux qui régissent l'extension d'un feu.

La répartition des zones brûlées est individualisée selon les régions (TABLEAU VI). En 2006, la région Est était dans la première position, en termes de superficie parcourue par le feu et le nombre de foyers, la wilaya de Bejaia occupe la première place avec 2974,27 ha respectivement, représentant 42,45% du total dans la région, et 220 incendies sur 2340 déclarées comme départs de feu dans la région. Cette région est caractérisée par la présence de forêts, fortement boisées et densément peuplées, qui ont connu plusieurs incendies et pertes. Bien que, en 2013, il est le centre de la région qui était dans la première position des zones brûlées. Il n'y a aucune explication de cette variabilité dans la répartition de feu en Algérie.

La répartition des zones touchées par le feu pendant les cinq mois de la campagne des incendies (TABLEAU VII) indique que le plus grand nombre d'incendies commencent durant le mois le plus chaud et la partie la plus sèche de l'année, causant plus de dommages. La plupart des incendies se sont produits en Juillet et Août. Il est important de noter qu'au cours de 2005, la superficie moyenne mensuelle couverte par le feu était d'environ 5 676,01 ha et le nombre moyen d'incendies enregistrés était 402. Il convient également de noter que seuls les mois de Juillet et Août ont dépassé ces moyennes (TABLEAU VII). Généralement, le feu est en corrélation avec les conditions climatiques quand la température est la plus élevée particulièrement en été et que la végétation souffre d'un déficit hydrique.

En 2006, octobre a été le mois le plus touché par les incendies, mais cette situation exceptionnelle est principalement due à la vague de chaleur enregistrée au cours de ce mois, surtout à la fin de cette année.

La répartition des zones touchées par le feu, classées selon le type d'espèces (TABLEAU VIII) montre que c'est les peuplements forestiers qui ont payé le prix le plus lourd par rapport aux formations, ce qui confirme la vulnérabilité de nos forêts au feu en raison de la domination du pin d'Alep, qui est une espèce hautement combustible.

TABLEAU IV - Variation des surfaces brûlées en Algérie (1881-2014).

TABLE IV - Distribution of area burned in Algeria (1881-2014).

Années	Superficies incendiées (ha)	Moyenne (ha)	Années les plus touchées par les incendies	
			Année	Superficies incendiées (ha)
1881-1890	353 856	35 386	1881	109 056
1891-1900	487 796	48 780	1892	105 574
1901-1910	309 889	30 989	1902	141 141
1911-1920	622 571	62 257	1913	138 191
1921-1930	296 262	29 626	1922	89 678
1931-1940	275 096	27 510	1937	61 877
1941-1950	280 119	28 011	1943	61 678
1951-1960	449 970	64 997	1956	204 220
1961-1970	233 772	23 377	1961	69 471
1971-1980	292 849	29 285	1971	57 835
1981-1990	361 391	36 139	1983	221 368
1991-2000	549 240	54 924	1994	271 598
2001- 2006	122 063	20 344	2004	31 999
2007-2014	306 276	37 593	2007	47 939
Total	5 141 150	38 292	-	-

Source: Direction Générale des Forêts en Algérie (DGF, 2014).

TABLEAU V - Les superficies incendiées en Algérie durant trois périodes (2005, 2006, and 2013).

TABLE V - Burned areas in Algeria for three periods (2005, 2006, and 2013).

Year	Estimation	Type de végétation						Nombre d'écllosion
		Forêt	Maquis	Broussaille	Alfa	Autre	Total	
2005	Surface brûlées (ha)	14 283.01	8 543 .16	4 426.37	337	790.50	28 380.06	2 013
	Taux (%)	50.32	30.10	15.60	1.20	2.78	100	-
2006	Surface brûlées (ha)	6 757.86	3 050.57	4 177.90	191.42	781.26	14 959.01	2 029
	Taux (%)	45.17	20.40	27.90	1.30	5.23	100	-
2013	Surface brûlées (ha)	3 618	3 808	4 261	-	1 414	13 102	2 342
	Taux (%)	28	29	35	-	10	100	-

Source: Direction Générale des Forêts en Algérie (DGF,2014).

TABLEAU VI - Variation régionale des surfaces incendiées en Algérie.

TABLE VI - Distribution of burnt area classified by regions of the country.

Année	Région	Superficie brûlée (ha)	Taux incendiée par wilaya (%)	Nombre de foyer d'incendie	Moyenne incendiée par foyer (ha)
2006	East	7 003,88	46,82	940	7,45
	Center	5 527,70	36,95	803	6,88
	West	2 427,43	16,23	286	8,48
2005	East	7 802,01	27,49	660	11,82
	Center	8 725,29	30,74	888	9,82
	West	11 852,76	23,09	465	25,48
2013	East	3 864	29	586	-
	Center	5 321	41	1 203	-
	West	3 917	30	553	-

Source: Direction Générale des Forêts en Algérie (DGF).

TABLEAU VII - Variation mensuelle des nombres de feu et des surfaces brûlées durant la campagne d'incendie (juin à octobre).

TABLE VII - Number of fires and burnt area by month.

Année	Mois	Superficie brûlée (ha)	Nombre de foyer d'incendie	Moyenne incendiée par foyer (ha) (ha)
1980 à 2000 (moyenne annuelle)	June	1 112 57	-	-
	July	7 801 58	-	-
	August	16 276 60	-	-
	September	4 001 67	-	-
	October	675 65	-	-
2005	June	3 349,46	259	12,93
	July	11 093,98	717	15,47
	August	11 593,45	752	15,42
	September	2 289,65	254	9,01
	October	53,52	31	1,72
2006	June	520,35	158	3,30
	July	4 708,84	529	8,90
	August	3 237,56	709	4,56
	September	1 236,59	302	4,09
	October	5 652,34	406	13,93

Source: Direction Générale des Forêts en Algérie (DGF).

Les causes des incendies

Dans tout le bassin méditerranéen le nombre le plus élevé d'incendies sont de causes inconnues (*Alexandrian et al.*, 1999) particulièrement au Portugal (Lourenço, 2013 ; Nunes *et al.*, 2014)) qui est la caractéristique principale de cette région. En Algérie, nous avons la même caractéristique. Les incendies de forêt sont pour la plupart d'origine humaine. Les causes naturelles ne représentent qu'un petit pourcentage, probablement en raison de l'absence de phénomènes climatiques particuliers tels que les tempêtes sèches. De nombreux auteurs (Gravius, 1866; Thibault, 1866; Marc, 1916; Boudy,

1952) ont démontré que les origines du feu dépendent directement des usages agricoles et pastoraux des populations. Les informations plus récentes sur les causes de feux dans le pays se caractérisent par l'importance du taux des feux d'origine inconnue (TABLEAU IX), qui représentent 40 % à 70% de tous les incendies selon les informations officielles. Cependant, la période 1980-2000 a été une période conjoncturelle et d'insécurité en milieu forestier, les causes des feux d'origine inconnue sont plus élevées que durant la période 1907-1950 qui était une période coloniale plus stable avec un suivi régulier en forêt et une fréquentation plus réduite de la population en milieu forestier.

TABEAU VIII - Variation des surfaces brûlées par type de végétation.

TABLE VIII - Burnt area classified by vegetation type.

Année	Peuplements forestiers						Autres
	Pin d'Alep	Chêne vert	Chêne liège	Eucalyptus	Thuya	Total	
1987	5 008,34	369,26	3 634,66	218,44	18,70	9249,4	14 050,95
1988	7 646,70	387,13	7 506,13	372,32	55,37	15967,65	11 590,21
1989	1 297,66	153,49	331,57	3101	-	4883,72	1 422,93
1990	858,28	219,19	15 398,94	272,93	0,55	16749,89	11 296,62
1991	2 702,27	802,57	2 453,85	251,65	46,10	6256,44	6 919,71
1992	4 025,93	1 262,16	6 397,25	463,75	9,80	12158,89	13 462,13
1993	7 946,40	2 442,31	15 189,37	2 510,02	300,75	28388,85	30 291,79
1994	90 011,90	7 896,47	38 641,03	7 168,31	740,25	144457,96	127,140
1995	22 622,01	757,87	3 370,99	123,22	126,50	27000,59	5 156,85
1996	2 766,37	369,13	164,66	74,39	76,34	3450,89	3 851,31
1997	8 682,94	606	2 661	238,21	-	12188,15	5 642,26
Total	153 568,80	15 265,58	95 749,45	11 724,25	1 374,36	277682,44	230 824,85
Moy.	13 960,80	1 387,78	8 704,49	1 065,84	124,94	-	20 984,07

Source: Direction Générale des Forêts en Algérie (DGF) (les statistiques après 1997 ne précise plus les types d'espèces brûlée).

Parmi les causes connues, celles qui sont involontaires (négligence ou accident) sont les plus fréquentes dans tout le pays. Les causes accidentelles varient entre les régions. En Algérie, les principales causes sont directement liées à l'activité humaine. Cependant, malgré les enjeux liés à la gestion du risque de feu de forêt, ses origines et ses causes sont peu connues ce qui limite en Algérie les politiques de défense contre les feux de forêt à la phase d'extinction, plutôt que de s'orienter davantage vers un modèle de prévention.

Les moyens mis en œuvre en Algérie

Dans la majorité des cas l'incendie est d'origine humaine, volontaire ou non. Le risque de feu de forêt est donc en théorie le risque naturel le plus facile à anticiper; en théorie seulement ! Même si l'on peut toujours modéliser les variables environnementales et clima-

tiques et les prédire avec plus ou moins d'exactitude, il est en revanche difficile de devancer les déplacements de chaque promeneur négligent.

Les pouvoirs publics ont donc renforcé les moyens de la Direction Générale des Forêts dans le cadre de la prévention et la lutte contre les feux de forêts, notamment par l'acquisition de matériel de première intervention sur les feux naissants (camion citerne feux de forêts légers) et d'un réseau radioélectrique de type VHF qui permet la communication rapide en cas de déclenchement d'un incendie, sans oublier les travaux de DFCI (Défense Contre les Incendies de Forêts) qui sont menés chaque année pour améliorer l'intervention et la surveillance. Le dispositif de prévention et de lutte contre les feux de forêts qui est mis en place, chaque année, en Algérie, s'organise autour de plusieurs points : l'information et l'éducation des populations, l'aménagement et l'entretien de l'espace rural et forestier, la surveillance des massifs boisés, le perfectionnement des moyens de lutte.

Sur le plan de la sensibilisation, différentes opérations sont menées:

- Animation de conférences/débats dans les établissements scolaires;
- Organisation de journées portes ouvertes sur l'administration forestière;
- Travail de sensibilisation de proximité en direction des populations riveraines de la forêt;
- Animation et participation à des émissions télédiffusées et radiophoniques;

TABEAU IX - Comparaison des causes d'incendies (%) durant deux périodes d'observation 1907-1957 et 1980-2000.

TABLE IX - Comparison of fire causes (%) during the two observation periods 1907-1957 and 1980-2000.

Causes des feux de forêt	Période 1907-1950	Période 1980-2000
Cause naturelle : foudre	2,60 %	-
Négligence : fumeurs, apiculture, autres	51,95 %	1,12 %
Criminelle	7,79 %	28,96
Cause inconnue	37,66 %	69,92 %

Source: Direction Générale des Forêts en Algérie (DGF, 004).

- Contribution des imams des mosquées par la lecture de prêches de vendredi qui mettent l'accent sur le thème ayant trait à l'arbre et son utilité dans la vie quotidienne de la société et surtout la nécessité de protéger la forêt contre les feux;
- Publication dans plusieurs journaux d'articles sur les feux de forêts et l'appel aux populations pour observer plus de vigilance et apporter leur contribution à la prévention et à la lutte;
- Diffusion par la Direction Générale des Forêts d'un communiqué de presse hebdomadaire informant l'opinion publique sur le nombre de foyers de feux enregistré au courant de la semaine et celui cumulé depuis le lancement de la campagne ainsi que les superficies parcourues par le feu.

Cependant, toutes ces actions restent insuffisantes au regard de l'étendue du territoire d'intervention, de la forte densité de population autour et à l'intérieur des massifs forestiers et de la complexité des opérations de prévention et de lutte, en raison du relief très accidenté et de l'insuffisance des accès qui caractérisent ces massifs.

Concernant le plan réglementaire, la Direction Générale des Forêts, en collaboration avec les autres organismes traditionnellement concernés, met en exécution les dispositions législatives et réglementaires des textes suivants:

- la loi 84/124 du 23 juin 1984, portant Régime Général des forêts qui, en application de ses articles 19 et 20, rend nécessaire la participation des différentes structures de l'Etat dans la lutte contre les feux de forêts. Comme elle fixe les obligations de certains organismes pour l'exécution;
- le décret 80-184 du 19 juillet 1980, modifié et complété, portant mise en place des organes de coordination des actions de protection des forêts;
- le décret 87-44 du 10 février 1987 fixant les règles et les normes de prévention contre les feux de forêts dans le domaine forestier national et à proximité;
- le décret 87-45 du 10 février 1987, portant organisation et coordination des actions en matière de lutte contre les feux de forêts dans le domaine forestier national.

En ce qui concerne ce volet, les textes réglementaires en vigueur prennent en charge les préoccupations essentielles en matière de préparation, de gestion et surtout d'obligations envers les différentes structures concernées, notamment pour les mesures préventives et les conditions d'intervention et de mobilisation des moyens nécessaires à la mise en œuvre de la campagne. En application des dispositions du décret 80-184 du 19 juillet 1980, modifié et complété, sus visé, portant mise en place des organes de coordination des actions de protection des forêts, il a été procédé cette année, en date du 28 mai 2008, à l'installation de la nouvelle Commission Nationale de Protection des Forêts

(CNPF) par Monsieur le Ministre de l'Agriculture et du Développement Rural. Cette Commission est composée de 12 membres représentant les ministères et de 12 autres représentant les différentes institutions et organismes nationaux ayant une relation avec la protection des forêts. Cette Commission qui se réunit deux fois par an, au début et à la fin de chaque campagne, sous la présidence du Ministre chargé des forêts, a pour objet:

- d'arrêter et d'actualiser le plan de lutte préventive et active contre les principaux fléaux affectant les forêts;
- d'assurer la coordination des actions des organismes qui en sont concernés;
- de tracer, au début de chaque campagne, le programme aux commissions de protection des forêts de wilaya (département);
- d'arrêter et d'actualiser, avec le concours de l'organe chargé de la protection civile, le plan préventif de lutte contre les feux de forêts;
- de procéder, à la fin de chaque campagne, à l'étude et à l'exploitation du bilan sur la base des rapports qui lui sont transmis par les commissions de wilayas (départements).

Par ailleurs, un dispositif de prévention est mis en place chaque année, privilégiant une série d'actions entreprises à travers les quarante départements concernés:

- l'aménagement et l'entretien de tranchées par feu;
- l'entretien par les services des travaux publics des accotements des routes traversant les massifs forestiers;
- la confection par les exploitants de tournières autour des exploitations agricoles limitrophes aux forêts et présentant un danger de propagation de feux;
- l'entretien par la Société d'Electricité et du Gaz des tranchées sous lignes de haute tension;
- l'entretien par la Société des transports ferroviaires des voies ferrées traversant les massifs forestiers.

Sur le plan organisationnel, en application de la réglementation en vigueur, notamment les dispositions du décret n°87/45 portant organisation et coordination des actions en matière de lutte contre les feux de forêts dans le domaine forestier national, les actions suivantes sont mises en œuvre chaque année:

- la promulgation de quarante arrêtés préfectoraux portant approbation des plans feux de forêts départementaux et fixant les modalités de mise en œuvre des mesures préventives et la mobilisation des moyens dans le cadre du dispositif de lutte préconisé ;
- l'installation de quarante comités opérationnels de wilaya (département) pour la coordination des opérations et la mobilisation des moyens de lutte sur le territoire de chaque département;

- la mise en place de comités opérationnels de Daïra (sous-préfecture) qui coordonnent les opérations de lutte et la mise en œuvre des moyens nécessaires au niveau de tout le territoire de chaque sous-préfecture;
- l'installation de comités opérationnels communaux qui jouent un rôle important dans la mobilisation de moyens de lutte et qui constituent le premier maillon en matière de prévention et d'intervention rapide dans le dispositif mis en place;
- l'installation de comités de riverains qui jouent un rôle primordial dans la prévention et l'intervention contre les feux de forêts, compte tenu de leur proximité du milieu forestier. Il va sans dire que pour un pays à vocation rurale comme l'Algérie, les comités de riverains demeurent des alliés incontournables dans la prévention et la sensibilisation des populations qui habitent la forêt ou à proximité.

Pendant l'été, les services météorologiques annoncent les risques d'incendies sur la base des données climatiques (température de l'air, vent) et mettent en état d'alerte les services concernés. En même temps, les agents d'intervention (sapeurs-pompiers et forestiers-sapeurs) se positionnent sur les zones à risque pour pouvoir intervenir sur chaque sinistre en moins d'une demi-heure afin de limiter les préjudices. Sur le plan de l'intervention, la Direction Générale des forêts met en place, durant toute la durée de la campagne, un dispositif de première intervention qui, pour cette année, repose sur:

- la mise en place de 381 postes vigie pour la détection et l'alerte, avec un effectif de 979 éléments entre agents forestiers et ouvriers;
- la constitution de 479 brigades mobiles de première intervention avec un effectif de 2 064 agents;
- l'utilisation de 300 camions citernes feux de forêts légers équipés de kits de première intervention (citernes de 600 litres);
- la mobilisation de 12 camions ravitailleurs en eau et de 45 camions citernes feux de forêts;
- la mise en place, dans le cadre de la réalisation des programmes de développement, de 1 338 chantiers exerçant dans les massifs forestiers, avec un effectif global de 18 000 ouvriers qui sont mobilisés à chaque fois que c'est nécessaire dans la lutte contre les feux de forêts;
- le recensement de 1 694 points d'eau situés en forêts ou à proximité, pour faciliter l'approvisionnement en eau des moyens d'intervention (CCFL et camions citernes);
- l'acquisition et l'installation d'un réseau de communication radioélectrique de type VHF pour l'ensemble des 40 départements du nord du pays.

Aujourd'hui, les équipes de Sécurité Civile bénéficient de plus en plus des dernières innovations technologiques afin d'améliorer l'efficacité des moyens de lutte et

d'offrir aux personnes une plus grande sécurité. Les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) intègrent peu à peu les Postes de Commandements de feux (PC feux) des différents Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS). Le suivi des équipes de lutte s'effectue de plus en plus par *Global Positioning System* (GPS) et permet de mieux gérer le positionnement des patrouilles sur le terrain.

Conclusion

L'Algérie requiert un taux de couverture forestière très faible 4 100 000 ha soit 10,89% de la superficie du nord du pays soit seulement 1,72% de la superficie totale de l'Algérie, très inférieure aux normes mondiales admises de 25% de la superficie totale du pays. De nombreux reboisements ont été effectués, 26 000 ha par an, pour combler les déficits du couvert forestier, mais les incendies de forêts sont plus importants. Au cours des deux dernières décennies (1988-2007), les feux ont occasionné des dommages aux forêts algériennes d'une ampleur assez importante, puisque en moyenne il a été enregistré 1557 foyers/an et une superficie brûlée de 38 600 hectares/an supérieure au taux de reboisement annuel (Titah, 2008).

Les incendies de forêt sont des risques importants, pour la prévention desquels, de nos jours, les attentes sociales sont extrêmes. Cependant, les populations urbaines montrent une méconnaissance du danger des feux et de leurs conséquences négatives. Malgré l'organisation continue de campagnes préventives de sensibilisation, beaucoup d'habitants des villes ne considèrent pas un feu de forêt comme une menace même en plein été. L'imprudence des fumeurs et des vacanciers qui allument des feux pour leurs pique-niques (négligence) est la source d'environ un tiers des feux en Algérie. Le brûlage des déchets est souvent effectué sans aucune précaution et aboutit fréquemment à la propagation du feu. Une autre motivation importante à l'origine de feux destructeurs est tentative du changement de l'utilisation des terres dans des régions où il n'existe pas de plan cadastral ni carte forestière

Aujourd'hui, l'Algérie s'inspire beaucoup plus des expériences des pays voisins en matière de prévention et de lutte contre les incendies de forêt. Les expériences les plus intéressantes, en matière de lutte contre les feux de forêt, demeurent celles des pays méditerranéens (Italie, France, Espagne, Grèce, Chypre) qui ont développé des méthodologies d'approche dans ce cadre. Elles peuvent nous intéresser dans la mesure où nous avons les mêmes types de végétation et pratiquement les mêmes facteurs de déclenchements des feux. Les expériences américaine et canadienne sont aussi intéressantes, dans la mesure où ces deux pays ont développé des modèles de prévisions des feux de forêts (modèle Behave notamment) très

convaincants dont on peut s'inspirer à l'avenir pour la prévention contre les feux de forêts en Algérie pour mieux protéger notre patrimoine forestier.

Références bibliographiques

186

- Alexandrian, D., Esnault, F. et Calabri G. (1999). Feux de forêts dans la région méditerranéenne. Analyse des tendances des feux de forêt en Méditerranée et des causes sous-jacentes liées aux politiques. *Unasylva*, 197 (50) : 35-41.
- Boudy, P. (1948). *Economie forestière Nord-Africaine. Milieu physique et humain*. Ed. Larose, Paris, Tome I, 684 p.
- Boudy, P (1952). Guide du forestier en Afrique du Nord. Ed. Maison rustique, Paris, France. pp.505.
- Conard, S.G., Latham, D.J. (2000). Forest Fire Research in the United States: History and Current and Future Needs. In *Euromediterranean Wildfire Meetings. Research Special Session*. Hyères-les-Palmiers : CEREN.
- DGF - DIRECTION GÉNÉRALE DES FORÊTS (2004, 2007, 2014). *Rapports et bilans sur les incendies de forêts*.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (2011). *Silva Mediterranea. State of Mediterranean Forests (SoMF) Concept Paper*, Rome, FAO, p.24. On line, <http://www.fao.org/forestry/22556-0f888476830f6931aba4b886baea88af1>.
- FOSA (2000). L'étude prospective du secteur forestier en Afrique. Algérie. FAO, Rome, 60 p. on line, <http://www.fao.org/3/a-x6771f.pdf>.
- Gravius, G. (1866). Les incendies de forêt en Algérie leurs causes vraies et leurs remèdes. Quelques considérations générales sur la Colonie, Constantine, chez Louis Marle libraire. En ligne, http://books.google.fr/books/about/Les_Incendies_de_Forêts_en_Algérie_Leu.html?id=71KkmgEACAAJ&redir_esc=y.
- Grim, S. (1989). Préménagement et protection des forêts contre l'incendie. In : Le préménagement forestier. Ministère de l'Hydraulique d'Algérie & Unité des Eaux et Forêts de l'Université catholique de Louvain-la-Neuve, Belgique, vol. 1 : 271-289.
- Hoff, C., Rambal, S. (1999). Les Ecosystèmes Forestiers Méditerranéens face aux Changements Climatiques. In *Impacts potentiels du changement climatique*. On line, <http://www.agora21.org/mies/chan-clim13.html>.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2001). *Climate change 2001, the scientific basis*. Cambridge University Press, 850 p.
- Kazakis, G. et Ghosn, D. (2008). Le problème des incendies de forêts en Méditerranée. La Lettre de veille du CIHEAM- N° 6.
- Lourenço, L., Fernandes, S., Nunes, A., Bento-Gonçalves, A. et Vieira, A. (2013). Determination of forest fire causes in Portugal (1996-2010). *Flama*, 4 (3) : 171-175. Available at: <https://sites.google.com/site/flammafr/texto/volumen-4-2013/4-3-2013/4-3-9>.
- Marc, P. (1916). Les incendies de forêt en Algérie. Notes sur les forêts de l'Algérie. Typographie Adolphe Jourdan Imprimeur libraire-Editeur, Alger, Algérie, pp. 331.
- Moisselin, J.M. (2003). Les précipitations en France au XXème siècle. Programme International Géosphère Biosphère - Programme Mondial de Recherche sur le Climat (PIGB-PMRC), Lettre n° 13, 3 p.
- Nunes, A., Lourenço, L., Fernandes, S. et Meira Castro, A. (2014). Principais causas dos incendios florestais em Portugal : variação espacial no período 2001/12. *Territorium*, 21: 135-146. Available at: http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Documentacao/Territorium/T21_artg/T21_artg11.pdf.
- ONM - OFFICE NATIONAL DE MÉTÉOROLOGIE (2013). Bilan météorologique.
- Thibault, R. (1866). Des incendies de forêt en Algérie: De leurs causes et des moyens préventifs et défensifs à leur opposer, Constantine, Librairie Guende, Place du Palais; Paris, Librairie Guallette 41, rue de Mazarine, 80 p.
- Titah, A. (2008). L'Algérie face au défi des incendies de forêts. La Lettre de veille du CIHEAM, n° 6.
- Vélez, R. (1999). The red books of prevention and coordination: a general analysis of forest fire management policies in Spain. In: *Proceedings of the symposium on "Fire Economics, Planning, and Policy: Bottom Lines"* (González-Cabán A, Omi PN eds). San Diego (CA - USA) 5-9 April 1999. Gen. Tech. Rep PSW-GTR-173, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, Albany, CA, USA, pp. 171-177. On line, http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr173/psw_gtr173.pdf.