



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane MIRA –Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Réf :.....

Département de Sciences Biologiques de l'Environnement

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : Écologie

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Étude du Taux de Recouvrement Végétal après l'incendie de
2016 dans le Parc National de Gouraya à Bejaia**

Cas : Fort Lemercier

Présenté par :

Arroudj Walid & Araoune Massinissa

Soutenu le : 03 Juillet 2024

Devant le jury composé de :

M.BOUGAHAM Franck Abdelazize	Pr.	Président
Mme KHERFALLAH Aiteche Tassadit	MAA.	Promotrice
Mme DJOUAD-Mansouri Salima	MAA.	Examinatrice
M.DRIES Fatsah	Inspecteur Principal des forets	Co-Promoteur

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

EL hamdulilah. Avec une profonde gratitude, nous remercions avant tout Dieu le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la santé, la volonté et le courage nécessaires à la réalisation de ce travail modeste.

Un immense merci à nos parents bien-aimés, notre source de réussite et de soutien inébranlable. Leur présence à chaque étape de ce parcours est inestimable.

Nous tenons à exprimer notre plus grand respect et notre plus profonde gratitude à notre encadrante, Mme Kherfallah-AITECHE Tassadit. Ses orientations, son aide, sa patience et ses encouragements ont été essentiels à l'aboutissement de ce travail.

Nous sommes également très honorés que M. Bougaham Abdelazize-Franck ait accepté de présider le jury de ce mémoire. Veuillez recevoir nos sincères remerciements pour votre bienveillance.

Nos vifs remerciements vont à Mme Djouad Mensouri Salima pour avoir accepté de juger ce travail.

Nous adressons notre gratitude à M. Dries Fatsah, notre co-encadrant, pour sa patience, ses enseignements et sa capacité à nous écouter et à nous guider.

Enfin, un merci chaleureux à l'équipe du PNG pour leur dévouement.

À vous tous, merci.

Dédicace

*À ma chère mère, celle qui m'a donné la vie, qui m'a appris
à sourire et qui a toujours cru en moi.*

*À mon cher père, pour son soutien et ses conseils, et qui a été
un exemple à suivre.*

*À ma chère sœur Lydia, qui a toujours su trouver les mots
pour m'encourager.*

À mon frère Amir. À ma grand-mère. Et à toute ma famille.

*À Massi, mon binôme, et à toutes nos aventures Man vs
Wild à Gouraya.*

*À Lynda et Sylvia, pour tous les merveilleux moments
partagés tout au long de cette période.*

À tous mes camarades de classe : Abdo, Nassim, Tayeb.

*"You will never know a true value of a moment until it
become a memory"*

WALID

Dédicace

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur compréhension et leur soutien tout au long de mes études.

*À ma chère sœur Dîhîa et mes frères M'hamed et Nabil,
pour leur soutien et leurs encouragements.*

*À mon binôme Walid, et à Lynda la perturbatrice et Sylia,
pour tous les moments que nous avons partagés ensemble à
travers le chemin parcouru.*

À toute ma promotion.

MASSINISSA

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction	01
--------------------	----

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Généralité sur les feux de forêt.....	03
I.1.1. Définition.....	03
I.1.2. Mécanisme du feu.....	03
I.1.3. Les causes des incendies de forêts.....	05
I.2. Facteurs influençant l'impact du feu sur la végétation.....	06
I.2.1. Fréquence du feu.....	06
I.2.2. Intensité du feu.....	06
I.2.3. Taille de l'incendie.....	06
I.2.4. Caractéristiques du combustible.....	07
I.2.5. Les conditions météorologiques.....	07
I.2.6. Les facteurs topographiques.....	08
I.3. Régénération et Résilience des Écosystèmes Méditerranéens après Incendie.....	08
I.4. Dynamique de la Composition Floristique Post-Incendie dans les Écosystèmes Méditerranéens.....	09
I-5. Richesse floristique après incendie.....	09
I.6. Impact du feu sur l'écosystème forestier.....	10
I.6.1. Impact du feu sur le sol.....	10
I.6.2. Impact sur les nutriments du sol.....	10
I.6.3. Impact du feu sur la végétation.....	11
I.7. Evolution de la végétation après l'incendie.....	11
I.8. Facteurs influencent le taux de recouvrement	12
I.8.1. Facteurs météorologique	12

I.8.2.Facteurs Topographique.....	12
I.8.3.Sévérité de l'incendie :.....	12
I.9. La végétation méditerranéenne face aux feux répétés.....	13

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. historique du PNG	15
II.2. Caractéristiques physiques de la zone.....	16
II.2.1 Géologie.....	16
II.2.2.Hydrographie.....	16
II.2.3. Relief.....	17
II.2.4. Pédologie	18
II.3. Caractéristique Climatique	18
II.3.1. Températures	19
II.3.2. Précipitations	21
II.4. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.....	22
II.5. Quotient pluviométrique et climagramme d'emberger	23
II.6. Richesse floristique au Parc National de Gouraya.....	26
II.6.1. La flore endémique du Parc National de Gouraya.....	26
II.6. 2. Flore terrestre	28
II .6.2. Flore marine.....	28

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.1. Etapes préparatoires	30
1. Première étape : Sortie sur le terrain.....	30
2. Deuxième étape : Confection du quadrat.....	30
3. Troisième étape : Délimitation des zones touchées par l'incendie.....	31

III.2. Le matériel utilisé.....	32
III.3. Méthodologies	33
III.3.1. Analyse de l'Impact des Incendies à l'Aide du NDVI.....	33
III.3.2. Acquisition des Données.....	33
III.3.3. Analyse des Données.....	34
III.3.4. Évaluation du taux de recouvrement de la végétation par la méthode des quadrats.....	34
III.3.4.1. La méthode des quadrats : avantages et inconvénients.....	36
III.3.5. Évaluation de l'abondance des espèces.....	37

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1. Indice INDVI	38
IV.2. Taux de recouvrement	45
IV.2.1. Taux de recouvrement par parcelle	45
IV.2. 2. Taux de recouvrement par espèces	46
IV.2.2.1. Taux de recouvrement moyen par espèce.....	46
IV.3. Facteurs influençant les taux de recouvrement.....	47
IV.4. Composition floristique de la zone d'étude.....	49
IV.4.1. Analyse des données par indices écologiques.....	52
IV.4.2. Richesse spécifique totale	52
IV.4. 3. Richesse en familles et genres.....	53
IV.4. 4. Abondance relative et fréquence	58
Conclusion.....	60

Références bibliographique

Annexes

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Classification des principales essences forestières méditerranéennes et des espèces du sous-bois en fonction de leur indice d'inflammabilité.....	05
Tableau II : Valeurs du quotient pluviothermique d'Emberger pour Bejaia et notre station d'étude (Fort Lemercier).....	24
Tableau III : Les endémiques du Parc National de Gouraya.....	27
Tableau IV : Distribution des espèces végétales et leurs caractéristiques biologiques dans Fort Lemrcie (PNG).....	50
Tableau V : richesse spécifique de la pinède de Fort Lemercier (PNG).....	52
Tableau VI : Distribution des différentes espèces inventoriées par famille botanique.....	55
Tableau VII : Distribution des différents genre inventoriés par famille botanique.....	57

LISTES DES FIGURES

Figure 01 : Triangle du feu.....	04
Figure 02 : Limite géographique du parc national de Gouraya	16
Figure 03 : relief du Parc National de Gouraya.....	18
Figure 04 : Evolution des températures moyennes mensuelles maximales à Bejaïa et Fort Lemercier (1978-2023).....	19
Figure 05 : Evolution des températures moyennes minimales à Bejaïa et Fort Lemercier (1978-2023).....	20
Figure 06 : graphique en courbes qui représentent des températures moyennes annuelles à Bejaïa et Fort Lemercier (1978-2023).....	20
Figure 07 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de Bejaïa et Fort Lemercier (1978-2023).....	21
Figure 08 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région de Bejaïa (1978-2023).....	22
Figure 09 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de notre zone d'étude (Fort Lemercier, PNG) pour la période (1978-2023).....	23
Figure 10 : Localisation de Bejaïa et de la zone d'étude (fort Lemercier) sur le climagramme d'emberger.....	25
Figure 11 : limite de l'incendie du 1 Juillet 2016.....	31
Figure 12 : photos des outils utiliser.....	32
Figure 13 : image satellite montrent les répartitions des parcelles d'étude.....	35
Figure 14 : coefficient d'abondance et de dominance recouvrement de Braun-blانquet.....	37
Figure 15 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude de l'Année 2015.....	39
Figure 16 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (Juillet 2016).....	39
Figure 17 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2017).....	40
Figure 18 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2018).....	40

Figure 19 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2019).....	41
Figure 20 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2020).....	41
Figure 21 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2021).....	42
Figure 22 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2022).....	42
Figure 23 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2023).....	43
Figure 24 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2024).....	43
Figure 25 : Histogramme des taux de recouvrement végétal (%) pourcentage (fort Lemercier).....	45
Figure 26 : Moyen de taux de recouvrement végétal des espèces identifier (%).....	46
Figure 27 : Histogrammes de la richesse globale en genre et en famille botanique de la zone incendiée et non incendiée de la zone d'étude Fort Lemercier.....	53
Figure 28 : composition floristique et abondance relative et fréquence des espèces végétales identifier dans les parcelles.....	58

LISTE DES ABREVIATIONS

- **CENEAP** : Conseil National de l'Enseignement Agricole Privé.
- **END** : Endémique
- **DGF** : la Direction Générale des Forêts.
- **K2** : Petite Kabylie
- **UNESCO**: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- **NDVI** : Normalized Difference Vegetation Index (indice de végétation par différence normalisée).
- **PNG** : Parc National de Gouraya.

Introduction

Les paysages de la région méditerranéenne sont profondément influencés par des incendies fréquents, une perturbation naturelle qui a façonné ces écosystèmes depuis des siècles (Naveh, 1975; Trabaud et Lepart, 1980; Arianoutsou, 1998; Pausas *et al.*, 2008). Bien que le feu soit souvent considéré comme une force écologique à laquelle les plantes ont développé des mécanismes d'adaptation (Pausas *et al.*, 2004; Pausas et Verdu, 2005), il est également critiqué pour être à l'origine de la régression des communautés végétales (Kazanis et Arianoutsou, 2004; Rodrigo *et al.*, 2004; De Luis *et al.*, 2006) et de l'érosion des sols (De Luis *et al.*, 2005).

Or, les communautés végétales méditerranéennes parviennent généralement à retrouver leur état initial après un incendie, sans intervention humaine, grâce à la capacité de régénération des espèces végétales dominantes (Giovannini *et al.*, 1987; Andreu *et al.*, 2001 ; Robichaud, 2009). Cependant, le rythme et la composition de la recolonisation peuvent varier selon l'intensité du feu et les conditions environnementales. Comprendre l'évolution des communautés végétales après cette perturbation est donc essentiel pour évaluer la résilience des écosystèmes touchés.

La plupart des études sur l'impact du feu sur la végétation en région méditerranéenne se sont concentrées sur la rive nord du bassin méditerranéen, notamment en Espagne, en France, en Grèce (Trabaud et Lepart, 1980; Arianoutsou & Margaris, 1981; Lloret et Vilà, 2003 ; Pausas *et al.*, 2003 ; Baeza *et al.*, 2007; De Luis *et al.*, 2008). En Algérie, plusieurs études ont également été menées sur la recolonisation de la végétation après incendie (Bekdouche *et al.*, 2008; Bekdouche, 2010; Bekdouche *et al.*, 2011; Aiteche, 2016). Cependant, à notre connaissance, les études sur l'évaluation du recouvrement végétal et de son évolution après feu n'ont pas encore été traitées dans la région de Bejaia.

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'étude d'évaluation du taux de recouvrement végétal dans une zone touchée par un incendie, menée dans le Parc National de Gouraya, un site d'une grande richesse biologique inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO (UNESCO, 2021). Vu L'incendie de 2016 y a causé des pertes importantes, soulevant des questions sur les dynamiques de recouvrement végétal post-incendie.

Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode des quadrats carrés de 1m² subdivisés en 100 petits carrés, ainsi que des cartes satellitaires Sentinel-2 de Copernicus qui permettent de calculer l'indice de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Le NDVI est un indice qui quantifie la densité et l'état de la végétation provenant du site Copernicus pour suivre l'évolution du recouvrement végétal depuis 2015 jusqu'en 2024.

Cette recherche vise à estimer le taux de recouvrement végétal dans les zones brûlées huit ans après l'événement et à le comparer aux zones non brûlées, afin de déterminer si la végétation parvient à retrouver son état initial ou évolue vers de nouvelles communautés.

La structure de ce mémoire sera conduite en quatre chapitres. Le premier chapitre présentera une synthèse bibliographique. Ce chapitre s'intéressera notamment à la capacité de régénération de cette essence et aux facteurs qui influenceront son évolution post-incendie. Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation de la zone d'étude, le troisième chapitre détaillera la méthodologie employée. Le quatrième et dernier chapitre exposera les résultats obtenus et leurs discussions.

Enfin, une conclusion synthétisera les principaux résultats de cette étude et ouvrira sur quelques perspectives de recherche future pour approfondir certains aspects.

Chapitre I
Synthèse bibliographiques

I.1. Généralité sur les feux de forêt

I.1.1. Introduction

Les incendies de végétation se déclenchent et se propagent dans des zones d'au moins un hectare où une partie des étages arbustif et/ou arboré est détruite, englobant des formations telles que les forêts, les maquis ou les garrigues. Ces phénomènes échappent au contrôle humain en termes de durée et d'étendue (**Trabaud, 1989 ; Masahiro Otsuka, 2003**).

En général, l'été est la période la plus propice aux incendies de forêt en raison de la conjonction de la sécheresse, des températures élevées, de la faible humidité des sols et des activités forestières. Certaines espèces végétales favorisent la propagation du feu, comme le pin sylvestre, les bruyères et les cistes. D'autres espèces sont résistantes au feu ou pyrophytes, telles que la bruyère arborescente, le pin d'Alep, le châtaignier et le chêne-liège. Les plantes pyrophiles, comme les cistes, ont besoin du feu pour leur reproduction (**Magnier C., 2011**).

En Algérie, les incendies touchant divers types de végétation ligneuse, tels que les forêts, les maquis et les broussailles, sont communément regroupés sous l'appellation de "feux de forêts" (**Naveh-Sahar, 2008**). Ce phénomène, récurrent dans le pays depuis environ vingt ans, est à la fois destructeur pour les forêts mais également bénéfique pour leur renouvellement naturel (**Benhanifia et al., 2004**). Suite à une perturbation provoquée par le feu, de nombreuses espèces végétales peuvent réapparaître, sous réserve de la disponibilité de graines, d'un sol propice à la germination et de conditions climatiques favorables (**Soshany et al., 1995**).

I.1.2. Mécanisme du feu

Le triangle du feu illustre les trois facteurs nécessaires à l'inflammation et à la combustion, qui doivent être présents en proportions adéquates : un combustible, pouvant être tout matériau inflammable, une source externe de chaleur (flamme ou étincelle) et de l'oxygène, essentiel pour entretenir le feu. La forme la plus couramment vue du triangle du feu est celle de **Barrows (1951)** (figure 01).



Figure 01 : Triangle du feu (Barrows, 1951)

Toutes les forêts sont sujettes à la même loi du feu, car les trois éléments essentiels du triangle du feu sont universels. Là où le combustible végétal est en proximité des populations, un incendie peut se déclarer si les conditions environnementales sont propices (densité de la forêt, vitesse du vent, sécheresse saisonnière, etc.). Étant donné que l'action humaine est impliquée dans deux des trois éléments du triangle (apport de la flamme par l'homme et modification de l'environnement), l'origine des incendies de forêt est principalement attribuable à l'activité humaine (Lampin-Maillet, 2009).

Dans le triangle du feu, la végétation forestière agit en tant que combustible. Sa composition, sa structure et son taux d'humidité déterminent la température nécessaire pour son inflammation, tandis que sa densité et sa répartition sur le terrain influencent sa disposition à s'enflammer progressivement.

Le comburant, quant à lui, est l'oxygène présent dans l'air, renouvelé par les mouvements atmosphériques et le vent. Ce dernier a également pour effet d'attiser les flammes, favorisant l'ignition et accélérant la propagation du feu (Chautrand, 1972).

L'inflammabilité d'un végétal se réfère à sa capacité à s'enflammer lorsqu'il est exposé à une source de chaleur (Trabaud, 1974). De manière conventionnelle, l'inflammabilité est définie comme le laps de temps entre le moment où le matériau végétal est déposé sur la surface

de la source de chaleur et l'apparition des premières flammes. Ce temps est influencé par le type de végétal, son stade phénologique et la saison de sa récolte (Velez, 1999). Le degré d'inflammabilité d'un ensemble végétal varie en fonction de sa composition floristique, de sa structure, de sa biomasse et de l'état de ses matériaux constitutifs (individus vivants et morts), ainsi que des conditions météorologiques locales.

Les tests d'inflammabilité fournissent des indications sur ces niveaux d'inflammabilité (Détry-Fouque., 2006) comme indiquer dans le tableau ci-dessous

Tableau I : Classification des principales essences forestières méditerranéennes et des espèces du sous-bois en fonction de leur indice d'inflammabilité

Inflammabilité	Essence forestière et du sous-bois
Forte	<i>Genista, Quercus ilex, Pinus halepensis, Erica vagans.</i>
Assez forte	<i>Juniperus communis, Buxus sempervirens, Pinus pinaster.</i>
Modéré	<i>Viburnum tinus, Cistus monspeliensis, Cistus salviifolius, Salvia rosmarinus, Quercus coccifera.</i>
Faible	<i>Abies alba, Arbutus unedo, Cedrus.</i>

I.1.3. Les causes des incendies de forêts

Les incendies de forêt ont des origines diverses et leur fréquence varie en fonction des pays, des régions et des périodes. Dans le Bassin Méditerranéen, la majorité des incendies sont causés par l'homme, que ce soit par accident, négligence ou intention. Cependant, une part significative des incendies reste d'origine inconnue, représentant 18 % en Espagne, 33 % en France, 26 % en Grèce, 31 % au Portugal et 48 % en Turquie. Bien que la végétation ne s'enflamme pas spontanément, même en période de forte sécheresse, la seule cause naturelle connue dans le Bassin Méditerranéen est la foudre, qui représente seulement 1 à 5 % des cas d'incendies (Hessas, 2005).

I.2. Facteurs influençant l'impact du feu sur la végétation

Les recherches des dernières décennies ont permis de changer la perception du feu, le considérant désormais comme une perturbation ayant un impact temporaire sur les écosystèmes. Dans de nombreuses études examinant l'effet du feu sur la végétation, les mécanismes de survie des plantes sont étudiés en tenant compte d'un seul incendie, même si une plante individuelle peut être confrontée à plusieurs feux. Ainsi, il est essentiel d'évaluer les effets du feu en fonction du régime des incendies : leur type, intensité, fréquence et saison (**Trabaud, 1991; Paussas et al., 2008; Keeley, 2009**). De plus, la structure du combustible, les caractéristiques topographiques et les conditions météorologiques jouent un rôle crucial dans l'impact du feu sur les écosystèmes.

I.2.1. Fréquence du feu

L'intervalle entre les feux successifs doit être adéquat pour permettre aux individus de produire des graines et de maintenir la réserve de semences du sol (**Daskalakou et Thanos, 2004; Tavsanoğlu et Gurkan, 2005; Eugenio et al., 2006; Duguay et Vallejo, 2008**). Si un autre incendie se déclare avant que ces espèces n'aient atteint leur maturité sexuelle, des changements importants dans la composition et l'apparence de la végétation peuvent survenir (**Arianoutsou, 1999**).

I.2.2. Intensité du feu

L'intensité du feu est déterminée par la chaleur dégagée lors de la combustion de la végétation, influencée par des facteurs tels que la quantité, l'humidité et la distribution du combustible (**Keeley, 2009**). Après un incendie réduisant en cendres les communautés brûlées, la régénération dépend de la résilience des organes souterrains de survie (**Arianoutsou, 1999**).

Ces organes, comme les racines, rhizomes, bulbes, tubercules et graines, sont situés à différentes profondeurs dans le sol. Les incendies de faible intensité favorisent la germination des graines en surface, tandis que les incendies intenses peuvent endommager ou détruire les graines exposées à des températures extrêmes, réduisant ainsi la banque de graines du sol (**Rivas et al., 2006; De Luis et al., 2008**). Les incendies de faible intensité épargnent les organes souterrains de survie, favorisant une cicatrisation rapide de l'environnement (**Trabaud, 1989**).

I.2.3. Taille de l'incendie

La taille de la zone brûlée est également un facteur écologique crucial qui influence la recolonisation par les espèces. De nombreux végétaux ne peuvent pas se régénérer par rejets et dépendent de l'apport de diaspores par différents modes de dissémination, notamment le vent (pour les graines anémochores) et les animaux (pour les graines zoochores). Lors de grands incendies, l'ampleur de la zone brûlée est significative, ce qui entraîne un transport des graines sur de très longues distances, limitant ainsi l'apport et l'établissement des espèces. La reconstitution des communautés peut alors être retardée (**Trabaud, 1989**).

I.2.4. Caractéristiques du combustible

La teneur en eau des végétaux constituant le combustible est le facteur le plus important affectant le comportement du feu. Elle détermine la probabilité d'ignition ou la facilité d'allumage, la vitesse de propagation et la quantité de combustible brûlé. La végétation méditerranéenne riche en résine (forêts de résineux) et d'une faible teneur en eau brûle facilement (**schnitzler-lenoble, 2002**).

I.2.5. Les conditions météorologiques

Les incendies sont influencés par divers facteurs météorologiques tels que la température, le vent et les précipitations. La température joue un rôle crucial, à la fois direct et indirect, sur le déclenchement et la propagation des feux. D'une part, le soleil réchauffe plus rapidement les combustibles exposés que ceux sous couvert forestier, pouvant créer jusqu'à 10 °C de différence (**Delitti et al., 2005**). D'autre part, la température impacte directement en chauffant ou refroidissant les matériaux, et indirectement en modifiant l'humidité de l'atmosphère. Les pics de chaleur sont ainsi redoutés car ils favorisent la combustion de la végétation (**Jappiot et al., 2009**).

I.2.6. Les facteurs topographiques

Deux paramètres topographiques principaux affectent les incendies. La pente amplifie l'effet de radiation et de convection, tandis que l'exposition influence sur la quantité de chaleur reçue en fonction de l'insolation, ainsi que sur la densité et la structure de la végétation (**Jappiot et al., 2009**)

I.3. Régénération et Résilience des Écosystèmes Méditerranéens après Incendie

La régénération désigne le processus par lequel les espèces se rétablissent après une perturbation pour reconstruire leur structure endommagée. Pour les espèces méditerranéennes, ce processus démarre rapidement après l'incendie, soit par reproduction végétative, soit après les premières pluies d'automne pour les espèces à graines (**Arianoutsou, 1998**).

La résilience représente quant à elle la capacité d'un écosystème à absorber la perturbation et à se rétablir. Bien que liée à la régénération, la résilience ne s'y résume pas (**Arianoutsou, 1998**). Les incendies influencent le paysage en éliminant certaines espèces et en favorisant l'établissement d'autres, notamment des espèces opportunistes pyrophytes (**Keeley et Fotheringham, 2000**).

Cela s'explique par la création de conditions environnementales propices à leur régénération, comme la réduction de la compétition et la minéralisation de la matière organique. Ces conditions favorisent l'implantation de plantes à graines comme les thérophytes, ainsi que d'espèces capables de rejeter (**Keeley et Fotheringham, 2000**). Cependant, les espèces pionnières sont généralement éphémères et disparaissent dans les trois années suivant l'incendie (**Keeley et Fotheringham, 2000**).

La diversité végétale après un incendie dépend de la banque de graines, de la capacité de régénération végétative et de la sévérité du feu (**Curt et al., 2009**). Les incendies de grande ampleur et la hausse de leur fréquence peuvent retarder le retour des espèces des stades secondaires et favoriser des communautés adaptées aux conditions de ressources limitées (**Curt et al., 2009**).

I.4. Dynamique de la Composition Floristique Post-Incendie dans les Écosystèmes Méditerranéens

L'évolution de la composition floristique suit un schéma similaire pour toutes les communautés végétales post-incendie (**Trabaud, 1991; Arianoutsou, 1999**). Dans les premiers mois suivant l'incendie, peu d'espèces sont présentes, puis la diversité floristique augmente progressivement pour atteindre des valeurs maximales entre la première et la troisième année. Cette augmentation est principalement due à la présence d'annuelles fugaces qui colonisent temporairement l'espace brûlé. Au-delà de la cinquième année, la diversité floristique tend à se stabiliser.

Les observations montrent que les espèces pérennes de la communauté d'origine finissent par prédominer sur les espèces envahissantes étrangères. À mesure que les communautés vieillissent, leur structure devient plus complexe et la canopée se referme progressivement (**Trabaud, 1991; Arianoutsou, 1999**).

Pendant les premières années suivant un incendie, la richesse et la diversité floristiques augmentent avec la fréquence des taxons herbacés vivaces et surtout annuels (**Trabaud & Lepart, 1980**). Nombre de ces taxons, notamment les annuelles, disparaissent au fil du temps, entraînant une diminution de la richesse et de la diversité floristiques. La plupart des taxons ligneux se rétablissent très rapidement après le feu et continuent de s'établir avec le temps (**Altenburg et al., 1993**).

Ces modifications n'affectent en rien l'inertie de la composition floristique initiale, démontrant ainsi l'efficacité de sa réaction à l'incendie. Par conséquent, un retour rapide à l'état initial de la composition floristique est observé, bien que le rétablissement des caractéristiques structuro-architecturales puisse prendre une quinzaine d'années ou plus (**Altenburg et al., 1993; Trabaud et Lepart, 1980. Bekdouche, 1997**) ainsi que **Kazanis & Arianoutsou (1996, 2004)** font des observations similaires pour la subéraie de Mizrana (Algérie) et la pinède de *Pinus halepensis* d'Attika (Grèce) respectivement.

I.5. Richesse floristique après incendie

Après un incendie, l'écosystème perturbé entre dans un processus de régénération et tente de rétablir l'équilibre en lançant une nouvelle dynamique forestière. La richesse floristique observée après l'incendie est généralement due à l'ouverture du milieu et à l'enrichissement du

sol en éléments minéraux (**Trabaud et Lepart, 1980; Ne'eman et Izhaki, 1999; Capitanio et Carcaillet, 2008**).

Cette diversité floristique est le résultat de la présence d'espèces de différents types biologiques. Les thérophytes dominent principalement en raison de l'ouverture du milieu qui leur est favorable. Ils passent la saison estivale sous forme de graines enfouies dans le sol, ce qui coïncide souvent avec le passage du feu (**Bonnet & Tatony, 2003**). L'ouverture du milieu résultant de la disparition de la strate épigée par le feu leur permet de coloniser l'espace sans compétition et de s'y établir.

I.6. Impact du feu sur l'écosystème forestier

I.6.1. Impact du feu sur le sol

Les conséquences d'un incendie sur le sol se manifestent à la fois à court et à long terme, ce qui rend la compréhension de leur impact complexe. Pour saisir pleinement ces effets, il est nécessaire de prendre en compte divers facteurs et leur évolution dans le temps (**Raison, 1979**).

Ces facteurs comprennent les caractéristiques de l'incendie, comme son intensité et sa sévérité, ainsi que celles du sol, telles que le type de végétation présente et la nature du sol lui-même (**Valette, 1999**). L'impact du feu varie donc selon les différents écosystèmes et présente une diversité spatiale et temporelle, même au sein d'un même incendie (**Gillon, 1990 ; Valette, 1999**).

I.6.2. Impact sur les nutriments du sol

Les incendies ont un impact significatif sur les sols pauvres en nutriments, provoquant la perte immédiate d'éléments minéraux dans l'atmosphère (**Gillon, 1990; Vennetier, 2004**), mais les cendres qui en résultent fournissent ensuite un apport compensatoire.

Les mécanismes de perte incluent l'oxydation des composants en gaz, la vaporisation des composants solides, la convection des particules de cendres par les vents, le lessivage des ions hors du sol et l'accélération de l'érosion post-incendie (**Christensen, 1994**). Bien que chaque incendie entraîne des pertes, elles sont généralement considérées comme faibles par rapport aux réserves globales dans le sol et la biomasse (**Gillon, 1990; Valette, 1999; Giovannini et Lucchesi, 2006**).

I.6.3. Impact du feu sur la végétation

Dans les régions méditerranéennes, une régénération rapide de la végétation après un incendie est généralement observé, principalement grâce à deux mécanismes : le rejet et la germination des graines (Le Houérou, 1973; Keeley, 1986; Lloret et Vilà, 1997 ; Pausas et Verdù, 2005). Ainsi, les communautés végétales affectées par le feu retrouvent rapidement une composition floristique et une structure similaires à celles qui préexistaient (Naveh, 1975; Trabaud et Lepart, 1980; Trabaud, 1983). Ce processus de retour à l'état initial, également appelé « autosuccession » (Hanes, 1971), désigne la restauration progressive de la communauté végétale d'avant l'incendie.

Bien que la récupération vers l'état pré-incendie puisse sembler relativement rapide, les conséquences d'un feu dépendent d'une série de facteurs, notamment l'intensité et la durée de l'incendie. Ces paramètres influencent l'impact sur la flore, en déterminant si le feu détruit complètement ou partiellement la végétation aérienne, Veille (2004). Ces variables sont-elles-mêmes influencées par la végétation, notamment par son niveau d'inflammabilité. Dans les régions méditerranéennes, de nombreuses espèces sont considérées comme hautement inflammables, bien que cela varie selon les espèces (Rego *et al.*, 1987 ; Papio et Trabaud, 1991 ; Ubeda *et al.*, 2006). Il en résulte des incendies pouvant atteindre une intensité très élevée.

I.7. Evolution de la végétation après l'incendie

Après le passage du feu, les communautés végétales subissent des modifications aussi bien au niveau de leur composition floristique que dans leur agencement et leur phytomasse (Trabaud, 1980). Après le feu, l'écosystème perturbé commence un nouveau processus de cicatrisation et essaie de retrouver l'équilibre en initiant une dynamique forestière. La richesse floristique importante observé après feu est due à l'ouverture du milieu et à l'enrichissement du sol en élément minéraux, (Trabaud, 1980; Trabaud et Lepart, 1980; Ne'eman et Ezhaki, 1999; Capitanio et Carcaillet, 2008).

Les résultats obtenus lors de l'analyse de l'évolution de la végétation après feu par Trabaud et Lepart (1980) montrent que les communautés incendiées suivent un modèle appelé par Egler (1954), modèle de la « composition floristique initiale » c'est-à-dire que ce sont les espèces qui existait avant le passage du feu qui reprennent essentiellement dans les placettes incendiées. Cela est dû aux types de régénération qu'elles utilisent. En effet les différentes

investigations ayant trait à la cicatrisation post-incendie des formations végétales dans la région méditerranéenne montrent que celle-ci retrouvent leur structure et leur composition floristique initiale au bout d'un laps de temps variable selon les communautés étudiées (**Trabaud, 1980; Bekdouche, 2010; Madoui et al., 2006**).

I.8. Facteurs influencent le taux de recouvrement

I.8.1. Facteurs météorologique

Les facteurs météorologiques, tels que la pluie et la température, jouent un rôle crucial dans le taux de recouvrement de la végétation (**Naveh, 1990; Pausas et al., 1999; Delitti et al., 2005**). Les précipitations sont essentielles pour hydrater les semences, activer les processus de germination et favoriser l'émergence des radicules et des pousses (**Chu et al., 2018**). Un déficit de pluie peut entraîner un retard ou une inhibition de la germination, réduisant ainsi le nombre de jeunes plants et impactant le taux de recouvrement après un incendie.

Des recherches ont démontré qu'une augmentation de l'humidité du sol après un feu favorise une germination plus rapide et une croissance plus vigoureuse des plantules, accélérant ainsi le processus de récupération de la végétation (**Wilson et al., 2015 ; Viana-Soto et al., 2020; Lippok et al., 2013 ; Johnstone et al., 2010**).

I.8.2. Facteurs Topographique

La topographie, caractérisée par la pente et l'exposition du terrain, influence de manière significative l'écoulement de l'eau et l'érosion du sol. Sur les pentes raides, l'eau s'écoule rapidement, entraînant le sol et les nutriments essentiels à la germination et à la croissance des plantes. En revanche, les terrains plats ou en pente douce favorisent une infiltration plus lente de l'eau, permettant une meilleure rétention de l'humidité du sol, un facteur crucial pour la survie des plantes après un feu. L'augmentation des précipitations après un incendie a été associée avec un taux de récupération de la végétation plus élevé (**Vo et Kinoshita, 2020 ; Kinoshita et Hogue, 2011; Chen et al., 2022**).

I.8.3. Sévérité de l'incendie

L'intensité de l'incendie, évaluée à partir de l'intensité des flammes et de la profondeur de la brûlure du sol, exerce une influence importante sur le processus de régénération (**Gill et**

al., 2015). Les incendies de haute intensité, qui consomment la couche de litière du sol, endommagent les arbres et altèrent les graines, entravent considérablement la repousse (**Baeza et al.**, 2007). En revanche, les incendies de faible intensité, touchant principalement la végétation en surface, ont un impact moindre sur la capacité de la forêt de pins à se renouveler (**De Luís et al.**, 2005).

I.9. La végétation méditerranéenne face aux feux répétés

Face aux feux répétés, la végétation méditerranéenne montre des réactions variées selon les types de formations végétales. Des études ont mis en évidence une augmentation de la fréquence des incendies et de l'étendue des zones brûlées dans la région méditerranéenne (**Moreno et al.**, 1998; **Piñol et al.**, 1998; **Pausas**, 2004). Il est également observé que certaines zones et types de végétation sont plus vulnérables que d'autres, soulignant l'importance de comprendre ces réactions pour mieux anticiper les impacts des feux (**Le Houérou**, 1981; **Vazquez & Moreno**, 2001; **Mouillot et al.**, 2003).

Les maquis bas et ouverts semblent peu affectés voire bénéficier des feux, favorisant même la croissance de certaines espèces herbacées, tandis que les formations buissonnantes et forestières montrent généralement une diminution de leur résilience, avec des effets variables selon les espèces (**Zedler et al.**, 1983; **Casal**, 1987; **Trabaud et Galtié**, 1996; **Vallejo et Alloza**, 1998; **Pausas**, 1999; **Diaz-Delgado et al.**, 2002; **Eugenio et al.**, 2006). Les incendies répétés peuvent menacer la survie de certaines communautés végétales, en compromettant notamment la régénération des espèces semencières lorsque les intervalles entre les feux sont trop courts (**Ne'eman et Perevolotky**, 2000; **Eugenio et al.**, 2006).

Cependant, certaines espèces nécessitent des perturbations récurrentes pour maintenir leur présence, à condition que les incendies ne se produisent pas trop fréquemment (**Rego et al.**, 1987; **Casal**, 1987). En général, les espèces se régénérant par rejet semblent mieux résister aux feux répétés que celles se régénérant par semences (**Trabaud et Lepart**, 1981). L'intervalle entre les incendies joue un rôle crucial dans l'impact sur la végétation méditerranéenne, soulignant ainsi sa diversité de réponses au sein des communautés végétales (**Trabaud**, 1991; **Hétier** 1993; **Mouillot et al.**, 2003; **Eugenio et al.**, 2006).

Chapitre II
Présentation de la zone
d'étude

II.1. Historique du PNG

Le Djebel Gouraya a obtenu le statut de parc national en 1924, sur une étendue de 530 hectares, par décision du gouverneur général de l'Algérie. À ce jour, le parc national de Gouraya est établi comme une zone protégée selon le décret n°84.327 du 3 novembre 1984. Son régime est défini par le décret n°83-458 du 23 juillet 1983, qui établit le modèle de statut des parcs nationaux, et complété par le décret exécutif n°98.216 du 24 juin 1998. Sa superficie actuelle est de 2080 hectares (**Rebbas, 2014**).

Dès 2001, le lac Mezaia a été inclus dans le parc par arrêté n° 407/2001 du wali de Bejaia. Selon **Boumecheikh (2011)**, ce site lacustre couvre une superficie de 2,5 hectares. En 2004, le parc national du Gouraya a été désigné réserve de biosphère par le Conseil international de coordination du programme sur l'homme et la biosphère (MAB) de l'UNESCO à Paris

Le Parc National de Gouraya (PNG) est situé sur le littoral de la wilaya de Bejaia, dans le nord de l'Algérie. Il s'étend le long de la mer Méditerranée au nord, avec une étendue de 11,5 km de corniches et de falaises abruptes plongeant dans la mer. Ses limites comprennent la ville de Bejaia et la route n°24 au sud, ainsi que la commune de Toudja et la plage de Boulimat à l'ouest (**Rebbas, 2002**). Le parc représente 10,2% de la superficie totale de la wilaya et est positionné à 127 km à l'est de Tizi Ouzou, à 110 km au nord-est de Sétif, à 96 km à l'ouest de Jijel, et à 239 km au nord-ouest de Constantine (**CENEAP, 2013**).

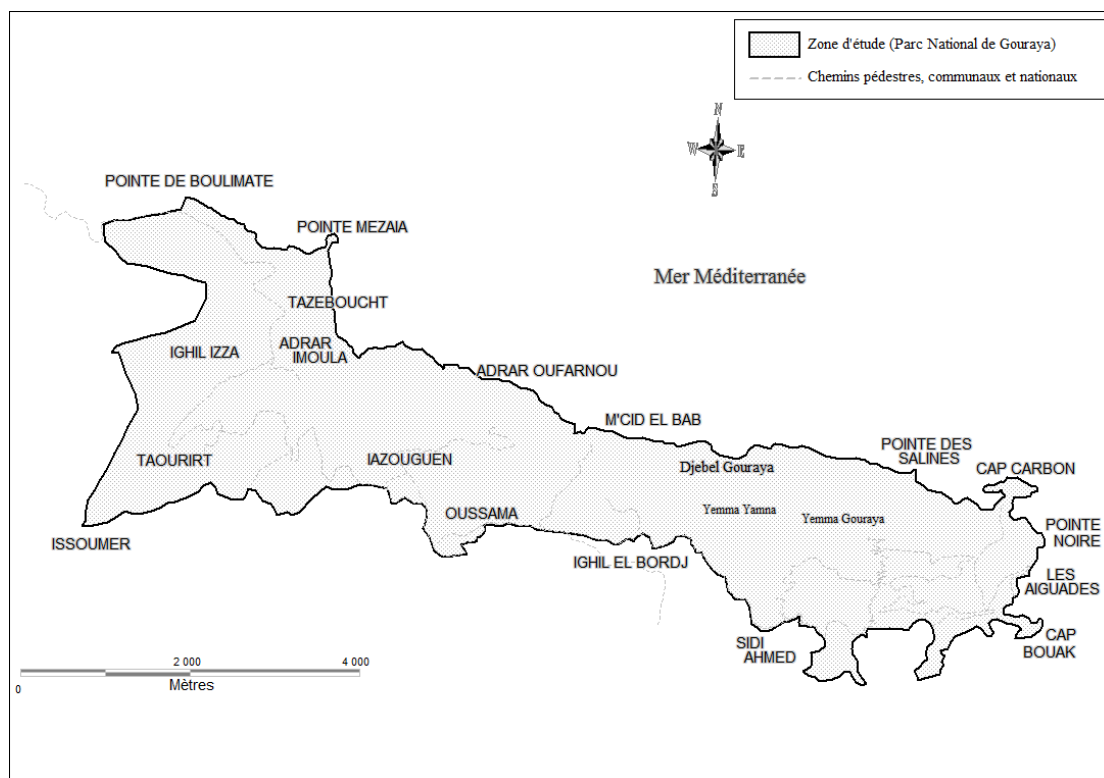


Figure 02 : Limites géographique du parc national de Gouraya (Bejaia, Algérie)

(Himrane Hadjer & Yousfi Dyhia, 2017)

II.2. Caractéristiques physiques de la zone

II.2.1. Géologie

L'ensemble de la région du parc national de Gouraya correspond au domaine tellien et plus précisément aux chaînes littorales kabyles, appelées communément chaînes liasiques ou chaînes calcaires. La structure observée dans le territoire du parc est orientée Nord-Ouest/Sud-Est. Le Djebel Gouraya et son prolongement Adrar-Oufarnou forment un anticlinal dont l'axe correspond à la ligne de crête de ce massif (**Duplan & Grevelle, 1960**).

II.2.2. Hydrographie

D'un point de vue hydrographique, le PNG est principalement drainé par deux oueds temporaires, à savoir l'Ighezer N'sahel et l'Ighezer Ouahrik, qui sont alimentés pendant la saison des pluies et qui se tarissent le reste de l'année. Les précipitations enregistrées dans le parc atteignent en moyenne 780 mm par an, une quantité considérable mais répartie de manière inégale tout au long de l'année (**Ameza et Sahli, 1996**).

II.2.3. Relief

Le parc national de Gouraya s'étend depuis le littoral jusqu'au sommet de la crête rocheuse. connue sous le nom de Djebel Gouraya (Fort Gouraya : 672 mètres d'altitude), Il englobe également le Djebel-Oufarnou, un petit massif calcaire culminant à 454 mètres d'altitude, ainsi que le versant Sud d'Ighil-Izza, atteignant 359 mètres d'altitude, le Cap Carbon forme une sorte de presqu'île aux pentes abruptes exposées au versant nord, culminant à 225 mètres d'altitude, les pentes sont majoritairement supérieures à 25 %, en particulier sur le versant nord du Djebel Gouraya où les parois rocheuses sont presque verticales, le relief est moins accidenté au Nord-Ouest, avec des pentes n'excédant pas 21 %, Certaines zones présentent des pentes moyennes de 12 à 25 %, principalement au niveau des sommets des montagnes arrondis, Les côtes occidentales et orientales de Béjaïa sont caractérisées par une alternance de falaises, de zones rocheuses et de plages composées de sable, de galets ou de mélanges des deux. (**Rebbas, 2014**).

les principales formations rocheuses comprennent les Caps, les pointes, les falaises et les rochers maritimes allant de l'ouest à l'est, tels que le Cap Sigli, la pointe Boulimat, la pointe Mézaïa, la pointe des Salines, le Cap Carbon, la pointe Noire, le Cap Bouak, le Cap Aokas, les falaises et les rochers maritimes de Melbou, les falaises de la pointe Thamakrent, le cap de Ziama Mansouriah, les falaises des grottes merveilleuses, les rochers maritimes d'El Aouana, le cap Afia et le cap Noir (**Rebbas, 2014**).

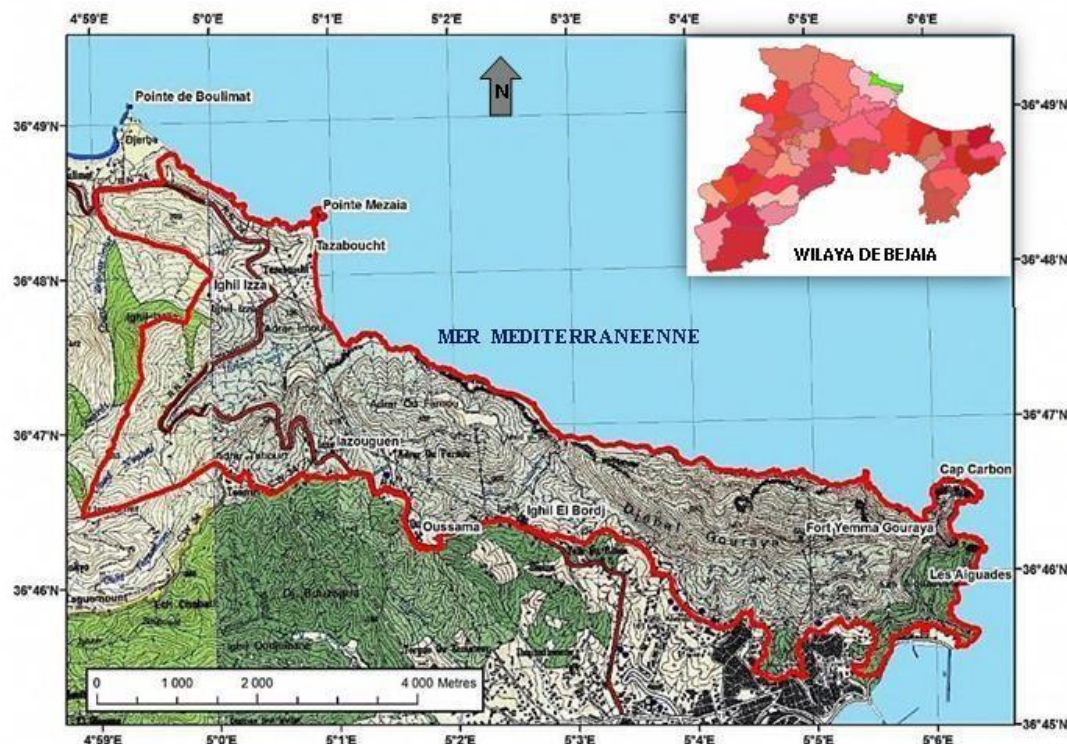


Figure 03 : relief du Parc National de Gouraya (CENEAP, 2013 modifié).

II.2.4. Pédologie

D'après une étude portant sur les relations entre le sol et la végétation dans la région du Gouraya, plusieurs profils distincts ont été identifiés. Il apparaît que la plupart de ces profils présentent une bonne teneur en matière organique, particulièrement dans les horizons superficiels, avec un type d'humus principalement de type mull ou mull Moder. Les principaux types de sols observés comprennent :

- Sol brun calcique évolué, caractérisés par un profil de type A (B) C relativement homogène.
- Sol brun calcique lessivé de type A Bt C sous roche, formés par des calcaires dolomitiques.
- Sol jeune brun calcaire peu profond, de type A (B) C sur substrat marno-calcaire schisteux.
- Sol polycyclique, perturbé morphologiquement par la superposition d'un sol ancien recouvert par un sol d'apport (BOUMECHEIKH, 2011).

II.3. Caractéristique Climatique

La station météorologique de Bejaia possède une série étendue de données climatiques, couvrant la période de 1978 à 2023 pour les températures et de 1970 à 2023 pour les précipitations. Ces données seront extrapolées à notre site d'étude, le fort Lemerancier en PNG, en utilisant les paramètres fournis par (Seltzer, 1946).

II.3.1 Températures

La température agit comme un régulateur universel du fonctionnement des organismes vivants. En effet, elle détermine les conditions optimales pour les processus métaboliques, influençant ainsi la répartition et l'abondance des espèces dans l'ensemble de la biosphère.

Les valeurs moyennes mensuelles des températures de la station météorologique de Béjaïa (1978-2023) Sont détaillées dans l'annexe 1

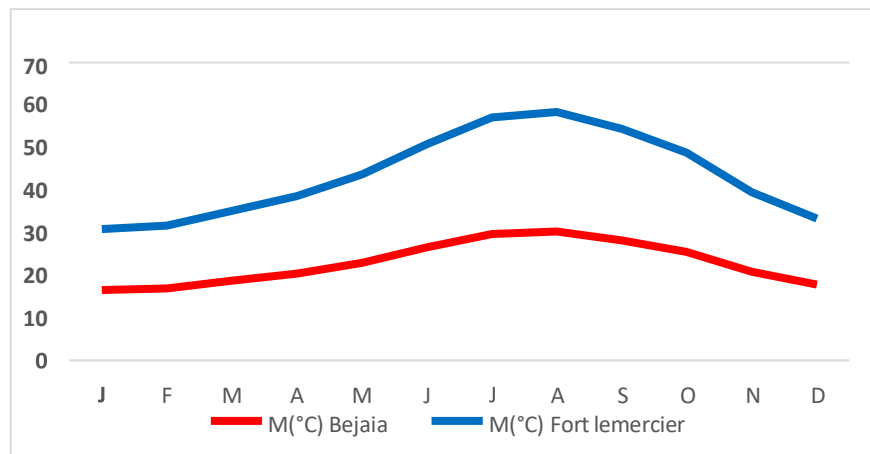


Figure 4 : Evolution des températures moyennes mensuelles maximales à Bejaïa et Fort Lemerrier (1978-2023)

Le climat de la région se caractérise par une température moyenne annuelle de 18,27°C. Le mois d'août est le plus chaud, avec une moyenne des maximales atteignant 30,32°C, tandis que janvier est le mois le plus froid, avec une moyenne des minimales descendant à 7,38°C.

Notre station d'étude, située au Fort Lemerrier, se trouve à une altitude de 322 mètres, tandis que la station météorologique de Bejaïa est à seulement 2 mètres d'altitude. Cette différence d'altitude de 320 mètres influence le climat local de notre station, qui peut être légèrement plus frais que celui de Bejaïa

D'après **Seltzer (1946)**, les températures moyennes minimales (m) et maximales (M) diminuent respectivement de 0,4°C et 0,7°C pour chaque élévation de 100 mètres en altitude. En raison de l'altitude de 320 mètres de notre station d'étude, il est nécessaire d'appliquer des corrections à la température. Ces corrections s'élèvent à 2,24°C pour la température maximale (M) et 1,28°C pour la température minimale (m). Ce qui donne les résultats consignés dans l'Annexe 1

Comparaison des précipitations moyennes mensuelles entre Bejaïa et Fort Lemerrier :

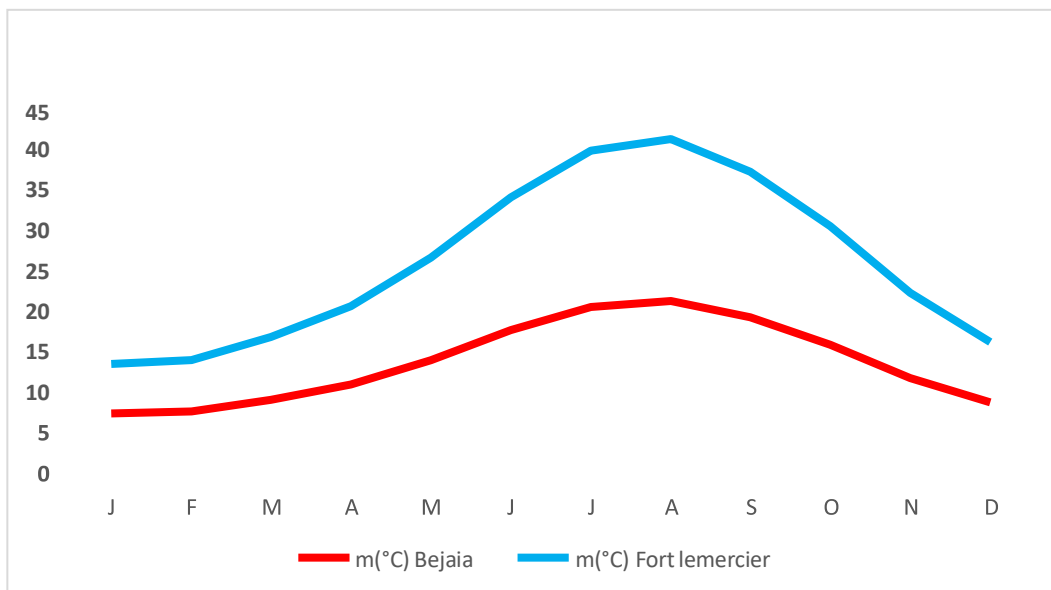


Figure 05 : les températures moyennes minimales à Bejaïa et Fort Lemerrier (1978-2023)

La température moyenne annuelle est de 16.51 °C, aout est le mois le plus chaud avec M (moyenne des maximas) égale à 28.08 °C et janvier le mois le plus froid avec m (moyenne des Minimas) égale à 6.1°C.

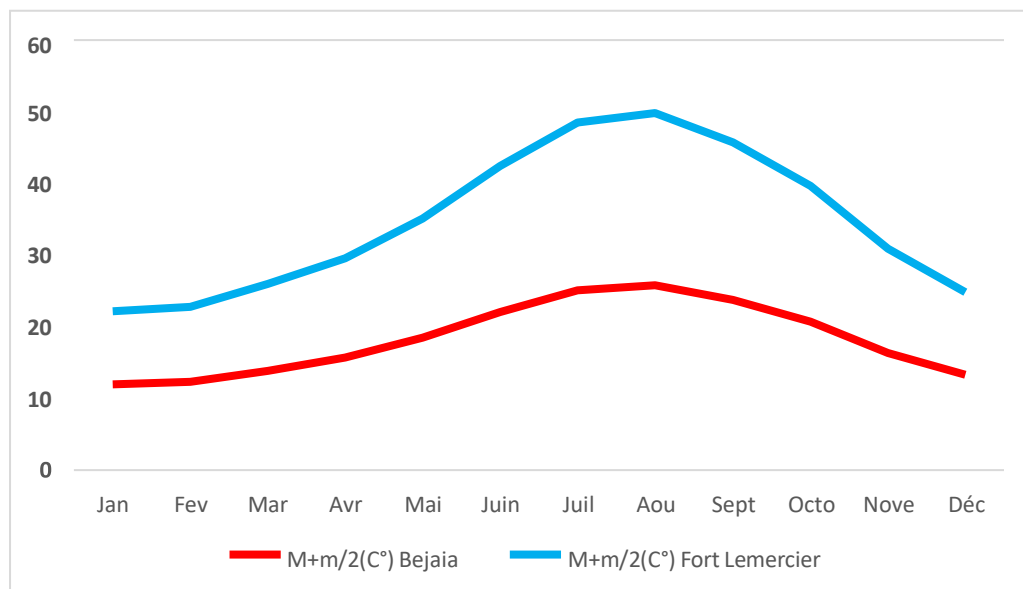


Figure 06 : Evolutions des températures moyennes annuelles à Bejaïa et Fort Lemerrier (1978-2023)

II.3.2. Précipitations

Les précipitations s'avèrent être un élément écologique d'une importance capitale, rythmant l'alternance des saisons sèches et humides et exerçant une influence déterminante sur la régulation des cycles biologiques (**Ramade, 1984**).

Pour chaque tranche d'élévation altitudinale de 100 mètres, allant de 100 à 2000 mètres d'altitude, à l'intérieur des terres à partir du niveau de la mer dans les différentes montagnes méditerranéennes, un gradient de précipitations de 40 mm, considéré comme le plus faible, a été pris en compte. La pluviométrie annuelle de la station de Bejaia est de 774.05mm. La différence d'altitude entre la station d'étude (Fort Lemercier, PNG) et la station de Bejaia est de 320 mètres. Ainsi, la pluviométrie annuelle de notre station d'étude est calculée comme la pluviométrie annuelle de Bejaia, augmentée de 128 mm, soit $774.05 + 128 = 902.05$ mm.

Étant donné que le rapport entre les valeurs mensuelles est égal à celui des valeurs annuelles, pour obtenir les valeurs moyennes mensuelles des précipitations pour la station d'étude (Fort Lemercier), il faut multiplier la valeur mensuelle de chaque mois de la station de Bejaia par ce rapport, soit $902.05 / 774.05$, ce qui équivaut à 1,165

Les précipitations moyennes mensuelles de notre station d'étude Fort Lemercier (1978-2023) Sont présentées dans Annexes 2

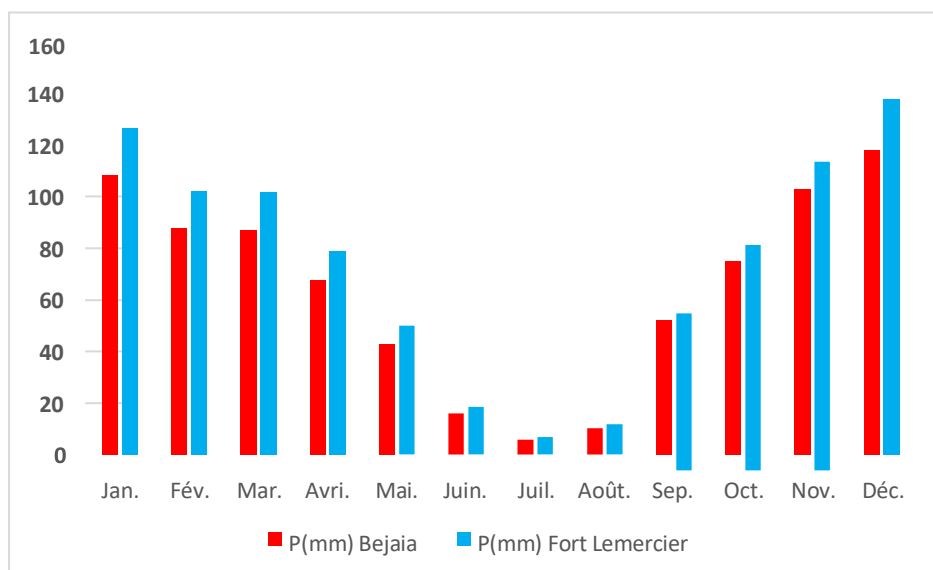


Figure 7 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de Bejaïa et Fort Lemercier (1978-2023)

II.4. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen : un outil pour identifier la saison sèche, Ce diagramme permet de déterminer les périodes sèches et humides d'une année grâce à deux courbes :

- **Précipitations (P)** : Quantité de pluie tombée chaque mois, exprimée en millimètres (mm).
- **Température (T)** : Température moyenne mensuelle, exprimée en degrés Celsius (°C).
- **Critère de mois sec** : Un mois est considéré comme sec si la quantité de précipitations (P) est inférieure ou égale au double de la température moyenne (T)
- **$P \leq 2T$**

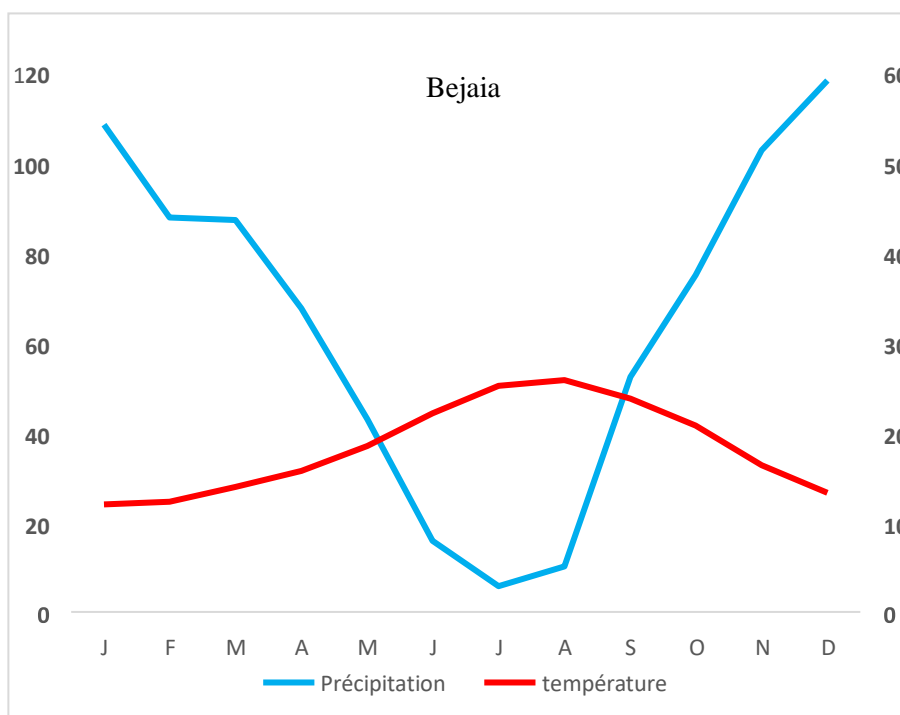


Figure 08 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la région de Bejaia (1978-2023).

Le diagramme ombrothermique de la région de Bejaïa révèle une période sèche bien définie. Cette période s'étend du début du mois de mai jusqu'au début du mois de septembre, soit une durée totale de 5 mois.

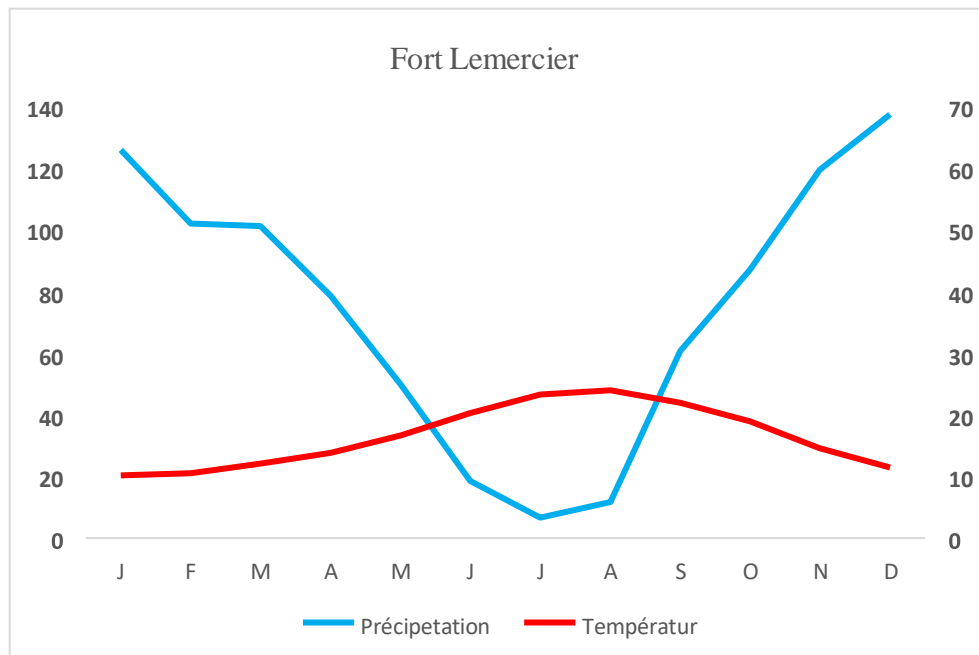


Figure 09 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de notre zone d'étude (Fort Lemerrier, PNG) pour la période (1978-2023).

L'analyse du diagramme ombrothermique de notre zone d'étude révèle une période de sécheresse s'étendant de la fin du mois de mai jusqu'à fin du mois d'août, soit une durée de trois mois. Cette observation indique une saison sèche plus prolongée à Bejaia par rapport à notre station d'étude, Fort Lemerrier, au Parc National de Gouraya.

II.5. Quotient pluviométrique et climagramme d'emberger

La détermination de l'emplacement de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger repose sur le calcul du quotient pluviométrique (Q2) d'une part, et sur la valeur de la température minimale du mois le plus froid d'autre part, selon la méthode établie par **Emberger (1955)**

Le quotient pluviométrique d'Emberger est donné par la formule suivante : adapter à l'algerie :

$$Q2 = 3,34P/M-m \text{ (STEWART, 1969)}$$

Où :

Q2 : Le quotient pluviométrique d'Emberger ;

P : pluviométrie annuelle ;

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (degré Kelvin) ;

m : Moyenne des minima du mois le plus froid (degré Kelvin) ;

M-m : Amplitude thermique extrême (continentalité ou évaporation).

Tableau II : Valeurs du quotient pluviothermique d'Emberger pour Bejaia et notre station d'étude (Fort Lemercier)

Paramètres	P (mm)	M (k°)	m (k°)	m(c°)	quotient
Bejaia	774.05	303.47	280.53	7.38	112,69
Fort Lemercier	902.05	301.23	279.25	06.10	135,49

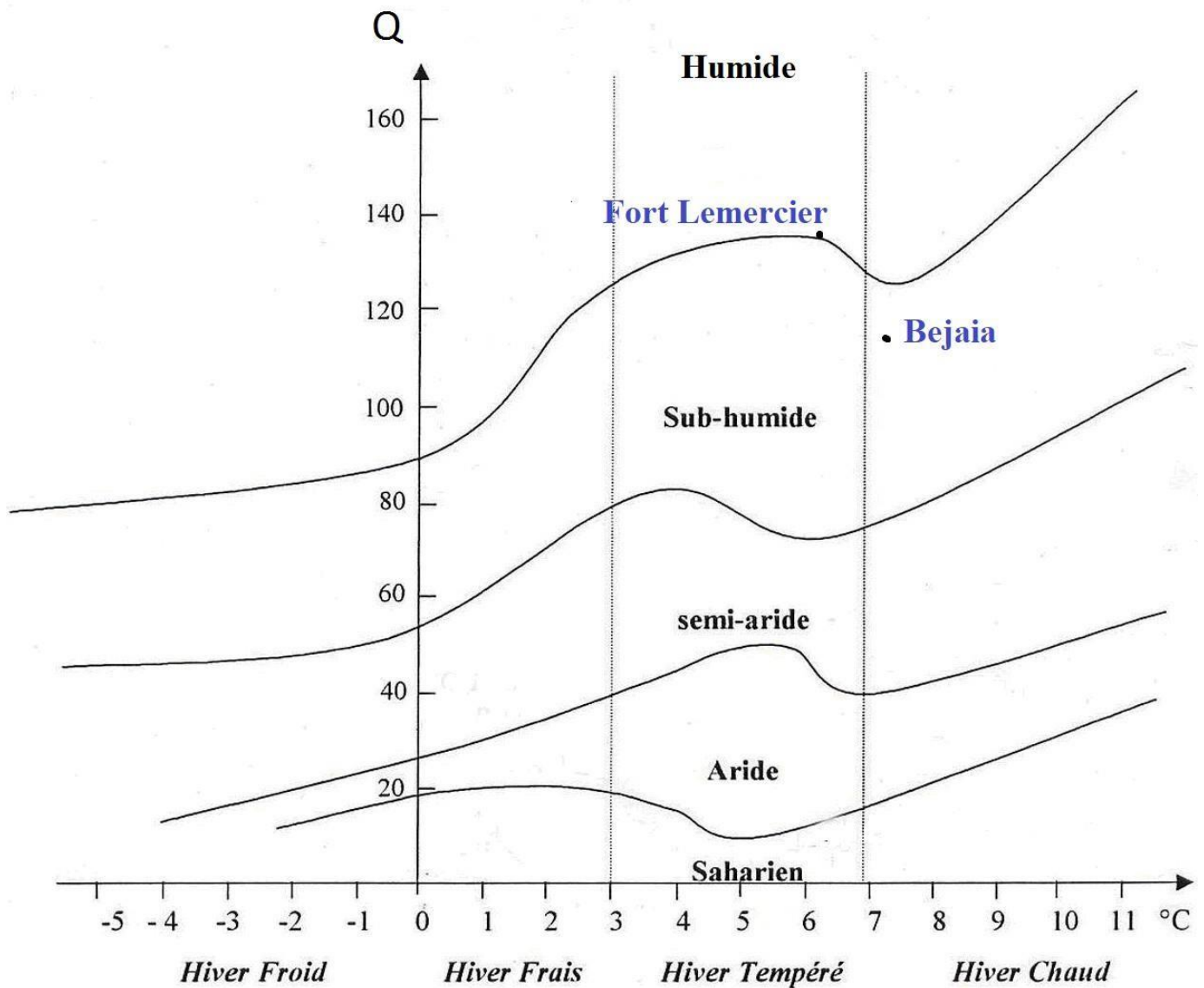


Figure 10 : Localisation de Bejaia et de la zone d'étude (fort Lemerrier) sur le climagramme d'emberger

En se basant sur les valeurs calculées, il est possible de conclure que Bejaia est localisée dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver chaud, tandis que notre zone d'étude (forêt Lemerrier, Parc National de Gouraya) se trouve dans l'étage bioclimatique humide à hiver tempéré.

II.6. Richesse floristique au Parc National de Gouraya

II.6.1. La flore endémique du Parc National de Gouraya

La diversité florale du Parc National de Gouraya inclut 25 taxons endémiques au sens large, dont 6 espèces sont spécifiquement endémiques du K2 (Petite Kabylie), 6 sont propres à l'Algérie, 10 sont endémiques de l'Afrique du Nord, deux sont algéro-tunisiennes et une autre est algéro-marocaine. Parmi les 87 familles de plantes recensées, 15 comptent des éléments endémiques. Les familles les plus riches en espèces endémiques sont : Les Fabaceae et les Liliaceae (4 espèces), Caryophyllaceae, Geraniaceae, Crassulaceae, Apiaceae et Linaceae (2 espèces). Les autres familles possèdent une espèce (les Asteraceae, Euphorbiaceae, Scrofulariaceae, Primulaceae, Amaryllidaceae, Lamiaceae, Anacardiaceae et Plumbaginaceae) (**Rebbas, 2014**).

Tableau III : Les endémiques du Parc National de Gouraya (Rebbas 2014)

Espece	Chorologie	Espèce	Chorologie
<i>Bupleurum plantagineum</i> Desf.	End. K2	<i>Scilla numidica</i> Poiret.	End. Alg. Tun.
<i>Hypochoeris saldensis</i> Batt.	End. K2	<i>Limonium gougetianum</i> (de Girard) Kuntze.	End. Alg. Tun.
<i>Silene sessionis</i> Batt.	End. K2	<i>Cyclamen africanum</i> Boiss et Reut.	End.N.A.
<i>Erysimum cheiri</i> (L.) Crantz subsp. <i>inexpectans</i> Véla, Ouarmim & ubset.	End. K2	<i>Daucus reboudii</i> Coss.	End.N.A.
<i>Genista ferox</i> Poiret. var. <i>salditana</i> .	End. K2	<i>Pistacia atlantica</i> Desf.**	End.N.A.
<i>Pancreatium foetidum</i> var. <i>saldense</i> Batt.	End.K2	<i>Anarrhinum pedatum</i> Desf.	End.N.A.
<i>Sedum multiceps</i> Coss et Dur.	End.Alg.	<i>Genista ferox</i> Poiret. var. <i>ferox</i> .	End.N.A.
<i>Genista ulcina</i> Spach.	End.Alg.	<i>Euphorbia paniculata</i> Desf.	End.N.A.
<i>enista vepres</i> Pomel.	End.Alg.	<i>Genista tricuspidata</i> Desf.	End.N.A.
<i>Erodium hymenodes</i> L'Her.	End.Alg.	<i>Geranium atlanticum</i> Boiss et Reut.	End.N.A.
<i>Nepeta algeriensis</i> de Noé.	End.Alg.	<i>Scilla lingulata</i> Poiret.	End.N.A.
<i>Allium trichocnemis</i> J. Gay.	End.Alg.	<i>Linum corymbiferum</i> Desf.	End.N.A.

II.6.2. Flore terrestre

La flore terrestre du PNG est également remarquable, avec 460 espèces végétales communes aux régions méditerranéennes siliceuses. Parmi elles, des espèces rares et spécifiques à la région telles que l'Euphorbe arborescente, le Buplèvre, le *Lithospermum Rosmarinifolium* et le *Sedum multiceps* prospèrent. De plus, 150 espèces possèdent des vertus médicinales, telles que l'Absinthe, l'Anthyllide vulnéraire, l'IVette et l'Inule visqueuse (**Bensettiti et Abdelkrim., 1986**)

Des plantes adaptées à des conditions environnementales spécifiques, des espèces endémiques, des plantes protégées et menacées, ainsi que des habitats diversifiés offrant des niches écologiques uniques contribuent à faire du Parc National de Gouraya un site d'une richesse floristique exceptionnelle, mettant en lumière l'importance de la conservation de la biodiversité dans cette région.

II .6.2. Flore marine :

Le milieu marin abrite 55 espèces de phytoplancton et 72 espèces de phytobenthos, parmi lesquelles 7 sont considérées comme "remarquables". Ces espèces figurent dans le livre "rouge" des végétaux, des peuplements et des paysages marins menacés en Méditerranée. Elles incluent *Lithophyllum lichenoides*, *Cystoseira ercegovicii*, *Cystoseira mediterranea*, *Cystoseira sedoides*, *Cystoseira spinosa*, *Cystoseira stricta*, *Dictyopteris membranacea*, ainsi qu'une espèce de phanérogame marine, *Posidonia oceanica*. (**Bensettiti et Abdelkrim., 1986**)

Chapitre III
Matériels et méthodes

Afin d'évaluer le taux de recouvrement de la pinède incendier du fort Lemercier, en juillet 2016, nous avons effectué un échantillonnage par quadrat de 1m² sur 10 parcelles, dont 8 parcelles se trouvaient dans la zone touchée par l'incendie et 2 autres parcelles témoins dans la zone non incendiée.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer le taux de recouvrement végétal dans une zone touchée par un incendie, l'étude vise à :

- Mesurer le taux de recouvrement végétal après l'incendie.
- Identifier les facteurs qui influencent le taux de recouvrement végétal.

III.1. Etapes préparatoires

I.1. Première étape : Sortie sur le terrain

Notre étude a débuté par une visite sur le terrain afin d'établir un état des lieux et d'identifier des parcelles potentiellement intéressantes pour notre recherche. Cette visite exploratoire de la zone incendiée en juillet 2016 s'avérait cruciale pour appréhender le contexte local et choisir le site d'étude. À l'issue de cette phase d'observation, 10 parcelles ont été sélectionnées.

La première visite nous a également permis de définir le protocole expérimental le plus approprié pour notre station d'étude, assurant une collecte de données efficace et fiable concernant les taux de récupération de la végétation, ainsi que la réalisation des relevés floristiques.

I.2. Deuxième étape : Confection du quadrat

La deuxième étape de notre étude consistait à confectionner des quadrats pour évaluer la couverture végétale après l'incendie. Nous avons utilisé la méthode des quadrats, une méthode précise et rigoureuse d'estimation de la quantité de végétation. Cette méthode a été appliquée sur les 10 parcelles, dont 8 dans des zones touchées par les incendies et 2 parcelles témoins dans des zones non touchées par les incendies.

La méthode par quadrat est une technique d'échantillonnage utilisée en écologie végétale pour estimer la couverture végétale dans une zone donnée. Elle consiste à placer de manière systématique ou aléatoire des quadrats, qui sont des surfaces carrées ou rectangulaires de dimensions définies, à l'intérieur de la zone d'étude. Le principe est simple :

1. **Définir la taille du quadrat:** La taille des quadrats a été définie en fonction de la végétation étudiée et des objectifs de la recherche. Nous avons choisi des quadrats carrés de 1 m², subdivisés en 100 petits carrés de 10 cm x 10 cm.
2. **Placer les quadrats:** Les quadrats ont été placés de manière aléatoire.
3. **Mesurer la couverture végétale :** Dans chaque quadrat, nous avons mesuré la couverture végétale, c'est-à-dire la proportion de surface occupée par les plantes. Cela a été réalisé par une estimation visuelle de la proportion de surface occupée par la végétation (estimation en pourcentage).

I.3. Troisième étape : Délimitation des zones touchées par l'incendie

Afin de délimiter les zones touchées par l'incendie de 2016 dans le parc national de Gouraya, nous avons combiné des données cartographiques et des images satellitaires. Cette approche a permis d'identifier précisément les zones brûlées dans la zone d'étude (figure 11).



Figure 11 : limite de l'incendie du 21 Juillet 2016 (Source Google Earth Pro)

III.2. Le matériel utilisé

- Les images satellitaires Sentinel-2 qui contiennent les bandes spectrales nécessaires au calcul du NDVI.
- **Quadrats:** Des cadres carrés rigides de 1m x 1m, fabriqués par nous-même en bois et subdiviser en 100 petits carrés avec un fil.
- **Fiches de terrain méticuleuses :** Des fiches pré-imprimées pour consigner les données collectées, y compris l'identification des espèces végétales.
- **Crayon ou stylo :** Pour noter soigneusement les observations sur les fiches de terrain.
- **Appareille photo**
- **GPS :** Les coordonnées du site ont été relevées à l'aide du GPS du téléphone.
- **Mètre précis**
- **Un Marteau**
- **Une Pince**
- **Des clous**
- **Fille d'attache**

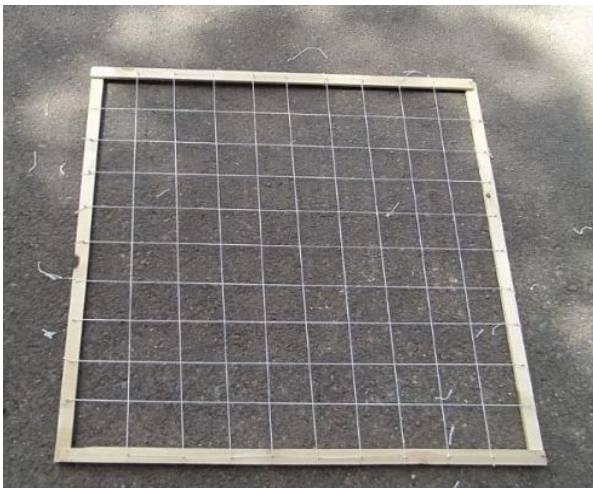


Photo 1 : Quadrat de 1m² (cliché personnelle)



Photo 2 : Fille d'attache (cliché personnelle)

Figure 12 : photos des outils utiliser

III.3. Méthodologies

III.3.1. Analyse de l'Impact des Incendies à l'Aide du NDVI

L'étude de l'impact des incendies sur les écosystèmes méditerranéens nécessite des outils précis et fiables. La télédétection, notamment l'utilisation de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI), offre un moyen efficace d'analyser les changements dans la végétation avant et après un incendie (**Bariou et al., 1985; Caloz et Collet, 2001**), il est largement utilisé en raison de sa nature générique (**Jensen, 2000**).

Le NDVI est directement lié à la productivité de la végétation, à la biomasse et à la dynamique des écosystèmes, en particulier dans les milieux forestiers (**Pettorelli et al., 2005; Carvalho et al., 2004**). Le NDVI varie de -1 à 1, les valeurs élevées indiquant une végétation dense et en bonne santé, tandis que les valeurs proches de 0 correspondent à des zones sans végétation.

III. 3.2. Acquisition des Données

- **Plateforme de Télédétection** : Les données NDVI ont été obtenues à l'aide du navigateur Copernicus. Le site Copernicus met à disposition des images satellites Sentinel-2 qui permettent de calculer l'indice de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Plus précisément, Copernicus fournit des images multispectrales Sentinel-2 qui contiennent les bandes spectrales nécessaires au calcul du NDVI. Les images Sentinel-2 sont utilisées pour calculer l'indice de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) de la manière suivante :
 - Les satellites Sentinel-2 de l'Agence spatiale européenne acquièrent des images multispectrales à haute résolution (10 à 60 m) dans 13 bandes spectrales allant du visible au moyen infrarouge
- Ces images contiennent les bandes spectrales nécessaires au calcul du NDVI : la bande rouge (RED) et la bande proche infrarouge (NIR) (Robin, 2002).. Le NDVI est calculé pixel par pixel selon la formule :
- $$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$
- L'indice varie de -1 à 1, les valeurs élevées indiquant une végétation dense et en bonne santé (**Bannari et al., 1995 ; Mather, 1999 ; Robin, 2002**).

- **Périodes** : Les cartes NDVI ont été téléchargées pour deux périodes distinctes :
 - **Avant l'incendie** : [2015]
 - **Après l'incendie** : [2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023,2024]
- **Extraction du NDVI** : Le NDVI est calculé à partir des bandes rouge et infrarouge proche des spectres de lumière, fournissant ainsi une mesure de la biomasse végétale.

III. 3.3. Analyse des Données

- **Comparaison des cartes NDVI** : Les cartes NDVI avant et après l'incendie seront comparées pour identifier les changements significatifs dans la végétation.
- **Identification des zones touchées** : Les cartes NDVI permettront d'identifier les zones les plus fortement impactées par l'incendie, ainsi que les zones qui ont pu être épargnées.

III. 3.4. Évaluation du taux de recouvrement de la végétation par la méthode des quadrats

Pour étudier l'impact de l'incendie sur la couverture végétale, nous avons réalisé une analyse sur 10 parcelles sélectionnées aléatoirement dans la zone d'étude. Parmi ces parcelles, 8 se situent dans la zone brûlée et 2 servent de témoins, non affectées par l'incendie. Cette analyse consiste à mesurer le degré de couverture végétale dans chaque parcelle et d'observer son évolution au fil du temps.

Afin d'évaluer le taux de recouvrement de la végétation dans la zone d'étude, nous avons utilisé la méthode des quadrats. Cette méthode consiste à placer des quadrats de manière aléatoire dans la zone d'étude et à mesurer la couverture végétale à l'intérieur de chaque quadrat.

Le protocole suivant a été appliqué :

1. **Placement des quadrats**: Les quadrats, de dimensions de 1 m² subdiviser en 100 petits carrées, ont été placés de manière aléatoire dans la zone d'étude, en veillant à couvrir l'ensemble de la zone de manière représentative. Le nombre de quadrats utilisés a été déterminé en fonction de la taille de la zone d'étude et de son accessibilité, afin d'obtenir une estimation fiable du taux de recouvrement de la végétation (Figure 13).

- **Coordonne des quadrats :**

Quadrat N°1 : 36°46'1.78"N 5° 4'14.94"E

Quadrat N°2 : 36°46'1.04"N 5° 4'14.63"E

Quadrat N°3 : 36°45'60.00"N 5° 4'16.00"E

Quadrat N°4 : 36°46'3.00"N 5° 4'7.00"E

Quadrat N°5 : 36°46'2.00"N 5° 4'8.00"E

Quadrat N°6 : 36°46'2.82"N 5° 4'6.05"E

Quadrat N°7 : 36°45'60.00"N 5° 4'20.00"E

Quadrat N°8 témoin : 36°46'2.57"N 5° 4'21.24"E

Quadrat N°9 témoin : 36°46'3.77"N 5° 4'22.61"E

Quadrat N°10 : 36°46'0.40"N 5° 4'8.91"E

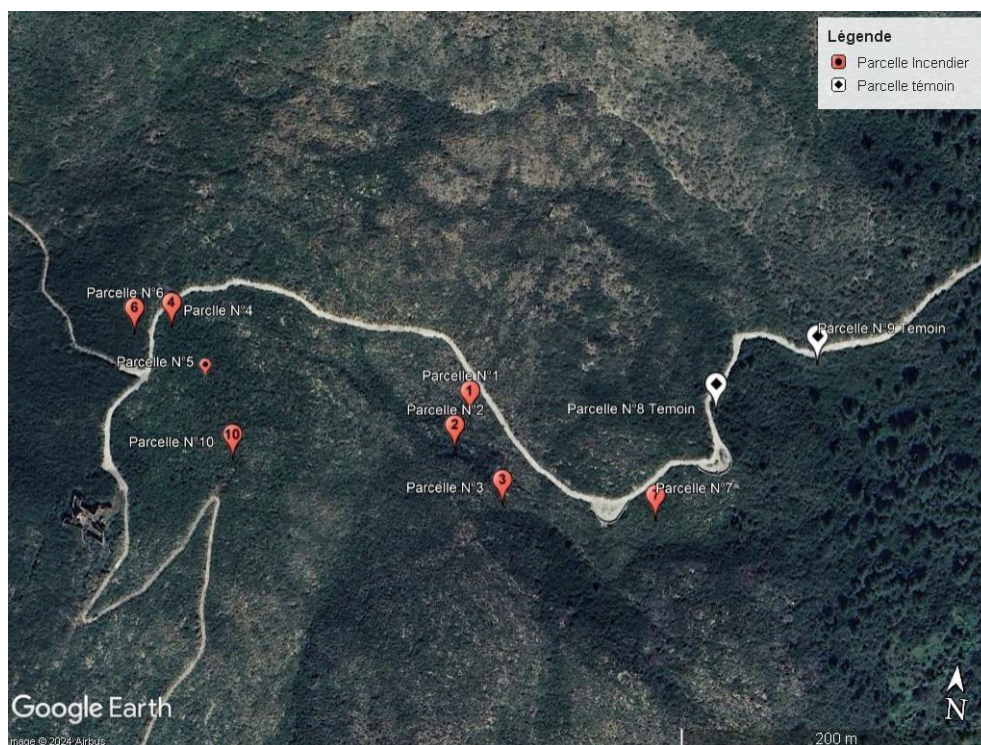


Figure 13 : Image satellite montrent les répartitions des parcelles d'étude

(Source : Google Earth Pro 2024)

2. **Estimation visuelle du recouvrement** : Une fois les quadrats placés, nous avons estimé visuellement le taux de recouvrement de la végétation à l'intérieur de chaque quadrat. Pour ce faire, nous avons compté le nombre de petits carrés couverts par la végétation.
3. **Identification des espèces végétales** : Toutes les espèces végétales présentes à l'intérieur de chaque quadrat ont été identifiées. Pour les espèces inconnues, un échantillon a été prélevé pour une identification ultérieure, en lui attribuant un numéro transitoire.
4. **Évaluation de la densité** : Le nombre d'individus de chaque espèce végétale présente dans le quadrat a été compté. Cette information a permis de déterminer la densité de chaque espèce.
5. **Calcul du recouvrement spécifique** : Le recouvrement de chaque espèce en pourcentage de la surface totale du quadrat a été estimé en comptant le nombre de petits carrés couverts par chaque espèce, puis en calculant le pourcentage correspondant.
6. **Répétition du processus** : Ces étapes ont été répétées pour chaque quadrat placé dans la zone d'étude. Les données obtenues ont été ensuite analysées pour déterminer le taux de recouvrement global de la végétation dans la zone d'étude.
7. **Calcul statistique** : Microsoft Office Excel 2013

III. 3.4.1. La méthode des quadrats : avantages et inconvénients

La méthode des quadrats, largement utilisée en écologie de terrain, présente plusieurs avantages :

- **Facilité de mise en œuvre** : Sa simplicité la rend accessible à tous les chercheurs.
- **Concentration sur une petite surface** : Permet une analyse approfondie d'une zone restreinte.
- **Flexibilité** : Les dimensions et la forme des quadrats peuvent être adaptées à la végétation étudiée et aux objectifs de recherche.
- **Objectivité** : Minimise les biais subjectifs et permet des comparaisons objectives entre différents sites ou moments.

Cependant, cette méthode présente également des inconvénients :

- **Temps de réalisation** : Le comptage des individus peut être long et complexe, notamment pour des plantes enchevêtrées ou couchées au sol.
- **Difficulté pour les espèces non uniformément réparties** : La mesure de la fréquence peut être délicate pour certaines espèces.
- **Risque d'erreurs d'appréciation** : L'évaluation de la couverture peut être sujette à des erreurs d'interprétation

III.3.5. Évaluation de l'abondance des espèces

Pour chaque espèce, les mesures suivantes ont été effectuées dans chaque quadrat :

- **Densité moyenne** : Nombre d'individus par mètre carré (m²).
- **Couverture** : Proportion de la surface du quadrat recouverte par l'espèce, évaluée précisément (en pourcentage).
- **Fréquence** : Proportion de quadrats où l'espèce est présente, calculée en divisant le nombre de quadrats où l'espèce est présente par le nombre total de quadrats étudiés.

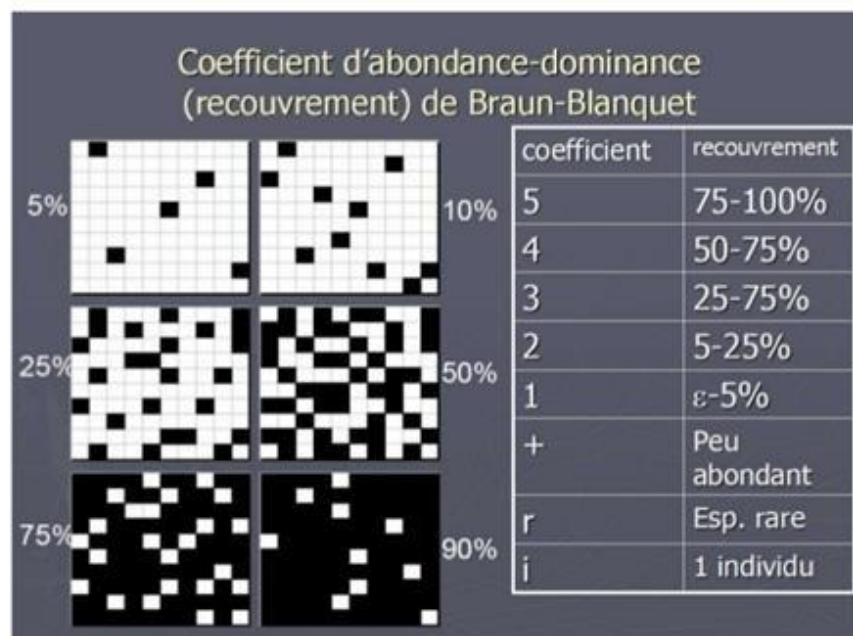


Figure 14 : coefficient d'abondance et de dominance recouvrement de Braun-blanquet

Chapitre IV
Résultats et discussions

Le présent chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats de notre étude sur le recouvrement végétal suite à l'incendie de 2016 qui a touché la région de fort Lemercier située au sein du PNG.

IV.1. Indice NDVI

Grâce au navigateur Copernicus, une plateforme de télédétection avancée, nous avons pu obtenir des cartes de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) de la zone étudiée, avant et après l'incendie. Le NDVI est un indice qui permet d'estimer la vigueur et la densité de la végétation à partir d'images satellites.

Le concept du NDVI repose sur le fait qu'un couvert végétal absorbe l'énergie dans la bande rouge grâce à la chlorophylle de la plante et réfléchit fortement dans la bande du proche infrarouge (**Robin, 2002**). L'utilisation de ces bandes est particulièrement intéressante car elle permet de créer un contraste élevé des propriétés optiques entre la roche et la végétation (**Baret et al., 1995**). Ce contraste est essentiel pour estimer la proportion de végétation. Les valeurs de NDVI pour la végétation sont généralement plus élevées que celles des zones non végétales (comme la neige, l'eau, la glace et les roches).

En théorie, les valeurs de NDVI pour la végétation tendent vers 1, tandis que celles des zones non végétales tendent vers -1. Ainsi, à mesure que la proportion de végétation diminue, les valeurs de réflectance dans la bande rouge diminuent également de manière linéaire (**Beek et al., 2006**), ce qui établit une relation linéaire entre les pourcentages de couvert végétal et les valeurs de NDVI.

L'analyse comparative des cartes NDVI avant et après l'incendie nous a permis de détecter et de quantifier les changements de végétation induits par le passage du feu. Les zones où la végétation a été détruite ou fortement endommagée se caractérisent par une baisse significative du NDVI après l'incendie.

Les figures (14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23) ci-dessous présentent l'évolution de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) de la zone du fort Lemercier, depuis 2015 jusqu'en 2024, avant et après l'incendie survenu en 2016. L'analyse de cette série temporelle de cartes NDVI met en évidence les changements de la végétation causés par l'incendie.

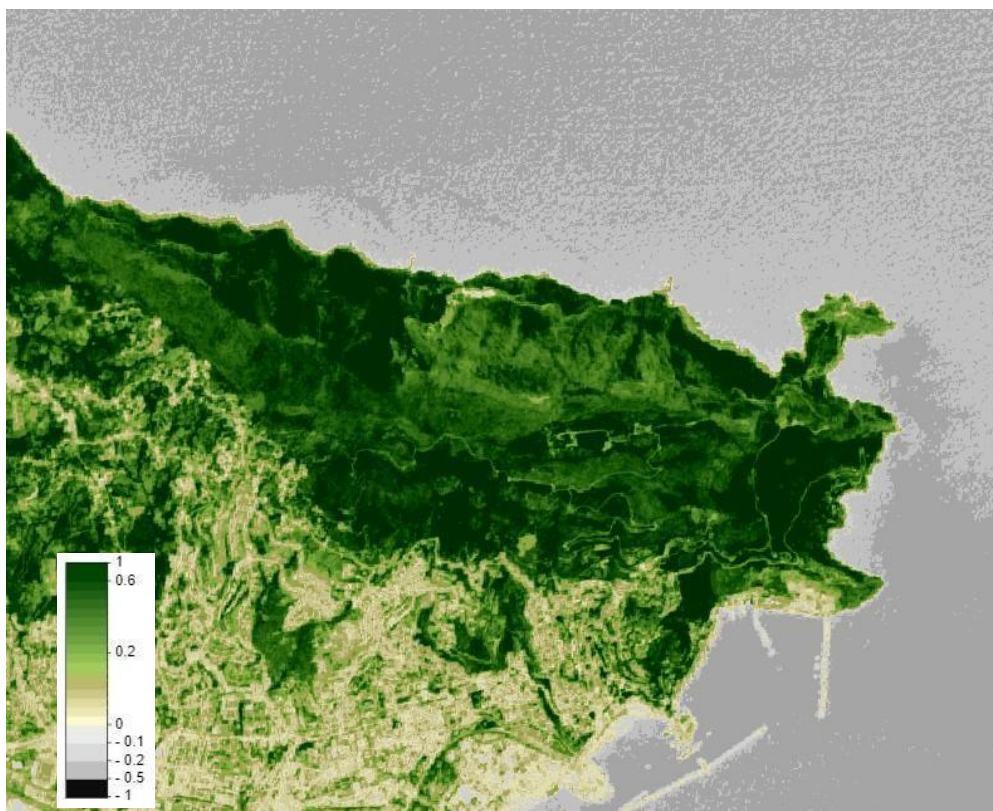


Figure 15 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude de l'Année 2015

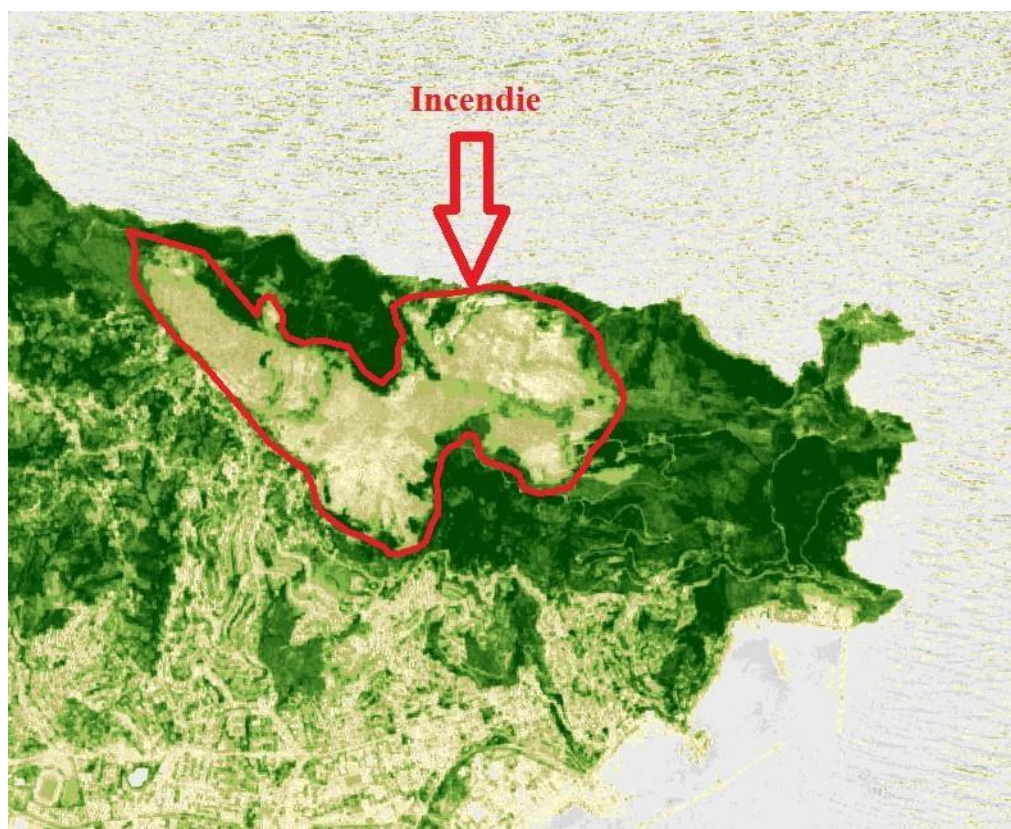


Figure 16 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (Juillet 2016).

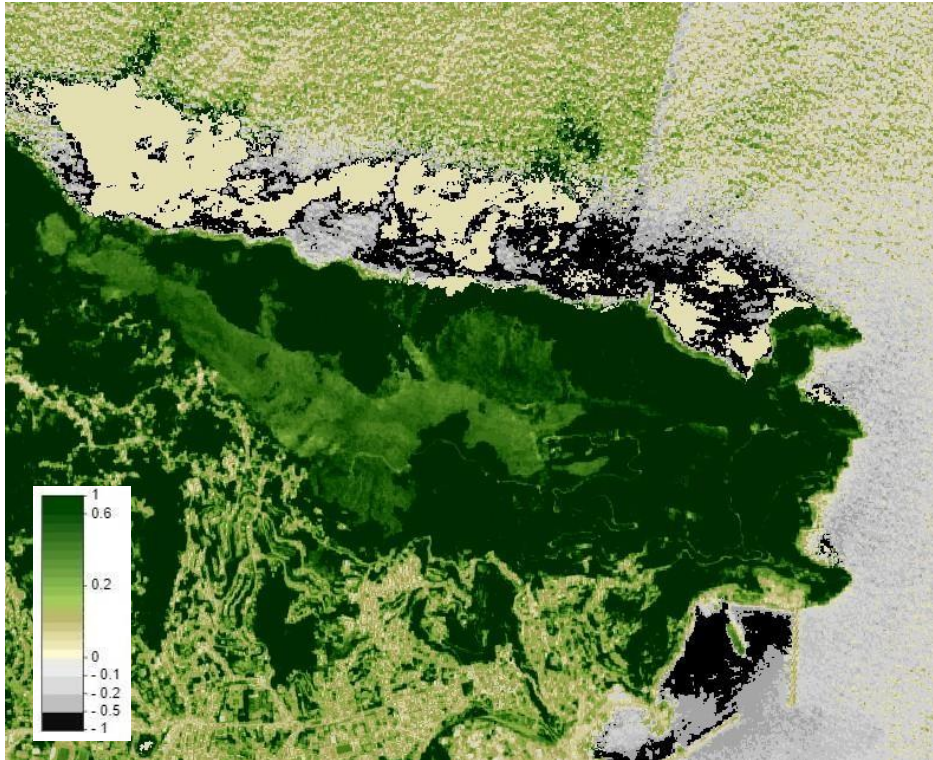


Figure 17 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2017).

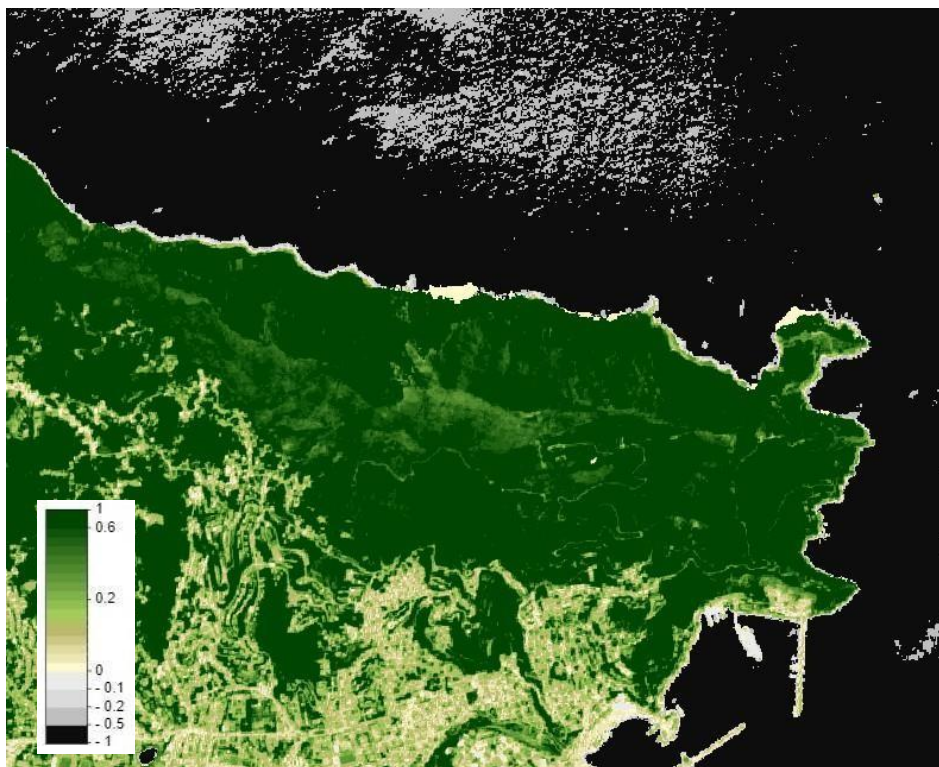


Figure 18 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2018).

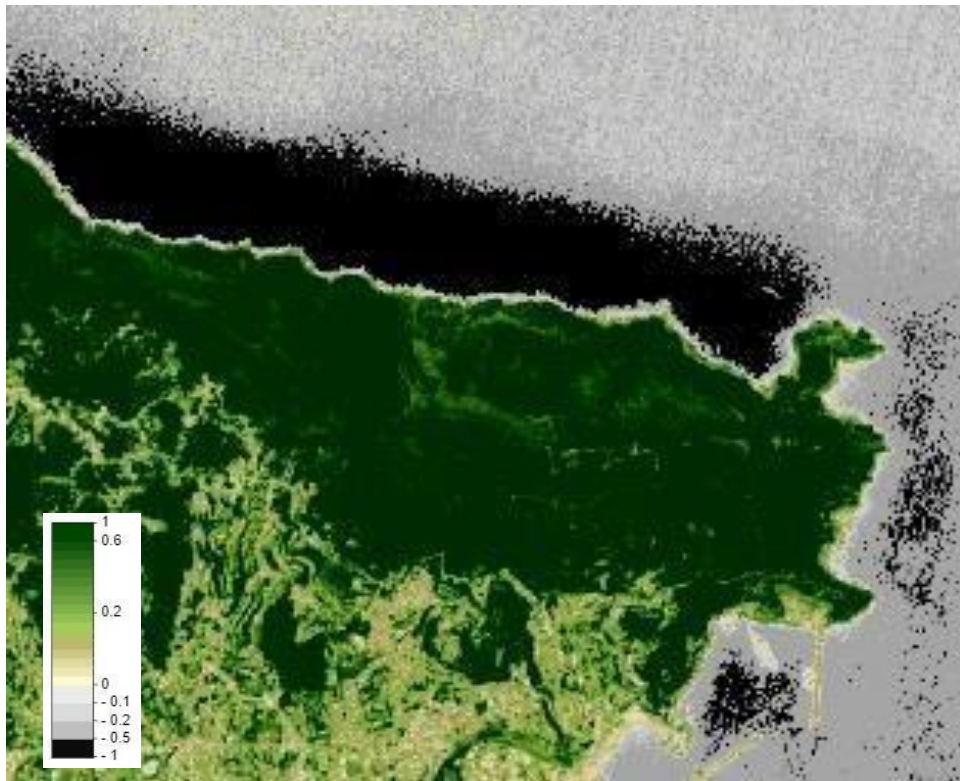


Figure 19 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2019).

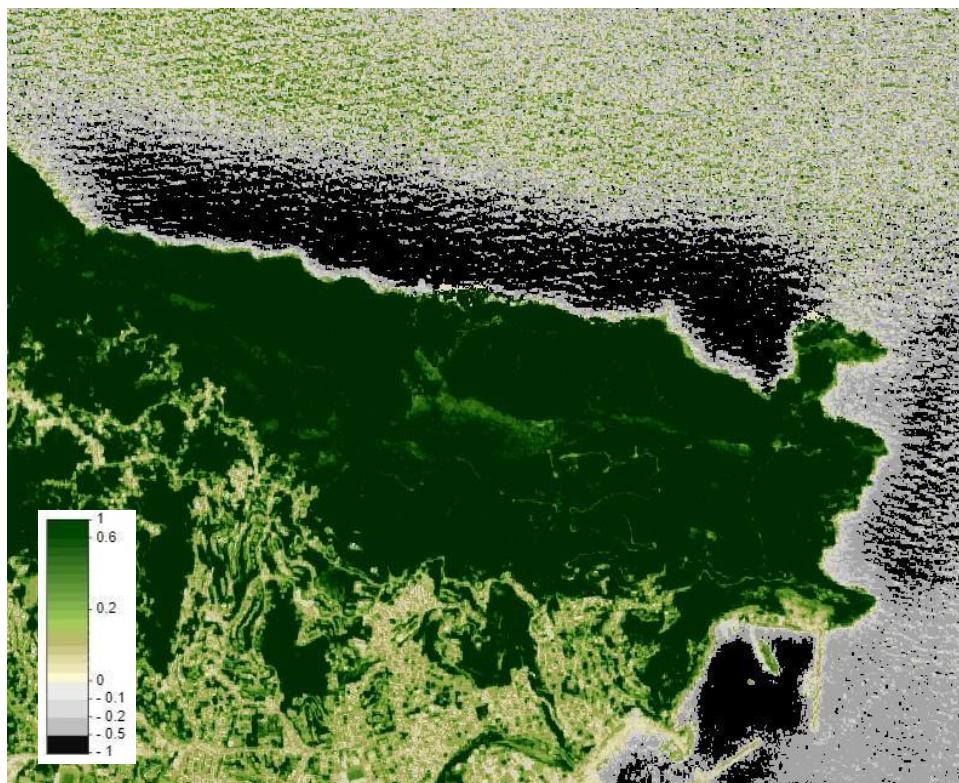


Figure 20 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2020).

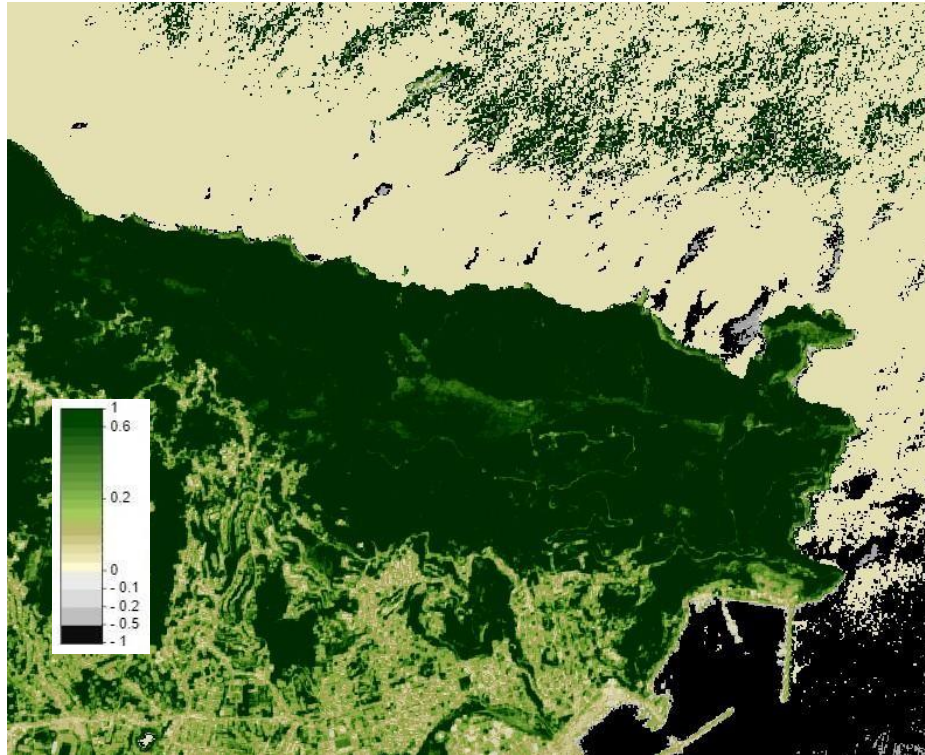


Figure 21 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2021).

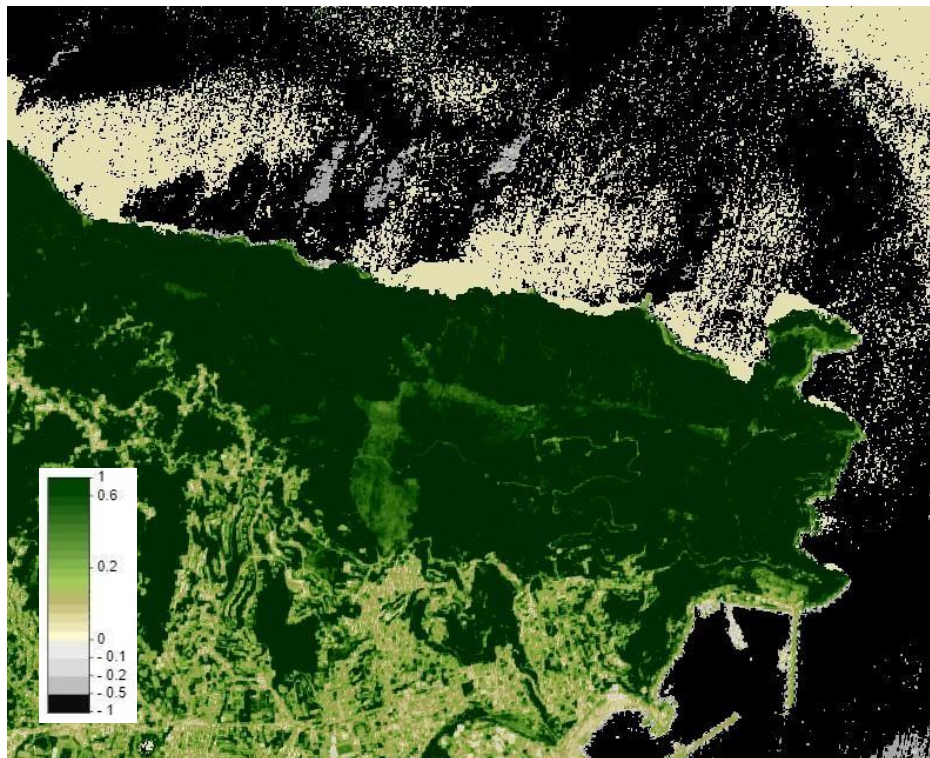


Figure 22 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2022).

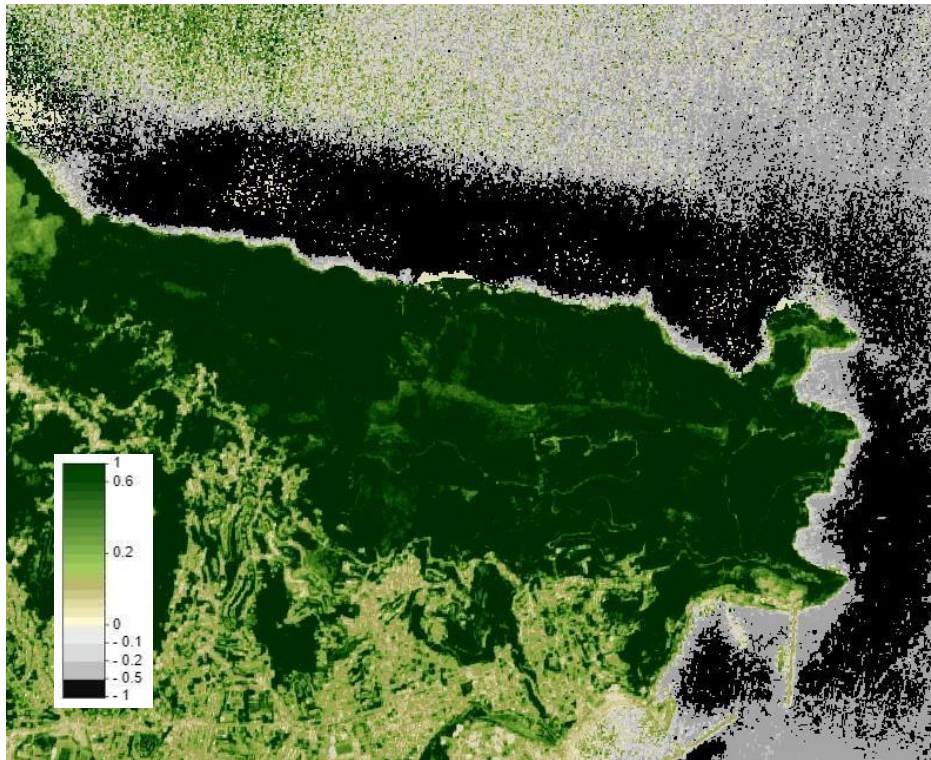


Figure 23 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2023).

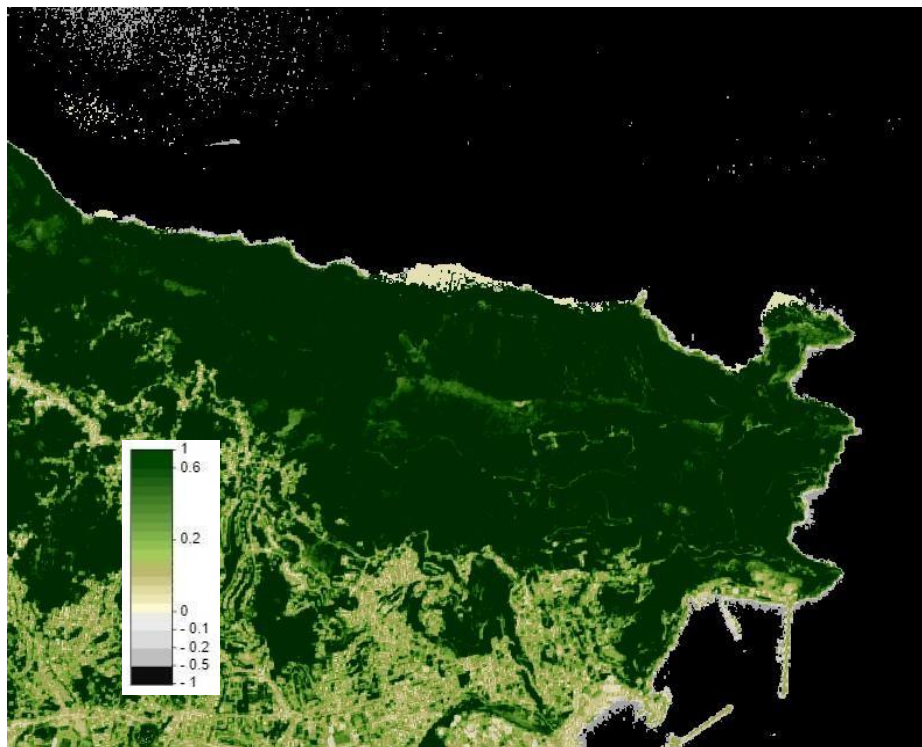


Figure 24 : Carte sentinel-2 de la zone d'étude (2024).

L'analyse des valeurs de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) met en évidence une dynamique de récupération post-incendie variable mais globalement considérable dans les parcelles touchées.

En 2015, avant l'incendie de juillet 2016, la couleur verte observée dans l'imagerie satellitaire (figure 14) illustre une végétation saine et vigoureuse. Cela est confirmé par des valeurs de NDVI stables et relativement élevées, comprises entre 0,58 et 0,75, dans l'ensemble des parcelles.

Cependant, suite au passage du feu, on observe une plaque de couleurs très claires qui signifie l'absence de végétation dans la zone touchée par l'incendie. Dans cette zone, on constate une chute drastique des valeurs de NDVI, qui atteignent des niveaux très bas, entre 0,01 et 0,11. Cette baisse brutale traduit une destruction quasi-totale de la végétation sur ces parcelles incendiées.

Malgré cette perte initiale, une tendance de récupération progressive est ensuite visible dans toutes les parcelles touchées. À partir de 2017, les valeurs de NDVI augmentent progressivement pour atteindre 0,92 en 2024, ce qui signifie une très bonne reprise de la végétation. Cela met en évidence la résilience de l'écosystème face à l'incendie, avec une phase de dégradation suivie d'une phase de recolonisation végétale sur le long terme.

En comparaison, les parcelles témoins, non touchées par l'incendie, ont maintenu des valeurs NDVI élevées et stables, supérieures à 0,90, tout au long de des années étudiées, indiquant une végétation très saine sans impact significatif d'incendie. Ces résultats mettent en évidence l'impact dévastateur des incendies sur la végétation mais aussi la capacité remarquable des écosystèmes à se régénérer au fil du temps.

Afin de vérifier la fiabilité des informations consignées dans les cartes et des indices de végétation NDVI issus de la télédétection, une étude de terrain était indispensable. En effet, la confrontation des données cartographiques et satellitaires avec des mesures directes du taux de recouvrement végétal sur le terrain permettait de valider la fiabilité des informations issues de ces différentes sources. Cette validation croisée était nécessaire pour s'assurer de la concordance entre l'indice NDVI et les observations de terrain.

La section suivante fait état des résultats de l'étude sur le terrain.

IV.2. Taux de recouvrement

IV.2.1. Taux de recouvrement par parcelle

Les résultats illustrés dans la figure 24 montrent le taux de recouvrement végétal en pourcentage dans les 10 parcelles échantillonnées, dont huit ont été touchées par un incendie, tandis que deux servent de témoins.

Les parcelles incendiées N°1, 2, 3 et 7, qui présentent des affleurements rocheux, ont des taux de recouvrement modérés, avec des niveaux de récupération inférieurs à 70%. En revanche, les parcelles N°4, 5, 6 et 10 affichent des taux de recouvrement plus élevés, compris entre 70% et 90%. Cela souligne la résilience de ces écosystèmes face aux perturbations comme les feux

Les deux parcelles N°8 et 9 non incendiées, servant de témoins, montrent un taux de recouvrement très élevé, compris entre 90% et 100%. Cela met en évidence l'impact négatif du feu sur le recouvrement végétal, en particulier dans les zones avec des sols peu profonds et caillouteuses.

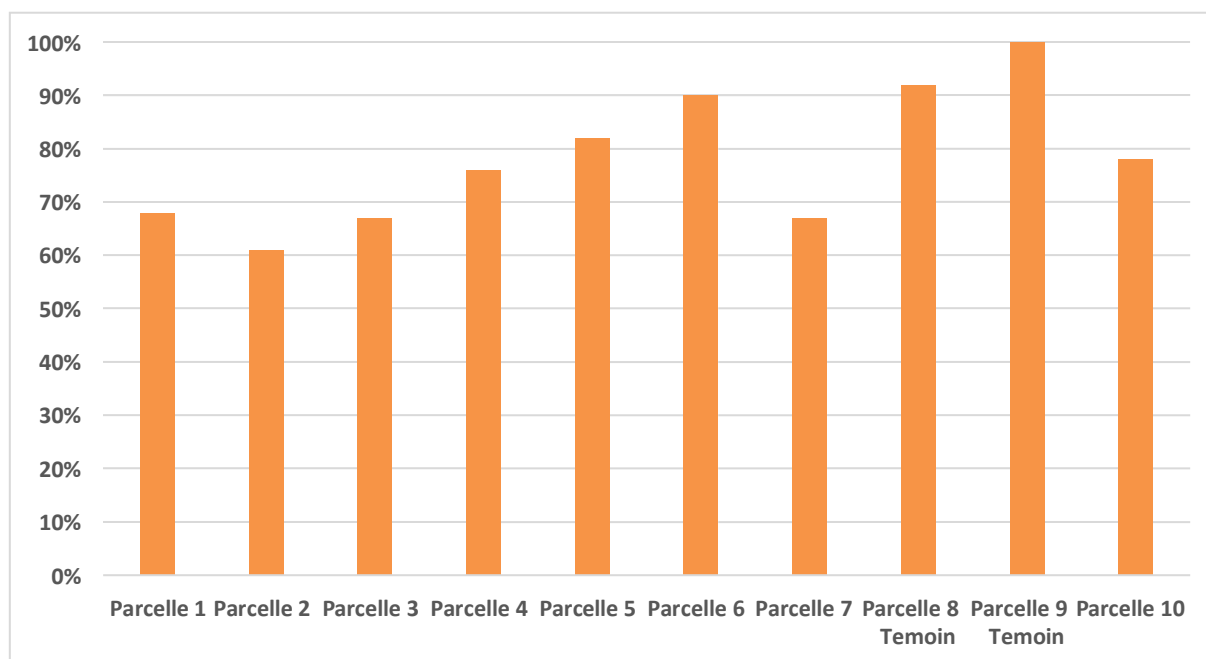


Figure 25 : Histogramme des taux de recouvrement végétal (%) pourcentage (fort Lemercier)

IV.2. 2.Taux de recouvrement par espèces

IV.2. 2.1. Taux de recouvrement moyen par espèces

La figure 26 montre le taux de recouvrement moyen pour les 18 espèces végétales identifiées dans les 10 parcelles étudiées. on constate que ces résultats mettent en évidence les espèces les plus importantes en termes de recouvrement, qui jouent probablement un rôle clé dans le fonctionnement de ces écosystèmes, comme *Quercus coccifera* avec 18,3%, *Cistus salviaefolius* avec 16,9%. Ces espèces dominantes jouent un rôle crucial dans la régénération post-incendie de la végétation, en occupant une part substantielle de la surface des parcelles étudiées.

D'autres espèces comme *Calicotome spinosa* ont un recouvrement moyen plus modéré avec 9,5%. Elles sont présentes mais de manière moins abondante. Les autres espèces ont un faible recouvrement moyen, inférieur à 5%. Elles sont donc moins représentées dans la végétation.

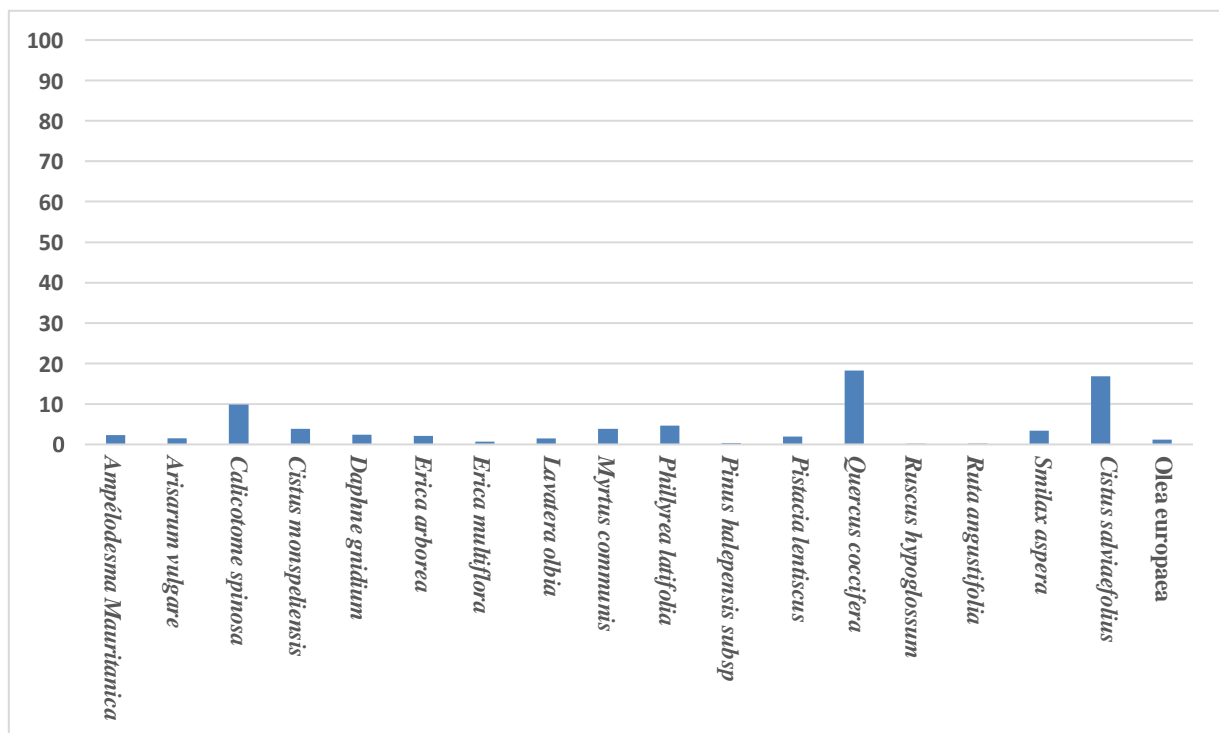


Figure 26 : Moyen de taux de recouvrement végétal des espèces identifier (%).

IV.3. Facteurs influençant les taux de recouvrement

L'analyse des taux de recouvrement végétal dans les parcelles étudiées met en évidence plusieurs facteurs clés qui influencent la dynamique de régénération suite à l'incendie.

A/ L'influence de la pente

L'analyse des taux de recouvrement végétal dans les parcelles étudiées met en évidence le rôle déterminant joué par la pente dans la dynamique de régénération suite à l'incendie. En effet, les parcelles situées sur une pente de 20% présentent des taux de recouvrement relativement homogènes, compris entre 61% et 68%. Cette homogénéité des résultats suggère une réponse similaire des communautés végétales à l'incendie sur des pentes plus abruptes. Les conditions stationnelles étant plus difficiles sur ces pentes raides, la régénération semble s'y faire de manière plus lente et limitée.

À l'inverse, pour les parcelles en pente plus douce (10%), les taux de recouvrement sont nettement plus élevés, variant de 76% à 90%. Ces résultats indiquent que les pentes moins abruptes favorisent une meilleure reprise de la végétation après un incendie. Ce phénomène peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Tout d'abord, sur les pentes douces, les graines ont plus de chances de rester en place et de germer, plutôt que d'être emportées par les eaux de ruissellement ou la gravité comme sur les pentes plus raides. Notamment que pour se régénérer, les végétaux pérennes utilisent deux stratégies : la voie végétative, en émettant des rejets et la voie sexuée à partir de graines portées par la plante mère ou enfouies dans le sol (Ne'eman *et al.*, 2004 ; Keeley *et al.*, 2005).

De plus, les conditions édaphiques et hydriques sont généralement plus favorables sur ces pentes moins abruptes, avec une meilleure rétention de l'humidité et des nutriments (Gyssels *et al.*, 2005). Ces facteurs permettent probablement une régénération plus rapide et plus dense de la végétation. Ainsi, la pente semble jouer un rôle clé dans la dynamique de régénération post-incendie. Les pentes douces offrent des conditions plus propices à l'établissement et à la croissance des végétaux après un événement perturbateur, favorisant une récupération plus rapide et plus complète de la couverture végétale.

Des études ont confirmé que l'augmentation de l'humidité du sol après un feu favorise une germination plus rapide et une croissance plus robuste des plantules. Cette humidité accrue

crée des conditions optimales pour la germination des graines et soutient la croissance initiale des jeunes plants en facilitant l'absorption des nutriments nécessaires (**Wilson *et al.*, 2015 ; Viana-Soto *et al.*, 2020**). En favorisant une récupération rapide de la végétation, une humidité adéquate du sol accélère le recouvrement du terrain et stabilise efficacement l'écosystème. De plus, elle contribue à prévenir l'érosion du sol, un phénomène qui peut être exacerbé en l'absence de végétation (**Lippok *et al.*, 2013 ; Johnstone *et al.*, 2010**).

B/Influence des précipitations

L'eau est cruciale pour déclencher la germination des graines, en activant les enzymes et les processus métaboliques nécessaires à la croissance initiale des plantules (**Chu *et al.*, 2018**). Les précipitations hydratent les semences, activent les processus de germination et favorisent l'émergence des racelles et des pousses.

Sur notre zone d'étude, l'automne de l'année 2016 a été marquée par un déficit de précipitations ce qui probablement retarder la régénération, réduisant ainsi le nombre de jeunes plants et impactant négativement le taux de recouvrement végétal. Cette diminution peut conduire à une régénération plus lente et moins variée, affectant l'équilibre global de l'écosystème (**Naveh, 1990 ; Pausas *et al.*, 1999 ; Delitti *et al.*, 2005**). Puis l'arrivée des pluies en 2017 a vraisemblablement permis une germination des graines et un bon établissement des jeunes plants a par conséquent l'augmentation des taux de recouvrement végétale. Cela s'est traduit par une augmentation progressive des valeurs de NDVI à partir de 2018 et ses poursuivie au fil des années, reflétant la reprise de la végétation.

C/ Affleurement des roches

Nos observations sur le terrain ont révélé que la zone d'étude est caractérisée par une présence importante d'affleurements rocheux, laissant certains endroits dénudés de végétation. Ces affleurements, définis comme des formations géologiques où la roche affleure à la surface du sol, jouent un rôle significatif dans la dynamique des écosystèmes en affectant plusieurs facteurs environnementaux clés.

Les affleurements rocheux influencent grandement la rétention d'eau, la température du sol et la distribution des nutriments (**Gray & Laslett, 1983; Anderson & Anderson, 2010**). Ces impacts négatifs sur les conditions édaphiques soulignent le rôle complexe et souvent

contraignant des affleurements rocheux dans la régénération végétale post-incendie (**Boettcher & Frank, 2010**).

Les variations observées dans les taux de recouvrement végétal entre les parcelles peuvent s'expliquer par les différences dans la densité des affleurements rocheux. Les parcelles présentant des affleurements plus importants montrent généralement un recouvrement végétal plus faible, en raison des conditions édaphiques défavorables créées par ces formations géologiques.

IV.4.1. Composition floristique de la zone d'étude

L'analyse de la végétation menée dans les 10 parcelles étudiées a permis de recenser et de classifier les différentes espèces présentes. Leur répartition a été reportée dans le tableau VI ci-dessous, les parcelles témoins non brûlées en vert et les parcelles incendiées en rouge, en indiquant pour chacune le genre, la famille et le type biologique. Au total, 18 espèces végétales ont été identifiées, appartenant à 14 familles botaniques et 16 genres différents. Ce travail d'inventaire floristique a ainsi permis de dresser un état des lieux de la composition de la végétation dans cette zone.

L'examen du tableau montre que certaines espèces comme *Calicotome spinosa*, *Quercus coccifera* et *Cistus salviaefolius* sont présentes dans l'ensemble des parcelles, qu'elles aient été touchées par un incendie ou non. D'autres en revanche n'apparaissent que dans les parcelles brûlées ou les parcelles témoins, comme par exemple *Ampelodesma Mauritanica*, , *Erica arborea* ,et *olea europaea* elle apparait que dans 2 parcelles bruler. Tandis que d'autres espèces telles que *Lavatera olbia*, *Daphne gnidium*, *Ruta angustifolia* et *Ruscus hypoglossum* n'apparaissent que dans une seule parcelle brûlée, et *Erica multiflora* dans une parcelle témoin

Tableau IV : Distribution des espèces végétales et leurs caractéristiques biologiques dans Fort Lemrcier (PNG).

Espèces	T	T	I	I	I	I	I	I	I	I	Famille	Genre	Type biologique
	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8			
	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q			
	8	9	1	2	3	4	5	6	7	10			
<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>				+						+	Poaceae	Ampelodesma	Anémochore
<i>Arisarum vulgare</i>	+		+						+	+	Oleaceae	Arisarum	Endozoochore
<i>Calicotome spinosa</i>	+	+	+	+	+	+			+	+	Fabaceae	Calicotome	Barochore
<i>Cistus monspeliensis</i>	+		+	+	+						Cistaceae	Cistus	Epizoochore
<i>Daphne gnidium</i>							+				Thymelaeaceae	Daphne	Endozoochore
<i>Erica arborea</i>								+		+	Ericaceae	Erica	Barochore
<i>Erica multiflora</i>		+									Ericaceae	Erica	Barochore
<i>Lavatera olbia</i>			+								Malvaceae	Lavatera	Anémochore
<i>Myrtus communis</i>		+			+		+				Myrtaceae	Myrtus	Endozoochore
<i>Phillyrea latifolia</i>	+		+	+				+		+	Oleaceae	Phillyrea	Endozoochore
<i>Pinus halepensis subsp</i>	+	+						+	+		Pinaceae	Pinus	Anémochore
<i>Pistacia lentiscus</i>			+			+				+	Anacardiaceae	Pistacia	Endozoochore
<i>Quercus coccifera</i>	+	+	+	+	+	+		+	+	+	Fagaceae	Quercus	Dyszoochore
<i>Ruscus hypoglossum</i>					+						Asparagaceae	Ruscus	Endozoochore
<i>Ruta angustifolia</i>			+								Rutaceae	Ruta	Barochore
<i>Smilax aspera</i>		+		+		+	+			+	Smilacaceae	Smilax	Endozoochore
<i>cistus salviaefolius</i>	+	+			+	+	+	+	+	+	Cistaceae	Cistus	Epizoochore
<i>olea europaea</i>			+	+							Oleaceae	Olea	Phanérophyte

La famille la plus diversifiée est celle des Cistaceae, avec 2 espèces identifiées : *Cistus salviaefolius*, qui présente le plus grand nombre d'individus avec 21 pieds, et *Cistus monspeliensis*. Vient ensuite la famille des Oleaceae, représentée par 2 espèces : *Phillyrea latifolia* (8 individus) et *Olea europaea* (2 individus). Les Ericaceae et les Araceae comptent également 2 espèces chacune. Certaines familles ne renferment qu'une seule espèce, mais qui peut être très abondante, comme la famille des Fagaceae avec *Quercus coccifera* (23 individus), ou celle des Fabaceae avec *Calicotome spinosa* (16 individus). D'autres familles sont représentées par une seule espèce peu fréquente, comme les Poaceae avec *Ampelodesma mauritanica* (2 individus), les Asparagaceae avec *Ruscus hypoglossum* (1 individu) ou les Malvaceae avec *Lavatera olbia* (1 individu).

L'analyse de l'inventaire floristique réalisé a révélé que certaines espèces, telles que *Calicotome spinosa*, *Quercus coccifera* et *Cistus salviaefolius*, sont présentes dans l'ensemble des parcelles, qu'elles aient été touchées par un incendie ou non. Cette observation suggère que ces espèces sont bien adaptées aux conditions environnementales de la zone d'étude et résistent aux incendies. D'autres espèces n'apparaissent que dans les parcelles brûlées ou les parcelles témoins, indiquant une sensibilité différentielle à l'incendie. Les espèces présentes uniquement dans les parcelles brûlées, telles que *Erica multiflora*, *Lavatera olbia*, *Daphne gnidium*, *Ruta angustifolia* et *Ruscus hypoglossum*, pourraient être favorisées par les conditions post- incendie.

Il est important de noter que le nombre de quadrats échantillonnés était plus important dans les parcelles incendiées (8 quadrats) que dans les parcelles non incendiées (2 quadrats). Cela pourrait expliquer en partie la plus grande diversité d'espèces observée dans les zones brûlées, en raison d'un échantillonnage plus important.

L'analyse de la répartition des espèces végétales par famille montre que les Cistaceae, Fagaceae et Fabaceae sont les plus abondantes dans la zone d'étude. Plusieurs études antérieures (**Aiteche et Ouarmime, 2007**; **Bekdouche, 2010**; **Aiteche, 2016**) ont montré que les cistes (Cistaceae) et les légumineuses (Fabaceae) sont parmi les premières espèces à s'installer après un incendie, profitant des conditions favorables créées par le passage du feu pour germer et se développer. Ces résultats soulignent l'importance de ces familles botaniques, en particulier les Cistaceae et les Fabaceae, dans la dynamique de régénération de la végétation

Suite à un incendie dans cette zone. Leur abondance reflète leur rôle clé dans la résilience de cet écosystème face aux perturbations.

IV.4.2 Analyse des données par indices écologiques

IV.4.3. Richesse spécifique totale

Les résultats de la diversité spécifique des espèces identifiées dans notre zone d'étude, tant dans les parcelles incendiées que dans les parcelles témoins, sont présentées dans le tableau suivant :

Tableaux V : richesse spécifique de la pinède de Fort Lemerrier (PNG)

Richesse totale		Richesse moyen par relevée
Zone Témoin	Zone incendié	
7	11	6.3

Le tableau V montre que la richesse spécifique totale, c'est-à-dire le nombre total d'espèces végétales identifiées, est plus élevée dans les parcelles ayant subi un incendie (11 espèces) que dans les parcelles témoins non brûlées (7 espèces).

La richesse spécifique est plus élevée dans les parcelles incendiées que dans les parcelles témoins. Cela suggère que l'incendie de 2016 a pu favoriser la diversité des espèces dans la zone d'étude. Le temps écoulé depuis l'incendie (8 ans) pourrait influencer la richesse spécifique. Certains habitats peuvent être en phase de restauration après l'incendie.

La présence d'espèces pionnières comme l'Ampélodesmos de Mauritanie (*Ampelodesmos mauritanicus*) dans certaines parcelles témoigne d'une progression de la succession végétale post-incendie. Cette dynamique indique une adaptation progressive de la végétation à l'environnement modifié par l'incendie.

IV.4.4. Richesse en familles et genres

A/. Richesse globale

La richesse globale fait référence au nombre total de familles et de genres rencontrés lors de l'identification des espèces. Les résultats sont illustrés par un histogramme dans la figure 26.

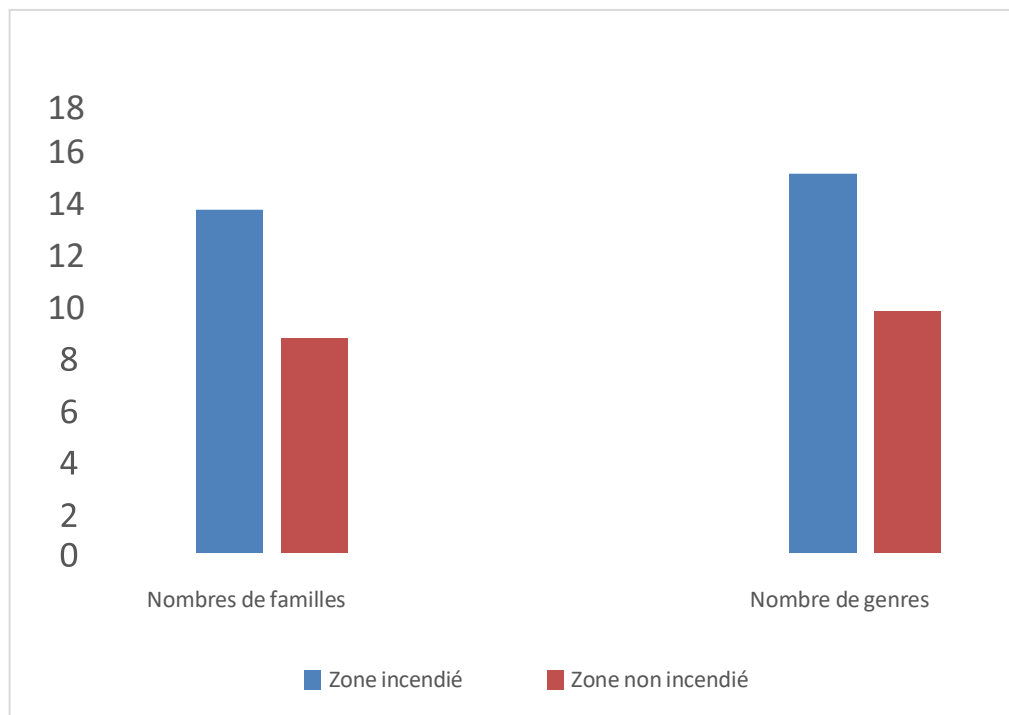


Figure 26 : Histogrammes de la richesse globale en genre et en famille botanique de la zone incendiée et non incendiée de la zone d'étude Fort Lemerrier

L'analyse de la diversité floristique révèle une richesse en familles et genres plus importante dans la zone incendiée (14 familles, 16 genres) que dans la zone non incendiée (8 familles, 9 genres). Cette différence pourrait s'expliquer par l'arrivée d'espèces pionnières, adaptées aux conditions post-incendie, ainsi que par l'arrivée de nouvelles espèces après la perturbation. Cependant, il est important de noter que le nombre de parcelles étudiées est plus élevé dans la zone incendiée (8) que dans la zone non incendiée (2), ce qui peut influencer les résultats.

Après le passage du feu, l'écosystème perturbé entame un nouveau processus de cicatrisation et tente de retrouver un équilibre en initiant une dynamique forestière. La richesse floristique importante observée après l'incendie s'explique par l'ouverture du milieu et l'enrichissement du sol en éléments minéraux (Trabaud et Lepart, 1980; Ne'eman et Izhaki, 1999; Capitanio et Carcaillet, 2008). En effet, le feu entraîne une augmentation des teneurs en phosphore et en potassium dans le sol (Trabaud, 1980), ainsi qu'une accumulation de matières organiques (Tsitsoni, 1997).

Les incendies modifient également la composition du paysage végétal en éliminant certaines espèces et en favorisant l'installation d'espèces pyrophytes opportunistes. Cela crée des conditions de milieu propices à leur régénération, notamment en réduisant la compétition pour les ressources (lumière, nutriments, eau) et l'espace (Trabaud et Lepart, 1980).

Par ailleurs, une étude menée par Ouali et Sekhri (2018) sur la flore du fort Lemercier après un incendie a démontré une remarquable stabilité de la pinède malgré la perturbation. Deux ans après l'incendie, le nombre de familles et de genres observés reste quasiment constant, quelle que soit l'étape de développement de la végétation. Ce constat suggère que le feu n'est pas une force majeure de perturbation, mais plutôt un facteur écologique à impact temporaire.

La stabilité de l'identité floristique de la pinède fort Lemercier est le résultat d'une remarquable capacité de régénération de la végétation méditerranéenne après un incendie. De nombreuses études (Trabaud, 1980 et 1991 ; Arianoutsou, 1998 ; Thanos, 1999 ; Kazanis et Arianoutsou, 1996 ; Bekdouche, 2010 ; Madoui, 2013) confirment ce constat, soulignant que la végétation retrouve progressivement sa richesse et sa diversité, et que cette richesse tend à se stabiliser au-delà de la cinquième année (Trabaud, 1991). Cette diversité floristique post-incendie résulte de l'installation d'espèces appartenant à différents types biologiques, profitant des conditions favorables créées par le passage du feu.

B/ Richesse en famille

Le tableau VI ci-dessous présente le nombre d'espèces recensées par famille dans les zones incendiées et non incendiées. Dans la zone incendiée, la famille la plus riche en espèces est les Oleaceae avec 9 espèces, suivie des Cistaceae avec 8 espèces viennent en suite les deux

familles de *Fagaceae* et *Fabaceae* avec 7 espèces chacune. Dans la zone non incendiée, les familles les plus représentées sont également les *Oleaceae*, *Cistaceae*, *Fagaceae* et *Fabaceae*, mais avec un nombre d'espèces plus faible (2,3,2 et 2 respectivement).

Certaines familles comme les *Malvaceae*, *Anacardiaceae*, *Rutaceae*, *Poaceae* et *Asparagaceae* ne sont présentes que dans la zone incendiée. À l'inverse, la famille des *Pinaceae* compte le même nombre d'espèces (2) dans les deux zones.

Ces résultats suggèrent que l'incendie a favorisé l'installation de certaines familles et espèces pionnières, tout en maintenant la présence de familles caractéristiques de la végétation méditerranéenne comme les *Oleaceae* et *Cistaceae*.

Ce constat est corroboré par d'autres études, notamment celles de **Buhk et al. (2006)** et Keeley & Fotheringham (1999), qui ont également observé ce phénomène de colonisation par des espèces pionnières après un incendie dans des écosystèmes méditerranéens.

Tableau VI : Distribution des différentes espèces inventoriées par famille botanique.

Familles	Nombre d'espèces	
	Zone incendiées	Zone non incendiées
<i>Oleaceae</i>	9	2
<i>Cistaceae</i>	8	3
<i>Malvaceae</i>	1	0
<i>Anacardiaceae</i>	3	0
<i>Fagaceae</i>	7	2
<i>Fabaceae</i>	7	2
<i>Rutaceae</i>	1	0
<i>Poaceae</i>	2	0
<i>Smilacaceae</i>	4	1
<i>Myrtaceae</i>	3	1
<i>Asparagaceae</i>	1	0
<i>Thymelaeaceae</i>	1	0
<i>Ericaceae</i>	2	1
<i>Pinaceae</i>	2	2

C/ Richesse en genres

L'analyse de la richesse en genres des espèces végétales étudiées révèle une diversité intéressante. Plusieurs familles sont représentées par un ou plusieurs genres. La famille des Oleaceae est représentée par 3 genres : *Olea*, *Phillyrea* et *Arisarum*. Le genre *Olea* comprend notamment l'olivier, arbre emblématique du bassin méditerranéen. *Phillyrea* et *Arisarum* sont deux autres genres typiques de cette famille. La famille des Cistaceae compte 2 genres : *Cistus*. Ce genre d'arbustes est bien connu pour son rôle dans la formation des garrigues et maquis méditerranéens. La famille des Fabaceae n'est représentée que par 1 genre : *Calicotome*. Ce genre d'arbustes épineux fait partie des légumineuses méditerranéennes. La famille des Fagaceae compte 1 genre : *Quercus*. Le chêne kermès (*Quercus coccifera*) est une espèce caractéristique des maquis et garrigues. Enfin, la famille des Ericaceae n'est représentée que par 1 genre : *Erica*. Les bruyères font partie intégrante de la végétation méditerranéenne, notamment dans les zones plus humides.

Cette répartition des genres reflète la composition typique de la flore méditerranéenne, dominée par des arbustes et arbrisseaux sclérophylles adaptés aux conditions de sécheresse estivale. La présence de ces différents genres est un bon indicateur de la richesse et de la diversité de l'écosystème étudié. Les mêmes constations ont été formulées par **Madoui (2013)** pour la pinède à *Pinus halepensis*, **Benyahia et Tadjine (2017)** et **Ouali et sekhri (2018)** pour le même pour le site.

Plusieurs études ont observé que, dans les années suivant un incendie, la richesse et la diversité floristique augmentent, avec un rétablissement rapide des espèces herbacées vivaces et annuelles (**Bekdouche, 1997; Kazanis et Arianoutsou, 1996, 2004**).

Tableau VII : Distribution des différents genres inventoriés par famille botanique.

Famille	Nombre de genre	
	Zone incendiées	Zone non incendiées
<i>Oleaceae</i>	2	3
Cistaceae	1	1
<i>Malvaceae</i>	1	0
<i>Anacardiaceae</i>	1	0
<i>Fagaceae</i>	1	1
<i>Fabaceae</i>	1	1
<i>Rutaceae</i>	1	1
<i>Poaceae</i>	1	0
<i>Smilacaceae</i>	1	1
<i>Myrtaceae</i>	1	1
<i>Asparagaceae</i>	1	0
<i>Thymelaeaceae</i>	1	0
<i>Ericaceae</i>	1	1
<i>Pinaceae</i>	1	1

IV.4.5. Abondance relative et fréquence

La figure 27 montre la composition floristique et l'abondance relative des espèces végétales dans la zone étudiée.

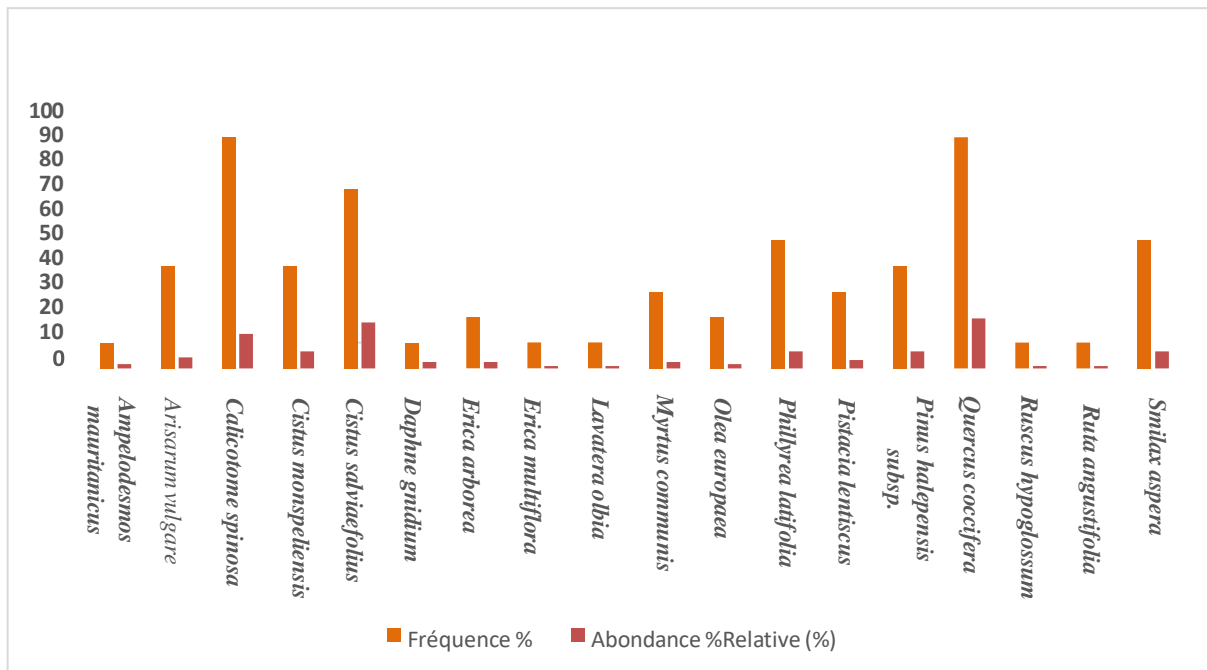


Figure 28 : composition floristique et abondance relative et fréquence des espèces végétales identifier dans les parcelles.

Cette zone est dominée par cinq espèces se distinguent comme constantes, étant largement présentes et abondantes et qui représentent plus de 80% de l'abondance relative. Il s'agit de *Quercus coccifera* (19,49%), *Cistus salviaefolius* (17,80%), *Calicotome spinosa* (13,56%), *Cistus monspeliensis* (6,78%) et *Phillyrea latifolia* (6,78%). Les autres espèces sont présentes de manière plus marginale, avec des abondances relatives inférieures à 5%.

Concernant la fréquence et la présence des espèces, certaines sont très fréquentes, présentes dans 90% des relevés, comme *Quercus coccifera* et *Calicotome spinosa*. D'autres espèces sont plus rares, avec une fréquence de seulement 10 ou 20%, telles qu'*Ampelodesmos mauritanica*, *Daphne gnidium* et *Erica multiflora*. Néanmoins, la plupart des espèces sont présentes dans 30 à 70% des relevés, indiquant une diversité floristique relativement élevée dans la zone.

En termes d'abondance relative, *Quercus coccifera* et *Cistus salviaefolius* sont les espèces les plus abondantes, représentant près de 40% de l'abondance totale. *Calicotome spinosa*, *Cistus monspeliensis* et *Phillyrea latifolia* ont également une abondance relative élevée, comprise entre 6 et 14%. Les autres espèces ont des abondances relatives plus faibles, inférieures à 5%.

Dans l'échantillon étudié, cinq espèces se distinguent comme constantes, étant largement présentes et abondantes : *Calicotome spinosa*, *Quercus coccifera*, *Cistus salviaefolius*, *Phillyrea latifolia* et *Smilax aspera*. Elles dominent la communauté végétale. En revanche, cinq autres espèces sont classées comme accessoires, présentant une fréquence et une abondance significatives mais moindres : *Arisarum vulgare*, *Cistus monspeliensis*, *Pinus halepensis* subsp., *Myrtus communis* et *Pistacia lentiscus*. Enfin, huit espèces sont considérées comme accidentelles, avec une présence dispersée et une faible abondance.

Ainsi, cette zone se caractérise par une végétation dominée par quelques espèces principales, mais avec une diversité floristique relativement élevée. Les résultats indiquent un écosystème méditerranéen typique. Les principales recherches menées en région méditerranéenne se sont intéressées aux stratégies de régénération de ces espèces telles que les Pinacées (**Tapias et al., 2004**), les Cistacées, Fabacées, Ericacées et d'autres espèces communes comme le chêne kermès ou le romarin (**Buhk et al., 2006**).

Conclusion et perspective

Cette étude a permis d'évaluer la capacité de régénération de la végétation dans le fort Lemercier du parc national de Gouraya, huit ans après l'incendie dévastateur de 2016. Les résultats montrent que malgré les dommages importants causés par le feu, la végétation a su démontrer une remarquable résilience et a entamé un processus de récupération progressif.

L'analyse des quadrats de végétation et des données satellitaires NDVI a révélé des variations significatives dans les taux de recouvrement entre les parcelles brûlées et non brûlées. Les parcelles incendiées présentent des taux de recouvrement compris entre 60% et 90%, témoignant d'une régénération avancée. En comparaison, les parcelles témoins non touchées par le feu affichent des taux de recouvrement élevés, entre 90% et 100%, soulignant la capacité naturelle de récupération de la végétation méditerranéenne.

Les images satellitaires NDVI ont permis de suivre l'évolution temporelle de la végétation. Elles montrent une chute drastique des valeurs NDVI immédiatement après l'incendie, suivie d'une tendance de récupération progressive dans toutes les parcelles brûlées. Certaines parcelles, comme la n°5, ont même atteint des valeurs NDVI de 0,9092 en 2024, s'approchant des niveaux pré-incendie.

La topographie, notamment la pente et l'exposition, joue un rôle déterminant dans la dynamique de régénération post-incendie. Les parcelles sur des pentes plus douces (10%) présentent des taux de recouvrement plus élevés (76% à 90%) que celles sur des pentes plus raides (20%), où les taux varient entre 61% et 68%.

Cette étude souligne l'importance de laisser la végétation méditerranéenne se régénérer naturellement après un incendie. Malgré les dommages initiaux, la richesse et la diversité floristique tendent à se stabiliser au-delà de la cinquième année, grâce à l'installation d'espèces appartenant à différents types biologiques.

Ces résultats mettent en évidence la nécessité d'une gestion intégrée des écosystèmes après un incendie, en tenant compte des facteurs topographiques, météorologiques et des caractéristiques des espèces végétales. Des stratégies de gestion adaptées permettraient de favoriser une récupération rapide et durable de la végétation dans les zones affectées par les incendies.

Cette étude démontre la résilience de la végétation méditerranéenne face aux incendies et la capacité de récupération naturelle des écosystèmes, à condition de laisser le temps à la

végétation de se régénérer. Des actions préventives visant à réduire la combustibilité des formations végétales sensibles au feu pourraient également contribuer à leur protection à long terme.

- Bien que cette étude couvre une période de 8 ans après l'incendie, il serait intéressant de poursuivre le suivi de la végétation sur une plus longue durée. Cela permettrait d'évaluer si la stabilisation de la richesse et de la diversité floristique observée se maintient sur le long terme, ou si de nouvelles dynamiques apparaissent.

- En outre, une analyse plus approfondie de la composition floristique des parcelles brûlées et non brûlées permettrait de mieux comprendre les changements de communautés végétales induits par l'incendie. L'identification des espèces pionnières, des espèces menacées et des éventuelles espèces invasives pourrait guider les actions de gestion.

*Références
bibliographique*

- Aiteche T. et Ouarmim S. (2007).** Importance des légumineuses et des cistes au cours des premiers mois après feu, au niveau de différentes communautés végétales de la région de Bejaia. En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en écologie et environnement. Université de Bejaia. 63p.
- Aiteche T. (2015).** Évolution selon le relief de la recolonisation après incendie d'une communauté à *PinusHalepensis* par les cistes et les légumineuses et propositions de restauration contre l'érosion hydrique. Thèse de Magister; Option Ecologie et Environnement. Université de Bejaia. 83p.
- Arianoutsou, M. (1998).** Aspects of demography in post-fire Mediterranean plant communities of Greece. In P. W. Rundel, G. Montenegro, & F. Jaksic (Eds.), *Landscape degradation in Mediterranean-type ecosystems, Ecological studies* (pp. 273-295). Springer Verlag.
- Arianoutsou, M., & Margaris, N. S. (1981).** Early stages of regeneration after fire in a phrygantic ecosystem (east Mediterranean). Regeneration by seed germination. *Biologie Ecol. Méditerr.*, 8, 119-128.
- Altenburg, R. G. M., Den Nijs, J. C. M., & Oostermeijer, J. G. B. (1993).** Post-fire succession in *Quercus suber* L. forests near Argeles, France: an initial study of changes in vegetation and ant species composition. *Fire in Mediterranean Ecosystems. Ecosystem Research Report*, 5, 221-234.
- Baeza, M. J., et al. (2007).** Effects of fire severity on soil chemical properties in Mediterranean pine forests. *Forest Ecology and Management*, 2.
- Bagnouls, F. et Gaussen, H. (1957). Les climats biologiques et leur classification. *Ann. Géogr.* 355,193-220.
- Barrows, J. S. (1951).** Fire Behaviour in Northern Rocky Mountain Forests. Station Paper 29. Missoula, MT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 134 p.
- Baret, F., Clevers, J., & Steven, M. D. (1995).** The robustness of canopy gap fraction estimations from red and near-infrared reflectances: A comparison of approaches. *Remote Sensing of Environment*, 54(2), 141-151.
- Bariou, R., Lecanu, D., & Le Henaff, F. (1985).** Dossiers de télédétection. Tome 1. Réponse spectrale des végétaux. Centre régional de télédétection, Université de Rennes 2-Haute Bretagne, (2),71-73.
- Bekdouche, F. (1997).** Evolution de la végétation et du sol superficiel d'une subéraie après feu : Cas de la forêt de Mizrana (TiziOuzou). Thèse de Magister, Ecologie Végétale, Institut de Biologie, U.M.

TiziOuzou, Algérie. 82 p.

Bensettiti, F., & Abdelkrim, H. (1986). Contribution à l'étude floristique des Parcs nationaux de Taza (Jijel) et de Gouraya (Béjaïa) dans l'Est algérien. Département de Botanique, Laboratoire d'Ecologie Végétale, INA,

Braun-Blanquet J., 1979. *Fitosociologia*. (Révisé par O. Bolos). Ed. Blume, Barcelona

Buhk, C., Götzenberger, L., Wesche, K., Sanchez Gomez, P., & Hensen, I. (2006). Post-fire regeneration in a Mediterranean pine forest with historically low fire frequency. *Acta Oecologica*, 30, 288-298.

Bonnet, V., & Taton, T. (2003). Analyse spatiale et fonctionnelle de la réponse de la végétation après incendie en basse Provence calcaire. *Forêt Méditerranéenne*, 24(4), 385-402.

Casal, M. (1987). Post-fire dynamics of shrubland dominated by Papilionaceae plants. *Ecologia Mediterranea* XIII, 87-98

Centre National d'Etudes et d'Analyses pour la Population et le développement (CNEAP) (2013). Etude d'Actualisation du Zoning du Parc National du Gouraya, Béjaïa (phases : 1, 2, 3, 4, 5), Rapport d'expertise, 274 p.

Caloz, R., Collet, C. (2001). Précis de Télédétection, Volume 3: Traitements Numériques d'images de télédétection. AUF, Presses de l'Université du Québec/AUPELF, 386 p.

Capitani, R., & Carcaillet, C. (2008). Post-fire Mediterranean vegetation dynamics and diversity: A discussion of succession models. *Forest Ecology and Management*, 255(3-4), 431-439.

Chu, H., et al. (2018). Climate influences post-fire plant community succession in a Mediterranean pine forest. *Forest Ecology and Management*, 424, 282-293.

Curt, T., Adra, W., & Borgniet, L. (2009). Fire-driven oak regeneration in French Mediterranean ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 258, 2127-2135.

Détry-Fouque, P. (2006). Le plan de préservation "Risque incendies de forêt" (Pprif) dans des documents d'urbanisme (Module UE 414 – Jean-Pierre Guin, Institut d'Aménagement Régional Université Paul Cézanne Aix-Marseille III), 23 p.

De Luis M., Raventos J., Wiegand T. & Gonzalez-Hidalgo J.C., 2008. Temporal and spatial differentiation in seedling emergence may promote species coexistence in Mediterranean fire-prone

ecosystems. *Ecography*, 31: 620 – 629

Direction Générales des forêts & Parc National de Theniet El Had. (2006). Atlas des Parcs Nationaux Algériens. Parc National de Theniet El Had.

Gill, A. M., et al. (2015). Effects of high-severity fire on soil and water resources in a ponderosa pine ecosystem. *Ecosystems*, 18(2), 293-309.

Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., & Li, Y. (2005). Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A review. *Progress in Physical Geography*, 29, 189-217.

Hanes, T. L. (1971). Succession after fire in the chaparral of southern California. *Ecological Monographs*, 41, 27-51.

Himrane, H., & Yousfi, D. (2017). Cartographie et évaluation de l'état de la population de Buplèvre à feuille de plantain *Bupleurum plantagineum* Desf. Dans le Parc National de Gouraya après l'incendie de l'été 2016 (Nord-est algérien). Université Abderrahmane MIRA-Bejaia.

Keeley, J. E., & Zedler, P. H. (2000). Evolution and ecology of fire-adapted traits in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31(1), 299-326.

Keeley, J. E., Fotheringham, C. J., & Moritz, M. A. (2000). Lessons from the 2003 wildfires in southern California. *Journal of Forestry*, 103(7), 357-362.

Le Houérou, H. N. (1973). Fire and vegetation in the Mediterranean basin. *Tallahassee, Florida Pro. Ann. Tall Timbers ,fire Ecol. Conf.*, 13, 237-277.

Le Houérou, H. N. (1981). Impact of man and his animals on Mediterranean vegetation. In F. Di Castri, D. W. Goodall, & R. L. Specht (Eds.), *Mediterranean-type shrublands* (pp. 479-521). Elsevier.

Lloret, F., & Vilà, M. (1997). Clearing of vegetation in Mediterranean garrigue: response after a wildfire. *Forest Ecology and Management*, 93, 227-234.

Lloret, F., Pausas, J. G. and Vilà, M. (2003). Responses of Mediterranean plant species to different fire frequencies in Garraf Natural Park (Catalonia, Spain): field observations and modelling predictions. *Plant Ecology* 167, 223-235

Meddour-sahar, O., Meddour, R., & Arezki, D. (2008). Analyse des feux de forêts en Algérie sur le temps long (1876-2007). *CIHEAM, N°39*, 6p.

Moreno, J. M., Vásquez, A., & Vélez, R. (1998). Recent history of forest fires in Spain. In J. M.

Moreno (Ed.), *Large forests fires* (pp. 159-185). Backhuys.

Naveh, Z. (1975). The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. *Vegetatio* 29, 199-208

Naveh, Z. (1990). Fire in the Mediterranean - a landscape ecological perspective. In J. G. Goldammer & M. J. Jenkins (Eds.), *Fire in ecosystem dynamics. Mediterranean and northern perspectives* (pp. 1-20). SPB Academic Publishing bv.

Ne'eman, G., & Izhaki, I. (1999). The effect of stand age and microhabitat on soil seed banks in Mediterranean Aleppo pine forests after fire. *Plant Ecology*, 144(1), 115-125.

Trabaud, L. (1974). Experimental study of the effects of prescribed burning on a *Quercus coccifera* L. garrigue. *Annual Tall Timbers Fire Ecology Conference*, 13, 97-129.

Papio, C., & Trabaud, L. (1991). Comparative study of the aerial structure of five shrubs of Mediterranean shrublands. *Forest Science*, 37, 146-159.

Pausas, J. G. and Vallejo, R. (1999). The role of fire in European Mediterranean ecosystems. In Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean basin, Chuvieco, E. ed, pp. 3-16. Springer-Verlag.

Pausas, J. G., Ribeiro, E., & Vallejo, R. (2004). Post-fire regeneration variability of *Pinus halepensis* in the eastern Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management*, 203, 251-259.

Pausas, J. G., & Verdu, M. (2005). Plant persistence traits in fire-prone ecosystems of Mediterranean basin: A phylogenetic approach. *Oikos*, 109, 196-202.

Pettorelli, N., Vik, J. O., Myrnerud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology*, 20(9), 503-510.

Piñol, J., Terradas, J., & Lloret, F. (1998). Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change*, 38, 345-357.

Quézel, P. (1980). L'homme et la dégradation récente des forêts au Maghreb et au proche orient. *Naturalia Monspeliensia*, Hors Série, 147-152.

Quézel, P. (1986). Les pins du groupe "Halepensis". Ecologie, végétation, écophysiologie. Le pin

d'Alep et le pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne. Paris: CIHEAM. *Options Méditerranéennes*, Hors Série, I, 11-23.

Quézel, P., & Médail, F. (2003). *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Paris: Elsevier.

Rebbas, K. (2014). Développement durable au sein des aires protégées algériennes, cas du Parc National de Gouraya et des sites d'intérêt biologique et écologique de la région de Béjaïa (Thèse de doctorat). Université de Béjaïa, Algérie.

Rebbas, M. (2002). Parc national de Gouraya : potentialités touristiques et aménagement du territoire (Thèse de doctorat). Université de Béjaïa, Algérie.

Robin, M. (2002). Télédétection – Des satellites aux SIG. Édition Nathan université, 2ème édition, Paris, 318 p.

Seltzer, P. (1946). Le climat de l'Algérie. IMPG Univ. d'Alger, Carbonel, Alger.

Soshnay, M., Kutiel, P., & Lavee, H. (1995). Monitoring temporal vegetation cover changes in Mediterranean and arid ecosystems using a remote sensing technique: Case study of the Judean Mountain and the Judean desert. *Journal of Arid Environments*, 33, 9-21.

Stewart, P. (1969). *Sylviculture*. Inst. Nat. Agro, EL Harrach.

Trabaud, L. (1974). Apport des études écologiques dans la lutte contre le feu. *Rev. For. Fr., n°sp.*, 264p.

Trabaud, L. (1980). Diversity and stability in garrigue ecosystems after fire. *Vegetatio*, 43, 49-57.

Trabaud, L. (1980). Tentative d'analyse logique des recherches sur les feux de végétation entreprises au département d'écologie générale du C.E.P.E. Louis Emberger. *Forêt Méditerranéenne II*, 45-52.

Trabaud, L. (1983). Evolution après incendie de la structure de quelques phytocénoses méditerranéennes du Bas-Languedoc (sud de la France). *Ann. Sci. for.*, 40, 177-196.

Trabaud, L. (1991). Fire regimes and phytomass growth dynamics in a *Quercus coccifera* garrigue. *Journal of Vegetation Science*, 2, 307-314.

Trabaud, L. (2004). La réponse de la végétation aux incendies. In L. E. d. l'Euzière (Ed.), *Le feu dans la nature. Mythes et réalité*, pp. 51-70.

- Trabaud, L. (1980).** Tentative d'analyse logique des recherches sur les feux de végétation entreprises au département d'écologie générale du C.E.P.E. Louis Emberger. *Forêt Méditerranéenne* II, 45-52
- Trabaud, L. (1989).** Les feux de forêts. Mécanismes, comportement et environnement, Aubervilliers.
- Trabaud, L. (1996).** Réponses du chêne vert et du chêne blanc à l'action du feu. *Forêt Méditerranéenne* XVII, 243-25
- Tsitsoni, T. (1997).** Conditions determining natural regeneration after wildfires in the *Pinus halepensis* (Miller, 1768) forests of Kassandra Peninsula (North Greece). *For. Ecol. Manage.*,92(1-3), 199-208.
- Vazquez, A & Moreno, J. M., (2001).** Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos (Central Spain). *Forest Ecology and Management*, 147, 55-65.
- Veille, J.-F., (2004).** Régénération et sylviculture des subéraies incendiées. *Forêt Méditerranéenne*,XXV, 357-362.
- Velez, R. (1999).** Protection contre les incendies de forêt : principes et méthodes d'action. Centre international des hautes études agronomiques méditerranéennes, 118p
- Vazquez, A. & Moreno, J. M., (2001).** Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos (Central Spain). *Forest Ecology and Management* 147, 55-65.

Annexes 1

Tableau I : Valeurs moyennes mensuelles des températures de la station météorologique de Bejaïa (1978-2023)

Paramètre	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Octo	Nove	Déc
M(C°)	16.55	16.94	18.68	20.42	22.97	26.51	29.70	30.32	28.30	25.53	20.86	17.79
m(C°)	7.38	7.63	9.06	10.95	13.94	17.67	20.54	21.27	19.23	15.89	11.76	8.75
M+m/2(C°)	11.96	12.28	13.87	15.68	18.45	22.09	25.12	25.79	23.76	20.71	16.31	13.27

M : moyen mensuelle des températures maximal

m : moyen mensuelle des températures minimales

M+m/2 : moyens annuelle des températures

Tableau II: Valeurs moyennes mensuelles des températures zone d'étude (1978-2023)

Paramètre	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Octo	Nove	Déc
M(C°)	14.31	14.70	16.44	18.18	20.73	24.27	27.46	28.08	26.06	23.29	18.62	15.55
m(C°)	6.10	6.35	7.78	9.67	12.66	16.39	19.26	19.99	17.95	14.61	10.48	7.47
M+m/2(C°)	10.20	10.52	12.11	13.92	16.69	20.33	23.36	24.03	22.00	18.95	14.55	11.51

M : moyen mensuelle des températures maximal

m : moyen mensuelle des températures minimales

M+m/2 : moyens annuelle des températures

Annexes 2

Tableau III: Valeurs moyennes mensuelles des précipitations (mm) pour la station de Bejaia et la station d'étude pour la période (1970-2023).

Paramètres mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avri.	Mai.	Juin.	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Total.
P(mm) Bejaia	108.43	87.83	87.17	67.59	42.94	15.87	5.70	10.13	52.26	75.02	102.82	118.28	774.05
P(mm) Fort Lemercier	126.32	102.32	101.55	78.74	50.02	18.48	6.64	11.80	60.88	87.39	119.78	137.79	902.05

Tableau IV : Valeurs du quotient pluviothermique d'Emberger pour Bejaia et notre station d'étude (Fort Lemercier)

Paramètres	P (mm)	M (k°)	m (k°)	m(c°)	quotient
Bejaia	774.05	303.47	280.53	7.38	112,69
Fort lemercier	902.05	301.23	279.25	06.10	135,49

Annexes 3

Tableau V : fréquence et abondance relative des espèces végétales présentes dans notre zone étude Fort Lemerrier

Espèces	Nb individus	Présence	Fréquence %	Abondance Relative (%)
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	2	1	10	1.69
<i>Arisarum vulgare</i>	5	4	40	4.24
<i>Calicotome spinosa</i>	16	9	90	13.56
<i>Cistus monspeliensis</i>	8	4	40	6.78
<i>Cistus salviaefolius</i>	21	7	70	17.80
<i>Daphne gnidium</i>	3	1	10	2.54
<i>Erica arborea</i>	3	2	20	2.54
<i>Erica multiflora</i>	1	1	10	0.85
<i>Lavatera olbia</i>	1	1	10	0.85
<i>Myrtus communis</i>	3	3	30	2.54
<i>Olea europaea</i>	2	2	20	1.69
<i>Phillyrea latifolia</i>	8	5	50	6.78
<i>Pistacia lentiscus</i>	4	3	30	3.39
<i>Pinus halepensis subsp.</i>	8	4	40	6.78
<i>Quercus coccifera</i>	23	9	90	19.49
<i>Ruscus hypoglossum</i>	1	1	10	0.85
<i>Ruta angustifolia</i>	1	1	10	0.85
<i>Smilax aspera</i>	8	5	50	6.78

Étude du Taux de Recouvrement Végétal après l'incendie de 2016 dans le Parc National de Gouraya à Bejaia _Fort Lemerrier

Résumé

L'étude menée sur le fort Lemerrier a révélé la capacité remarquable de la végétation méditerranéenne à se régénérer après un incendie majeur. Nous avons utilisé une combinaison de relevés de terrain, avec des quadrats carrés de 1m², et l'indice de végétation NDVI. Cela leur a permis d'estimer les taux de recouvrement végétal, ainsi que d'évaluer la richesse et la diversité floristique de la zone. Huit ans après l'incendie de 2016, la végétation a montré une résilience, avec des taux de recouvrement significatifs, atteignant 60% à 90% dans les zones brûlées, contre 90% à 100% dans les zones non brûlées. Les données satellitaires Sentinel-2 et l'indice NDVI montrent une récupération progressive de la végétation après une baisse initiale. La richesse et la diversité floristique se sont stabilisées suggérant un retour progressif vers l'état initial. Cette étude souligne l'importance de laisser la nature se régénérer et met en avant la nécessité d'une gestion intégrée des écosystèmes pour maximiser leur résilience face aux incendies.

Mots clé: Fort Lemerrier, Incendie, Végétation, Taux de recouvrement, relevé floristique.

Summary

The study conducted on Fort Lemerrier revealed the remarkable ability of Mediterranean vegetation to regenerate after a major fire. We used a combination of field surveys with 1m² square quadrats and the NDVI vegetation index. This allowed us to estimate vegetation cover rates and evaluate the richness and diversity of flora in the area. Eight years after the 2016 fire, the vegetation demonstrated resilience, with significant cover rates reaching 60% to 90% in burned areas, compared to 90% to 100% in unburned areas. Sentinel-2 satellite data and the NDVI index show a gradual recovery of vegetation following an initial decline. The richness and diversity of flora have stabilized, suggesting a gradual return to the initial state. This study highlights the importance of allowing nature to regenerate and emphasizes the need for integrated ecosystem management to maximize resilience to fires.

Key words: Fort Lemerrier, Fire, Vegetation, Cover Rate, Floristic Survey.

ملخص

كشفت الدراسة التي أجريت على حصن لوميرسييه عن قدرة نباتات البحر الأبيض المتوسط الملحوظة على التجدد بعد نشوب حريق مكثف من NDVI متر مربع، ومؤشر الغطاء النباتي 1 استخدمنا مزيجاً من المسوحات الميدانية، مع استخدام مربعات مربعة بمساحة كبيرة. أظهر الغطاء النباتي مرونة في 2016 بعد ثماني سنوات من حريق عام. تقدير معدلات الغطاء النباتي وتقييم ثراء وتنوع النباتات في المنطقة. في المناطق غير المحترقة 100% إلى 90% في المناطق المحترقة، مقارنةً بـ 90% إلى 60% التكيف مع معدلات غطاء نباتي كبيرة تصل إلى استقرار الثراء والتنوع النباتي،. انتعاشاً تدريجياً في الغطاء النباتي بعد تراجع أولي NDVI ومؤشر Sentinel-2 تُظهر بيانات الأقمار الصناعية تؤكد هذه الدراسة على أهمية السماح للطبيعة بالتجدد وتسلط الضوء على الحاجة إلى الإدارة. مما يشير إلى العودة التدريجية إلى الحالة الأولية المتكاملة للنظم الإيكولوجية لزيادة قدرتها على التكيف مع الحرائق.

الكلمات المفتاحية: فورث لوميرسييه، الحريق، الغطاء النباتي، معدل التعافي، مسح الأزهار