



N° Ref :.....

Centre Universitaire

Abdel Hafid Boussouf Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire préparé En vue de l'obtention du diplôme de Master

En: - Domaine : Science de la nature et de la vie

- Filière : Ecologie et environnement

- Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Thème

**Apport des SIG pour la cartographie du
risque d'incendie de la forêt domaniale
de Mouia (wilaya de Mila)**

Préparé par:

 **Bouretaa Souad**
 **Brika Kenza**

Soutenue devant le jury:

- Président: Bouzegag Abd El aziz
- Examineur: Semara Lounis
- Promoteur: Laala Ahmed

Grade : MCB Centre Universitaire de Mila
Grade : MCB Centre Universitaire de Mila
Grade : MCB Centre Universitaire de Mila

Année universitaire : 2018/2019

Remerciement

*Au terme de cette étude, nous remercions avant tout **Dieu le Tout Puissant**, qui nous a donné la force, la foi, le courage, la volonté et de nous avoir guidé pour l'accomplissement de ce modeste travail.*

Les travaux synthétisés dans ce document n'auraient jamais existé sans le concours de nombreuses personnes. C'est donc avec un grand plaisir que nous tiens à exprimer notre sincère reconnaissance à tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont contribué aux résultats présentés dans ce mémoire.

*En premier lieu, c'est à notre encadreur **Mr Laala Ahmed**, nous exprimons notre profonde gratitude et respect, pour son soutien et l'aide, pour ses bons conseils, sa gentillesse et pour ses appréciations sur ce travail et surtout le temps qu'il nous a consacré. Sa disponibilité durant toutes les étapes de ce travail, ses remarques pertinentes et ses suggestions ont sans cesse permis l'amélioration de la qualité de ce mémoire. Merci.*

*Nous exprimons nos vifs remerciements à **Mr Bouzegag Abd El aziz**, d'avoir accepté de juger ce travail et d'en présider le jury. Nous tenons particulièrement à lui exprimer notre grande reconnaissance pour sa disponibilité et sa grande sympathie.*

*Nous adressons nos profonds remerciements à **Mr Semara Lounis**, pour avoir accepté d'examiner ce travail, ses critiques et suggestions nous seront utiles.*

Nous adressons nos sincères remerciements à l'équipe de la direction des forêts de Mila en particulier le chef du service d'incendie " Manel " et de la circonscription de Grarem-Gouga notamment (Mr Boulaid, Namous Saad, Chahra, Zahia, Mkoureb Abd Malak), la station météorologique de Ain tine, sur les grands efforts qu'ils ont déployés pour nous aider. Malgré un stress permanent du au rythme de travail frénétique, nous gardons pour ces équipes une profonde admiration.

Nous remercions aussi à notre famille et nos amis. Leurs présences et leurs encouragements sont pour nous les piliers fondateurs de ce que nous faisons dans notre vie.

A tous, nous disons Merci.

Kenza et Souad

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à toutes les
personnes que j'aime et en particulier :*

*A mes parents pour avoir toujours cru en moi et m'avoir toujours
soutenue malgré l'adversité, pour toutes les souffrances qu'ils ont
endurées pour nous assurer une bonne éducation et nous permettre
une vie décente.*

*A ma chère fiancée Salah, qui n'a jamais cessé de m'encourager et
de toujours me soutenir dans les circonstances les plus difficiles
pour accomplir ce travail.*

*A mes chers frères : Hicham et sa femme Leila, Adel, Mohamed,
Salim.*

*A ma chère sœur Souria, son mari et ses enfants : Naziha, Wassim,
Inssef.*

A toute la famille Brika et Ain Djeneb.

*A mes meilleurs amis et particulièrement : Safa, Souad, Mariem,
Sabah, Djihad, Abla, Ibtissem, Assia, Amira, Sara, Mimi.*

A mes camarades de la promotion 2018/2019.

A tous mes enseignants.

A Toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin.

Brika Kenza

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes que j'aime
et en particulier :*

*A mes très chers parents que je ne pourrais être jamais
reconnaissant envers leurs dévouements.*

*A mes frères : Boualam, Farhat, Badis et ses enfants :
Lejain, Arwa, Yahya, Manel, Mouatez et malak.*

*A mes sœurs : Loubna, Hanan, khadidja, Basma et Mounia
et ses enfants : Riham, Rawan, Rahim, Ishak et Yaakoub.*

A mon futur mari Riad

A toute ma famille.

*A tous mes amis surtout : Kenza, Safa, khawla, Djihad,
Sabah, Mariem.*

A toute la promotion 2018-2019

A tous mes enseignants

A tous qui m'aime

Bouretaa Souad

N°	Titre	Page
01	Le triangle du feu.	5
02	Les types de feux de forêts.	7
03	Feux profonds sans flammes.	7
04	Feu de surface.	8
05	Les feux de cimes.	9
06	Les feux de braise.	9
07	Les parties d'un feu.	10
08	Les différentes formes du feu.	11
09	Schématisation des facteurs de prédisposition aux incendies.	13
10	Effet mécanique de la pente sur le comportement du feu.	16
11	Courbes de température en fonction de l'exposition des pentes.	17
12	Les surfaces parcourues par le feu en Algérie, période 1963-2013.	22
13	Répartition des incendies suivant les formations végétales période (1985-2010).	23
14	Les surfaces incendiées selon les essences forestières période (1985-2010).	23
15	Les surfaces incendiées par wilaya, période 1986-2005.	24
16	Localisation géographique de la zone d'étude.	25

17	Pluviométrie mensuelle moyenne (en mm) dans la wilaya de Mila au cours de la période (2009-2018).	27
18	Température mensuelle (moyenne, maximales et minimales) de la wilaya de Mila (période 2009-2018).	28
19	Variations mensuelle de l’humidité moyenne (en%) (période 2009-2018).	28
20	Répartition des superficies incendiées (en %) selon les formations végétales (période 1999-2018).	31
21	Variation annuelles du nombre de foyers (A) et de la superficie brûlée (B) dans la forêt de Mouia au cours de la période (1999-2018)	32
22	Répartition des foyers d'incendies dans la forêt de Mouia par tranches horaires période (1999-2018).	33
23	Carte topographie de la forêt domaniale de Mouia.	34
24	GPS de type GARMIN.	35
25	Géoréférencent de la Carte topographique de la forêt de Mouia sous ArcGis 10.1.	38
26	Vectorisation des routes et des habitations du massif de Mouia sous Google Earth.	38
27	Principe de la Classification supervisée.	39
28	Localisation géographique des zones tests sous le logiciel ENVI 4.7	40
29	Schéma illustre la méthodologie suivie pour le calcul de l’indice de risque du feu (IR).	42
30	Carte des pentes du massif de Mouia.	43

31	Répartition des superficies forestières (en %) par classes des pentes.	44
32	Carte d'expositions de la forêt de Mouia.	44
33	Superficie forestière (en %) par classe d'exposition.	45
34	Carte des classes de risque liée aux réseaux routiers.	46
35	Superficie forestière (en %) par classe de distance aux routes.	46
36	Carte des classes de risque liée à l'habitat.	47
37	Superficies forestières (en%) par classe de distance aux habitations.	48
38	Carte d'occupation du sol de la forêt domaniale de Mouia.	49
39	Répartition des différents types d'occupation du sol de la forêt de Mouia.	50
40	La carte de risque liée aux espèces.	50
41	Carte de risque de feu de la forêt de Mouia.	51
42	Superficies forestières par classe d'indice de risque du feu.	52
Photo 01: Massif du chêne zéen.		29
Photo 02: Massif forestier dense du chêne liège.		29

N°	Titre	Page
01	degrés d'inflammabilité par espèce.	4
02	Influence du taux d'humidité sur l'inflammabilité.	15
03	Différents origines des incendies.	19
04	Principales essences des forêts algériennes 2007.	20
05	Les superficies parcourues par les feux en Algérie pendant la période coloniale durant période (1876-1962).	21
06	Variations mensuelle de la vitesse du vent de la wilaya de Mila (Station météorologique de Mila, période 2009- 2018).	29
07	Répartition des incendies dans la forêt de Mouia suivant les fréquences horaire et mensuelles au cours de la période (1999-2018).	32
08	Caractéristique de l'image satellitaire Landsat 8.	36
09	Valeurs de l'indice de séparabilité.	48

FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
BNEF	Bureau National des Etudes Forestières.
CCT	Centre Canadien de Télédétection.
TPF	Tranché Pare feu.
DFCI	Défense des Forêts Contre l'Incendie.
DPI	Dots per Inch.
DGF	direction générale des forêts.
Landsat	Land Satellite.
USGS	United State Geological survey.
ENVI	Environnement for Visualing Images.
GPS	Global Positioning System.
MNT	Modèle Numérique de Terrain.
IR	Infrarouge.
UTM	Universal Transverse Mercator.
ETM+	Enhanced Thematic Mapper plus.
SIG	Système d'Information Géographique.
IR	Indice de Risque.
Um	Micromètre.

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction .	1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Définitions .	3
1.1. Pyrologie forestière ..	3
1.2. Le feu..	3
1.3. L'incendie..	3
1.4. L'inflammabilité	3
1.5. La combustibilité.	5
2. La naissance du feu	5
2.1. Le triangle du feu ..	5
2.1.1. Comburant ..	5
2.1.2. Combustible ..	6
2.1.3. La chaleur....	6
3. Les différents types de feu	6
3.1. Les feux de sol.....	7
3.2. Les feux de surface.....	8
3.3. Les feux de cime	8
3.4. Les feux de braises	9
4. Formes et parties d'un feu de forêt.....	9

4.1. Les parties d'un feu ..	10
4.2. Formes des feux de forêts ...	11
5. Les facteurs de prédispositions aux incendies de forêts.....	11
5.1. Le type de végétation et le climat.....	12
5.2. L'occupation du territoire..	12
6. Facteurs influençant la propagation des incendies de forêts.....	13
6.1. Les combustibles .	13
6.1.1. Teneur en eau.....	13
6.1.2. Composition chimique	14
6.2. Les facteurs atmosphériques	14
6.2.1. Les précipitations...	14
6.2.2. L'humidité relative	14
6.2.3. Le vent	15
6.2.4. La température	15
6.3. Les facteurs topographiques	16
6.3.1. L'inclinaison de la pente	16
6.3.2. Exposition des pentes.....	16
6.3.3. Elévation du terrain...	17
7. Les causes des incendies...	17
7.1. Causes naturelles.....	17
7.2. Causes humaines.....	18
7.2.1. Les causes humaines involontaires	18
7.2.2. Les causes humaines volontaires.....	18
8.Situation de secteur des forêts en Algérie	19
8.1. Statistiques sur les feux de forêts en Algérie.....	20
8.1.1. Pendant la période coloniale (1876-1962).....	20

8.1.2. Pendant l'indépendante (Période 1963-2013).....	21
8.1.3. Répartition des incendies suivant les formations végétales (période 1985-2010).....	22
8.1.4. Les surfaces incendiées selon les essences forestières (période 1985-2010).....	23
8.1.5. Les surfaces incendiées par wilaya (période 1986-2005).....	24

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & Matériel et méthodes

1. Présentation de la forêt domaniale de Mouia	25
1.1. Localisation géographique	25
1.2. Milieu abiotique... ..	25
1.2.1. Relief et hydrographie.....	25
1.2.2. Formation géologique	26
1.2.3. Pédologie	26
1.2.4. Le climat	26
1.3. Milieu biotique... ..	29
1.3.1. La flore... ..	29
1.3.2. La faune.....	30
1.4. Bilans d'incendie de la forêt de Mouia au cours de la période (1999-2018)	30
1.4. 1. Les formations végétales incendiées dans la forêt de Mouia (période 1999-2018) . . .	30
1.4.2. La superficie parcourue par le feu et le nombre des foyers.....	31
1.4.3. Les incendies dans la forêt de Mouia suivant les tranches horaires et mensuelles... ..	32
2. Matériel et méthodes... ..	34
2 .1. Matériel.....	34
2.1.1. Matériels utilisés sur le terrain	34
2.1.2. Matériels utilisés dans le bureau... ..	35
2.2. Méthodes... ..	37
2.2.1. Scannérisation... ..	37

2.2.2. Géoréférencement...	37
2.2.3. Vectorisation ...	38
2.2.4. Cartographie de la forêt Mouia par la classification de l'image satellitaire	39
2.2.4.1. Prétraitement	39
2.2.4.2. La classification.....	39
2.2.5. Méthode de Cartographie du risque d'incendie....	41

Chapitre III : Résultats et Discussion

1. Caractéristiques topographiques du massif forestier de Mouia...	43
1.1. La Pente.....	43
1.2. L'exposition	44
1.3. Les routes... ..	45
1.4. Les habitations....	47
2. Cartographie de la forêt de Mouia par la classification supervisée .	48
2.1. Estimation de l'indice de séparabilité	48
2.2. Les classes d'occupation du sol de la forêt de Mouia....	49
3. Cartographie de l'indice de risque de feu (IR).	51
Conclusion.....	53

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Introduction

La forêt est longtemps considérée comme le poumon avec lequel la terre respire, elle est un pilier indispensable sur lequel la nature se repose tant qu'elle dispose de plusieurs fonctions bénéfiques à la terre, à l'homme, à la faune, à la flore,...en bref à l'existence (Lemee, 1978 ; Kalasia, 1987).

Parmi les facteurs qui menacent les forêts dans le monde méditerranéen, le feu est le plus redoutable par les pertes et les conséquences qu'il entraîne, aussi bien sur l'environnement que sur l'économie du pays. Il a été reconnu, depuis longtemps, comme le plus spectaculaire et le plus grave facteur par son intensité et sa brutalité, par l'ampleur des surfaces parcourues dans le moindre temps et par l'importance des dommages causés (Boudy, 1952).

En forêt méditerranéenne, les conditions de prédispositions aux incendies ne sont pas constantes dans le temps. Elles évoluent, par exemple, en fonction de l'état de la végétation qui est le résultat à la fois de sa dynamique naturelle, de la sylviculture qui est appliquée et des passages éventuels du feu (Jappiot *et al.*, 2002).

Les incendies de forêt et des espaces naturelles constituent le désastre le plus dangereux, les conséquences sur le milieu naturel sont beaucoup plus graves, puisqu'elles aboutissent à des pertes forestières immédiates. En Afrique, le taux annuel de dégradation des forêts avoisine les 50% du taux annuel de déforestation (Lambin *et al.*, 2003). En Algérie, les gestionnaires forestiers sont confrontés à une tendance générale d'augmentation des superficies brûlées et de la gravité des incendies. Les statistiques montrent qu'entre 1962 et 2012, environ 1.7 million ha de forêts, maquis et broussailles ont été incendiés, soit une moyenne de 30000 ha chaque année (DGF, 2012).

L'importance de la gestion des incendies augmente à mesure que les forêts, les terres boisées et les herbages subissent des pressions croissantes pour les produits et les loisirs qu'ils offrent. Cette richesse naturelle dont l'équilibre fragile qui, une fois rompu, demande d'énormes moyens pour son rétablissement. La forêt algérienne, actuellement fragile, a besoin d'être protégée car la déforestation ne cesse de s'accroître en raison des incendies de forêts répétés (Arfa, 2008).

Les méthodes classiques généralement utilisées en Algérie pour la prévention et la lutte contre les incendies, demandent du temps et ne sont pas toujours fiables au vu de la complexité et de la diversité des écosystèmes forestiers. Des travaux dans ce domaine reposant sur des techniques modernes d'observation et d'analyse de l'espace (télédétection et Système

d'Information Géographique), ont montré leur efficacité et leur rapidité en matière d'élaboration de cartes d'évaluation du risque d'incendies en zone forestière grâce à l'analyse thématique des causes d'incendies.

Pour contribuer à l'introduction du Système d'Informations Géographique (SIG) à la prévention et la lutte contre les incendies, nous avons essayé de réaliser une étude cartographique du risque d'incendie de la forêt de Mouia (wilaya de Mila). Les cartes issues de cette études constitueront un outil utile pour les forestiers qui leurs aident à mieux cibler les parcelles forestières les plus vulnérables aux risque du feu.

Notre travail se structure en trois chapitres:

- ✓ Le premier chapitre est une synthèse bibliographique, nous présentons des généralités sur les incendies et l'histoire des feux des forêts en Algérie ;
- ✓ Le deuxième chapitre présente notre zone d'étude, le matériels utilisés et la méthodologie suivie pour réaliser cette étude ;
- ✓ Le troisième chapitre illustre les résultats obtenus;

Enfin, nous terminerons notre étude par une conclusion.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

1. Définitions

1.1. Pyrologie forestière

La pyrologie forestière constitue une science dont l'objet principal est l'étude des feux de forêts et de leurs propriétés. Elle explique, le phénomène de la combustion, décrit les caractéristiques propres aux incendies de forêts et étudie les facteurs qui influencent leur origine et leur développement (Trabaud, 1979).

1.2. Le feu

Le feu est défini comme étant un dégagement simultané de chaleur, de lumière et de la flamme produite par la combustion vive dans certains corps (bois, charbon...) (FAO, 1986).

1.3. L'incendie

Plusieurs définitions ont été proposées pour définir l'incendie de forêt et parmi elles, celle de Trabaud (1992), qui définit l'incendie comme « une combustion qui se développe sans contrôle dans l'espace et dans le temps. L'incendie de forêt s'alimente de tous les combustibles possibles et ainsi se propage jusqu'à l'épuisement de ceux-ci »

Ils se déclenchent dans des zones de végétation arborée, arbustive et herbacée qui se propagent sur au moins un hectare pour être considérés en tant que tels.

1.4. L'inflammabilité

Plusieurs définitions ont été apportées à l'inflammabilité. Ces définitions ne recouvrent pas toujours les mêmes concepts.

Anderson (1965) a défini l'inflammabilité d'un combustible comme l'ensemble de trois phénomènes :

- L'ignition correspond au délai d'inflammation.
- La rémanence est un concept proche de celui de la persistance de la flamme.
- La combustibilité correspond à la rapidité avec laquelle brûle un feu.

Metro (1975) dans sa terminologie forestière multilingue définit l'inflammabilité comme la facilité et la rapidité avec laquelle des combustibles s'enflamment et brûlent indépendamment de leur qualité.

Selon Delabraz et Valette (1974), l'inflammabilité est la facilité avec laquelle un végétal s'enflamme après une exposition à un rayonnement calorifique constant.

Trabaud (1976), considère l'inflammabilité comme la propriété à s'enflammer que possède un végétal, dès qu'une source de chaleur entre en contact avec lui.

Tableau 01 : Degrés d'inflammabilité par espèce (I.N.R.A in Cemagref 1989)

Degrés d'inflammabilité	Espèces
Forte	Bruyère à balais Bruyère arborescente Callune Chêne liège Ajonc épineux Cheney vert Pin d'Alep Spartier Thym
Assez forte	Pin maritime Chêne blanc Buis Buplèvre ligneux Genévrier de Phénicie
Modérée	Ciste de Montpellier Chêne triflore Chêne kermès Genévrier oxycèdre Romarin
Faible	Arbousier Cèdre Sapin de Céphalonie

1.5. La combustibilité

Delabraze et Valette (1974) définissent la combustibilité comme étant la plus ou moins grande facilité avec laquelle un végétal brûle en dégageant une énergie suffisante pour se consumer et entraîner l'inflammation des végétaux voisins. Trabaud (1976), considère la combustibilité comme la manière dont brûlent les végétaux une fois qu'ils sont enflammés.

2. La naissance du feu

2.1. Le triangle du feu

Pour qu'un incendie se déclare, il faut simultanément du combustible, du comburant et une source d'énergie ou de chaleur. C'est ce que l'on appelle « triangle du feu ».

L'absence d'un des trois éléments de ce triangle empêche le déclenchement de la combustion : c'est le principe fondamental à connaître en matière de lutte contre l'incendie.

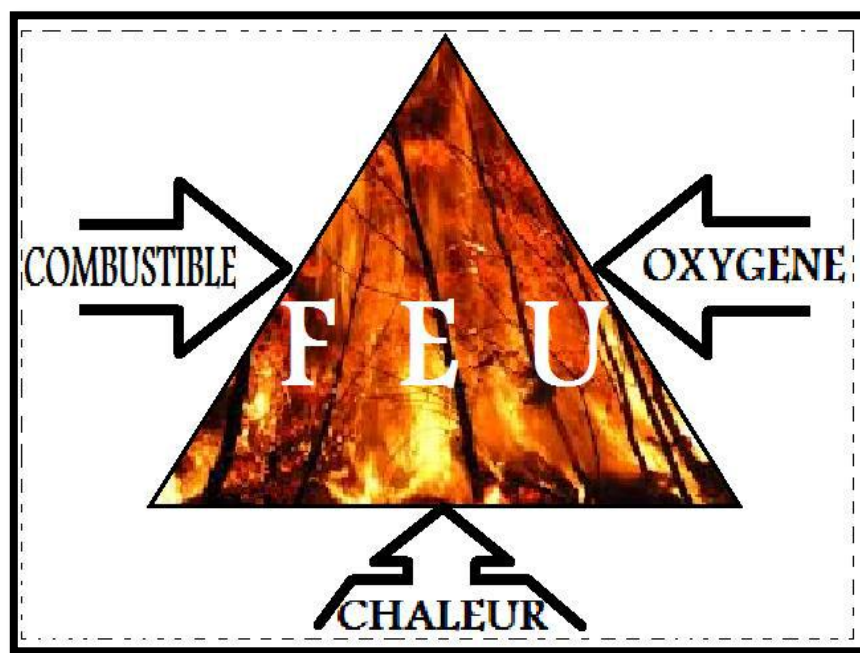


Fig.01 : Le triangle du feu (Ramade, 1997)

2.1.1. Comburant

Un comburant est le corps qui provoque et entretient la combustion du combustible ; le plus souvent, le comburant est constitué par l'oxygène présent dans l'air ambiant ; la réaction de combustion est alors une oxydation (Carbonnell *et al.*, 2004); mais il existe de multiples autres comburants (halogènes, soufre, phosphore) ; si l'oxygène est le comburant, sa concentration

diminue très rapidement dans l'atmosphère (par phénomène de consommation oxydative) et expose des victimes au risque asphyxique.

2.1.2. Combustible

Toute substance susceptible de brûler, c'est-à-dire pouvant être partiellement ou totalement détruite par le feu, est considérée comme combustible. Les solides et les liquides ne brûlent pas en tant que tels. Ce sont les gaz et les vapeurs qu'ils émettent qui brûlent. L'aptitude d'un combustible à s'enflammer et à entrer en combustion dépend de la teneur en eau, de la température du combustible mais aussi de son type et de sa densité (Carbonnell *et al.*, 2004 ; Ammari, 2011).

2.1.3. La chaleur

C'est la quantité d'énergie requise pour porter la température du combustible à son point d'inflammation. Cette température est appelée « point d'inflammation », elle est située entre 400 et 425 °C (Rebai, 1983). Avec les combustibles forestiers, un apport extérieur de chaleur n'est nécessaire que pour amorcer le phénomène de combustion, une fois les matériaux en inflammation, on observe un grand dégagement de chaleur et une forte température qui peut atteindre jusqu'à 1250°C, température enregistrée à un mètre du sol (Trabaud, 1979).

3. Les différents types de feu

Selon Margerit (1998), une fois éclos, un feu peut prendre différentes formes, chacune étant conditionnée par les caractéristiques de la végétation et les conditions climatiques dans lesquelles il se développe. Les feux de forêts peuvent être de trois types :

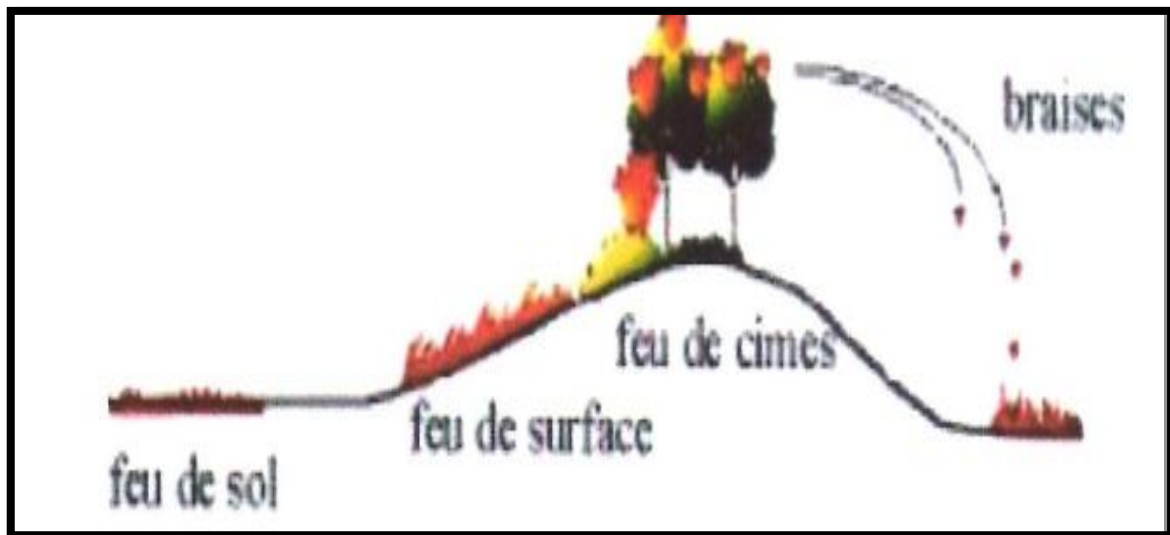


Fig.02 : Les types de feux de forêts (Margerit, 1998)

3.1. Les feux de sol (profond)

Ce sont des feux qui brûlent sous la surface du sol, le combustible qui l'alimente est composé de matière organique partiellement décomposées. Ces feux se propagent lentement, en raison du manque d'oxygène. Leur présence est difficile à détecter, car même s'ils dégagent beaucoup de chaleur, ils diffusent en général que très peu de fumée.

Les couches profondes de combustible sont aussi trouvées dans les forêts qui n'ont pas été soumises aux feux pendant des décennies, avec des grandes accumulations près des bases des arbres (Merdas, 2007).



Fig.03 : Feux profonds sans flammes (Merdas, 2007)

3.2. Les feux de surface

Dit aussi feux courants, se propagent dans les sous-bois des forêts, ils brûlent l'herbe et les broussailles. Ils peuvent être de faible, de moyenne ou de forte intensité selon la quantité de combustible disponible. Ils peuvent avoir comme origine un feu de sol ou se terminer en un feu de sol susceptible de se transformer en un nouveau feu de surface après l'intervention des pompiers (Merdas, 2007).



Fig.04 : Feu de surface (DGF, 2016)

3.3. Les feux de cime

On qualifie les feux de cime lorsqu'ils sont localisés au niveau des arbres et qu'ils brûlent plus de 90% de celle-ci. Ils se développent généralement au sol, montent le long des arbres en brûlant sur leur passage feuilles, aiguilles et même certaines branches.

La hauteur, la densité ainsi que la continuité de la canopée sont des caractéristiques clé de la structure de la forêt qui affectent la naissance et la propagation des feux de cimes (Albini, 1976 et Rothermel, 1991).

Les feux de cimes embrasent les houppiers et se propagent rapidement. Ils sont de deux types:

-Indépendants : ils se propagent dans les cimes sans dépendre du feu de surface.

-Dépendants : ils ne se maintiennent dans les cimes qu'en raison de la chaleur dégagée par le feu de surface. Ils sont passifs, ils contribuent moins à la propagation que le feu de surface qui les accompagne.



Fig.05 : Les feux de cimes (Merdas, 2007)

3.4. Les feux de braises (sautes)

Les braises sont produites par des feux de cimes ou pour certaines conditions de vent et de topographie. Ces braises sont transportées à distance et sont alors à l'origine de foyers secondaires. Les grands brandons peuvent brûler longtemps et être transportés très loin (jusqu'à 10 ou 20 Km dans les cas exceptionnels) (Colin *et al.*, 2001).



Fig.06 : Les feux de braise (<http://lechaudrondelafeekaramel.eklablog.com>)

4. Formes et parties d'un feu de forêt

Il est important de connaître les formes et les parties d'un feu de forêt. Ceci permettra d'étudier et de bien déterminer les moyens de lutte contre les incendies de forêts.

4.1. Les parties d'un feu

Selon Ammari (2011), les parties d'un feu de forêt sont:

1. Arrière : partie de la bordure du feu qui est opposée au côté où la propagation du feu est la plus rapide.
2. Baie : partie de la bordure du feu qui se développe plus lentement à cause du combustible ou la topographie.
3. Bordure du feu : ligne souvent irrégulière jusqu'où le feu a brûlé à un moment donné.
4. Doigt : partie de la bordure du feu qui se développe en saillie du corps principal.
5. Feu disséminé : feu nouveau à l'extérieur du périmètre de l'incendie est causé par celui-ci.
6. Flanc : côté qui relie la tête à l'arrière, ordinairement parallèle à la direction générale de la progression du feu.
7. Point d'origine : partie d'un incendie où le feu a pris naissance.
8. Tête : partie de la bordure du feu qui se développe ordinairement le plus rapidement. Elle indique la direction de la progression du feu.

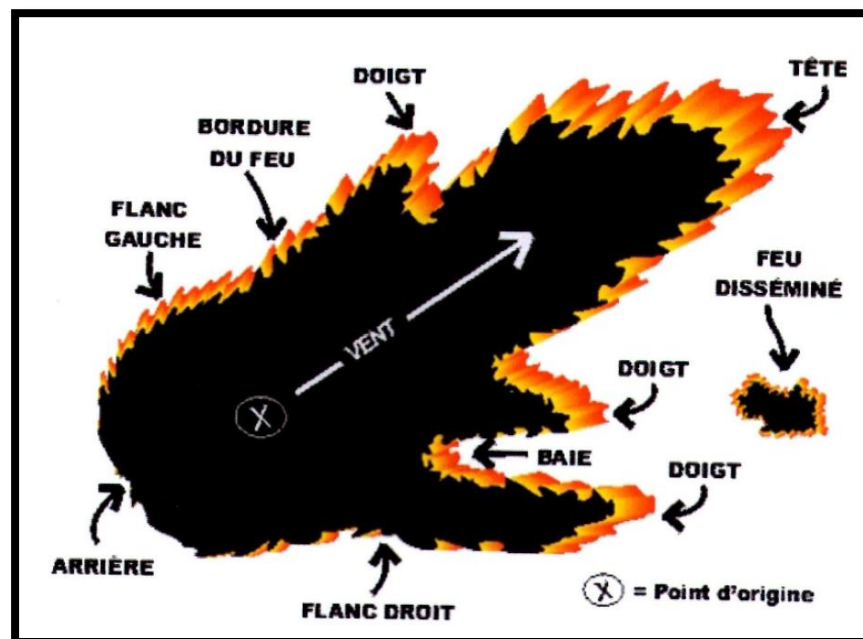


Fig.07 : Les parties d'un feu (Ammari, 2011)

4.2. Formes des feux de forêts

La forme que prend un feu est conditionnée par un certain nombre de facteurs, tels que la topographie du terrain, la nature du combustible ainsi que l'action du vent, son intensité et sa direction.

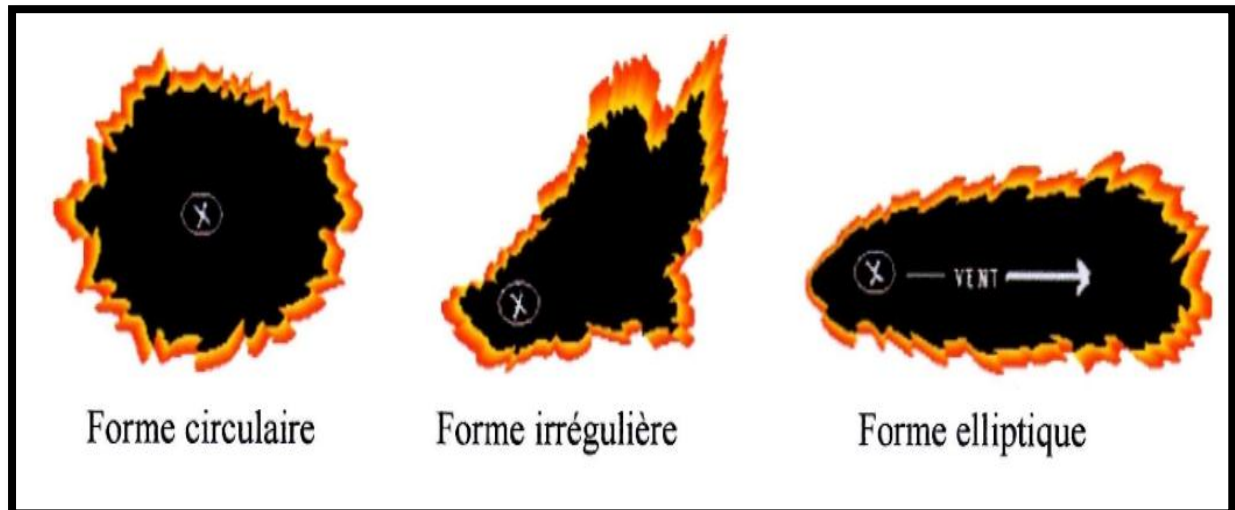


Fig.08 : Les différentes formes du feu (Ammari, 2011)

- ❖ Les feux de forme circulaire : sont généralement situés sur un terrain plat par temps calme. Le combustible qu'on y retrouve est homogène.
- ❖ Les feux de forme irrégulière : sont causés par des terrains en pente ou par des vents variables. On retrouve cette forme de feu où le combustible est hétérogène.
- ❖ Les feux elliptiques : se forment généralement sur des terrains plats dans un combustible homogène où l'on remarque la présence du vent qui souffle toujours dans la même direction.

En pratique, la végétation n'est jamais homogène et le vent n'est jamais constant. Lorsque le feu dure longtemps (plusieurs jours) des modifications de la direction générale du vent peuvent lui donner des formes très complexes (Cemagref, 1989).

5. Les facteurs de prédispositions aux incendies des forêts

Les facteurs de prédispositions aux incendies sont divers et nombreux, on peut les grouper en trois ; la végétation, le climat et l'évolution de l'occupation du sol.

5.1. Le type de végétation et le climat

La probabilité qu'un feu parte et se propage dans un peuplement forestier n'est jamais nulle. Cependant, les caractéristiques de la végétation et du climat peuvent créer des conditions favorables au développement des incendies.

L'intensité, la fréquence et l'importance de l'incendie sont en rapport avec le milieu physique et végétal qui se caractérise par les facteurs climatiques déterminants, la structure et la composition de la végétation. La naissance et la propagation des incendies sont dépendante de la présence et de la réunion des différentes conditions naturelles et des causes d'origine souvent humaines.

Ces conditions de prédispositions ne sont pas constantes dans le temps. Elles évoluent, par exemple, en fonction de l'état de la végétation qui est le résultat à la fois de sa dynamique naturelle, de la sylviculture qui est appliquée et des passages éventuels du feu (Jappiot *et al.*, 2002).

5.2. L'occupation du territoire

De nombreux facteurs humains contribuent dans une certaine mesure au développement des incendies de forêt. C'est le fait des activités humains : loisirs, production, certaines infrastructures de transport (routes, voies ferrées) qui peuvent être à l'origine de l'éclosion et de la propagation des feux.

De même l'évolution de l'occupation du sol influe notablement sur le risque d'incendie de forêt en raison du développement de l'interface forêt-habitat et de l'absence de zone tampon que constituent les espaces cultivés. Cet état est lié d'une part à l'abandon des espaces ruraux qui a pour conséquence la constitution de massifs entiers sans coupures pour les incendies et d'autre part à l'extension des villes et villages jusqu'aux abords des zones boisées (Jappiot *et al.*, 2004).

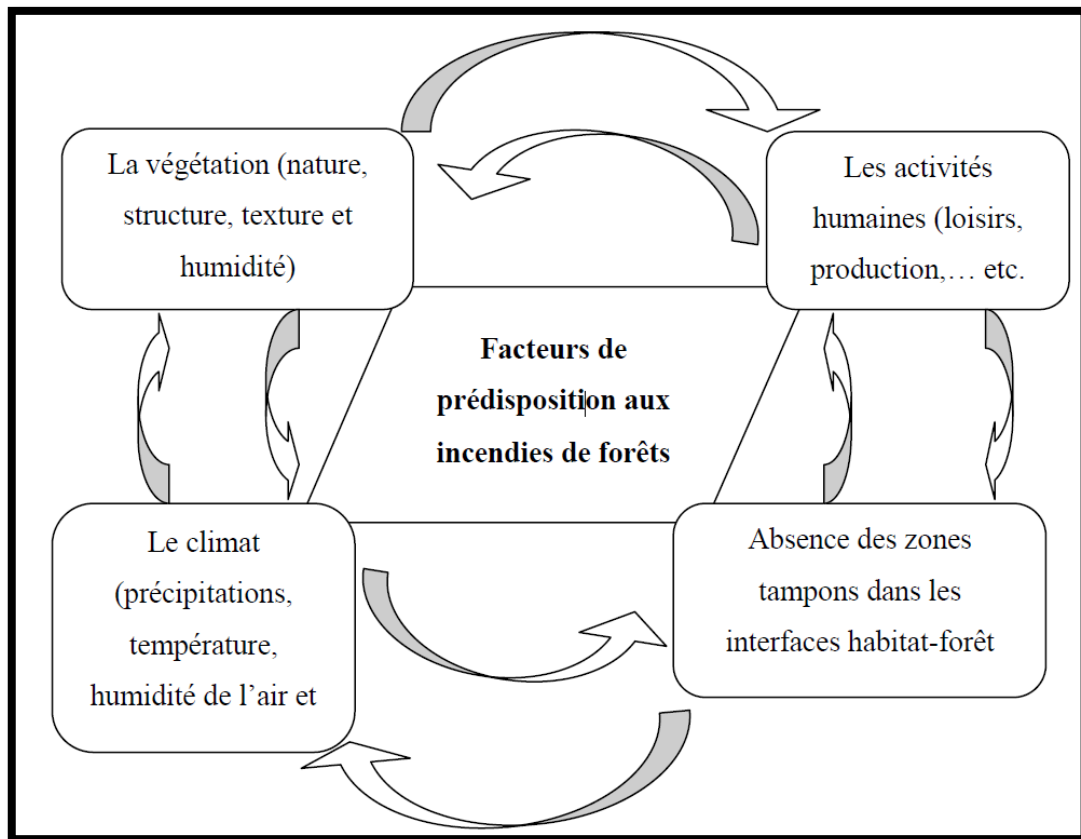


Fig.09 : Schématisation des facteurs de prédisposition aux incendies (Berrouaine, 2013)

6. Facteurs influençant la propagation des incendies des forêts

Le comportement ou la propagation d'un incendie est régi par un certain nombre des facteurs dont les influences s'opposent ou s'additionnent. Parmi ces facteurs on note : les combustibles, les éléments atmosphériques et la topographie.

6.1. Les combustibles

Les combustibles interviennent dans la propagation des incendies par leur nature, leur grosseur, leur disposition, leur quantité, leur distribution, mais surtout par leur composition chimique ainsi que leur teneur en humidité (Ammari, 2011).

6.1.1. Teneur en eau

La présence d'humidité exerce une influence considérable sur l'inflammation et ensuite le développement des feux (Trabaud, 1989). Chauffée jusqu'au point d'ébullition, l'eau est vaporisée avant que les combustibles atteignent leur température d'inflammation.

Cette eau augmente la quantité de chaleur nécessaire à la pyrolyse et à l'inflammation et réduit la vitesse de la combustion. Si la teneur en eau des végétaux est faible, ils s'enflamment à des températures relativement basses. La température d'inflammation varie entre 260°C et 450°C (Jappiot *et al.*, 2002). Alors qu'une humidité trop importante empêche la propagation du feu. Des études ont démontré que l'inflammation ne peut avoir lieu que si la teneur en eau est inférieure à 7 % (Margerit, 1998).

6.1.2. Composition chimique

L'inflammabilité des espèces végétales varie selon leur teneur en essences volatiles où en résine. La présence de cire et de résine pour certaines espèces ralentirait leur vitesse de dessèchement et donc leur inflammation. Ainsi, plus un végétal est riche en minéraux, moins son pouvoir calorifique théorique est élevé, moins il est combustible (Colin *et al.*, 2001).

6.2. Les facteurs atmosphériques

6.2.1. Les précipitations

Présentant un rôle prédominant dans la teneur en eau des végétaux, leur effet varie de façon significative en fonction de leur durée, de leur période, de leur quantité, ainsi que des types de combustibles. Seulement une petite quantité d'eau suffit pour ralentir l'inflammabilité des graminées. Il peut être rendu caduc par 2 ou 3 heures d'ensoleillement.

En revanche, il faut de fortes pluies pour réduire l'inflammabilité de combustibles plus importants tels que les grosses branches tombées à terre. L'effet bénéfique de fortes précipitations hivernales peut ainsi être annulé pour un printemps et un été longs et secs (Khalid, 2008).

6.2.2. L'humidité relative

Les modifications que connaît la teneur en humidité relative, exercent des effets importants sur les matériaux combustibles. Si le contenu de l'air en humidité est élevé, les combustibles s'humidifient et deviennent difficilement inflammables. Par contre, si l'air est sec, le taux d'évaporation de l'humidité des combustibles sera plus élevé ce qui augmentera l'inflammabilité de la forêt.

L'état hydrique des formations végétales qui constituent le couvert végétal, en relation avec le niveau des réserves en eau des sols, est évidemment le premier facteur de risque pour les incendies de forêts sous l'angle de l'influence des facteurs climatiques (Seguin, 1990).

D'après Margerit (1998), l'humidité relative influe sur l'inflammabilité des combustibles (Tableau 02).

Tab.02 : Influence du taux d'humidité sur l'inflammabilité (Margerit, 1998)

Humidité relative (en %)	Inflammabilité
> 70	Peu de risque
46 – 70	Risque faible
26 – 45	Risque forte
< 25	Risque très forte

6.2.3. Le vent

Le vent est sûrement le facteur atmosphérique le plus affectant d'un incendie de forêt. Ses effets sont très variés selon trois facteurs : la vitesse, la circulation et l'orientation. Si la circulation est continue, l'évaporation de l'humidité des combustibles est accélérée et ceci augmentera les risques de prendre le feu. De plus, le vent alimente le feu en oxygène puisque ce dernier est un élément indispensable à la combustion. L'air se renouvelle en même temps que se produit la combustion mais de façon plus ou moins rapide. Le vent transporte même à distance des étincelles et des corps enflammés, accélérant ainsi la propagation de l'incendie (sautes de feu). Si la vitesse du vent est accélérée, la vitesse de propagation du feu est accélérée à son tour. Si le vent souffle fort, la colonne de convection peut être déviée et agit sur les combustibles placés en avant du feu en les desséchant et les chauffant. Par son orientation, le vent peut être à l'origine de la direction générale du feu (Frederic, 1992).

6.2.4. La température

La température de l'air varie tout au long de la journée en fonction de l'intensité de l'insolation. Elle exerce un effet soit indirect en dominant l'humidité relative de l'atmosphère et par conséquent en dominant celle des combustibles, soit direct par le réchauffement ou le refroidissement des matériaux. Autrement, plus la température ambiante est élevée, plus la température du combustible végétal mort ou vivant l'est, et moins la chaleur nécessaire à son inflammation est importante (Trabaud, 1989).

6.3. Les facteurs topographiques

La topographie joue elle aussi un rôle de premier plan dans le comportement des feux de forêts en influençant la morphologie et la vitesse de propagation des incendies. En général, l'influence de la topographie varie suivant l'inclinaison des pentes, leur exposition et aussi selon l'élévation du terrain. Contrairement aux agents atmosphériques, la topographie est un facteur constant dont il est possible de déterminer et surtout de prévoir l'influence.

6.3.1. L'inclinaison de la pente

L'inclinaison des pentes agit sur la colonne de convection. Plus la pente est abrupte, plus la colonne de convection est proche des combustibles situés en amont du feu. Ceux-ci se dessèchent alors plus facilement et prennent feu rapidement sous l'action de la chaleur émise par convection et par radiation. Le feu donc se propage plus vite et brûle avec plus de violence vers le haut des pentes abruptes que sur les terrains plats. Aussi, quand la pente est très escarpée, les particules incandescentes peuvent basculer vers le bas et entraîner de nouveaux incendies. Dans le cas des feux descendants, la position des flammes par rapport au support est comparable à celle qu'elle occupe lorsque le vent freine la progression du front de feu (Frederic, 1992).

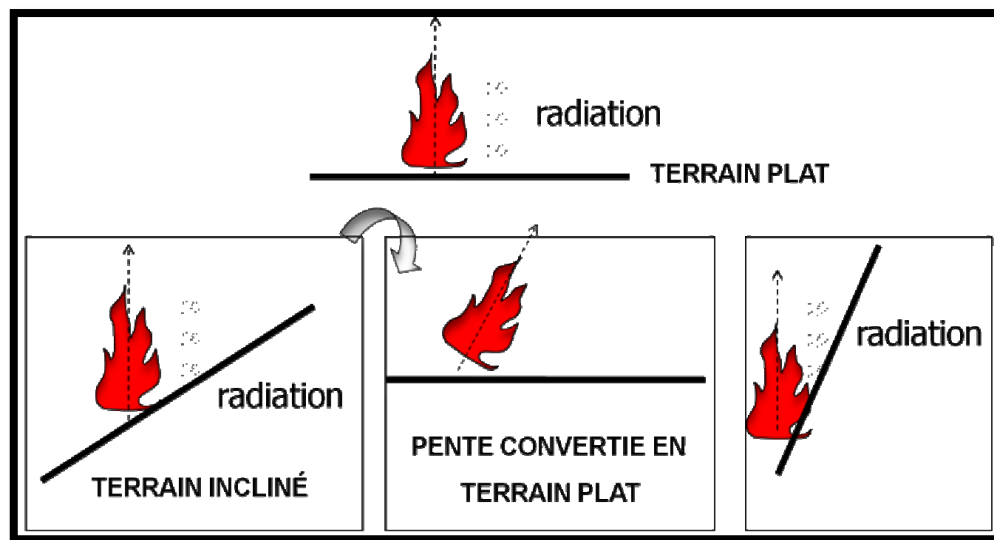


Fig.10 : Effet mécanique de la pente sur le comportement du feu (Arfa, 2008)

6.3.2. Exposition des pentes

L'exposition des matériaux combustibles aux vents et au soleil accélère grandement leur vitesse de dessèchement. On a constaté que le feu prend naissance et se propage plus vite sur les expositions Sud-Ouest qu'il ne le fait sur les terrains exposés au Nord ou à l'Est. Notons aussi

que l'intensité du rayonnement solaire dépend pour sa part de l'angle d'horaire du soleil, de sa déclinaison, de la latitude, de l'inclinaison de la pente, de la nébulosité et de la densité du couvert des arbres de la forêt. Donc, la durée de l'insolation joue aussi un rôle important dans la propagation des feux de forêts au cours de la journée (M.T.F, 1973).

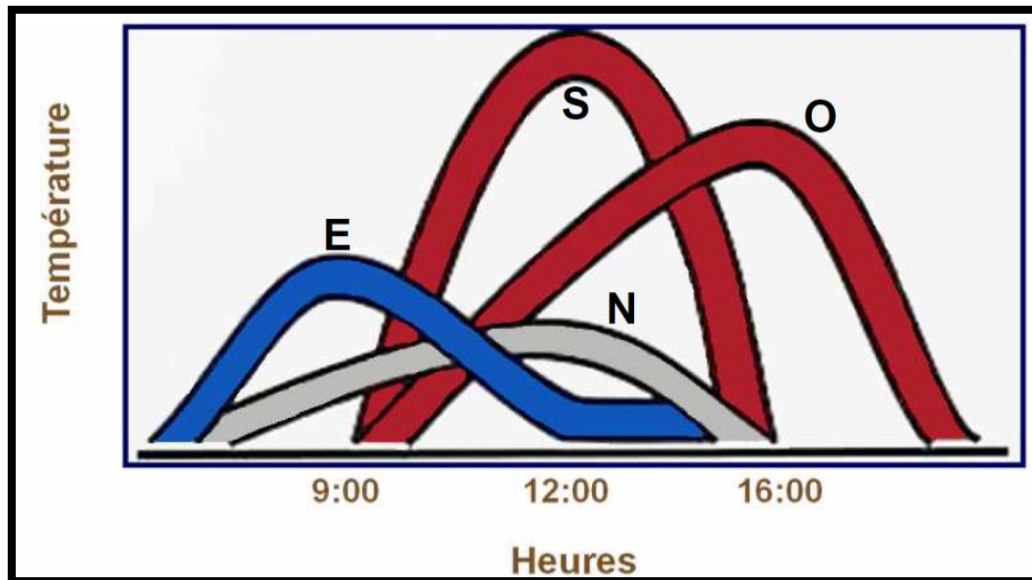


Fig.11 : Courbes de température en fonction de l'exposition des pentes (Arfa, 2008)

6.3.3. Elévation du terrain

L'élévation du terrain influe sur la composition de la végétation, sa teneur en humidité et son exposition aux vents. Plus le terrain est élevé, plus les combustibles sont exposés au soleil et aux vents intenses, donc plus ils sont secs et les feux brûlent alors plus rapidement (Arfa, 2008).

7. Les causes des incendies

Les causes d'incendie de forêt sont diverses et leur répartition varie selon les zones géographiques mais aussi en fonction du temps (Long *et al.*, 2008). Ces causes ont été classées en deux grandes catégories : les causes naturelles et les causes liées à l'homme.

7.1. Causes naturelles

La végétation ne s'enflammant pas seule, même par forte sécheresse ; l'unique cause naturelle connue dans le Bassin Méditerranéen est la foudre. Ce phénomène, très répandu en forêt boréale (orages secs), est relativement rare en région méditerranéenne où il ne concerne que 1 à 5 % des cas d'incendies (Alexandrian *et al.*, 1998). Les éruptions volcaniques peuvent

également être à l'origine d'incendies de forêt. Ce phénomène est cependant exceptionnel dans le Bassin Méditerranéen (Colin *et al.*, 2001).

7.2. Causes humaines

Elles représentent l'essentiel des origines des incendies de forêts. Globalement, pour l'ensemble des pays du Bassin Méditerranéen, on retrouve des causes involontaires et des causes volontaires. Leur répartition dépend étroitement du contexte social, économique, politique et législatif de chaque pays (Colin *et al.*, 2001). Les causes humaines connues pouvant être à l'origine des incendies de forêts sont répertoriées selon qu'elles soient volontaires ou non.

7.2.1. Les causes humaines involontaires

Les causes humaines involontaires sont diverses, les imprudences et accidents dus à des défauts de fonctionnement d'équipements sont les causes les plus fréquentes des incendies de forêt. Elles constituent les causes principales pour la majorité des pays du Bassin Méditerranéen (Colin *et al.*, 2001).

7.2.2. Les causes humaines volontaires

Les causes humaine volontaires sont diversifiées dont on distingue :

A. Les incendies criminels

Les incendies criminelle peuvent apporter un gain matériel direct (amélioration des pâturages, exploitation du bois.....) ou indirect par appropriation foncières (Khalid, 2008).

B. Les feux mis par jeu ou par plaisir

Une des causes qui est fréquente surtout chez la population jeune car au plaisir de mettre le feu, s'ajoute celui de voir manœuvrer les colonnes des pompiers et des collectivités locales.

Tab.03 : Différents origines des incendies (Khalid, 2008)

Origines des incendies	Exemples
Travaux agricole	En forêt : récolte du miel par fumage, défrichements pour labours Travaux agricoles en périphérie : feu pastoral, incinération des végétaux.
Travaux forestiers	Carbonisation (charbonnières), brulage des rémanents après éclaircie
Travaux industriels et artisanaux	Brulage de déchets, étincelles...
Touristes	Pique-nique, mégots
Chasseurs	Battue, campement
Habitation	Feu de jardin, barbecue

8. Situation de secteur des forêts en Algérie

En Algérie les forêts, les reboisements, les maquis et les garrigues occupent une superficie d'environ 4100000 ha (tab.04), néanmoins chaque année environ 36000 ha sont parcourus par les incendies. Ces forêts sont hétérogènes et inégalement réparties en fonction de la distribution des méso-climats, de l'orographie et de l'action anthropique. Les caractères du milieu confèrent à la forêt une vulnérabilité et une fragilité accentuées par une exploitation qui dure depuis quelques millénaires (M.A.T.E, 2003).

Tab.04 : Principales essences des forêts algériennes 2007 (Arfa, 2008)

Essences	Superficie (ha)	Taux (%)
Pin d'Alep	881 000	21,5
Chêne liège	230 000	5,6
Chêne vert	108 000	2,6
Chêne Zeen et Chêne Afares	48 000	1,2
Eucalyptus	43 000	1
Pin maritime	31 000	0,8
Cèdre de l'Atlas	16 000	0,4
Autres (Thuya + Genévrier + Frêne)	124 000	3
Reboisement et protection	717 000	17,5
Maquis et broussailles + vides	1 902 000	46,4
Total	4 100 000	100

8.1. Statistiques sur les feux de forêts en Algérie :

8.1.1. Pendant la période coloniale 1876-1962 :

Le tableau 05 présente les superficies parcourues par le feu en Algérie pendant la période coloniale ainsi que la perte annuelle des superficies forestières.

Tab.05 : Les superficies parcourues par les feux en Algérie pendant la période coloniale période (1876-1962) (Meddour *et al.*, 2007)

Périodes	Superficie totale incendiée par décennie (ha)	Moyenne par (ha /an)
1876-1885	372749	37275
1886-1895	486569	48657
1896-1905	380375	38037
1906-1915	297828	29783
1916-1925	587087	58709
1926-1935	237627	23763
1936-1945	368537	36854
1946-1955	166138	18460
1956-1962	673965	67396
Total	3570875	396764

La lecture du tableau 05 montre que la période coloniale a été fatale pour le patrimoine forestier national. En effet, une surface cumulée de 3570875 ha a été parcourue par le feu, sur une période de 87 ans (1876-1962), soit une moyenne de 396764 ha/an. Durant cette époque, les grands incendies dramatiques ont coïncidé en général avec des époques troubles (insurrections, période de guerre). Plus particulièrement, durant la guerre de libération (1954-1961), la forêt algérienne s'embrasa fréquemment sous l'effet des bombardements aériens au napalm et des mises à feu au sol (Meddour *et al.*, 2008).

Au cours de cette période, de nombreux massifs forestiers ont été brûlés à plusieurs reprises (Ouarsenis, Djurdjura, etc.) et 220000 ha de forêts ont été calcinés au napalm rien qu'aux Aurès (Sari, 1976).

8.1.2. Pendant l'indépendante (Période 1963-2013) :

Durant la période 1963-2013 la superficie forestière incendiée s'élève à 1,5 millions ha, le feu a détruit en moyenne 34000 ha/an. Après l'indépendance, la forêt algérienne a connu une

relative accalmie, puisque les superficies brûlées ont diminué par rapport à la période coloniale, où la moyenne annuelle était, de 41258 ha (Meddour, 2008).

Mais lors de certaines années, la forêt algérienne a été touchée par de grands feux néfastes, dépassant largement la moyenne de la période 1963-2013, notamment les deux années catastrophiques 1983 et 1994 (figure 12), avec respectivement 221367 ha et 271598 ha.

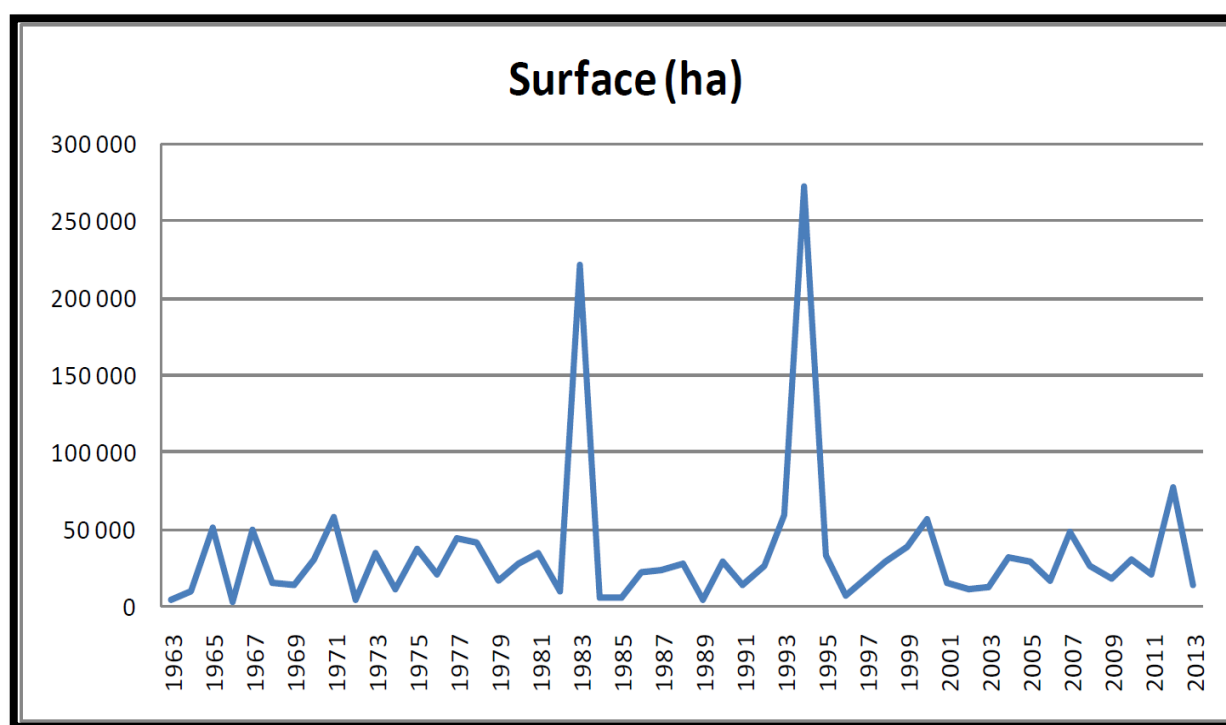


Fig.12 : Les surfaces parcourues par le feu en Algérie (période 1963-2013) (DGF 2013)

8.1.3. Répartition des incendies suivant les formations végétales (période 1985-2010) :

Selon Meddour et Derridj (2012), ce sont les forêts qui sont les plus touchées par les incendies durant la période (1985-2010), avec une moyenne de 20376 hectares par an, soit 58 % de la superficie totale incendiée. Les maquis, avec 23 %, puis les broussailles avec 17 % ainsi que les nappes alfatières avec 0,89 % sont également touchées par les incendies (Figure 13).

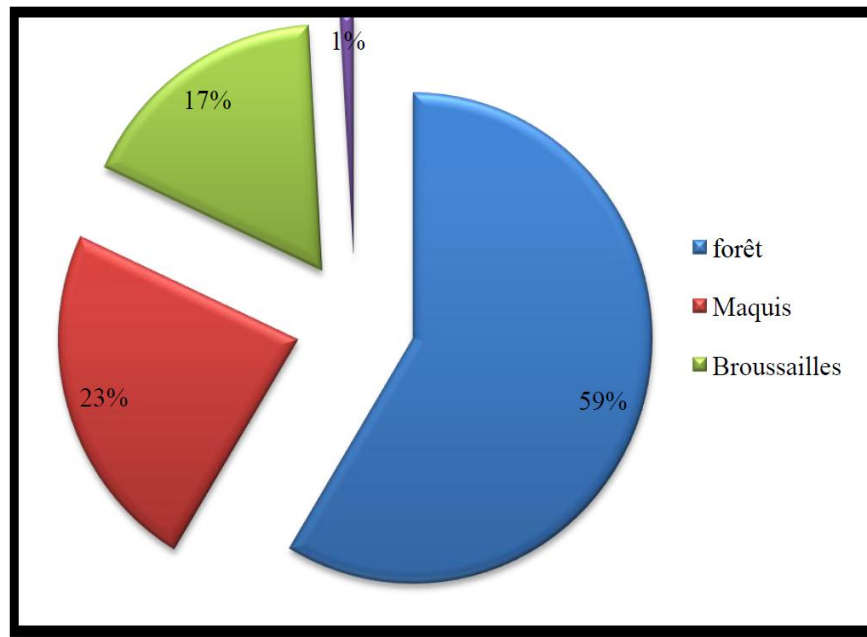


Fig.13 : Répartition des incendies suivant les formations végétales période (1985-2010)
(Meddour et Derridj, 2012)

8.1.4. Les surfaces incendiées selon les essences forestières (période 1985-2010) :

La figure 14 représente les surfaces incendiées selon les essences forestières durant la période (1985-2010).

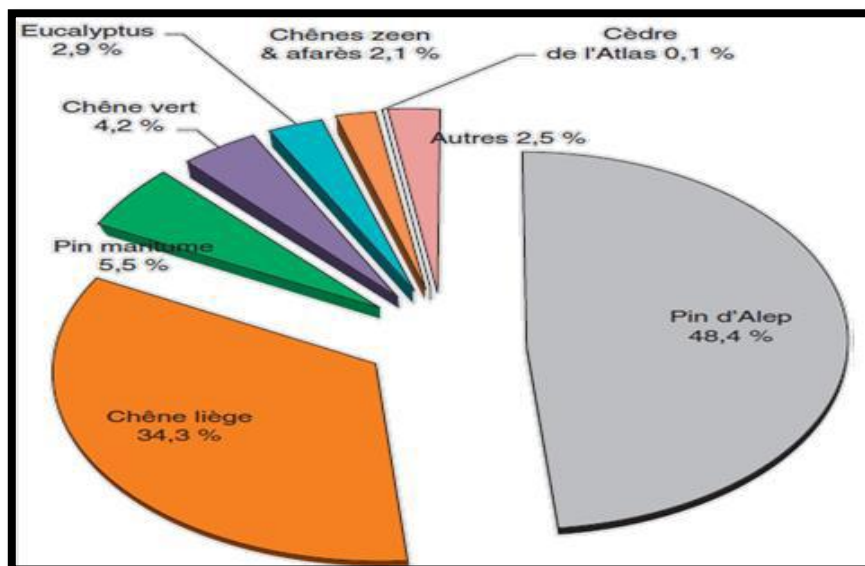


Fig.14 : Les surfaces incendiées selon les essences forestières période (1985-2010)
(Meddour et Derridj, 2012)

Selon la figure 14 et d'après les statistiques sur les feux de forêts fournies par Meddour et Derridj (2012), on remarque que le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) est l'essence la plus touchée

par le feu en Algérie, il totalise 48,4 % de la surface brûlée. Cette espèce domine à hauteur de 68 % le panorama forestier de l'Algérie. Le pin d'Alep, se rencontre principalement dans les zones semi-arides et surtout dans la partie occidentale. Le chêne-liège (*Quercus suber*) arrive en seconde position, avec 34,3 % de surface brûlée. Il occupe 21 % de la surface forestière totale, principalement dans le Nord-Est du pays. Son sous-bois encore plus dense est très inflammable et permet une progression rapide du feu.

Les plantations d'Eucalyptus, qui occupent en Algérie 2 % des terrains forestiers enregistrent relativement par rapport aux autres essences naturelles d'importantes superficies incendiées, soit 2,93 % du total de la surface brûlée, et s'avèrent tout aussi sensibles au feu que la subéraie et la pineraie. L'Eucalyptus, notamment (*Eucalyptus globulus*), arbre introduit et très répandu, est une essence d'une grande sensibilité au feu car il contient une importante quantité d'huiles très inflammables dans son écorce (Varela, 2004).

8.1.5. Les surfaces incendiées par wilaya (période 1986-2005):

Durant la période 1986-2005, les wilayas les plus affectées par les incendies se localisent au Nord. Ces wilayas sont Bejaïa (qui la plus touchée avec plus de 80000 ha), Skikda (plus de 70000 ha), Tizi Ouzou (plus de 60 000 ha), El Tarf (56000 ha) et Sidi Bel Abbes (48000 ha) (figure15) (DGF, 2005).

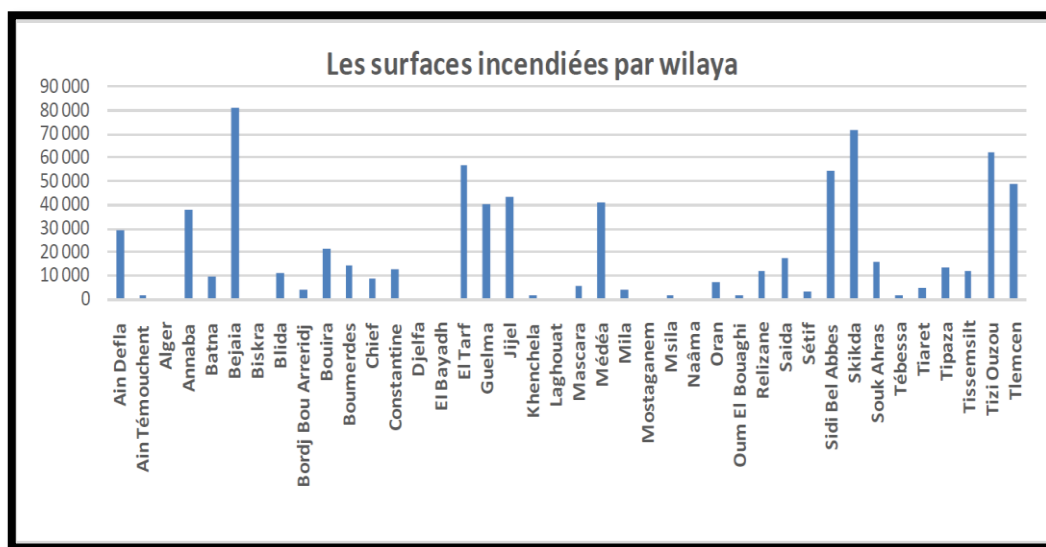


Fig.15 : Les surfaces incendiées (en ha) par wilaya durant la période (1986-2005) (DGF, 2005)

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

&

Matériel et méthodes

1. Présentation de la forêt domaniale de Mouia :

1.1. Localisation géographique :

La forêt domaniale de Mouia est située au Nord-Est de la wilaya de Mila entre les coordonnées géographiques: $36^{\circ}32'58''$ et $36^{\circ}34'30''$ de latitude Nord et entre $6^{\circ}24'18''$ et $6^{\circ}27'46''$ de longitude Est (fig.16). Ce massif forestier se situe aux hauts piémonts de la commune de Grarem Gouga sur le versant de Djebel Sidi Driss, ils' étend sur une superficie de 738.07 ha (DGF, 2017).

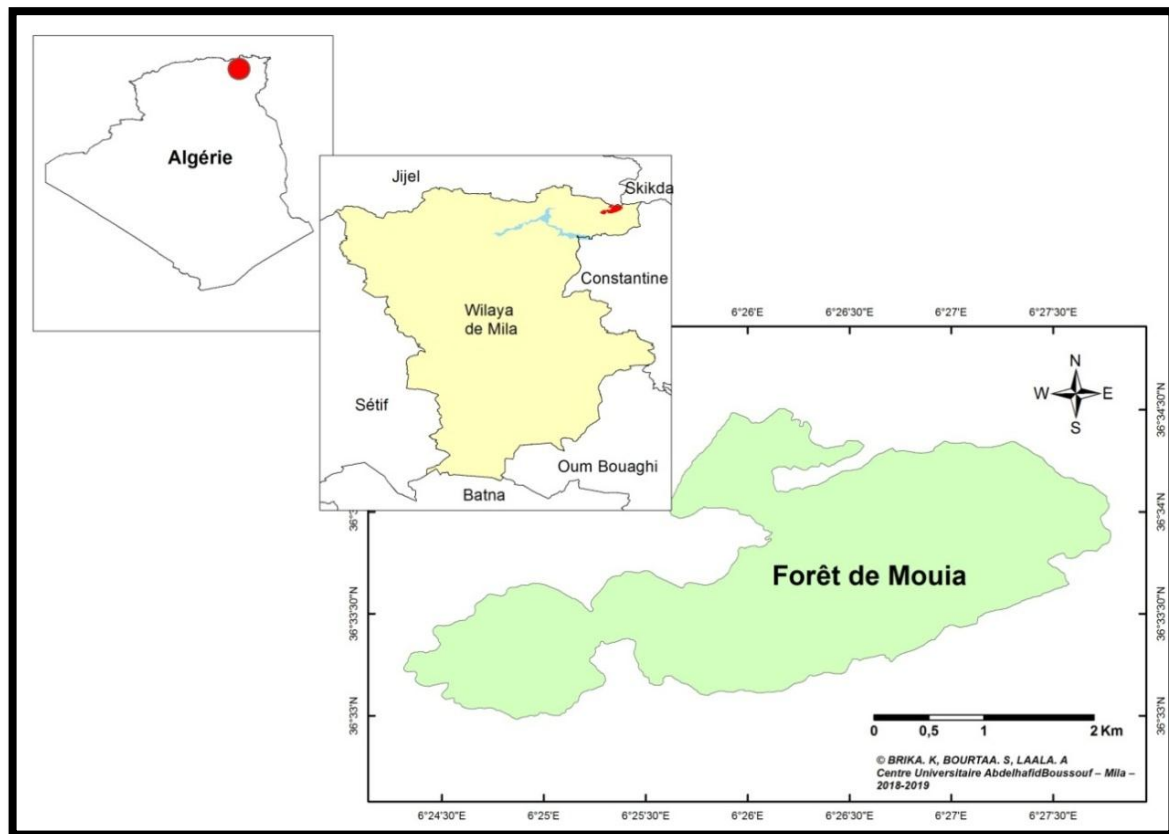


Fig.16 : Localisation géographique de la zone d'étude

1.2. Milieu abiotique :

1.2.1. Relief et hydrographie :

Le massif forestier de Mouia surplombant à la grande dépression de Constantine dans le domaine tellien numidien. Il est caractérisé par un relief de hauts versants montagneux, d'exposition Sud avec des pentes fortes jusqu'à 25 % (B.N.E.F, 1994).

Concernant l'hydrographie, il n'existe pas de cours d'eau permanent dans la forêt de Mouia, seulement des ruissellements se forment après une forte précipitation sur les ravinements.

Huit sources ont des débits variant de 1 à 5 litres, les principales sont celles d'EL Eptaich, Ain Zeneth, El Melez. Plusieurs ravins affluents Oued Smendou dont leur cours sont régularisés par l'action de la forêt (B.N.E.F, 1994).

1.2.2. Formation géologique :

La géologie de la région est étroitement liée à celle du bassin versant de l'Oued El Kebir-Enja dont elle fait partie et ce dernier comprend un certain nombre de régions géologiques correspondant à autant de régions litho-stratégiques et tectoniques (DGF, 2017).

La forêt domaniale de Mouia est formée essentiellement de roches sédimentaires composées surtout de sédiments rigoureux (grés numidien) (B.N.E.F, 1994).

1.2.3. Pédologie :

La répartition des sols présente une zonation qui reflète celle du climat. Cependant, elle est largement modifiée par l'influence de la nature des roches mères, du relief, de l'eau, de la végétation, ainsi que des facteurs biotiques et anthropogènes (FAO, 2005). Le dessèchement du sol est en fonction de sa structure, il agit sur le dessèchement du végétal et augmente son risque de prendre feu (Richard, 2004).

L'étude pédologique de la structure et de l'évolution des sols de la forêt de Mouia a donné suivant le type de végétation et son état (incendiée ou non incendiée) ; des sols bruns forestiers, généralement riche en matière organique (B.N.E.F, 1994).

1.2.4. Le climat:

Le facteur du milieu le plus important est certainement le climat. Il a une influence directe sur la faune et la flore (Metallaoui, 2010). La forêt de Mouia est caractérisée par un climat subhumide et humide doux de type méditerranéen, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux : la précipitation et la température (Boulbair et Soufane, 2011). Elle est globalement caractérisée par :

- ❖ Une saison hivernale humide et pluvieuse s'étendant de Novembre à Avril.
- ❖ Une période estivale longue chaude et sèche allant de Mai à Octobre (Zouaidia, 2006).

A). La pluviométrie :

Le volume annuel des pluies conditionne la distribution des espèces dans les aires biogéographiques (Ramade, 1984).

D'après la Figure 17, on peut dire que la région d'étude est l'une des régions les plus arrosées où la moyenne annuelle des pluies précipitées pour la période 2009-2018 est de 648,68 mm. Nous constatons également que le mois de Février est le mois le plus abondant en pluie, il a connu un excédent de 87,66 mm. À l'inverse, le mois de Juillet est le mois le plus sec.

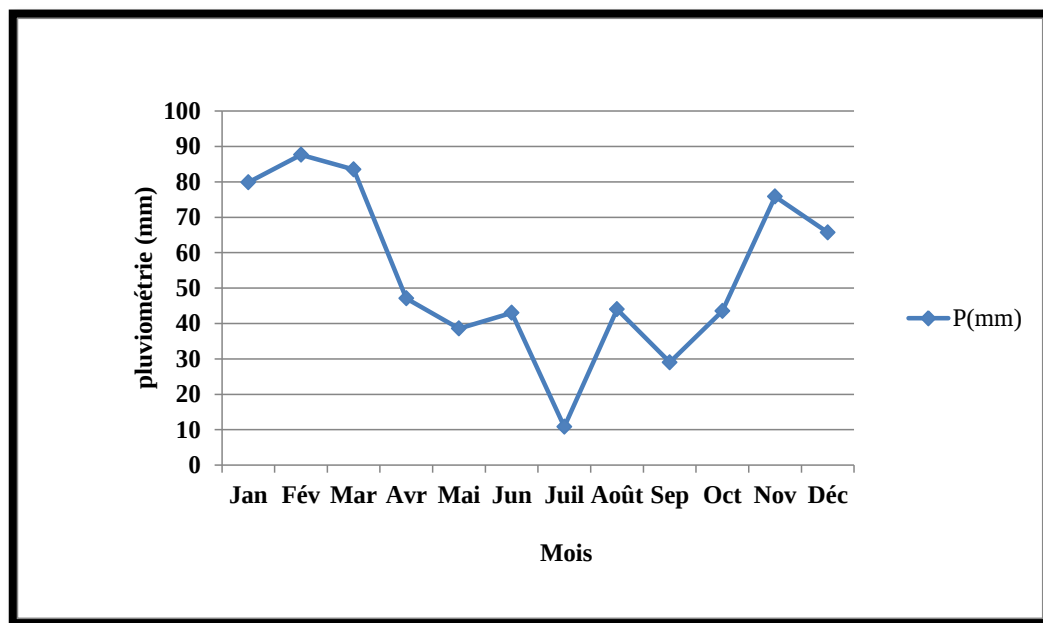


Fig.17 : Pluviométrie mensuelle moyenne (en mm) de la wilaya de Mila (période 2009-2018)

B). La température :

Les températures jouent un rôle majeur dans la détermination du climat régional à partir des valeurs des moyennes mensuelles ($T^{\circ}\text{C}$) et les valeurs moyennes des minima du mois le plus froid (T_{Min}) et des maxima du mois le plus chaud (T_{Max}).

On remarque, d'après la figure 18, que la valeur minimale des températures minimales est observée durant le mois de Janvier ($4,57^{\circ}\text{C}$), alors que celle maximale est enregistrée pendant le mois d'Août ($20,1^{\circ}\text{C}$). On peut constater aussi que la valeur maximale de la température moyenne est enregistrée durant le mois de Juillet où elle atteint $26,8^{\circ}\text{C}$, alors que celle minimale est affichée durant le mois de Janvier ($8,39^{\circ}\text{C}$). Concernant la température maximale, elle fluctue entre $12,75^{\circ}\text{C}$ et $34,36^{\circ}\text{C}$.

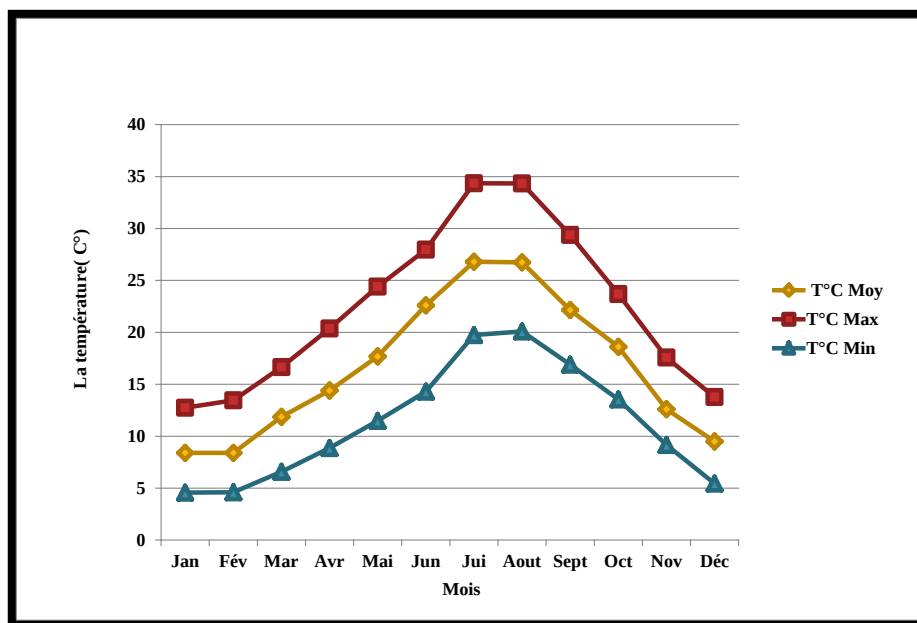


Fig.18 : Températures mensuelles (moyennes, maximales et minimales) de la wilaya de Mila (période 2009-2018)

C). Humidité :

L'humidité dépend de plusieurs facteurs climatiques comme la pluviométrie, la température et le vent (Faurie *et al.*, 1980). Dans la wilaya de Mila, le mois qui marque la plus forte valeur d'humidité est celui de Décembre (76,57 %) et le mois qui affiche la plus faible valeur est celui de Juillet (49,11%).

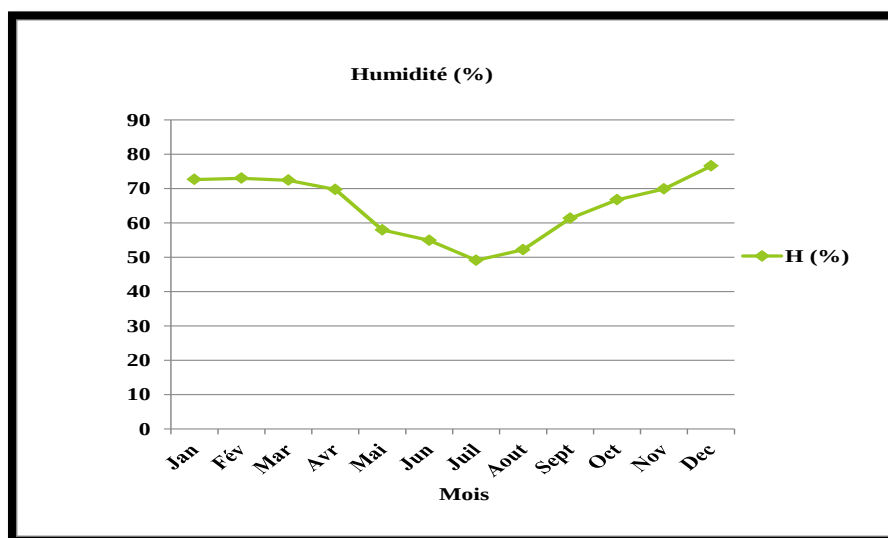


Fig.19 : Variation mensuelle de l'humidité moyenne (en%) (période 2009-2018)

D). Le vent :

Le vent fait partie des éléments les plus caractéristiques du climat. Il agit en activant l'évaporation pouvant induire ainsi une sécheresse (Seltzer ,1946).

Tab.06 : Variation mensuelle de la vitesse du vent dans la wilaya de Mila (période 2009- 2018)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Vitesse du vent (m/s)	2,68	3,03	2,60	2,08	2,11	2,16	2,66	1,86	2,51	2,78	3,18	2,93

La vitesse maximale des vents qui soufflent est enregistrée durant le mois de Novembre avec une valeur maximale de 3,18 m/s et la vitesse minimale est marquée pendant le mois d'Août (1,86 m/s).

1.3. Milieu biotique :**1.3.1. La flore :**

La strate arborescente de la forêt de Mouia est essentiellement composée de deux essences forestières: le chêne liège (*Quercus suber*) et le chêne zéen (*Quercus canariensis*).



Photo 01 : Massif du chêne zéen



Photo 02 : Massif forestier dense du chêne liège

Selon B.N.E.F (1994), le cortège forestier du massif de Mouia est constitué de :

- L'Arbousier (*Arbustus unedo*)
- Bruyère (*Erica arborea*)

- Calycotome épineux (*Calicotome spinosa*)
- Ronce (*Rubus fruticosus*)
- Cytise (*Laburnum anagyroides*)
- Lentisque (*Pistacia lentiscus*)
- Myrte (*Myrtus communis*)
- Asphodèle (*Asphodelus cerasiferus*)
- Diss (*Ampelodesma mauritanica*)
- Oléastre (*Olea europaea*)

1.3.2. La faune :

Parmi les animaux qui peuvent exister dans la forêt de Mouia, on peut citer:

- Pour les reptiles : la tortue, le serpent, le lézard.
- Pour les mammifères : le sanglier, l'hyène rayé, le Porc-épic, le hérisson, le chacal, le renard.
- Pour les oiseaux migrants: Perdrix, tourterelle, caille sédentaire, grive, étourneau (DGF, 2017).

1.4. Bilans d'incendies de la forêt de Mouia au cours de la période (1999 -2018) :

1.4.1. Les formations végétales incendiées dans la forêt de Mouia (période 1999-2018) :

Durant la période 1999-2018, nous avons enregistré une superficie totale brûlée de 312,2ha. La formation végétale la plus touchée est la forêt, avec une superficie de 158,7 ha, soit un taux de 51% de la superficie totale incendiée.

D'autre part, la broussaille est moyennement touchée (116,5 ha), avec un pourcentage de 37% de la superficie globale incendiée. Par contre, le maquis est la formation végétale la moins touchée par les incendies avec seulement 37 ha, ce qui représente 12% de la superficie totale incendiée (Fig.20, Tab 04 annexe).

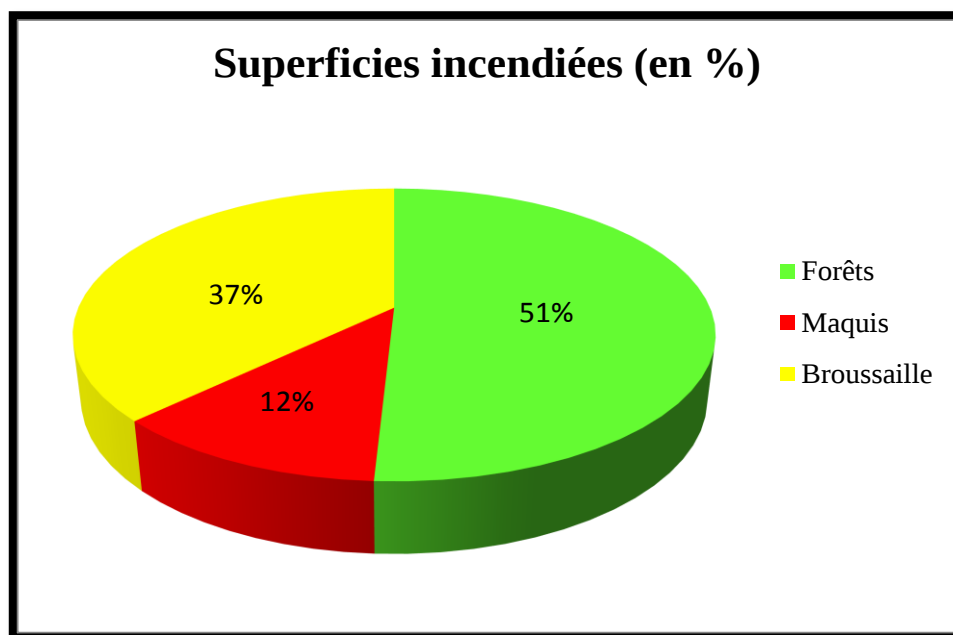


Fig.20 : Répartition des superficies incendiées (en %) selon les formations végétales (période 1999-2018)

1.4.2. La superficie parcourue par le feu et le nombre des foyers :

Les incendies causent des dégâts importants dans les milieux forestiers du massif de Mouia, chaque année plusieurs centaines d'hectares sont détruits. L'année 2009 a connu le plus grand nombre d'incendies et la plus grande superficie incendiée. Durant cette année, on a enregistré une plus grande et importante superficie incendiée égale à 140 ha, ce qui représente 44,8% des superficies brûlées de la forêt de Mouia (fig.21).

Ainsi, durant l'année 1999, les forestiers signalent une importante superficie incendiée mais avec un faible nombre de foyer d'incendie. Donc on peut dire qu'il n'y a pas forcément une corrélation entre le nombre de foyer d'incendie et la superficie brûlée.

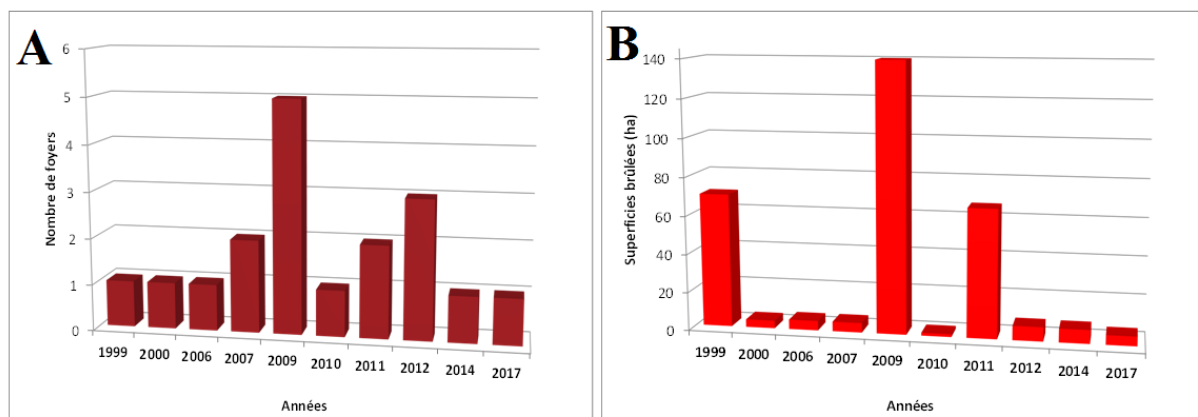


Fig.21 : Variation annuelle du nombre de foyers (A) et de la superficie brûlée (B) dans la forêt de Mouia (période 1999-2018)

1.4.3. Les incendies dans la forêt de Mouia suivant les tranches horaires et mensuelles :

La forêt domaniale de Mouia a été exposée aux incendies durant les années précédentes, notamment les plus chaudes.

Tab.07 : Répartition des incendies dans la forêt de Mouia suivant les fréquences horaires et mensuelles au cours de la période (1999-2018)

Années	Canton de la Forêt	Le déclenchement d'incendie		L'extinction d'incendie		Cause
		Date	Heure	Date	Heure	
1999	F.D Mouia	10/08/1999	13 h00	11/08/1999	3h00	inconnu
2000	Elma Labiad El Assamou	31/07/2000	11h30	31/07/2000	19h00	/
2006	Mouia Ain Ledjenane	10/10/2006	13h30	10/10/2006	18h30	/
2007	Elma Labiad	09/07/2007	14h30	09/07/2007	19h30	/
		10/09/2007	13h30	10/09/2007	18h30	
2009	F.D Mouia	22/07/2009	15h30	22/07/2009	20h10	/
		27/07 /2009	14h00	27/07/2009	17h30	
		31/07/2009	14h00	31/07/2009	22h00	
		04/08/2009	12h00	04/08/2009	18h00	
		05/08/2009	14h00	05/08/2009	18h15	
2010	F.D Mouia	21/09/2010	13h00	21/09/2010	16h00	/
2011	F.D Mouia	07/08/2011	13h30	07/08/2011	14h45	/
		13/08/2011	14h45	13/08/2011	17h00	
2012	F.D Mouia Elma Labiad	11/10/2012	8h30	11/10/2012	12h30	/
		20/10/2012	16h00	20/10/2012	19h30	
	F.D Mouia Bellout Zaouache	20/10/2012	16h00	20/10/2012	21h00	
2014	F.D Mouia	30/08/2014	8h15	31/08/2014	1h10	/
2017	Boulkendoul	18/10/2017	12h30	18/10/2017	20h30	/

Le tableau 07 montre que les incendies du massif de Mouia commencent à apparaître à partir du mois de Juillet et se terminent vers la fin du mois d'Octobre, ce qui totalise 4 mois d'incendie. Le mois qui affiche le plus grand nombre de foyer d'incendie est le mois d'Août, durant lequel les forestiers enregistrent 6 foyers d'incendie qui sont favorisés par la température très élevée et la sécheresse accrue enregistrées durant ce mois. Selon les forestiers, la forêt domaniale de Mouia connaît chaque année une fréquentation intense par les vacanciers durant la saison estivale.

D'après la figure 22, nous constatons que le nombre total des foyers d'incendie enregistrés dans la forêt de Mouia durant la période 1999-2018 est égale à 18 foyers. La majorité des incendies sont déclarées dans la tranche horaire (13h-14h). C'est le moment de la journée le plus chaud où les températures culminent et la végétation se trouve dans un état de stress hydrique.

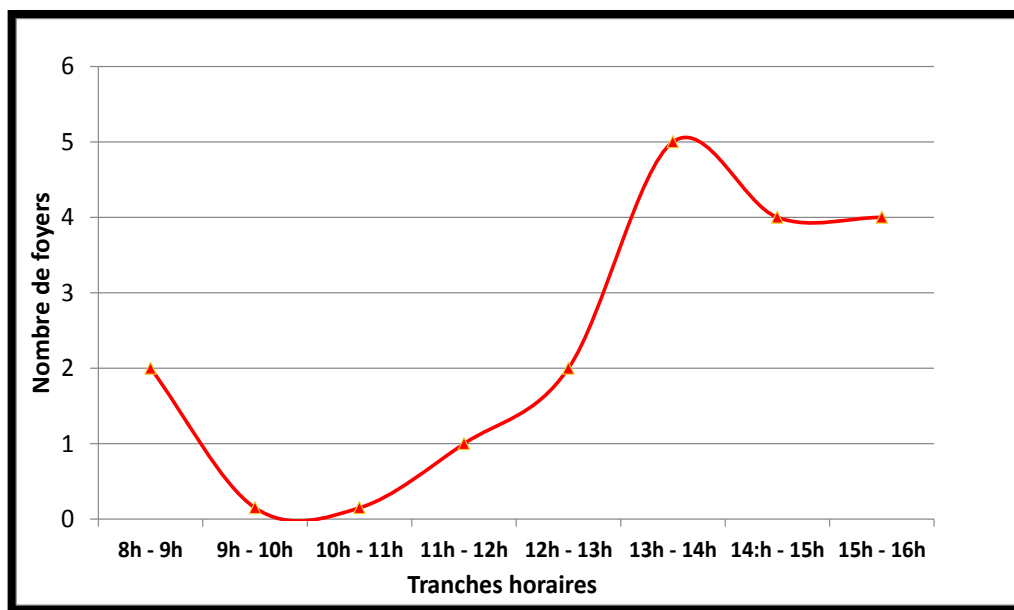


Fig.22 : Répartition des foyers d'incendies dans la forêt de Mouia par tranche horaire (période 1999-2018)

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériels:

2.1.1. Matériels utilisés sur le terrain :

-Carte topographique :

Pour réaliser ce travail, nous avons utilisé une carte topographique SIDI DRIS qui couvre la forêt de Mouia (Echelle 1/50.000). Elle est fournie par la Conservation des forêts de Mila en format papier (fig.23). Cette carte nous a permis de représenter les différents éléments naturels et artificiels trouvés sur notre zone d'étude.

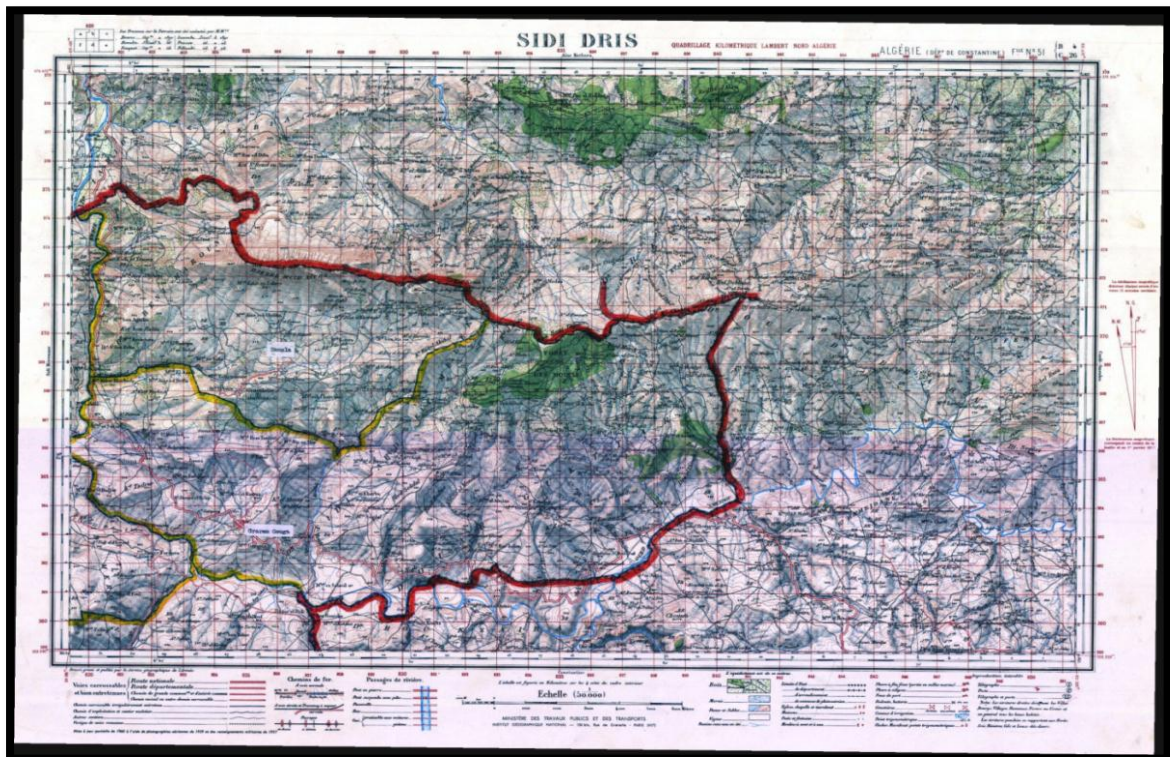


Fig.23 : Carte topographie de la forêt domaniale de Mouia

- G.P.S (Système de positionnement par satellite) :

Le GPS est un système de localisation par satellite mis en place par le département américain de la défense dans les années 1970, qui est très rapidement apparu accessible aux civils. Il permet de déterminer les coordonnées géographiques d'un point situé n'importe où dans le monde 24 h sur 24 h.

Nous avons utilisé un GPS de type GARMIN pour géoréférencer les zones tests de chaque type d'occupation du sol.



Fig.24 : GPS de type GARMIN

- Les personnes contactées :

Pour collecter le maximum d'information sur le sujet d'étude, nous avons fait plusieurs visites à la Conservation de la wilaya de Mila et à la Circonscription de la Daïra de Grarem Gouga pour interviewer les forestiers chargés de la gestion des forêts de la wilaya de Mila.

2.1.2. Matériels utilisés dans le bureau :

- Un PC

Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé un ordinateur doté d'un processeur : Intel Processor 0.80 à 1.00GHz, de 4 Go de Ram, 80 GB de disque dur avec un système d'exploitation Windows 7 (64 bits).

-Google Earth

Google Earth est un site web de cartographie qui offre une représentation visuelle précise de la surface de la terre entière en utilisant les images satellites, photographies aériennes, et des données SIG. Il est disponible sur le Web en une version gratuite et une autre payante avec des fonctionnalités améliorées (Karen, 2008).

-Logiciel ArcGIS 10.1 :

C'est un ensemble de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développé par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute), il contient de nombreuses fonctions et outils utilisés pour les traitements des données raster et vectorielles (Esri, 2009).

-Logiciel ENVI 4.7 :

C'est un logiciel de télédétection et de traitements d'images, qui fournit des outils pour la visualisation, le géoréférencement, les prétraitements, la classification et l'analyse des images satellitaires (Thomas *et al.*, 2005).

-Les images satellites :

Dans cette étude, l'image satellitaire utilisée est celle du satellite américain LANDSAT 8. Elle est fournie gratuitement par des organismes internationaux pour encourager les chercheurs et les étudiants à réaliser leurs recherches scientifiques. L'image satellite datée du 14/08/2018 a été téléchargée depuis les sites web suivant :

- <http://landsat.usgs.gov/>

Tab.08 : Caractéristique de l'image satellitaire Landsat 8

Bande spectrale	Longueur d'onde (µm)	Résolution (m)
Bande 1 - Côtier/Aérosol	0.433 – 0.453	30
Bande 2 - Bleu	0.450 – 0.515	30
Bande 3 - Vert	0.525 – 0.600	30
Bande 4 - Rouge	0.630 – 0.680	30
Bande 5 - Infrarouge proche	0.845 – 0.885	30
Bande 6 - Infrarouge à ondes courtes	1.560 – 1.660	30
Bande 7 - Infrarouge à ondes courtes	2.100 – 2.300	30
Bande 8 - Panchromatique	0.500 – 0.680	15
Bande 9 - Cirrus	1.360– 1.390	30

-Les cartes dérivées de l'MNT :

Le modèle numérique de terrain (MNT) fournit une information altimétrique, c'est une représentation numérique simplifiée de la surface du territoire. Intégrée dans le SIG cette information joue un rôle très important dans les méthodes d'analyse spatiale en particulier pour la prise en compte de la morphologie du terrain (Gilliot, 2000). Nous avons dérivé, à partir de l'MNT, les rasters de pente et d'exposition.

2.2. Méthodes :**2.2.1. Scannérisation :**

Le scanner enregistre l'intensité de la réflexion d'un faisceau lumineux qui balaye la carte, ligne par ligne. La précision de saisie se mesure comme pour les imprimantes laser, en points par pouce (dpi = dot per inch). Selon Berger *et al.*, 2005, le scanner permet de lire un document sur support papier et le transformer en fichier numérique.

La carte topographique de la zone d'étude a été scannée en format TIFF avec une résolution de 400 dpi (Dots Per Inch).

2.2.2. Géoréférencement :

Le géoréférencement est un processus qui consiste à collecter des informations dans un système de coordonnées de telle sorte que les nombreuses couches de données puissent être superposées et donner lieu à une analyse géographique exploitable (Berger *et al.*, 2005).

Le géoréférencement de la carte topographique a été établi avec le logiciel ArcGis10.1. La projection utilisée est : UTM (Universel Transverse Mercator), fuseau 32 Nord (fig.25).

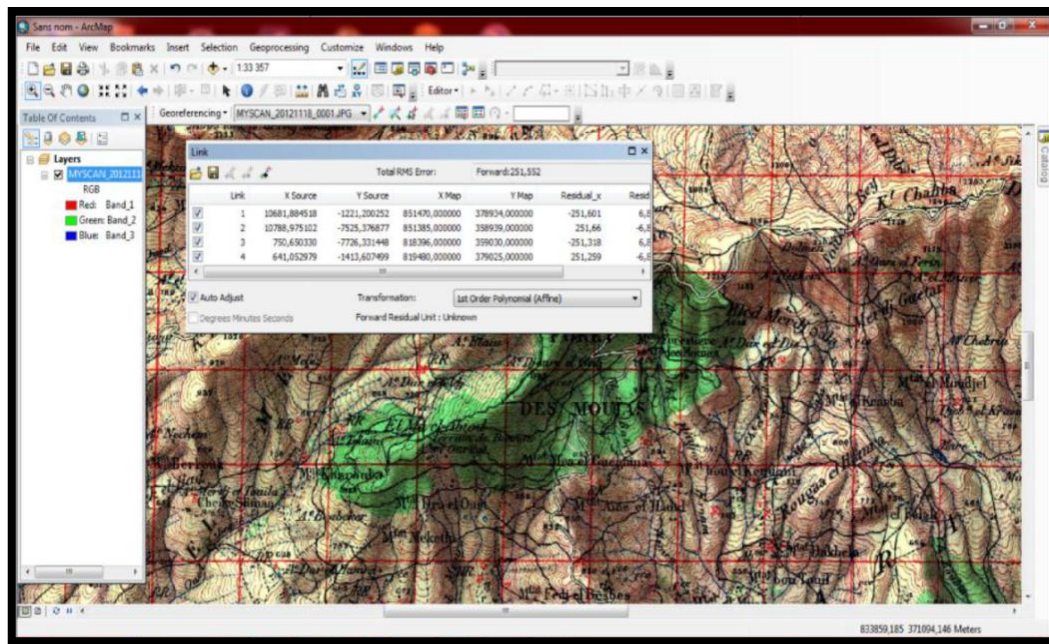


Fig.25 : Géoréférencement de la carte topographique de la forêt de Mouia sous ArcGis 10.1

2.2.3. Vectorisation :

Cette opération consiste à créer sous Google Earth des vecteurs (polygones, polylignes) qui déterminent toutes les infrastructures (les routes et les habitats) de la zone d'étude.

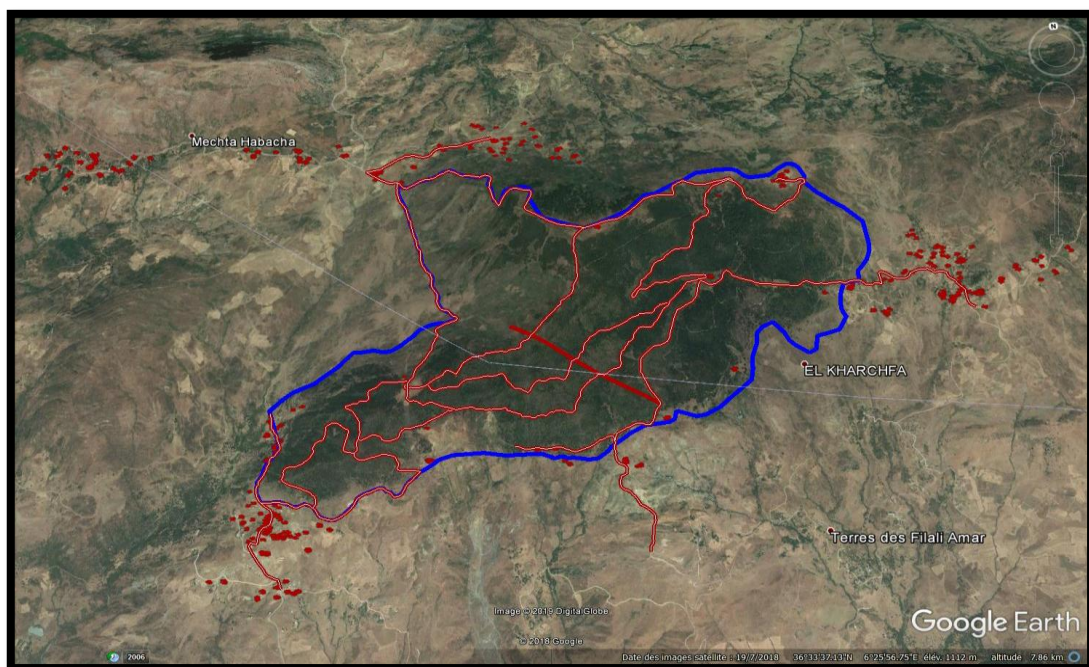


Fig.26 : Vectorisation des routes et des habitats du massif de Mouia sous Google Earth

2.2.4. Cartographie de la forêt Mouia par la classification de l'image satellitaire:

2.2.4.1. Prétraitement :

Cette opération permet de préparer les images satellites pour l'analyse principale et l'extraction de l'information. Elle se divise en une correction géométrique (Orthorectification) qui permet la correction des distorsions géométriques de l'image dues aux variations de la géométrie Terre-Capteur, et transformer les données en vraies coordonnées géographiques, et une correction radiométrique qui permet de réduire les bruits d'images dus au capteur ou à l'atmosphère (Nuages, poussière atmosphérique, vent de sable, etc) (Hadjadj, 2010).

L'image satellitaire LANDSAT 8 qui couvre notre zone d'étude, a été géoréférencée, rectifiée et orthorectifiée par le distributeur USGS (*United States Geological Survey*). La correction radiométrique n'est pas obligatoire dans notre cas, due à l'absence des différents paramètres spécifiques pour corriger l'image radiométriquement.

2.2.4.2. La classification :

La classification d'une image satellitaire permet d'identifier et de regrouper les pixels similaires dans une classe. Cette similarité peut être déterminée par rapport à la signature spectrale ou à la proximité spatiale.

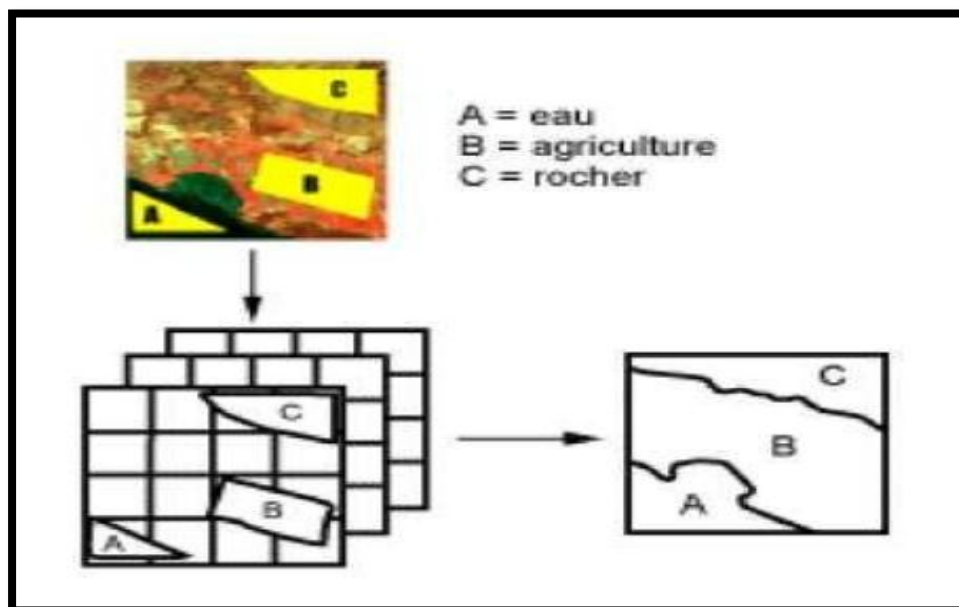


Fig.27 : Principe de la classification supervisée (CCT, 2008)

❖ La classification supervisée (assistée) :

Pour cartographier les différents types d'occupation du sol de la forêt de Mouia, nous avons réalisé une classification supervisée de l'image Landsat 8, sous le logiciel Envi 4.7. Cette opération nécessite des échantillons de l'image (des zones tests) qui sont considérées comme des références pour classer l'image en utilisant des algorithmes de classification.

Une sortie sur le terrain a été effectuée le 20 février 2019 avec les forestiers de la Circonscription des forêts de Grarem Gouga (wilaya de Mila). L'objectif de cette sortie est de repérer, avec un GPS, les zones tests représentatives de différents types d'occupation du sol de la forêt. Ces zones tests sont nécessaires pour réaliser la classification supervisée sous le logiciel Envi 4.7.

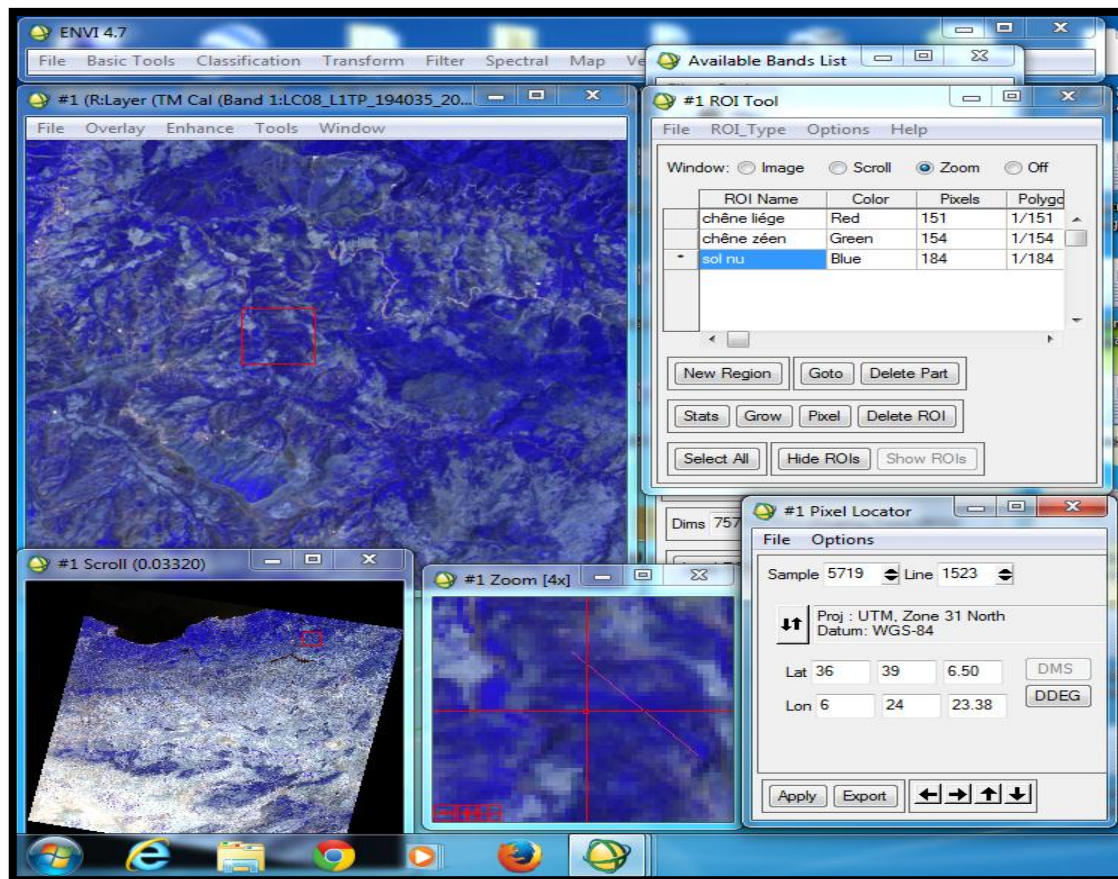


Fig.28 : Localisation géographique des zones tests sous le logiciel ENVI 4.7

❖ L'indice de séparabilité :

L'indice de séparabilité est utilisé pour distinguer la séparabilité des signatures spectrales entre les parcelles d'entraînement. Il est basé sur le calcul de la distance spectrale et compare, en

général, deux pixels ou deux groupes de pixels mesurés en unité de luminance. Cet indice fournit des valeurs qui varient entre 0 et 2 :

- $0 < x < 1$: séparabilité très faible, il implique une confusion totale entre deux classes.
- $1 \leq x < 1.9$: séparabilité faible.
- $1.9 \leq x < 2$: bonne séparabilité.
- > 2 : séparabilité parfaite avec aucun risque de confusion (une bonne discrimination des espèces) (Hadjadj, 2010).

2.2.5. Méthode de cartographie du risque d'incendie:

Pour élaborer la carte du risque d'incendie, nous avons utilisé la formule de Erten *et al.*, 2004.

$$\text{IR} = 7 \text{ Tveg} + 5(\text{P} + \text{E}) + 3(\text{Dr} + \text{Da})$$

Avec :

IR : l'indice de risque d'incendie.

Tveg : le type de végétation

P : la pente

E : l'exposition

Dr : la distance à partir des routes

Da : la distance à partir des agglomérations

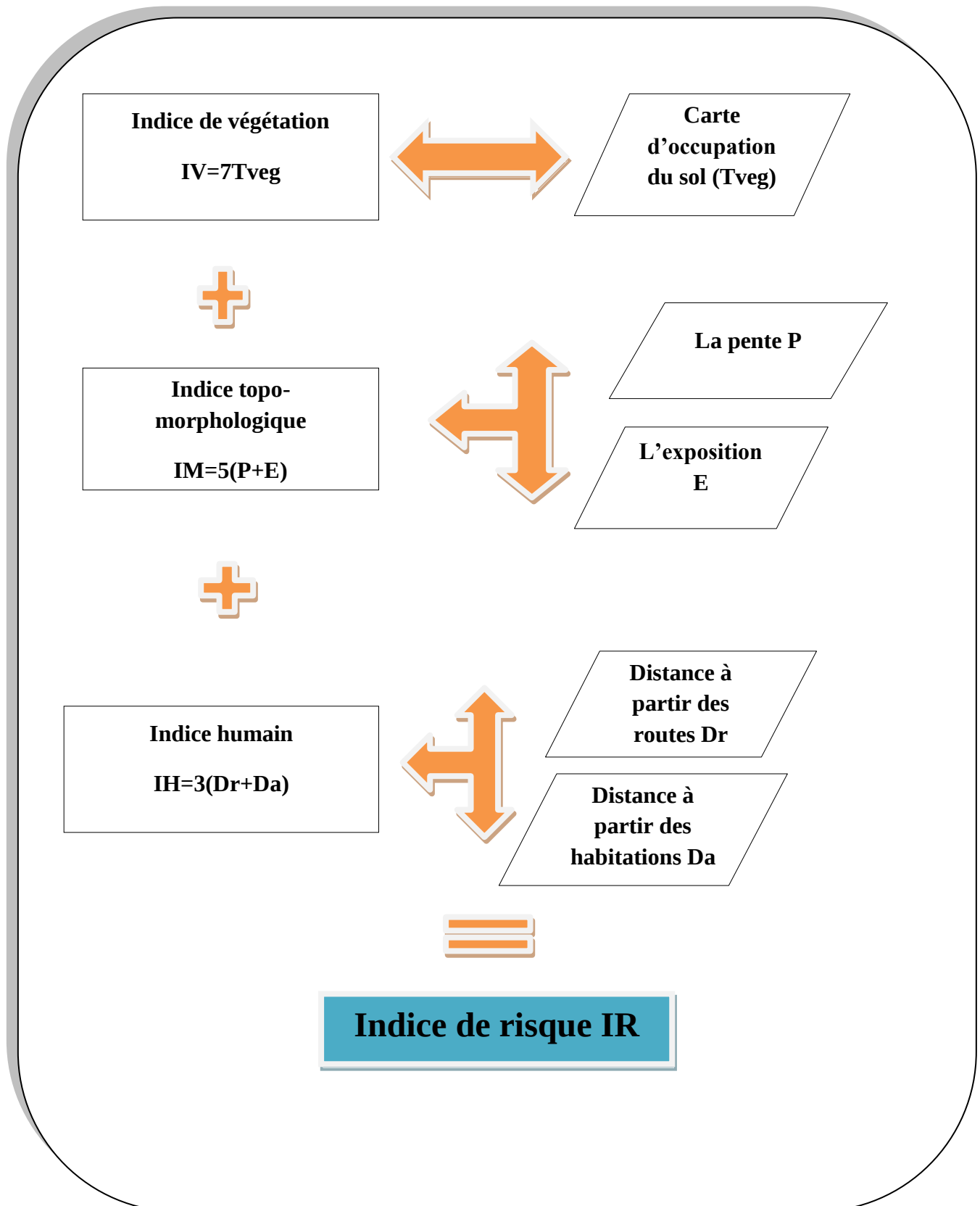


Fig.29 : Schéma illustre la méthodologie suivie pour le calcul de l'indice de risque du feu (IR)

Chapitre III

Résultats et discussion

1. Caractéristiques topographiques du massif forestier de Mouia:

Pour bien illustrer la sensibilité des incendies du massif forestier de Mouia, on a essayé de décrire les composantes du relief (pente, exposition), les infrastructures (route, habitation) de cette forêt.

1.1. La Pente:

La pente possède une importance primordiale pour la compréhension des aspects du relief et les différentes inclinaisons des versants. Elle est exprimée en degrés ou en pourcentage par rapport au plan de l'horizon. Elle régleme la localisation des activités humaines et donc la pression humaine sur les forêts.

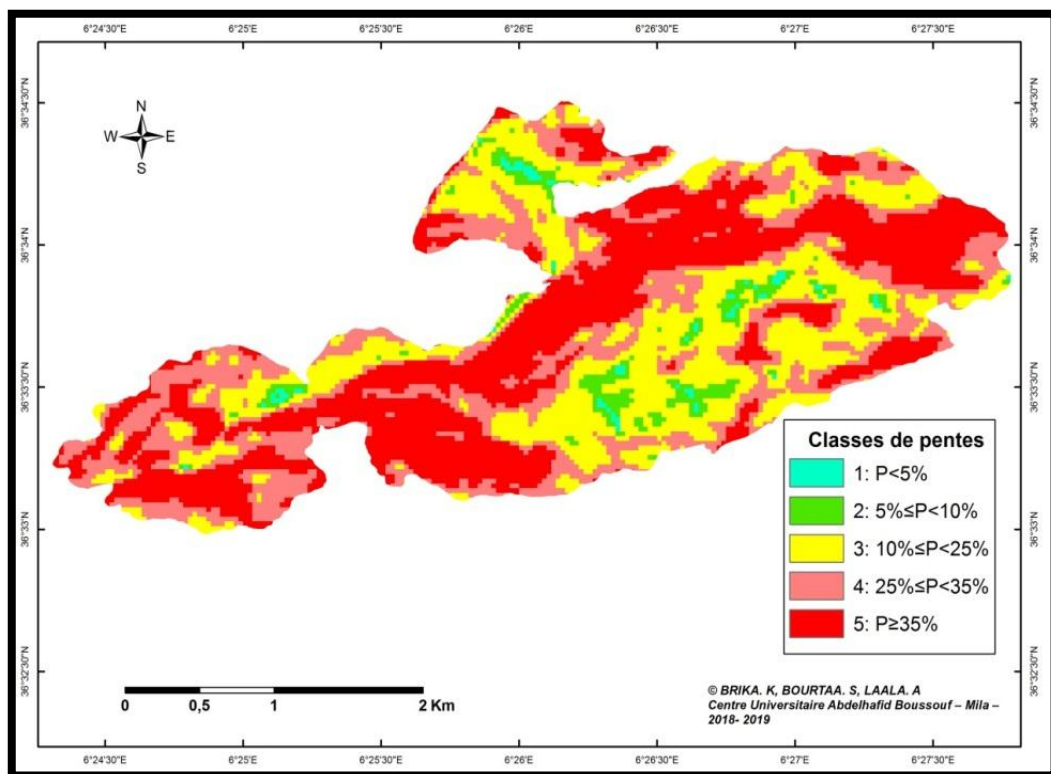


Fig.30 : Carte des pentes du massif de Mouia

On peut constater d'après les figures 30 et 31 que la forêt de Mouia est dominée par des pentes très fortes où elles occupent 37 % de la superficie globale du massif. Le risque d'incendie dans ces zones est très élevé. D'autre part, les pentes très faibles ($P < 5\%$) qui caractérisent les terrains en dépression ou horizontaux ne représentent que 1%. Le déclenchement du feu dans ces zones est très faible.

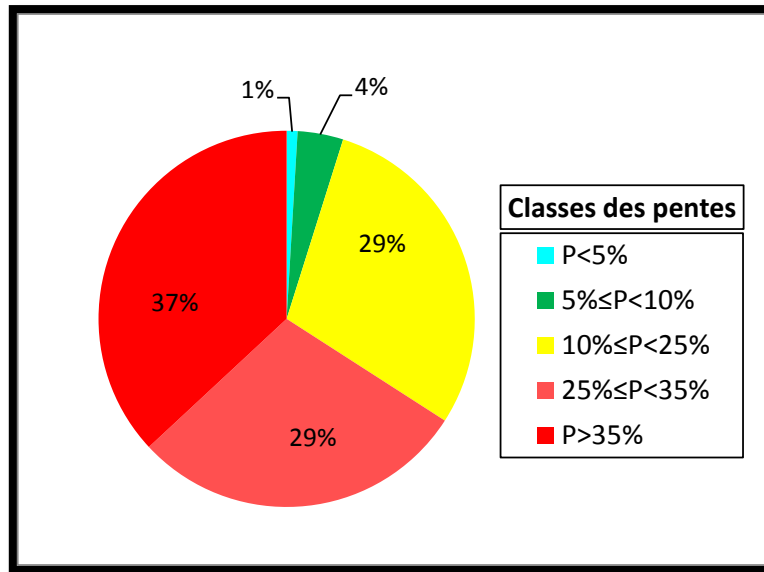


Fig.31 : Répartition des superficies forestières (en %) par classe des pentes

1.2. L'exposition :

L'exposition détermine la direction de la pente et joue un rôle important à la propagation des feux. Les classes des expositions ont été fusionnées en quatre principales directions: Nord, Est, Sud et Ouest. Pour des raisons d'illustration et de commodité, la classe des régions plates (très insignifiante) sans orientation est incluse dans la classe Nord.

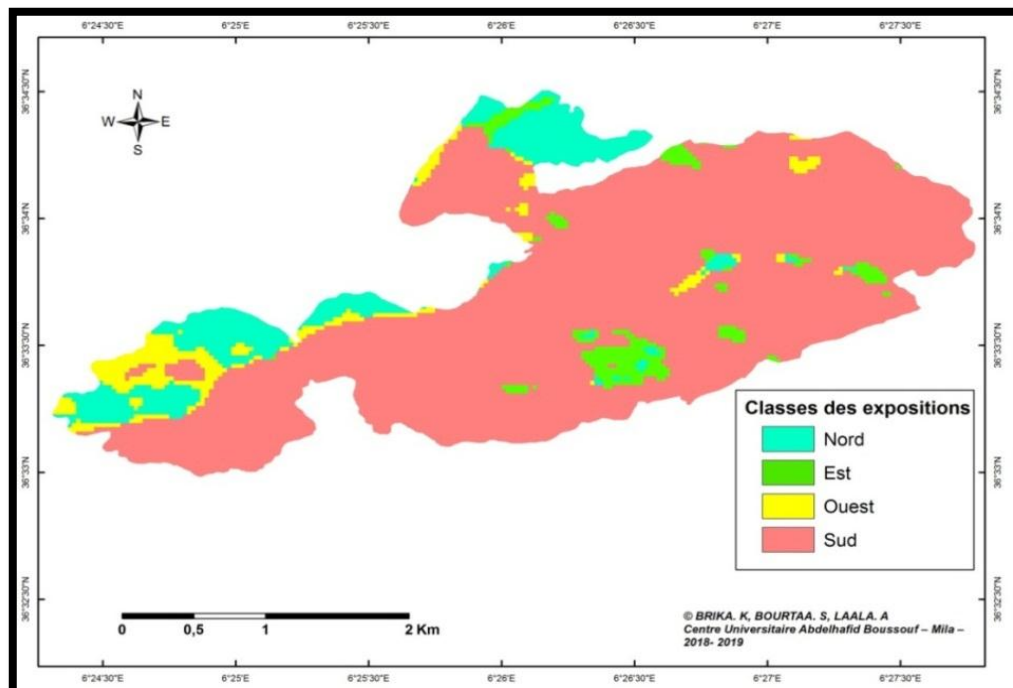


Fig.32 : Carte d'expositions de la forêt de Mouia

Près de 80% de la superficie de Mouia est exposée au Sud (fig.32, 33). Ce qui nous signifie que le risque du feu est très élevé dans ces zones. Ainsi, les terrains exposés aux Nord occupent 11% de la superficie totale de la forêt de Mouia, ces terrains présentent un risque du feu très faible.

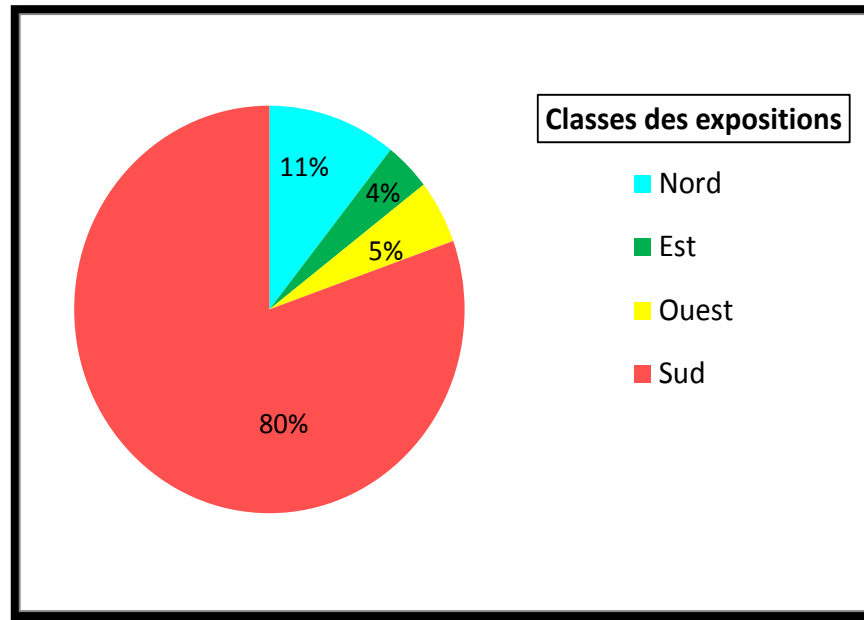


Fig.33 : Superficie forestière (en %) par classe d'exposition

1.3. Les routes :

Les réseaux routiers ont de multiples usages : exploitation forestière, voie de communication entre villages, accès aux habitations, tourisme. Cette multifonctionnalité contribue de manière significative à la déclenchement et l'augmentation de risque d'incendie liés aux activités humaines.

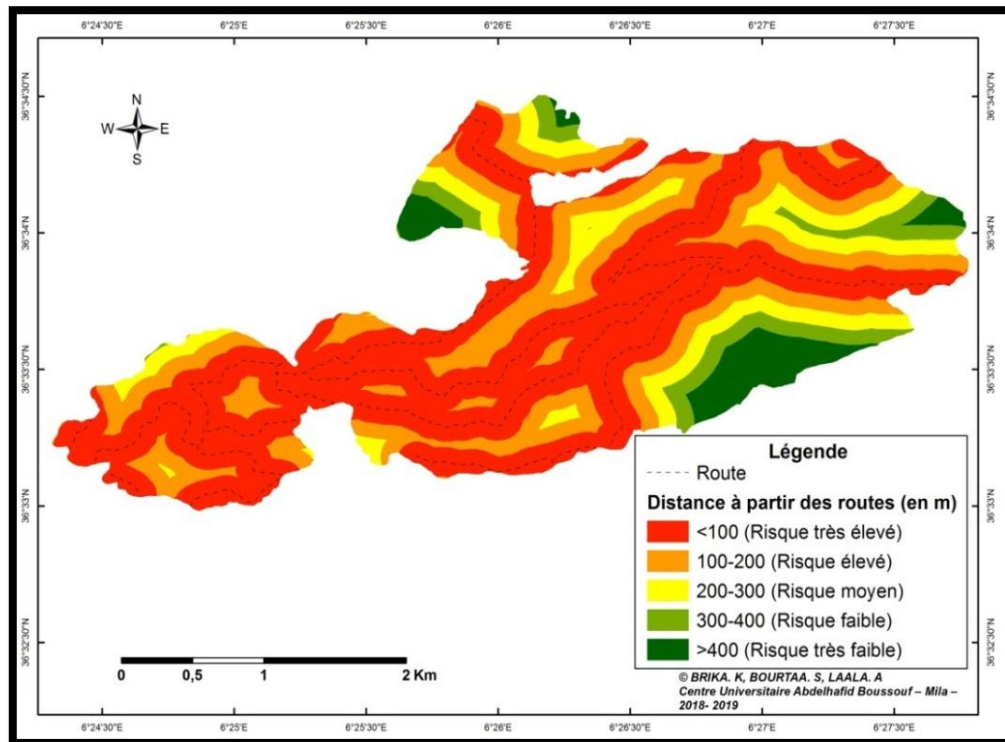


Fig.34 : Carte des classes de risque liée aux réseaux routiers

D'après la figure 34, on peut remarquer la présence des réseaux des pistes carrossables qui travers le massif de Mouia d'Est en Ouest. La moitié de la superficie forestière étudiée présente un risque très élevé (proximité <100 m). Cependant, la classe à risque élevé (distance aux routes 100-200 m) occupe 26% de la superficie totale du massif forestier. La classe à risque très faible (proximité >400 m) occupe une très faible superficie estimée à 6% (Fig.35).

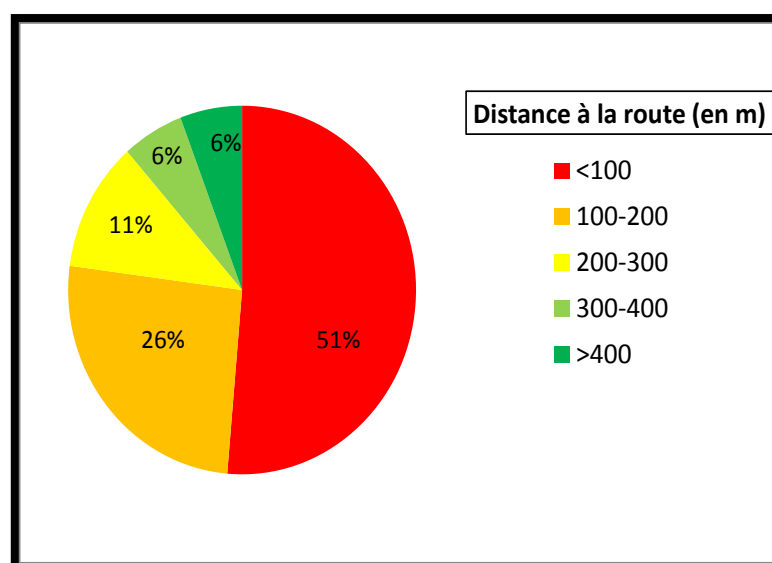


Fig.35 : Superficie forestière (en %) par classe de distance aux routes

1.4. Les habitations :

Les habitats sont des installations de constructions comme villes, petites maisons, agglomérations...etc. qui se trouvent aux environs des forêts et qui peuvent provoquer un déclenchement des incendies.

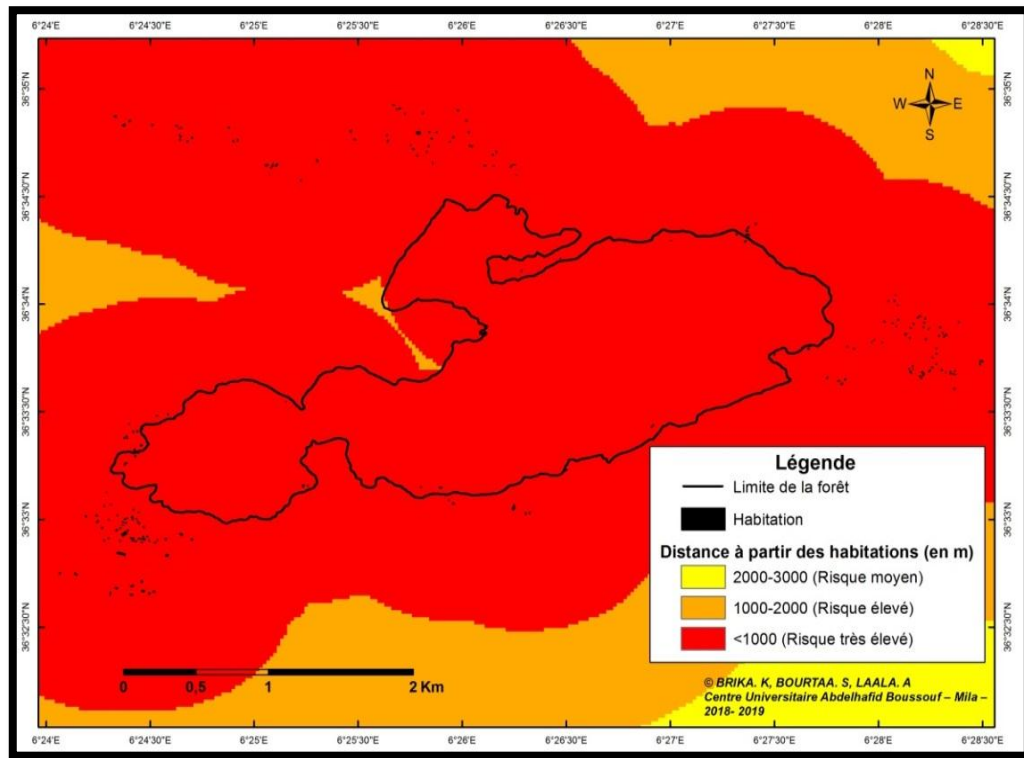


Fig.36 : Carte des classes de risque liée à l'habitat

D'après les figures 36 et 37, on constate que 99,97% de la forêt de Mouia est caractérisé par un risque très élevé où la distance aux habitations est inférieure à 1000 m. Le reste du terrain qui occupe 0,03 % de la zone d'étude présente un risque élevé où la distance aux habitations varie entre 1000 et 2000 m.

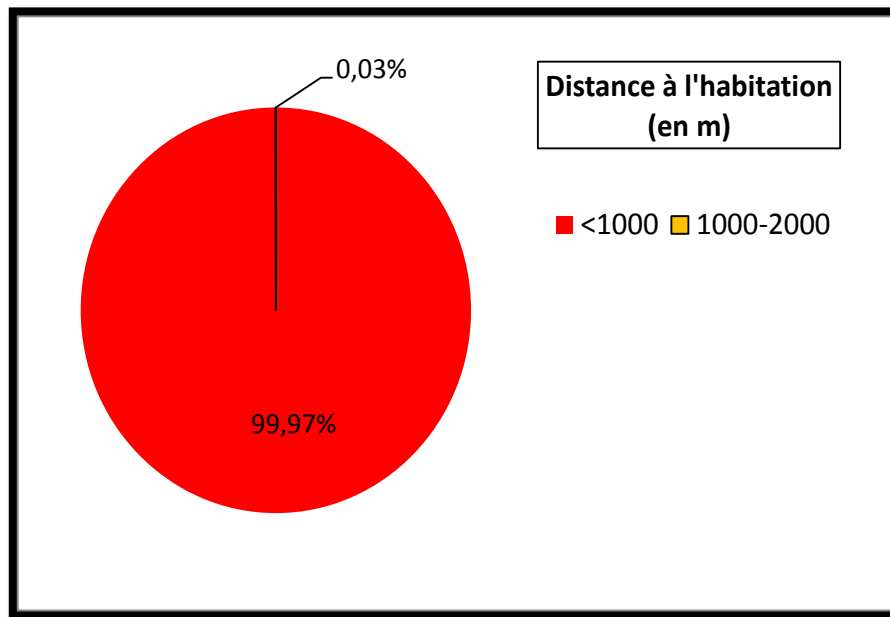


Fig.37 : Superficies forestières (en %) par classe de distance aux habitations

2. Cartographie de la forêt de Mouia par la classification supervisée :

2.1. Estimation de l'indice de séparabilité:

Dans cette étude, nous avons utilisé la classification supervisée de l'image satellitaire pour cartographier la forêt de Mouia. Cette technique est basée sur l'identification des échantillons homogènes de l'image qui représentent des zones occupées par une catégorie thématique connue (zones tests). La fiabilité de ces zones est évaluée par l'estimation de l'indice de séparabilité sous le logiciel Envi 4.7.

Tab.09 : Valeurs de l'indice de séparabilité

Classes d'occupation du sol		Indice de séparabilité
Chêne liège	Chêne zeen	1,98
Chêne zeen	Sol nu	1,99
Sol nu	Chêne liège	1,98

D'après le tableau 09, on remarque que l'indice de séparabilité entre les parcelles d'entraînements dépasse le seuil de 1,98, ce qui signifie qu'il y a une bonne séparabilité entre les signatures spectrales des zones tests.

2.2. Les classes d'occupation du sol de la forêt de Mouia :

On constate, d'après les figures 38 et 39, que le chêne liège occupe une superficie de 45% par rapport à la superficie totale. Concernant le chêne zeèn, il se localise dans le Nord-Est et au niveau de quelques pixels du Sud-Ouest du massif de Mouia où elle occupe une superficie de 33%. Cependant le sol nu, il colonise une faible superficie égale à environ 22 % de la superficie forestière totale.

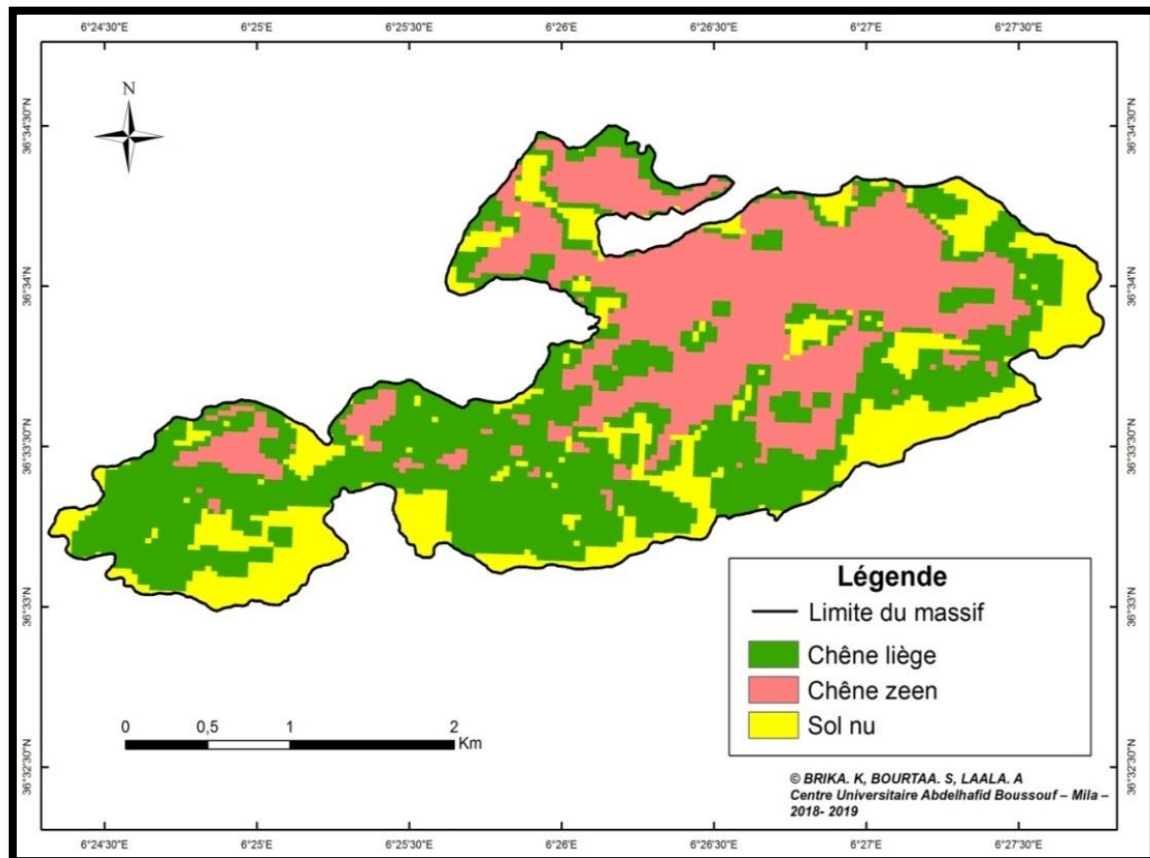


Fig.38 : Carte d'occupation du sol de la forêt domaniale de Mouia

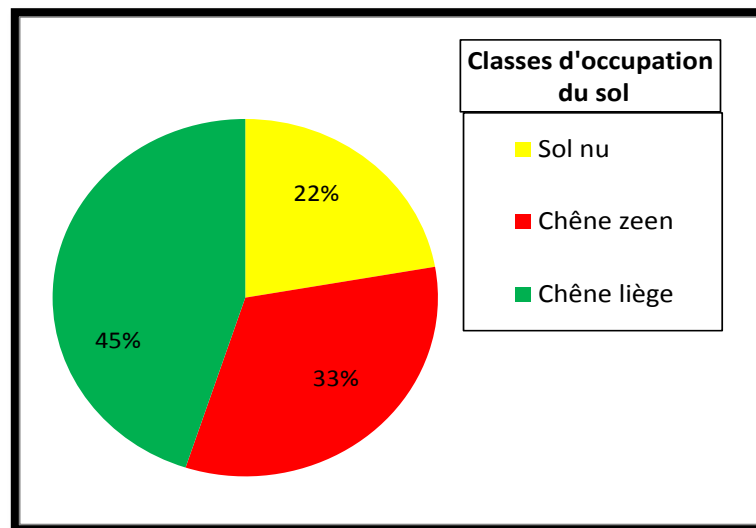


Fig.39 : Répartition des différents types d'occupation du sol de la forêt de Mouia

On remarque que 45% de la superficie de la forêt de Mouia présente un risque très élevé et 33 % de cette superficie présente un risque élevé (fig.40). Ceci peut-être expliqué par la dominance des espèces à degré d'inflammabilité forte (chêne liège) et modéré (chêne zéen).

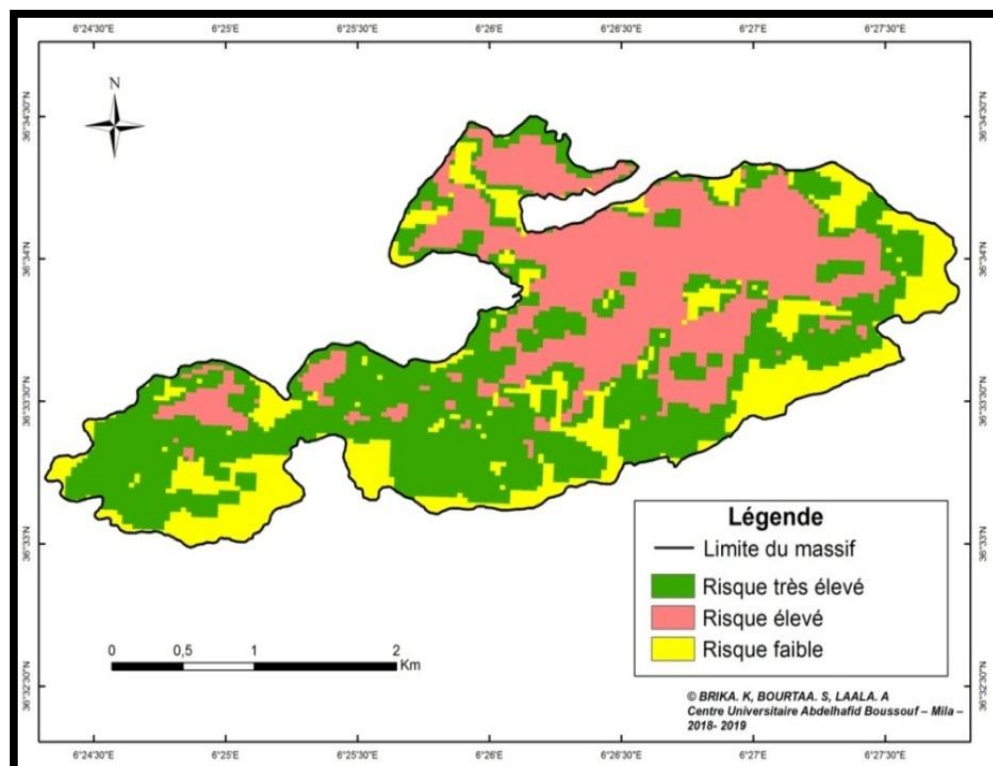


Fig.40 : Carte de risque liée aux espèces

3. Cartographie de l'indice de risque du feu (IR) :

La cartographie de l'indice de risque du feu est le résultat de croisement des plusieurs cartes: de l'indice de combustibilité (végétation), de la couche de l'indice topomorphologique et de l'indice d'activité humain (fig.41).

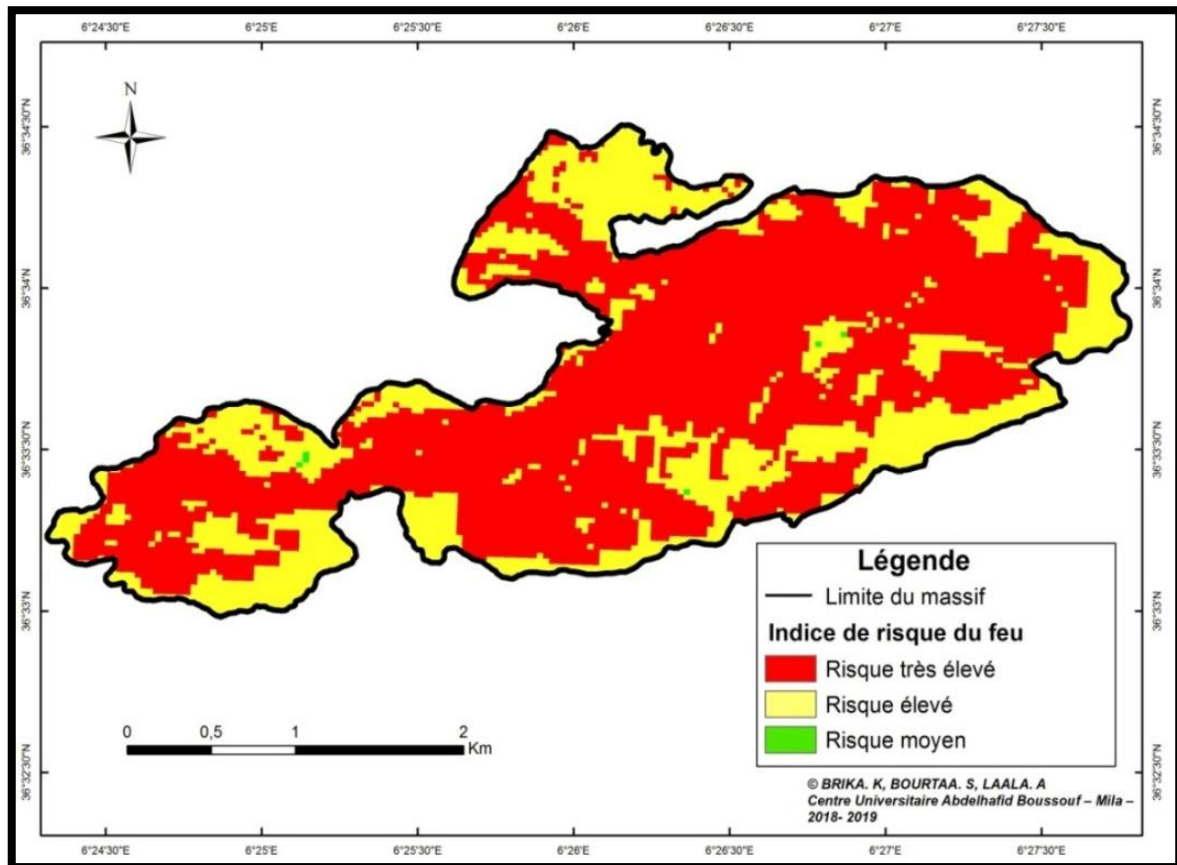


Fig.41 : Carte de risque du feu de la forêt de Mouia

On constate d'après les figures 41 et 42, que 66,6 % de la forêt de Mouia, affiche un risque très élevé. Ainsi, 33,3% de la superficie totale de cette forêt affiche un risque d'incendie élevé. Une superficie presque négligeable (0.1%) est caractérisée par un risque d'incendie moyen.

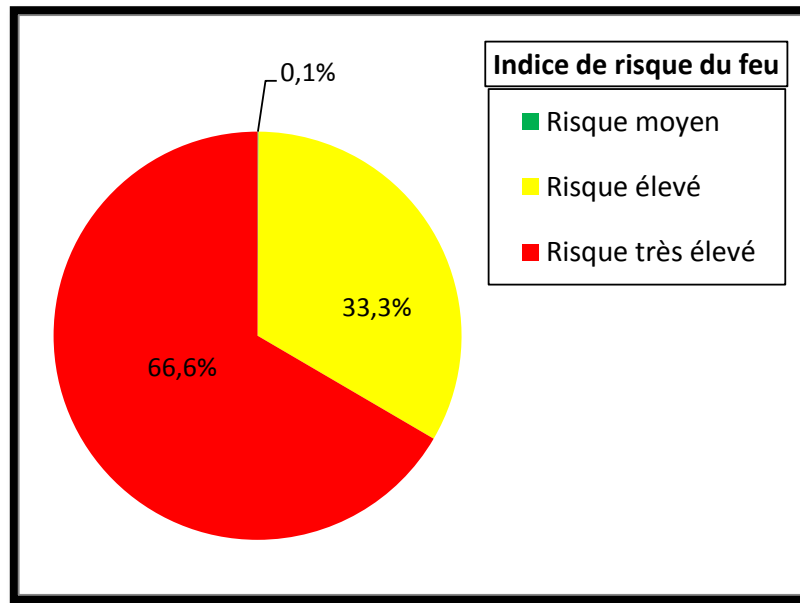


Fig.42 : Superficies forestières par classe d'indice de risque du feu

D'après les résultats obtenus, on peut dire que les conditions topomorphologiques de la forêt Mouia sont très favorables pour l'éclosion du feu (pentes fortes, exposition vers le Sud). Cette forêt est dominée par des essences forestières facilement inflammables, ce qui maximise le risque d'avoir des incendies. Concernant les infrastructures routières et les habitations, elles constituent une autre source potentielle de mise à feu, accru de façon significative le risque et la fréquence des feux au niveau de la forêt domaniale de Mouia.

Conclusion

La forêt domaniale de Mouia constitue un espace d'un grand intérêt écologique. Malheureusement, au cours des dernières années, elle a été exposée à plusieurs risques notamment des incendies, qui aboutissent à des pertes forestières immédiates. De ce fait, cette forêt nécessite une attention particulière pour réduire les dégâts occasionnés par les feux et préserver pour les générations futures.

Les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) sont entrain de s'imposer comme des outils d'études non incontournables dans le monde, ceci grâce à la puissance de calculs des algorithmes des logiciels.

La présente d'étude s'inscrit dans le but d'évaluer le risque incendie de la forêt de Mouia à l'aide de SIG et de la télédétection. Pour cela nous avons eu recours à l'application d'un modèle qui fait intervenir cinq paramètres : le type de végétation, la pente, l'exposition, la proximité des routes et la proximité des habitations.

A l'issue de cette étude, nous avons pu avoir une connaissance sur le milieu physique et sur la répartition spatiale du risque d'incendie au niveau du massif forestier étudié. Les résultats obtenus montrent que ce patrimoine forestier est fortement touché par l'aléa d'incendie, sa régression s'est remarquablement accélérée sous la pression de la démographie et la proximité des routes qui indique l'existence d'un risque très élevé.

La carte de risque d'incendie montre que 66,6 % de la superficie forestière de Mouia présente un risque très élevé qui caractérise la partie Sud-Est de cette forêt. Ce type de risque est dû à la végétation inflammable (chêne liège), à la fréquentation humaine élevée, au réseau routier dense, à la pente élevée (> 35%) et à l'exposition Sud.

La carte produite n'est pas un moyen de lutte proprement dit, mais elle pourrait sur le plan opérationnel, améliorer les processus d'alertes et le positionnement des postes de vigie et des unités d'interventions chargées des attaques initiales des feux naissants.

Le présent travail nous a donné plusieurs idées à développer dans le futur pour protéger la forêt de Mouia. Comme perspectives, nous proposons:

- d'augmenter le nombre des équipes d'intervention par des recrutements.
- d'implanter des formations végétales moins sensibles au déclenchement des incendies.
- de sensibiliser les différents acteurs (agriculteurs, éleveurs, les touristes...).

- d'installer plusieurs points d'eau (qui servent à ravitailler les camions citernes) dans des sites les plus proches possibles des zones à risque élevé d'éclosion des feux.
- d'entretenir les anciens réservoirs.
- de fournir aux services forestiers des véhicules équipés de tout le dispositif de lutte contre les incendies.

Références bibliographiques

- **Albini F., 1976.** Estimating wildfire behavior and effects. USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station General Technical Report INT-30.Ogden. UT.
- **Alexandrian D., Esnault F et CalabriG ., 1998.** Analyse de des tendances des feux en méditerranée et des causes sous-jacentes liées aux politiques. Rapport de F.A.O sur les politiques publiques concernant les feux de forêt. Rome (Italie). Algérie, 90 p.
- **Ammari M., 2011.** Etude de la dimension fractale du front dans un système désordonné binaire. Application aux feux de forêt. Thèse Magister. Univ Oran. Algérie, 90 p.
- **Anderson L et RotherneL., 1965.** Sécurité civil et industrie, revue mensuelle n°417, p60.
- **Arfa A., 2008.** « Les incendies de forêts en Algérie: stratégies de prévention et plans de gestion », Mémoire de Magister en écologie et environnement, université Mentouri Constantine, 52, 53, 55,123p.
- **Berger A., Lacroix P., Lavenu G., Lesellier S., Reynaud I., Tournadre G., et Gonzalez O., 2005.** ArcView 9 Niveau 1. Support de cours avec exercices pratiques et données. Edition ESRI France, Meudon, p. 388.
- **Berrouaine Z., 2013.** Analyse comparative des incendies de forêt dans la Wilaya de Tlemcen. Mém. Master II. Uni. Abou Bekr Belkaid.Tlemcen, 88p.
- **Boudy P., 1952.** Guide du forestier en Afrique du Nord. Ed. Larose, Paris, 505 p.
- **Boulbair N.E et Soufane A., 2011.** Evaluation du risque de contamination par les métaux lourds dans l'eau, les sédiments et les poissons du barrage de béni Haroun de la wilaya de Mila. Mémoire de fin d'études.
- **Bureau National des Etudes Forestières (BNEF) ., 1994.** Etude d'aménagement Forestier Chêne Liège et du Chêne zeen de la Wilaya de Mila. Phase II: Etude du Milieu. Ministère de l'Agriculture, 88p.
- **Carbonell G., Dusserre G et Sauvagnargues S., 2004.** Embrasement généralisé éclair en feu de forêt. Le sage Lieutenant-colonel J.P. Monet.
- **Cemagref., 1989.** Le guide technique du forestier méditerranéen français, chapitre IV: protection des forêts contre les incendies. Division technique forestière, Aix-en Provens (France).
- **Centre Canadien de Télédétection (CCT) ., 2008.** Tutoriel : Notions Fondamentales de Télédétection. [En ligne] consulté le 07 Décembre 2008, http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/_resource/tutor/fundam/index_f.php_

- **Colin P et Eaves C., 2001.** Protection des forêts contre les incendies .Ed, FAO, Cemagraf. p 149.
- **Colin P.Y., Jappiot M., Mariel A., Lampin C., et Veillon S., 2001.** Protection des forêts contre l'incendie, Edit. FAO/C.E.M.A.G.R.E.F, Cahier FAO Conservation, n°36 : 149 p.
- **DGF., 2005.** Superficies, potentialités et bilan d'incendies des forêts algériennes, 104 pages.
- **DGF., 2012.** « Bilan des incendies de forêts depuis l'indépendance de l'Algérie (1962 2012) ». Portail du cinquantenaire de l'indépendance. www.djazair50.dz.
- **DGF., 2013.** Bilan des incendies de forêt en Algérie (1963-2013).
- **DGF., 2016.** Direction Générale des Forêts Mila.
- **DGF., 2017.** La présentation de la forêt domaniale de Mouia. Circonscription des forêts Grarem Gouga.
- **DGF., 2018.** Les bilans annuels des incendies pendant la période (1999-2018). Circonscription des forêts Grarem Gouga.
- **Erten E., Kurgun V., Musaoglu N., 2004.** Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS a case study, XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), 12-25 July 2004, Istanbul, Turkey.
- **Esri., 2009.** An overview of linear referencing. Arc GIS 9.1 Web help topic, 40p.
- **FAO., 1986.** Terminologie de la lutte contre les incendies des forêts, étude de la FAO : Forêt n° 70 Rome p 275.
- **FAO., 2005.** Utilisation des engrais par culture en Algérie, 56p.
- **Faurie C., Ferra C et Medori P., 1980.** Ecologie. Edition. J. B. Baillière. Paris. 168 p.
- **Frederic J., 1992.** Modélisation du comportement du feu, influence de la pente et de la charge d'une litière d'aiguilles de pin maritime, Document PIF9205. Avignon. 29p.
- **Gilliot J-M., 2000.** Revue, Introduction aux SIG « Systèmes D'informations Géographiques.
- **Hadjadj M.F., 2010.** Apport des SIG et des images satellites pour la cartographie numérique de la forêt du Chettabah (Wilaya de Constantine). (Modélisation climatique et classification). Thèse de Magister. En agronomie, Constantine, 187p.
- **I.N.R.A., 1991.** Gestion de l'espace rural et système d'information géographique. Séminaire INRA, Florac, 22-24 octobre 1991, p 421.
- **Jappiot M., Blanchi R., et Alexandrian D., 2002.** Cartographie du risque : recherche méthodologique pour la mise en adéquation des besoins, des données et des méthodes.

CEMAGREF. ENSMP-ARMINES. Agence MTDA., Colloque de restitution des travaux de recherche du SIG Incendies de forêt. 4 Décembre 2002. Marseille (France).

- **Jappiot M., Lampin C., et Borgniet L., 2004.** Méthode de cartographie des types d'urbanisation au contact des zones boisées pour une aide à la mise en place des PPRIF. MEDD, Rapport final, 40 p.
- **Kalasia B., 1987.** « Le musée vert Radiographie de loisir en forêt », ISBN 2-7384-9, 304p.
- **Karen k., 2008.** Encyclopedia of geographic information science, SAGE Publications, Inc.2455 Teller Road Thousand Oaks, California 91320, 98 P.
- **Khalid F., 2008.** Contribution à l'élaboration d'un plan de prévention des risques incendie de forêt. Thèse Magister. Univ de Tlemcen, Fac des Sciences, département de forêt. Algérie, 162 p.
- **Lambin E.F., Geist H.J et Lepers E., 2003.** Dynamics of Land-use and Landcover Change in Tropical Regions. Annual Review of Environmental Resources 28: 205-241.
- **Lemee G., 1978.** Précis d'écologie, Masson, Paris. 285 p.
- **Long M., Rupert C., Piana C., Japiot M., Lampin C., Ganteaume A., 2008.** Amélioration de la connaissance des causes de départ de feu de forêt Convention DGFARForest Focus n° FF 2004-06 Juillet 2008. 100p.
- **M.T.F., 1973.** Manuel de lutte contre les feux de forêts. Ministère des Terres et Forêts. Pierre Lefebvre. Québec. Canada. Inc. Sillery. 437p.
- **Margerit J., 1998.** Modélisation et simulations numériques de la propagation de feux de forêts. Thèse Doct. Inst. National polytechnique de lorraine. Nancy. France. 260p.
- **Meddour S., 2008.** Contribution à l'étude des feux de forêt en Algérie : approche statistique exploratoire et socio-économique dans la wilaya de Tizi-Ouzou, mémoire. Magister ; Dép. Foresterie et protection de la nature, I.N.A ; 275p.
- **Meddour S.O., Meddour R., Derridj A., 2008.** Analyse des feux de forêts en Algérie sur le temps long (1876-2007). Les notes d'analyse du CIHEAM, 39 : 11.
- **Meddour S.O., Derridj A., 2012.** Bilan des feux de forêts en Algérie : analyse spatiotemporelle et cartographie du risque (période 1985-2010). Article de recherche, 23 : 133– 41.
- **Meddour S.O., Meddour R et Derridj A., 2007.** Historique des feux de forêts en Algérie Analyse statistique descriptive (période 1876-2005). Revue Campus, 10 : 53.

- **Merdas S., 2007.** Bilan des incendies de forêts dans quelques wilayas de l'Est algérien; cas de Bejaia, Jijel, Sétif et Bordj Bou-Arréridj. Mém. Mag. Uni. Mentouri- Constantine, 83p.
- **Metallaoui S., 2010.** Ecologie de l'avifaune aquatique hivernante dans garaet hadj– tahar (Numidie occidentale, nord- est de l'Algérie). Thèse de doctorat. Université d'annaba. 170 p.
- **Metro A., 1975.** Dictionnaire forestier multilingue. Edition conseil international de la langue française.
- **Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement., 2003.** Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement. 465 p.
- **Ramade F., 1984.** Eléments d'écologie fondamentale. ed. mc. grawhill, paris, 397 p.
- **Rebai A., 1983.** Les incendies de forêts dans la wilaya de Mostaganem (Algérie). Etude écologique et proposition d'aménagement. Thèse Doct. Univ. Sci. Marseille. France. 130 p.
- **Richard G., Sillon J.F., Cousin I et Bruand A., 2004.** Travail du sol, structure et fonctionnement hydrique du sol en régime d'évaporation. Étude et Gestion des Sols, (1) 11: 59-68.
- **Rothermel R.C., 1991.** Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains. USDA Forest Service Intermountain Research Station Research Paper INT-438. Ogden, UT. stantine, 83p.
- **Sari D., 1976.** L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). Ed. SNED. 224 p.
- **Seguin B., 1990.** La température de surface d'un couvert végétal et son état hydrique. Possibilité d'application à la surveillance des forêts par satellite. Rev. for. Fr. t. XIII, (Sp.): 106-111.
- **Seltzer A., 1946.** Le climat de l'Algérie. Inst. Météo. Phys. glob. Université. Alger. 219 p.
- **Thomas D., Maraston C., Bender R et Mendes de Oliveira C., 2005.** The Epochs of Early type Galaxy Formation as a Function of Environment. The Astrophysical Journal 2005, p.621-673 (T05).
- **Trabaud L., 1976.** Inflammabilité et combustibilité des principales espèces méditerranéenne. Ecologie plantarium, vol.11(2), pp 117-136.
- **Trabaud L., 1979.** Etude du comportement du feu dans la garrigue de chêne kermès à partir des températures et des vitesses de propagation. Ann. SCI. For, 36(1) pp 13-38.

- **Trabaud L., 1989.** Les feux de forêts : mécanismes, comportement et environnement. France sélection éditeurs. Aubervilliers., 278p.
- **Trabaud L., 1992.** Les feux de forêts : mécanismes, comportement et environnement. Éditions France- Sélection, 278 P.
- **Varela MC., 2004.** Le chêne-liège et les incendies de forêts : le cas portugais 2004. Colloque Vivexpo « Le chêne-liège face au feu », Perpignan. www.vivexpo.org.
- **Zouaidia H., 2006.** Bilan des incendies de forêts dans l'est algérien cas de Mila.

Site internet:

- <http://lechaudrondelafeekaramel.eclablog.com/beltane-a46251106>.

Annexes

Tab.01 : Les précipitations moyennes mensuelles de la wilaya de Mila
(Station météorologique de Mila, 2009 à 2018).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
P(mm)	79,84	87,66	83,5	47,11	38,58	43,03	10,84	44,01	29,03	43,52	75,84	65,72

Tab.02 : Variations d'humidité mensuelle moyenne de la wilaya de Mila
(Station météorologique de Mila, 2009 à 2018).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jun	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
H(%)	72 ,66	73,06	72,65	69,60	63,06	54,29	49,22	52,08	61,27	65,71	69,88	76,56

Tab.03 : Variations des températures mensuelles (moyenne, maximale et minimale) de la wilaya de Mila (Station météorologique de Mila, 2009 à 2018).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
T°C Max	12,75	13,46	16,66	20,38	24,4	27,96	34,36	34,34	29,38	23,69	17,57	13,77
T°C Min	4,57	4,61	6,58	8,87	11,48	14,3	19,74	20,1	16,9	13,54	9,16	5,44
T°C Moy	8,39	8,4	11,87	14,41	17,68	22,6	26,8	26,74	22,16	18,6	12,6	9,5

Tab.04 : Répartition des superficies incendiées (ha) selon les formations végétales dans la forêt de Mouia (1999-2018).

Formations Végétales	Forêts	Maquis	Broussaille	Totale
Superficies incendiées (ha)	158,7	37	116,5	312,2
Superficies incendiées (%)	51	12	37	100

**Tab.05 : Nombre de foyers et superficie incendiée au niveau de la forêt de
(période 1999-2018)**

Années	Nombre de foyers	Superficies brûlées (ha)	Superficies brûlées (%)
1999	01	70	22,42
2000	01	04	1,28
2006	01	05	1,60
2007	02	05	1,60
2009	05	140	44,84
2010	01	1,5	0,48
2011	02	67	21,46
2012	03	7,5	2,40
2014	01	7,2	2,30
2017	01	05	1,60

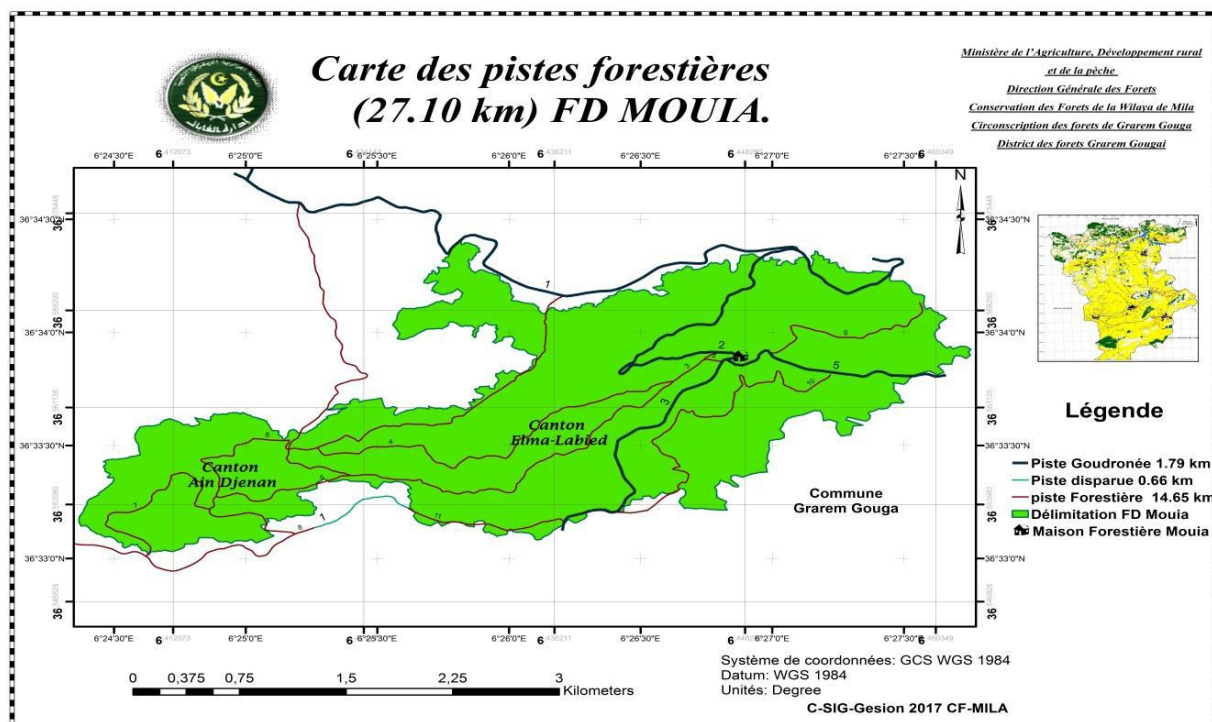


Fig.01 : Carte des pistes existantes dans la forêt domaniale Mouia

Résumé

Résumé

La forêt domaniale de Mouia couvre une superficie totale de 738 ha. Elle est soumise à des agressions multiples d'origine tant climatique qu'anthropique. Parmi ces agressions, ce sont les incendies qui causent le plus des dégâts car ils détruisent annuellement des superficies appréciables.

Dans ce travail, nous avons tenté d'évaluer cartographiquement le risque d'incendie du massif de Mouia par l'application des techniques du SIG et de télédétection. La mise en point d'une méthode pour l'élaboration d'une carte de risque d'incendie fait intervenir cinq facteurs influant sur le comportement du feu : le type de végétation, la pente, l'exposition, la proximité des routes et la proximité des habitations.

La classification supervisée de l'image satellitaire LANDSAT8 montre l'existence de trois classes d'occupation du sol: la classe du chêne liège, du chêne zéen et du sol nu. Le croisement des données, sous SIG, indique qu'environ 66,6% du massif présente un risque d'incendie très élevé. Ce dernier est lié à la végétation très inflammable, à la pente forte, à l'exposition Sud, au réseau routier dense et à la fréquentation humaine importante.

Les résultats issus de cette étude auront un intérêt capital pour les aménageurs et pour les services de lutte, du fait qu'ils vont leur permettre de mieux localiser les postes de surveillance, les lieux de pré-positionnements des véhicules d'interventions, les itinéraires de patrouille, les pistes d'accès et les points d'eau.

Mots clés : Cartographie, Forêt de Mouia, SIG, risque d'incendie, LANDSAT8.

Abstract:

The state forest of Mouia covers a total area of 738 ha. It is subject to multiple attacks of both climatic and anthropogenic origin. Among these assaults, it is the fires that cause the most damage because they annually destroy appreciable areas.

In this work, we have attempted to assess the fire risk of the Mouia massif by mapping the techniques of GIS and remote sensing. The development of a method for developing a fire hazard map involves five factors that influence fire behavior: vegetation type, slope, exposure, proximity to roads, and near homes.

The supervised classification of the LANDSAT8 satellite image shows the existence of three types of land use: the cork oak, the zen oak and the bare soil. Crossing GIS data indicates that about 66.6% of the massif has a very high fire risk. This risk is related to highly flammable vegetation, steep slopes, southern exposure, dense road network and high human traffic.

The results of this study will be of major interest for planners and for the control services, as they will enable them to better locate the monitoring stations, the prepositioning sites of the intervention vehicles, the itineraries patrol, access roads and water points.

Keywords: Cartography, Mouia forest, GIS, fire risk, LANDSAT8.

ملخص

تغطي الغابة الوطنية موييا مساحة إجمالية قدرها 738 هكتار. هذه الأخيرة تتعرض لعدة مخاطر مناخية و بشرية . ومن بين هذه المخاطر فإن الحرائق هي التي تسبب أكبر ضرر لأنها تدمر سنوياً مساحات شاسعة.

في هذا العمل ، حاولنا تقييم خطر نشوب الحرائق لغابة موييا عن طريق استعمال تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد . تتضمن خريطة خطر الحريق خمسة عوامل تؤثر تساهم في نشوب الحريق : نوع الغطاء النباتي الانحدار ، توجه الانحدار ، القرب من الطرق و القرب من التجمعات السكانية.

تظهر صورة القمر الصناعي لاندسات8 وجود ثلاثة أنواع من استخدامات الأرض: البلوط الفليني، بلوط الزان والتربة العارية. بينت نتائج نظم المعلومات الجغرافية إلى أن حوالي 66.6 % من الغابة تتميز بخطر جد شديد لنشوب الحريق، هذا الأخير يرتبط بوجود النباتات شديدة الاشتعال، المنحدرات شديدة الانحدار ، التوجه الجنوبي ، شبكة الطرق الكثيفة وحركة المرور البشرية العالية.

ستكون نتائج هذه الدراسة ذات أهمية كبيرة للمخططين و لموظفي الغابات ، حيث أنها ستمكنهم من تحديد موقع أفضل لمحطات المراقبة ، ومواقع الاستعداد لمركبات التدخل ، ومسارات السير دورية ، طرق الوصول الى اماكن الحريق ونقاط المياه.

الكلمات المفتاحية: رسم الخرائط ، غابة موييا ، نظم المعلومات الجغرافية ، مخاطر الحرائق ، لاندسات8.