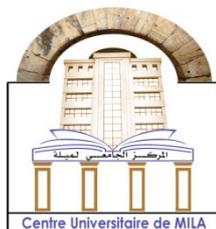


N°Ref :.....



## Centre Universitaire Abdelhafid 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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie  
Filière : Ecologie et Environnement  
Spécialité : protection des écosystèmes

Thème :

## Analyse spatiale du risque d'incendie dans la forêt domaniale de Zouagha (Wilaya de Mila)

Présenté par :

Belharbi Meriem

Bouhannache Nadjiba

Devant le jury composé de :

Présidente :	Semara Lounis	MCB	Centre universitaire de Mila
Examineur :	Bouzegag Abd El aziz	MCB	Centre universitaire de Mila
Promoteur :	Laala Ahmed	MCB	Centre universitaire de Mila

Année Universitaire: 2018/2019

## **Remerciements**

*Louanges à Dieu, grand et miséricordieux de nous avoir donné la patience, le courage et la volonté pour réaliser ce travail.*

*Nous exprimons toute notre gratitude à **Mr. Semara Lounis**, Enseignant Maitre de conférence au centre universitaire de Mila, d'avoir fait l'honneur de présider le jury.*

*Nous adressons aussi notre profonds remerciements à **Mr. Bouzegag Abd El aziz**, Enseignant Maitre de conférence au centre universitaire de Mila, d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

*Nous nous exprimons nos plus vifs remerciements au **DR. Laala Ahmad** pour avoir proposé le thème de ce mémoire et de diriger ce travail avec beaucoup d'attention, et ses orientations, aussi pour sa disponibilité à nous prodiguer des conseils, pour sa confiance et pour sa précieuse aide, on la remercie du fond du cœur.*

*Nous remercie aussi tous les personnes de la conservation des forêts Mila surtout Ms Walid et Mm rihan, de la circonscription Grarm Googa surtout Ms Namouse Saad, Mm Chahra et Zahia, Ainsi que le Discrit de Beinen notamment Ms Bakhbakh Djamale, Belmahboule Abd Elhalim et Mm Nasri pour son réceptions et pour son aide.*

*Nous exprimons également nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

**Nadjiba et Merieme**

## **Dédicace**

*Je dédie ce travail à mes plus chers êtres au monde :*

*A mes chers parents pour leur amour, leur tendresse, et pour leur soutien durant toutes les étapes de ma vie.*

*A mes frères : Zakaria, Bilal, Salah Eddin, Wassim et Houssin merci pour ton encouragement, ton aide et surtout ta présence dans les moments les plus difficiles.*

*A mon futur mari Otmane pour ses conseils, son encouragement, son soutien et sa présence permanent dans les moments durs.*

*A mes belles Amis : Imane, Djamila, Amira, Nesrine et Amina pour leurs encouragements et pour leur soutien moral et physique.*

*A ma chère amie et ma copine meriem pour ses encouragements et ses aides tout au long de ce travail.*

*A tous les autres que je n'ai pas cités mais à qui je pense aussi.*

*Merci à tous de m'aider à devenir meilleur.*

**Nadjiba**

## **Dédicace**

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots que je dédie ce travail à mes chers parents ; qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite et m'ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux. J'espère qu'un jour, je pourrai leur rendre un peu de ce qui ils ont fait pour moi, que Dieu leur prête tout le bonheur.*

*A mes frères : Mohamed et Oussama merci pour ton encouragement, ton aide et surtout ta présence dans les moments les plus difficiles.*

*A ma belle sœur : Mayssa pour leur encouragement et pour leur soutien moral et physique.*

*A ma chère amie et ma copine Nadjiba pour ses encouragements et ses aides tout au long de ce travail.*

*A mes chères amies Meriem, kenza, Salma, Hanan, Djamila, Imane, Djihad, Sabah, Safa, souad, Halima, Zahra, Rima et Sorayia merci de votre présence, soutien et de m'avoir encouragée à aller plus loin.*

*A tous les autres que je n'ai pas cités mais à qui je pense aussi.*

*Merci à tous de m'aider à devenir meilleur.*

**Meriem**

## Liste des abréviations

<b>Landsat:</b>	Land Satellite.
<b>MNT:</b>	Modèle Numérique de Terrain.
<b>UTM:</b>	Universal Transverse Mercator.
<b>GPS :</b>	Global Positioning System.
<b>SIG :</b>	Système de l'Information Géographique.
<b>DGF :</b>	Direction Générale Des Forêts.
<b>UTM :</b>	Universel Transverse Mercator.
<b>USGS :</b>	United States Geological Survey.
<b>Da :</b>	Distance à partir des habitation.
<b>BNEF:</b>	Bureau National des Etudes Forestiers.
<b>IR :</b>	Indice de risque d'incendie

## Liste des tableaux

N°	Intitulé	page
01	Influence du taux d'humidité sur l'inflammabilité	06
02	Différents origines des incendies	15
03	variabilité mensuelle de la vitesse du vent période (2009-2018)	21
04	Répartition annuelle du nombre de foyers et des superficies brûlées (2000-2017)	24
05	Bilan mensuel des incendies année (2018)	25
06	Superficie brûlée (en ha) par formation végétale année (2018)	26
07	Caractéristique de l'image satellitaire Landsat 8	29
08	Indice de séparabilité des parcelles d'entraînement	40

## Liste des figures

N°	Intitulé	Page
01	Schéma du triangle du feu	02
02	Mécanisme de propagation d'un feu de forêt	04
03	Effet mécanique de la pente sur le comportement du feu	08
04	Courbes de température en fonction de l'exposition de pente	08
05	Types de feux de forêts	09
06	Feux de sans flammes	10
07	Les feux de surface	10
08	Les feux de cimes	11
09	Schématisation des facteurs de prédisposition aux incendies	12
10	Situation géographique de la forêt domaniale de Zouagha	19
11	Précipitation moyenne mensuelle de la wilaya de Mila période (2009-2018)	20
12	Températures mensuelles (moyennes, minimales et maximales) de la wilaya de Mila période (2009-2018)	21
13	Humidité moyenne mensuelle de la région de Mila ( période 2009-2018)	22
14	principales essences forestiers de la foret de Zouagha	23
15	superficies forestier incendiées dans la forêt de Zouagha (2000-2017)	25
16	La forêt de Zouagha après incendie	26
17	GPS	27

18	La carte topographie de SIDI MEROUANE	30
19	Géo-référencement de la carte topographique sous ArcGis 10.1	31
20	Vecteur du massif forestier de Zouagha	31
21	Choix des zones testes pour la classification supervisée	33
22	Procédure de cartographie de l'indice de risque des incendies de forêts	34
23	Carte des pentes de la forêt de Zouagha	35
24	Superficie forestière (en %) par classe de pentes	36
25	Carte d'expositions de la forêt de Zouagha	36
26	Superficie forestière (en %) par classe d'exposition	37
27	Carte des classes de risque liée à l'habitat	37
28	Superficie forestière (en %) par classe de distance à partir des habitation	38
29	Carte des classes de risque liée aux routes	39
30	Superficie forestière (en %) par classe de distance à partir des routes	39
31	Carte d'occupation du sol de la forêt domaniale de Zouagha	41
32	superficies forestières en (%) de chaque type d'occupation du sol de la forêt de Zouagha	41
33	Carte du risque d'incendie liée à la végétation	42
34	Carte d'indice de risque d'incendies (IR)	43
35	superficie forestière (en %) par classe d'indice de risque du feu	43

## Sommaire

**Remerciement**

**Dédicace**

**Liste des abréviations**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction** ..... 1

### **Chapitre I : Étude bibliographique**

1. Définitions des concepts.....	2
1.1. Pyrologie forestière .....	2
1.2. Le feu.....	2
1.3. L'incendie.....	2
1.4. Éclosion.....	3
1.5. Inflammabilité .....	3
1.6. Propagation.....	4
1.6.1. Le mécanisme de propagation.....	4
1.7. Combustibilité .....	5
2. Facteurs influençant la propagation des incendies de forêts .....	5
2.1. Les combustibles .....	5
2.2. Teneur en eau .....	5
2.3. Composition chimique .....	5
2.4. Les facteurs atmosphériques .....	6
2.5. Les facteurs topographiques.....	7
3. Les différents types de feu .....	9
3.1. Les feux de sols .....	9
3.2. Les feux de surface.....	10
3.3. Les feux de cime .....	11
4. Les facteurs de prédisposition aux incendies de forêts .....	12
4.1. Le type de végétation et le climat.....	12
4.2. L'occupation du territoire.....	13
5. Les causes des incendies .....	13
5.1. Les causes naturelles .....	13
5.2. Les causes anthropiques .....	14
6. Conséquences des incendies sur l'écosystème forestier .....	15
6.1. Impact sur la végétation et les animaux .....	15

6.2. Impact sur le sol forestier .....	16
6.3. Impact sur la microfaune et la microflore .....	16
6.4. Conséquences hydrologiques des incendies de forêts.....	16
6.5. Conséquences sur l’homme.....	17
6.6. Conséquences sur les paysages .....	17
7. Les incendies en Algérie .....	17

## **Chapitre II : Matériels et Méthodes**

1. Présentation de la Zone d’étude .....	19
1.1. Situation géographique de la forêt de Zouagha.....	19
1.2. Condition climatiques .....	19
1.2.1. Climat.....	19
1.2.1.1. Précipitation .....	20
1.2.1.2. La température.....	20
1.2.1.3. Les vents.....	21
1.2.1.4. L’humidité relative.....	22
1.3. Géologie .....	22
1.4. Caractéristiques du relief.....	22
1.5. Diversité biologique .....	23
1.5.1. La végétation.....	23
1.5.2. La faune.....	24
1.6. Bilan annuelle des incendies dans la forêt de Zouagha (période 2000-2017).....	24
2. Matériels et méthodes.....	27
2.1. Matériels.....	27
2.1.1 Matériels utilisées sur le terrain .....	27
2.1.1.1. Carte topographique .....	27
2.1.1.2. G.P.S (Système de positionnement par satellite) .....	27
2.1.2. Matériels utilisées dans le bureau.....	28
2.1.2.1. Un PC .....	28
2.1.2.2. Google Earth .....	28
2.1.3. Des logiciels .....	28
2.1.3.1. Arc Gis 10.1 .....	28
2.1.3.2. ENVI 4.7 .....	28
2.1.4. Le MNT (Modèle Numérique de Terrain) .....	28
2.1.5. Les images satellitaires .....	29
2.1.6. Les personnes contactées .....	29

2.2. Méthodes .....	30
2.2.1. Scannérisation .....	30
2.2.2. Géoréférencement .....	30
2.2.3. Vectorisation .....	31
2.2.4. Les cartes dérivées de l'MNT .....	32
2.2.5. Cartographie de la forêt de Zouagha .....	32
2.2.5.1. Prétraitement .....	32
2.2.6. La classification supervisée de l'image satellitaire.....	32
2.2.6.1. L'indice de séparabilité .....	33
2.2.7. Modèle de calcul du risque d'incendies.....	34

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

1. La carte des pentes .....	35
2. Carte d'expositions.....	36
3. La carte des habitations .....	37
4. La carte des routes.....	38
5. Cartographie de la forêt de Zouagha par la classification supervisée.....	40
5.1 Indice de séparabilité.....	40
5.2 Carte d'occupation du sol de la forêt de Zouagha.....	40
5.3. La carte du risque d'incendie lié aux espèces .....	42
6. Cartographie du risque des incendies.....	42
<b>Conclusion</b> .....	45
<b>Références bibliographique</b> .....	47

#### **Résumé**

الملخص

**Abstract**

# **Introduction**

---

## Introduction

La forêt est l'écosystème, qui après les océans, présente la plus grande diversité biologique, bien avant les terres cultivées et les terrains de parcours. Elle fournit des matières premières et de l'énergie renouvelables, assure le maintien de la biodiversité, atténue le changement climatique, protège les ressources terrestres et aquatiques, offre un cadre aux activités récréatives, améliore la qualité de l'air et contribue à réduire la pauvreté (Lilioriente., 1996).

Parmi toutes les agressions que subit les forêts en général et la forêt méditerranéenne en particulier, l'incendie est le plus dévastateur. Par sa destruction massive des peuplements, il dégrade les sols, déforme les paysages et compromet la pérennité de la forêt. Les causes des incendies se répartissent en deux catégories: les causes naturelles qui représentent un faible pourcentage dans le bassin méditerranéen et les causes humaines, les plus importantes (Alexandrian et *al.*, 1998)

La région méditerranéenne est exposée à ce danger en raison des conditions climatiques difficiles, mais également de la forte pression anthropique (Moro., 2006). Chaque année, on estime jusqu'à 50000 incendies dans cette région et plus de 600.000 hectares rasés par les flammes (Colin et *al.*, 2001).

La forêt algérienne, à l'instar des autres forêts du pourtour méditerranéen est chaque année, ravagée par les incendies. La surface parcourue annuellement par le feu varie entre 20000 et 30000 hectares. Il en résulte de très lourdes charges pour la société toute entière, pour l'Etat et les collectivités locales en particulier (Missoumi et Tadjerouni., 2003).

La prévention s'impose comme le seul moyen de lutte efficace contre l'aléa d'incendie. L'incertitude, la complexité et la diversité des facteurs qui contrôlent le risque d'incendie de forêts font que la prévention par des moyens traditionnels reste insuffisante. Elle ne peut se concrétiser qu'à travers la contribution d'une cartographie interactive avec des moyens modernes et rapides comme les SIG et la Télédétection.

Le présent travail s'inscrit dans cette perspective, il vise à évaluer spatialement le risque d'incendie de la forêt domaniale de Zouagha à travers un modèle qui intègre des données multi-sources. La cartographie de la variabilité spatiale des principaux facteurs du risque d'incendie permet une caractérisation du risque d'incendie basée sur une analyse thématique et spatiale.

Pour réaliser cette étude, on a subdivisé notre travail en trois chapitres :

Le premier chapitre expose un aperçu bibliographique sur les incendies des forêts. Le deuxième chapitre présente la zone d'étude, le matériel et la méthodologie suivie. Le troisième chapitre illustre les résultats obtenus. Enfin, nous terminerons notre étude par une conclusion.

# **Chapitre I : Etudes bibliographiques**

## 1. Définitions des concepts

### 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 forêt 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, feuille, tapis herbacé,...etc) (FAO., 2002).

### 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. ». Pour qu'un feu se déclare, il faut la coïncidence de trois facteurs ; une source de chaleur, un combustible et un comburant (l'oxygène à l'état gazeux), Cette configuration s'appelle le triangle du feu. L'absence de l'un de ces trois éléments, rompt le processus physico-chimique de la combustion et l'incendie s'arrête. 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 (Belkaid ., 2016) .



Figure n°01: Schéma du triangle du feu (Lemaire., 2007)

#### 1.4. Éclosion

C'est la naissance ou l'apparition des premières flammes susceptibles d'atteindre une certaine taille pour constituer un feu. Une flamme de la taille de celle d'une bougie ou d'une allumette est capable de déclencher un incendie (Velez., 1996).

La flamme peut avoir des origines diverses: un mégot, une braise mal éteinte après bivouac ou écobuage, une étincelle d'engin mécanique, un arc électrique d'une ligne haute tension, la foudre, une allumette, etc. La constance de cette minuscule source de chaleur et l'énergie produite par celle-ci peut être suffisante pour atteindre le point d'ignition dans certaines conditions propices (sécheresse, vent...) et de démarrer une suite de réactions exothermiques qui s'alimentent de l'oxygène disponible dans l'air ambiant et de la source du carbone disponible dans le combustible végétal (Carrega., 1992).

Une simple flamme en milieu buissonnant est capable de se développer et de se transformer en un véritable incendie quelques moments après son apparition, notamment en période estivale. L'éclosion ou le début de l'incendie est l'étape où ce dernier présente des flammes relativement plus importantes que celles de la source de départ. Néanmoins, ces flammes naissantes occupent une surface très réduite au départ et ce sont les conditions du jour (chaleur, vent et humidité), l'état hydrique du combustible végétal, sa densité, sa disposition spatiale et le type du relief qui déterminent l'évolution ou non vers un incendie. Ceci dit, il n'y a qu'un certain pourcentage de feux naissants qui ont la possibilité de se développer et de se propager pour atteindre plus d'un hectare de surface (Carrega., 1992).

#### 1.5. Inflammabilité

« Elle est à la fois la propriété de s'enflammer et la facilité avec laquelle les éléments fins d'une espèce végétale prennent feu » (Velez., 1996). Elle représente aussi le temps écoulé jusqu'à l'émission de gaz inflammables et traduit le risque d'éclosion d'un incendie. L'inflammabilité conditionne la combustibilité, Elle est également la possibilité de démarrer et de diffuser un incendie. La matière ligneuse s'enflamme plus ou moins facilement lorsque certaines conditions le permettent, comme la baisse de l'humidité de l'air et la hausse des températures en été (Valette., 1988 ; Carrega., 1994).

## 1.6. Propagation

C'est la capacité d'un incendie à se répandre dans l'espace en fonction des facteurs environnementaux, comme la structure végétale, le type de combustible, la topographie et les conditions climatiques, comme le vent, qui peuvent être favorables ou défavorables à son évolution (Belkaïd., 2016).

### 1.6.1. Le mécanisme de propagation

La propagation d'un feu se décompose en 03 étapes:

- Combustion de matériel végétal avec émission de chaleur.
- Transfert de la chaleur émise vers le combustible en avant du front de flamme.
- Absorption de la chaleur par le végétale en avant du front de flamme.
- Inflammation.

Le transport de la chaleur émise par la combustion est assuré par trois processus :

- **La conduction** : permet la transmission de proche de l'énergie produit par le mouvement de la flamme. Elle ne contribue que très faiblement au transfert de chaleur.
- **Le rayonnement thermique** : correspond au mode de propagation de l'énergie sous forme d'ondes infrarouge. C'est le principale mode de propagation des incendies de forêt.
- **La convection** : liée aux mouvements d'air chaud, voit son importance augmenter avec le vent et la pente. Ce processus peut contribuer au transport de particules incandescentes en avant du front de flamme et au déclenchement de foyers secondaires (sautes de feu)(Merdas., 2007).

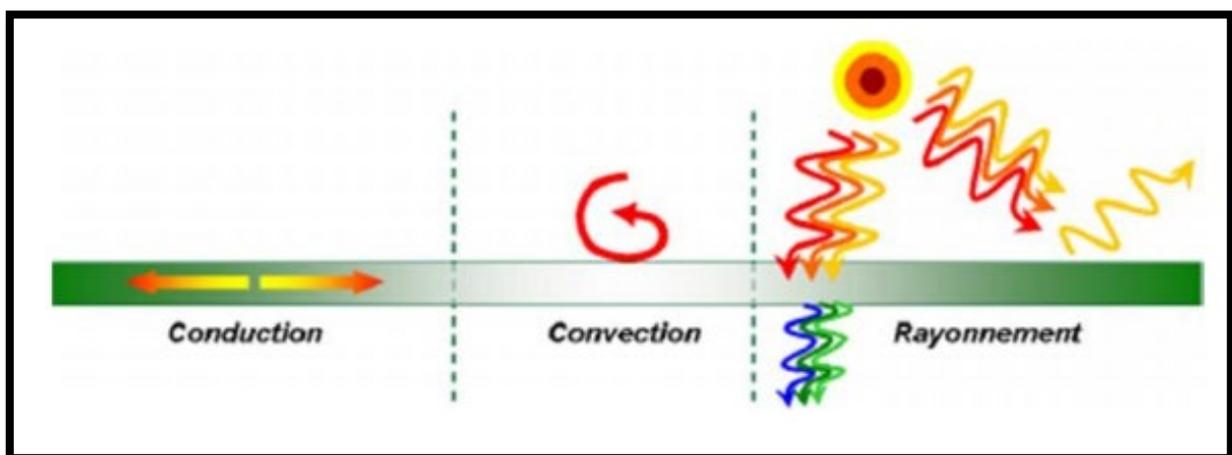


Figure n° 02 : Mécanisme de propagation d'un feu de forêt (Merdas, 2007)

### 1.7. Combustibilité

« C'est la manière dont les végétaux se consomment une fois qu'ils sont enflammés. C'est aussi une oxydation vive, fortement exothermique, elle permet d'évaluer la part du risque lié à la puissance qu'atteindra le feu. Elle s'effectue selon deux étapes ; une combustion sans flammes (pyrolyse) et une combustion avec flammes » (Delavaud., 1981). Elle se définit aussi comme la propriété qu'a un végétal ou un ensemble de végétaux à propager le feu (Alexandrian et *al.*, 1992).

## 2. Facteurs influençant la propagation des incendies de forêts

Le comportement ou la propagation d'un incendie est régi par un certain nombre de facteurs dont les influences s'opposent ou s'additionnent. Parmi ces facteurs on note : les combustibles, les éléments atmosphériques et la topographie (Ammari., 2011).

### 2.1. 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).

### 2.2. 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).

### 2.3. 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).

## 2.4. Les facteurs atmosphériques

### ➤ 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).

### ➤ 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 01).

**Tableau n° 01 : Influence du taux d'humidité sur l'inflammabilité (Margerit., 1998)**

<b>Humidité relative (%)</b>	<b>Inflammabilité</b>
> 70	Peu de risque
46 – 70	Risque faible
26 – 45	Risque fort
< 25	Risque élevé

### ➤ 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).

➤ **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).

## **2.5. 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 (Elhadj., 2015).

➤ **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).

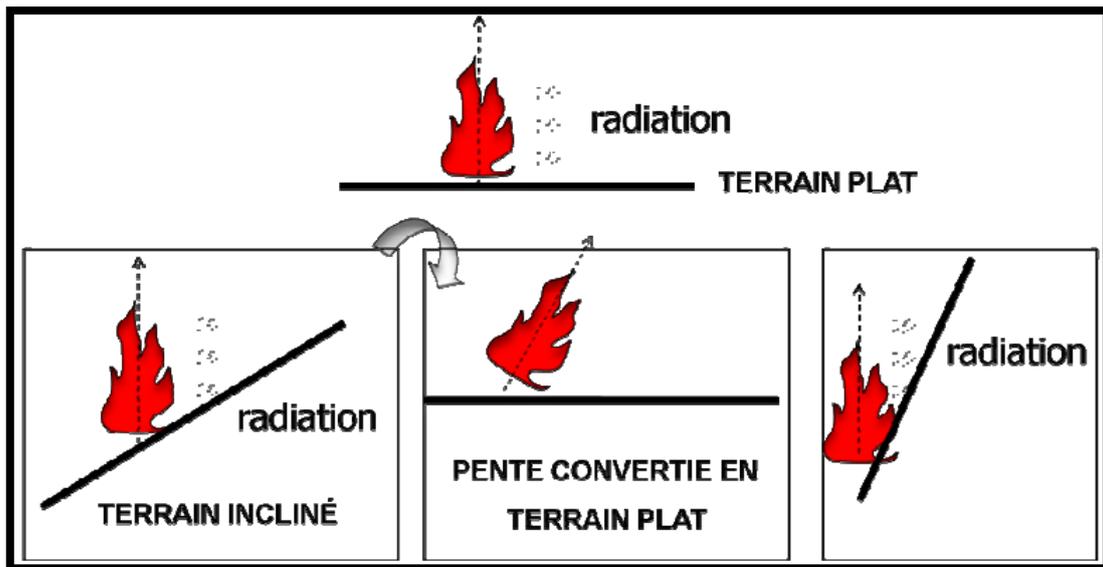


Figure n°03: Effet mécanique de la pente sur le comportement du feu (Arfa., 2008)

#### ➤ 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( figure 04) (M.T.F., 1973).

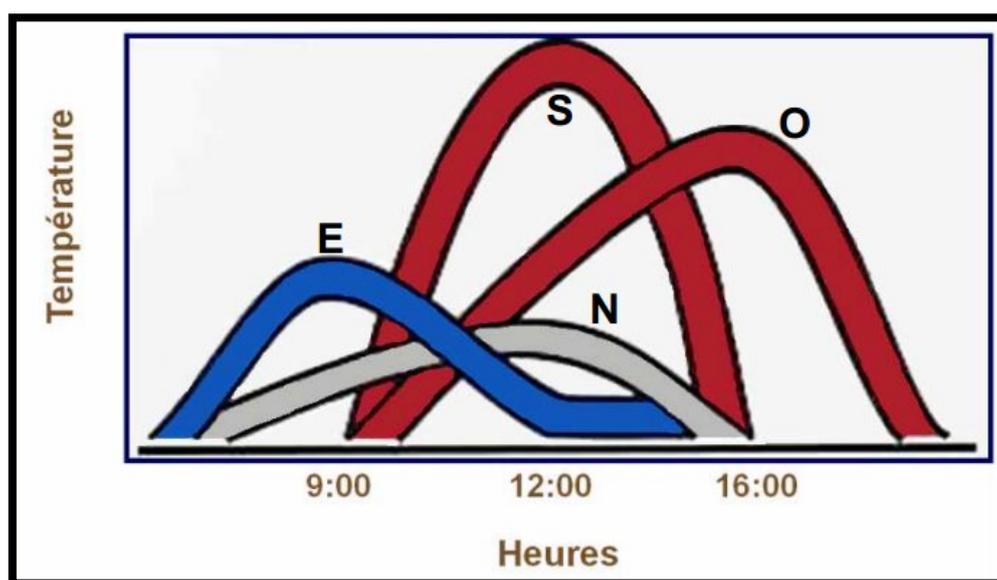


Figure n°04: Courbes de température en fonction de l'exposition de pente (Arfa., 2008)

➤ **Élévation 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 (Frederic., 1992).

### 3. Les différents types de feu

Selon Margerit (1998), une fois éclo, 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.

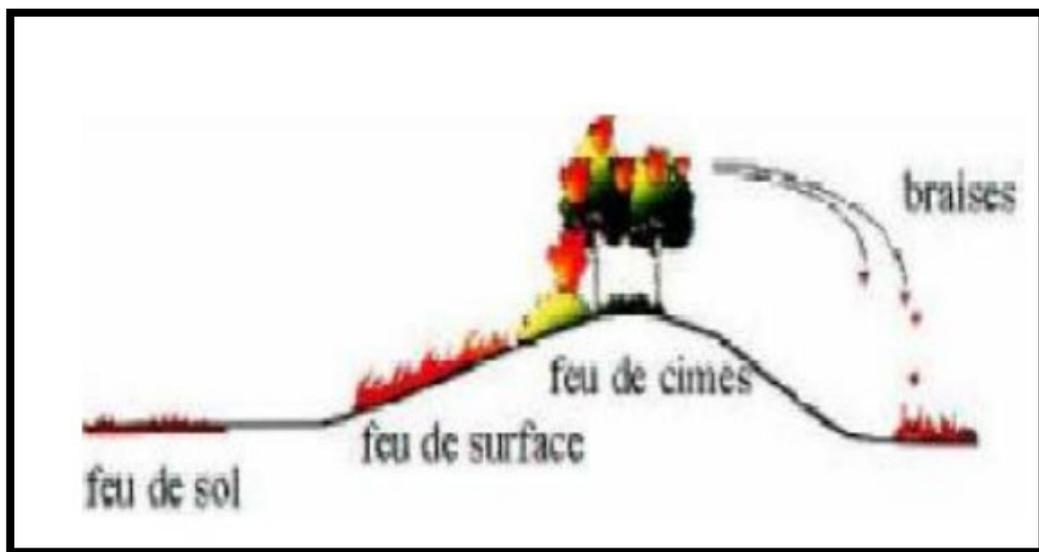


Figure n° 05 : Types de feux de forêts (Margerit, 1998)

#### 3.1. Les feux de sols

Ce sont des feux qui brûlent sous la surface du sol, le combustible qui l'alimente est composé de matières organiques partiellement décomposées. Ces feux se propagent lentement, en raison du manque d'oxygène. Leur présence est souvent difficile à déceler, car même s'ils dégagent beaucoup de chaleur, ils diffusent en général que très peu de fumée (Elhadj., 2015).



**Figure n°06: Feux de sans flammes (Merdas., 2007)**

### **3.2. Les feux de surface**

Dit aussi feux courants, se propageant 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 (Elhadj., 2015).



**Figure n°07 : Les feux de surface (site web).**

### 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 celles-ci. Ils se développent généralement au sol, montent le long des arbres en brûlant sur leur passage feuilles, aiguilles et même certaines branches (Elhadj., 2015).

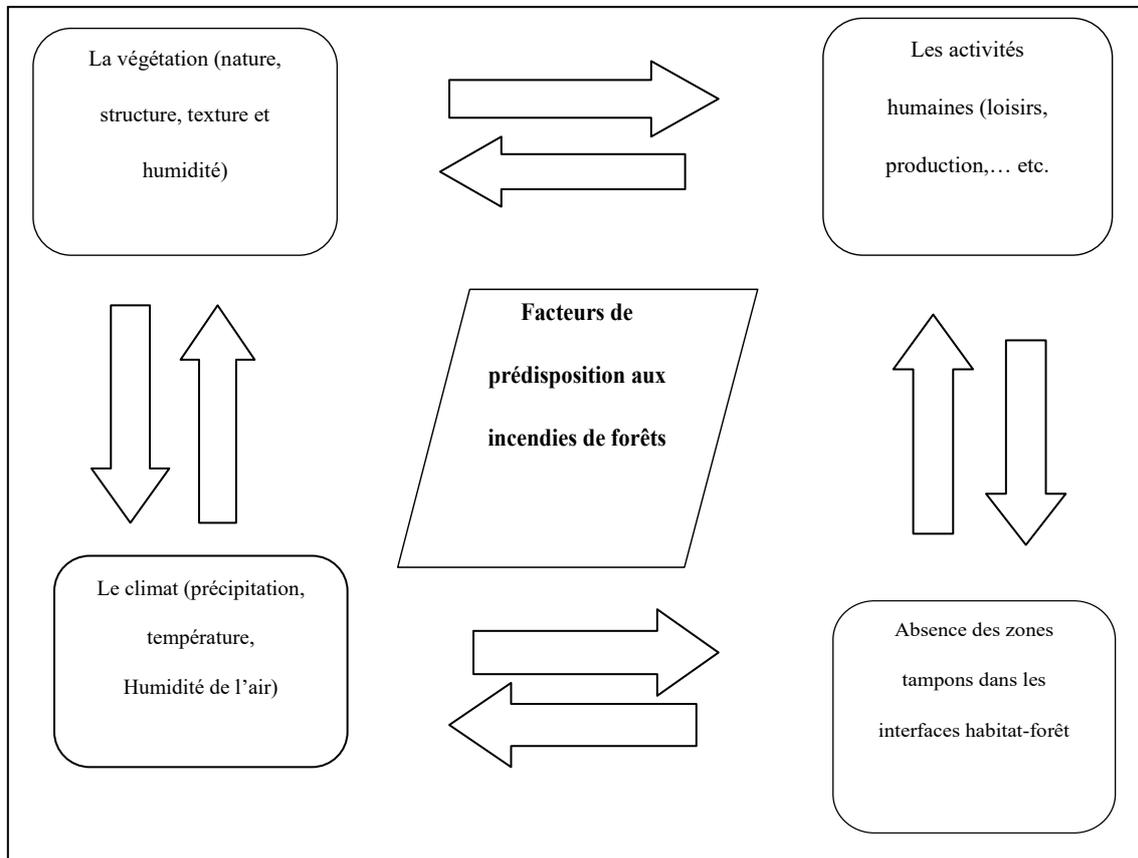
Indépendants où dépendants des feux de surface, ils libèrent en général de grandes quantités d'énergie et ont une vitesse de propagation très élevée. Ce sont les ligneux hautes qui assurent la propagation verticale en direction des cimes (Elhadj., 2015).



**Figure n°08 : Les feux de cimes (Merdas., 2007)**

#### 4. Les facteurs de prédisposition aux incendies de 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 (Figure 09).



**Figure n°09: Schématisation des facteurs de prédisposition aux incendies (Berrouaine., 2013)**

##### 4.1. 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 le climat peuvent créer des conditions favorables au développement des incendies.

Les facteurs climatiques (températures, humidité relative de l'air, le vent et les précipitations), la végétation (nature, structure) influent directement ou indirectement sur le déclenchement de l'incendie et son développement.

La naissance et la propagation des incendies sont dépendantes de la présence et de la réunion de différentes conditions naturelles et des causes d'origine souvent humaines.

Ces conditions de prédisposition 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 lui est appliquée et des passages éventuels du feu (Jappiot et *al.*, 2002).

#### **4.2. 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 humaines: 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).

### **5. Les causes des incendies**

#### **5.1. Les causes naturelles**

Les causes naturelles ne présentent qu'un pourcentage de là 5 % en fonction des pays, du la foudre, probablement a cause de l'absence de phénomènes climatiques comme les tempêtes sèches (Alexandrina et *al.*, 1998).

Il existe de nombreuses interactions complexes entre les facteurs physiques de milieux naturels et les caractéristiques biologiques du combustible (végétations). Le climat et la composition chimique des végétaux conditionnent l'inflammabilité.

##### **➤ Composition chimique des végétaux**

Tous les végétaux ont une certaine teneur en eau qui exerce une grande influence sur l'inflammabilité. Le temps nécessaire à l'inflammabilité est influencé par la nature de la végétation (morte ou vivante) (Margerit., 1998). L'inflammabilité des espèces végétales varie selon leur teneur en essences volatiles où en résine. Chez certaines espèces, la présence de cire et de résine ralentirait leur vitesse de dessèchement et donc leur inflammabilité. Ainsi, plus un

végétal est riche en minéraux, moins son pouvoir calorifique théorique est élevé, moins il est combustible (Colin et *al.*, 2001).

➤ **Le climat**

La teneur en eau des végétaux est influencé par différents paramètres climatiques tels que les précipitations, les températures, l'humidité de l'air, le vent et l'ensoleillement, ils constituent également les facteurs naturelles de l'éclosion.

Concernant les Précipitations, elles jouent un rôle important dans la teneur en eau des végétaux, leur effet varie selon leur durée, leur période, leur quantité ainsi que les types de combustible. Par exemple, une petite quantité d'eau suffit pour ralentir l'inflammabilité des graminées, mais cet effet ne dure pas (Kaiss et *al.*, 2007).

## 5.2. Les causes anthropiques

Les causes humaines présentent un pourcentage trop élevé et se répartissent en deux catégories : volontaires et involontaires. Leur importance dépend de plusieurs contextes : social, économique, politique et législatif de chaque pays.

➤ **Les causes humaines involontaires**

Les causes humaines involontaires sont diverses, et le plus souvent provoqués par les décharges ou les arcs électriques des lignes à haute tension et les différentes installations industrielles utilisant du matériel motorisé projetant des étincelles,...etc. Les imprudences et les accidents dus à des défauts de fonctionnement d'équipements sont les causes les plus fréquentes des incendies de forêt (Khalid., 2008).

➤ **Les causes humaines volontaires**

Il existe plusieurs causes volontaires. Parmi celles-ci, les incendies criminelles provoqués soit pour des raisons matérielles directes (par exemple en agriculture pour améliorer les pâturages et élargir les champs), ou indirectes pour des apports économiques (Khalid., 2008). Nous avons aussi des incendies mis par plaisir et par jeu, cela est fréquent chez la catégorie des jeunes qui trouvent du plaisir non seulement dans la mise à feu, mais aussi dans les manœuvres des pompiers et des collectivités locales.

Tableau n°02: Différents origines des incendies (Khalid., 2008)

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

## 6. Conséquences des incendies sur l'écosystème forestier

### 6.1. Impact sur la végétation et les animaux

L'impact du feu est hétérogène non seulement dans son action sur des écosystèmes différents, mais également dans l'espace et dans le temps au cours d'un même épisode. Si les incendies ne sont pas fréquents, la végétation cicatrise après incendie, c'est à dire que ce sont les espèces qui existaient avant le feu qui se réinstallent après son passage (Trabaud., 2000).

Cependant, le feu répété détruit ou élimine les individus les moins résistants réduisant ainsi la compétition potentielle et contribuant à la disparition des espèces. En effet, lorsque l'incendie devient trop fréquent, les forêts n'ont plus le temps de régénérer et sont tout d'abord remplacées par des formations végétales dégradées : boisement ouverts puis formations de type arbustif. Progressivement, s'installe une succession régressive d'écosystèmes pouvant atteindre le stade ultime de pelouses squelettiques, dépourvues de végétation ligneuse et laissant le sol à nu par renouvellement systématique du feu (Trabaud., 2000).

Par ailleurs, le feu associé à l'action du climat et aux formes topographiques a modelé la plus part des communautés végétales. Celles ci après le passage des incendies tendent dans la plus part du temps vers une dynamique régressive ou une dégradation complète de la végétation (G.I.S., 2000). L'incendie dégrade les peuplements et après plusieurs passages les essences principales disparaissent. Aux forêts succèdent les maquis et les garrigues, puis les pelouses qui précèdent la mise à nu définitive de la roche (Chantrand et Molinier., 1984).

En outre, les incendies par la destruction de la végétation contribuent à la désertification du milieu rural et à la perte de la valeur économique des sous produits de bois. Rappelant que la forêt méditerranéenne abrite une grande diversité biologique qu'il importe de retrouver après un incendie de forêt puis de conserver (Grogno., 2000). La perte d'animaux sauvages et domestiques peut réduire la valeur de cette diversité.

## 6.2. Impact sur le sol forestier

Quelque soit le feu, ce sont les couches superficielles du sol les plus riches en matière organique et nutriments et les plus actives biologiquement qui sont les plus exposées à l'échauffement. Cependant, l'amplitude des impacts dépend de l'intensité du feu et de sa durée qui varient selon la quantité et les caractéristiques du combustible et selon les conditions météorologiques et topographiques (Guillon., 1990).

En provoquant des pertes dans l'atmosphère au cours de la combustion de la végétation et des litières et en apportant au sol des cendres riches en élément minéralisés, les feux agissent directement sur le capital d'éléments minéraux d'un milieu et bouleversement de leur répartition (Colin et *al.*, 2001).

Ils agissent également sur le sol en l'échauffant, ensuite par changement des caractéristiques du sol, le feu modifie indirectement son activité biologique et le processus de minéralisation de la matière organique (Guillon., 1990).

## 6.3. Impact sur la microfaune et la microflore

Les micro-organismes du sol sont directement touchés par la vague thermique au passage du feu. La stérilisation intervient entre 50°C et 120°C, et concerne généralement entre 5cm et 10cm .Mais se sont les couche superficielles, les plus riche en matière organique et les plus actives biologiquement, qui sont les plus touchées. Le feu réduit la population des vers de terre, de myriapodes, de fourmis et d'insectes pollinisateurs.la microfaune est détruite et se constitue lentement (Khalid., 2008).

## 6.4. Conséquences hydrologiques des incendies de forêts

Les forêts permettent une meilleure utilisation des réserves en eau du sol par les systèmes racinaires et une forte interception de l'eau par la surface foliaire. Après un feu, le couvert végétal disparaît dans la plus part du temps, le sol est couvert de cendres et de charbon de bois, il n'y a donc plus d'interception des précipitations par les houppiers et l'énergie des gouttes d'eau

n'est pas brisée par les cimes. Enfin, il n'y a plus d'humus pour jouer un rôle d'éponge (Combes., 1990). Les précipitations sont donc beaucoup plus agressives sur un sol qui n'est plus protégé et le danger de reprise d'érosion est très élevé. En effet, pendant les premières années de reprise végétale, une érosion hydrique importante et des crues impulsionnelles provoquées par le ruissellement sur les versants mis à nu par un incendie peuvent avoir lieu lors de violentes pluies (Martin et Allee., 2000).

### **6.5. Conséquences sur l'homme**

Les incendies de forêts causent également la destruction de biens (maisons, patrimoine) et même la mort de personnes. Les conséquences peuvent être localement très sévères : pertes totales pour le propriétaire de forêts, graves blessures en cas de chute de pierres et d'avalanches et aussi destruction des habitats dans la périphérie des terrains incendiés sans oublier les traumatismes que peuvent subir les populations condamnées pendant plusieurs années à vivre dans un décor entièrement calciné (Chantrand et Molinier., 1984).

### **6.6. Conséquences sur les paysages**

De tous les accidents qui menacent la forêt, le plus terrible et le plus fréquent est le feu. Celui-ci représente une importante cause de destruction tant des écosystèmes climatiques ou de ceux caractérisant les formations végétales ligneuses dégradées (maquis, garrigue, matorrals, etc). Il peut cependant provoquer des modifications en éliminant la végétation et la matière organique du sol et rendre accessible les forêts et les terres boisées. Ainsi, le paysage est marqué pour plusieurs années (Chantrand et Molinier., 1984).

## **7. Les incendies en Algérie**

L'incendie représente sans aucun doute le facteur de dégradation le plus ravageur de la forêt en Algérie (Meddour et *al.*, 2008). Les forêts, les reboisements, les maquis et les garrigues occupent une superficie d'environ 4100000 ha, néanmoins chaque année environ 36000 ha sont parcourus par les incendies.

La forêt algérienne est directement liée au climat méditerranéen qui caractérise tout le Nord de l'Algérie. 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.

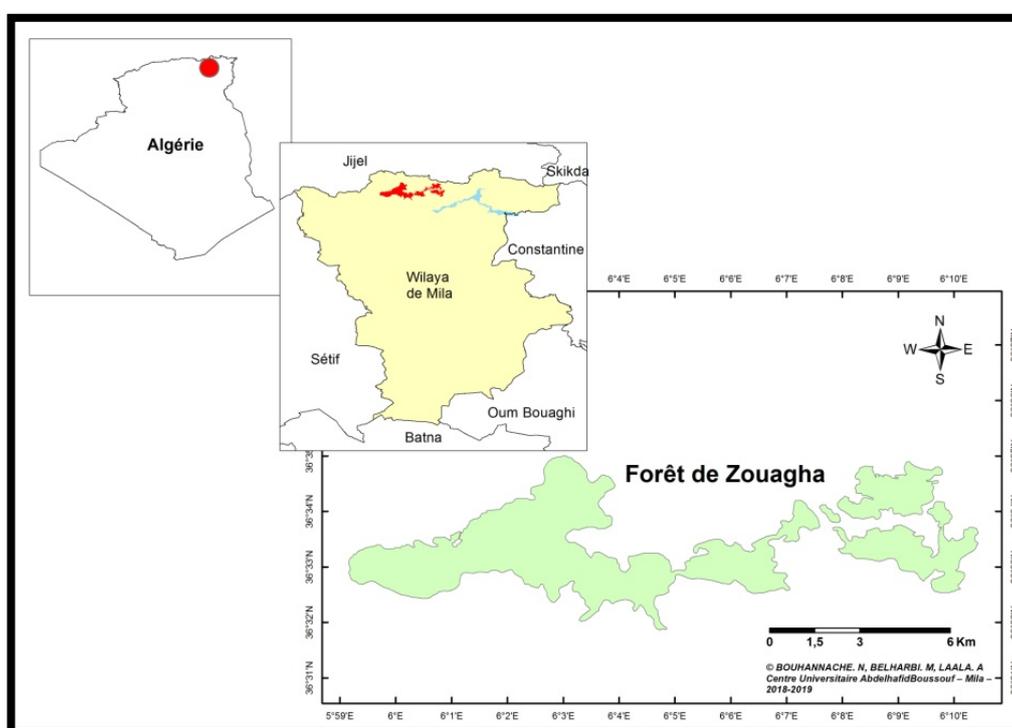
La superficie incendiée se répartit de façon inégale sur les trois régions du pays. La région Nord-Est avec 50,06% est la plus touchée, la région centre-Nord vient en seconde position avec 28,21% et enfin celle du Nord-Ouest avec 21,73%.

# **Chapitre II : Présentation de la Zone d'étude et Matériels et Méthodes**

## 1. Présentation de la zone d'étude :

### 1.1. Situation géographique de la forêt de Zouagha :

La forêt de Zouagha est située au Nord de la wilaya de Mila. Elle est limitée à l'Est par l'Oued El Kabir, au Sud par les villes de Chigara, Terrai Bainen, Arres et Tassala Lemtai, en amont du lac Béni Haroune (Grarem Gouga), au Nord la ligne de la crête de la chaîne de Zouagha et la limite entre la wilaya de Jijel et Mila, à l'Ouest par le col de F'Doules. Elle s'étale sur une superficie de 3915,52 ha, et est parfaitement divisée en 5 cantons dont les principaux sont « El Bahloul, Beni Afek, Bouzourane, Djbel Arres, et Meguelet (DGF 2018).



**Figure n° 10 : Situation géographique de la forêt domaniale de Zouagha**

La forêt de Zouagha a été définitivement classée dans le domaine de l'état et soumise au régime forestier par l'arrêté gouvernemental du 19 décembre 1995 homologuant les opérations de délimitation et répartition (DGF 2018).

## 1.2. Conditions climatiques :

### 1.2.1. Climat

La forêt de Zouagha se caractérise selon l'interprétation de la carte climatique de l'ANRH par un climat de type méditerranéen subhumide avec un hiver frais et pluvieux et un été chaud et sec (DGF 2018).

### 1.2.1.1. Précipitation

La période sèche est assez prolongée, elle s'étale du mois de Mai jusqu'au mois d'Août. Les précipitations se caractérisent par une distribution irrégulière à travers les saisons, elle se concentre sur la période allant de Septembre jusqu'au mois d'Avril.

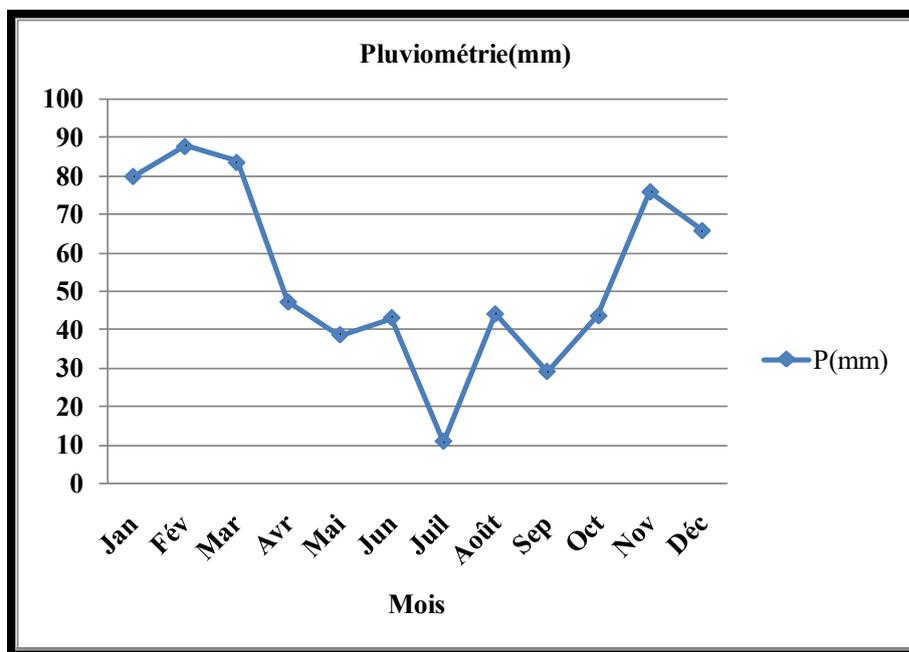
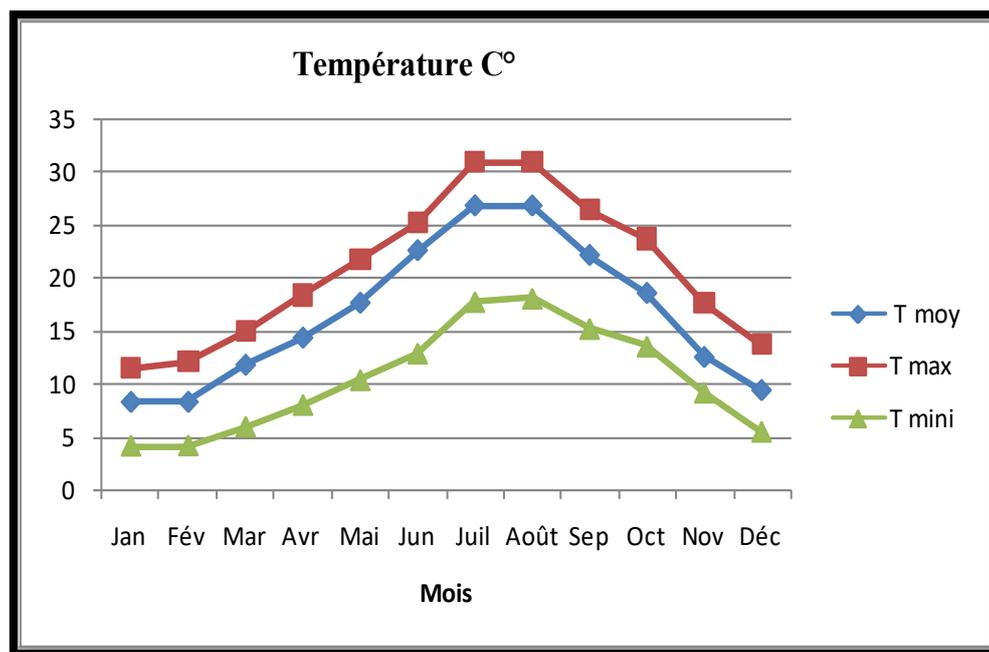


Figure n° 11: Précipitation moyenne mensuelle de la wilaya de Mila (période 2009-2018)

### 1.2.1.2. La température

Les températures vont régler l'activité végétale, la production de biomasse, l'évapotranspiration et notamment lorsque la sécheresse s'installe, rend le végétale plus au moins inflammable et combustible (Barbero et *al.*, 1988). Les températures, comme les précipitations, connaissent d'importantes fluctuations tout au long de l'année en fonction de la latitude, de l'altitude et de l'exposition.

La température moyenne annuelle de la wilaya de Mila est égale à 15°C. Concernant la température maximale, elle fluctue entre 11,5 (Janvier) et 30,9°C (Juillet). Pour les températures minimales, on constate que la valeur maximale est enregistrée durant le mois d'Août (18,09°C), tandis que la valeur minimale est affichée pendant le mois de Janvier (4,12°C).



**Figure n°12 : Températures mensuelles (moyennes, minimales et maximales) de la wilaya de Mila (période 2009-2018)**

### 1.2.1.3. Les vents

D'après Trabaud, (1970 ) et Blin (1974), le vent par ses multiples actions, joue un rôle particulièrement important dans le déclenchement et la propagation des incendies des forêts, il agit par son intensité, sa vitesse et sa direction. Il favorise et accélère le dessèchement des végétaux et des sols, il courbe et avive les flammes, apporte la chaleur aux combustibles adjacents, augmente la vitesse de propagation et peut produire des feux de cimes difficilement contrôlables.

**Tableau n°03 : Variabilité mensuelle de la vitesse du vent (période 2009-2018)**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Vitesse de 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

Dans la wilaya de Mila, le vent dominante a une direction Nord Ouest. Sa vitesse annuelle est de 3,8 m/s. Cette vitesse est plutôt constant au cours de l'année oscillant entre 2,08 et 2,93 m/s. La valeur maximale est enregistrée durant le mois de Novembre (3,18 m/s) tandis que celle minimale est affichée pendant le mois d'Août (1,86 m/s).

#### 1.2.1.4. L'humidité relative

C'est le rapport de la pression observée de la vapeur d'eau à la pression maximale compatible avec la température de l'air. Elle n'agit pas directement sur le phénomène d'apparition des feux, mais elle joue un rôle très important sur la teneur en eau des végétaux combustibles (Trabaud, 1970 a).

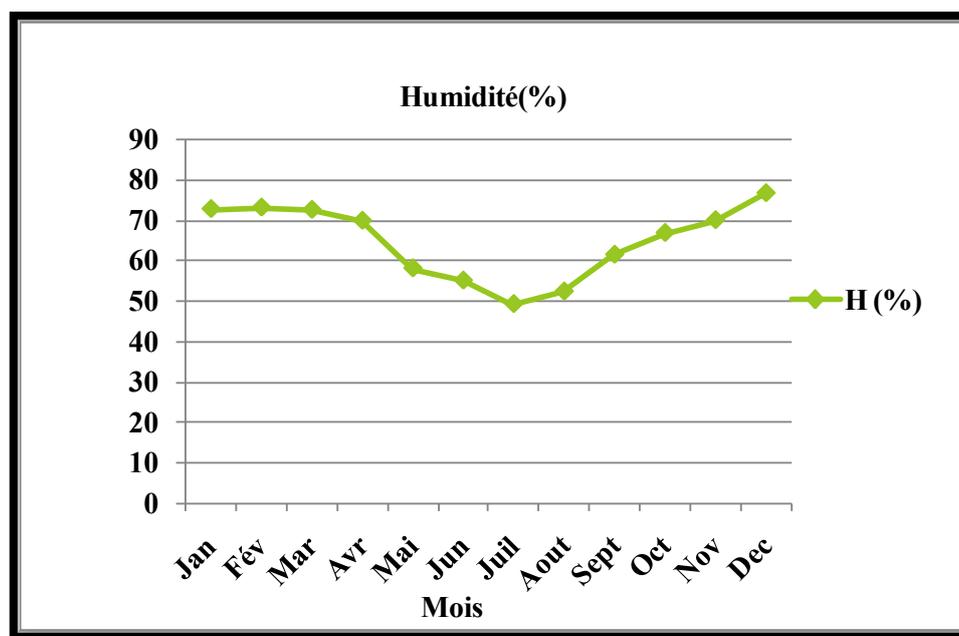


Figure n°13: Humidité mensuelle de la région de Mila (période 2009-2018)

D'après la figure 13, on peut dire que l'humidité relative, enregistrée dans la wilaya de Mila, varie en fonction du mois concerné. La valeur minimale est enregistrée durant le mois Juillet (49,1%), alors que celle maximale est affichée durant le mois de Décembre (78%).

### 1.3. Géologie

Le terrain de Zouagha est caractérisé par un substrat lithologique constitué de roches dures (conglomérats, gneiss et grès) et de roches tendres sensibles à l'érosion (calcaires friables).

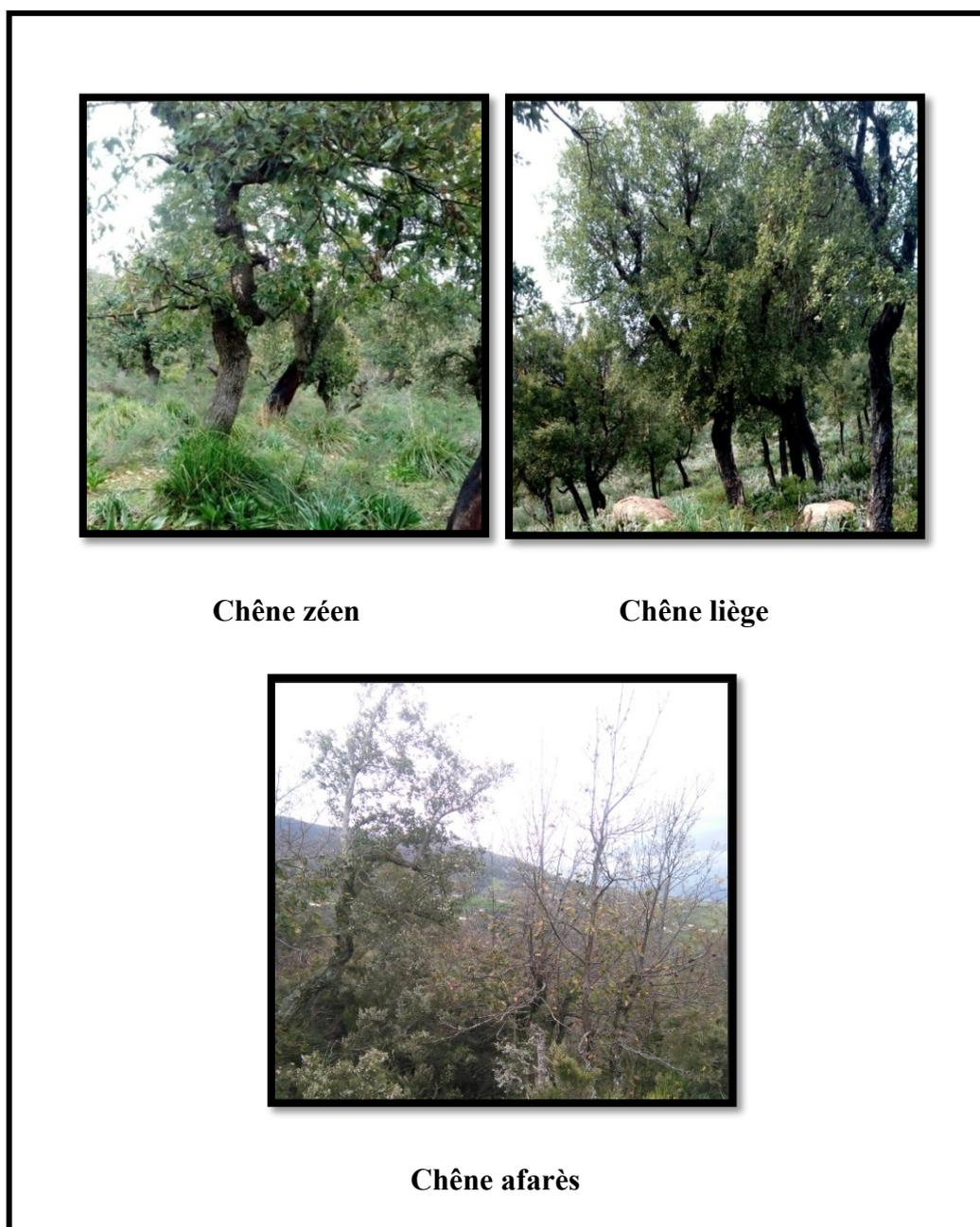
### 1.4. Caractéristiques du relief

La forêt de Zouagha est caractérisée par une altitude qui s'élève du Sud vers le centre avec une ligne de crête entre Djbel Boughara et Kef Bouhamara, il atteint 1334m, puis les niveaux altitudinaux décroissent à 600 m au niveau d'Oued El Mechta au Nord, les altitudes évoluent ensuite en augmentant jusqu'à 1000 m à l'extrême Nord. Les classes altitudinales les plus fréquentes sont comprises entre 200 et 800 m. Des pentes très abruptes généralement supérieures à 25%.

## 1.5. Diversité biologique

### 1.5.1. La végétation:

La forêt de Zouagha est constituée essentiellement de peuplements de chêne zéen (*Quercus canariensis*), de chêne afarès (*Quercus afares*) et de chêne liège (*Quercus suber*).



**Figure n°14: Principales essences forestiers de la forêt de Zouagha(cliché personnel)**

Selon B.N.E.F (1994), le cortège floristique de la forêt de Zouagha est constitué de:  
- Arbousier (*Arbustus unedo*), Bruyère (*Erica arborea*), Calycotome (*Cytisus spinosus*), Ronce (*Rubus fruticosus*), Cytise (*Laburnum anagyroides*), Lentisque (*Pistacia lentiscus*), Myrte (*Myrtus communis*), Asphodèle (*Asphodelus cerasiferus*), Diss (*Ampelodesma mauritanica*),

Oléastre (*Olea europaea*), Frêne(*Fraxinus exelsior L*), Aubépine(*Crataegus monogyna*), Rtem (*Rétama monosperma*).

### 1.5.2. La faune :

Les espèces animales rencontrées dans la forêt de Zouagha sont: sanglier (*Sus scrofa*), chacal (*Canis aureus*), tourterelle(*Streptopelia risoria*), perdrix ambra (*Alectoris barbara*) et les oiseaux.

### 1.6. Bilan annuelle des incendies dans la forêt de Zouagha (période 2000-2017)

Le tableau 04 présente le nombre de foyer d'incendie et la superficie brûlée dans la forêt domaniale de Zouagha durant la période (2000-2017).

**Tableau n°04 : Répartition annuelle du nombre de foyers et des superficies brûlées (période 2000-2017)**

Année	Communes					
	Terrai Beinen		Amira Arres		Tassala Lamtai	
	Nombre	Superficie (ha)	Nombre	Superficie (ha)	Nombre	Superficie (ha)
2000	03	77	/	/	/	/
2001	/	/	/	/	/	/
2002	/	/	02	09	01	03
2003	/	/	/	/	02	4.5
2004	/	/	01	03	/	/
2005	05	114.5	02	20	03	22.5
2006	02	5.5	02	12	02	06
2007	03	61	0	28,5	04	25
2008	01	02	04	18.5	/	/
2009	02	6.5	/	/	01	3.5
2010	03	128.5	02	16	01	5.5
2011	02	3.5	01	02	/	/
2012	19	69	04	27	02	10
2013	02	04	/	/	/	/
2014	09	100.3	01	2.5	03	24
2015	01	03	/	/	0	04
2016	04	08	01	03	/	/
2017	04	36	/	/	03	74
<b>Totale</b>	<b>60</b>	<b>618.8</b>	<b>20</b>	<b>141.5</b>	<b>22</b>	<b>182</b>

Durant la période 2000-2017, nous avons enregistré une superficie incendiée égale à 942.3ha (Tab.4). La commune la plus touchée est celle de Tarrai Beinen qui marque 60 foyers d'incendie et une superficie forestière brûlée égale à 618.8 ha (Tab.4, Fig 15). Ainsi, le maximum des superficies brûlées est enregistrée durant l'année 2010 pour la commune de Tarrai Beinen, en 2007 pour la commune de Amira Arres et en 2017 pour la commune de Tassala Lamtai.

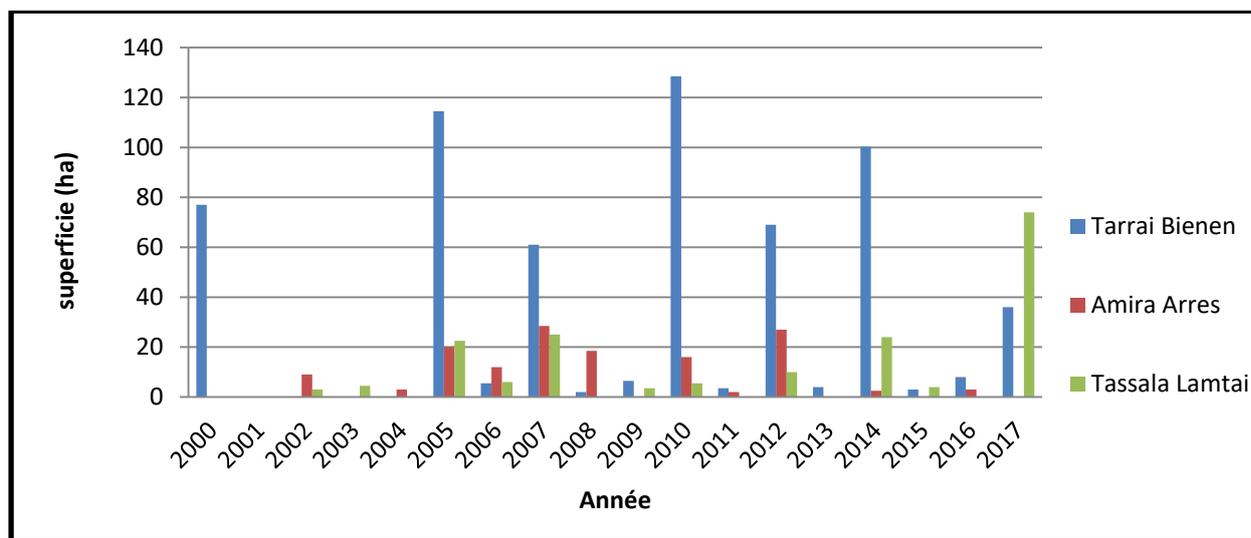


Figure n°15 : Superficies forestière incendiée dans la forêt de Zouagha (2000-2017)

Le tableau suivant donne une idée sur les lieux des incendies, la date et l'heure de déclaration et d'extinction des feux dans la forêt de Zouagha durant l'année 2018.

Tableau n°05 : Bilan mensuel de la forêt de Zouagha pour l'année 2018

Mois	Commune	lieu dit	Déclaration		Extinction	
			Date	Heure	Date	Heure
Juillet	Tarrai Beinen	Béni affak - Kouadra	13/07/18	18h20	13/07/ 18	20h20
		Béni affak- Tafer	18/07/18	14h30	18/07/18	18h30
		Béni affak -Tafer	20/07/18	13h15	20/07/18	17h30
Août		Beni Affak MardjTafer	29/08/18	17h15	29/08/18	18h15

La conservation des forêts de Mila a déclaré 4 incendies durant l'année 2018. Le mois le plus sinistré est le mois de Juillet durant lequel on a enregistré 3 foyers d'incendie dans la commune de Tarrai Beinen (lieu Beni-Affak) (Tab.5).

**Tableau n° 06: Superficie brûlée (en ha) par formation végétale (Année 2018)**

Mois	Superficie brûlées par formation (en ha)			
	Forêt	Maquis	Broussaille	Totale
<b>Juillet</b>	03	00	4,5	7,5
<b>Août</b>	0.5	00	00	0.5

D'après le tableau 06, on peut dire que la formation la plus touchée par les incendies durant l'année 2018 est la broussaille qui affiche une superficie brûlée de 4,5 ha. Elle est suivie par les forêts (3,5 ha). On peut expliquer ces résultats par le fait que les broussailles et la forêt fournissent une quantité abondante de combustible.

**Figure n°16 : La forêt de Zouagha après une incendie (cliché personnel)**

## 2. Matériels et méthodes:

### 2.1. Matériels :

#### 2.1.1. Matériels utilisés sur le terrain :

##### 2.1.1.1. Carte topographique :

La carte topographique qui couvre la zone d'étude est celle de SIDI MEROUANE (Echelle 1/50.000), réalisée en 1959 par le service géographique de l'armée française. Elle est fournie, en format papier, par la conservation des forêts de Mila. Cette carte permet de représenter les éléments naturels et artificiels ainsi que les formes du terrain situés sur notre zone d'étude.

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

Le système GPS permet de déterminer les coordonnées géographiques (latitude et longitude) des zones tests de chaque parcelle forestière homogène à partir de l'observation des signaux radio émis par des satellites en orbite autour de la terre (Hadjadj., 2010).

Nous avons utilisé le GPS de type GARMIN pour déterminer la position dimensionnelle (latitude, longitude) des zones testes sur le terrain.



**Figure n°17: GPS de type GARMIN**

### **2.1.2. Matériels utilisés dans le bureau :**

#### **2.1.2.1. Un PC :**

Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé un PC caractérisé par:

- **un processeur:** Intel (R) Core (TM) i5-6200U CPU @ 2.30GHz.
- **une RAM:** 8.00 Go.
- **un disque dur:** 900 GO

#### **2.1.2.2. Google Earth:**

Google Earth est un site web de cartographie, permettant une visualisation de la terre avec un assemblage de photographies aériennes satellitaires. Il permet à tous utilisateurs de survoler la terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Il est disponible sur le Web en une version gratuite et une autre payante avec des fonctionnalités améliorées (Karen., 2008).

### **2.1.3. Des logiciels :**

Les principaux logiciels utilisés dans le cadre de cette étude sont:

#### **2.1.3.1. ArcGis 10.1:**

ArcGIS est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute Inc). Il contient de nombreuses fonctions et outils utilisés pour les traitements des données raster et vectorielles (ESRI., 2009).

#### **2.1.3.2. ENVI 4.7 :**

ENVI (Environnement For Visualizing Images) est un logiciel permettant la lecture et le traitement des images satellitaires. Il présente une interface logique et intuitive pour lire, visualiser et analyser différents formats d'images. Toutes les méthodes de traitement d'images de corrections géométriques, radiométriques, de classification et de mise en page cartographique sont présentes (Elhadj.,2015).

### **2.1.4. Le MNT (Modèle Numérique de Terrain):**

Le MNT permet une description de la topographie du terrain et constitue une base de donnée altimétrique à partir de laquelle on peut dériver une multitude de produits : les courbes de

niveau, les cartes de pentes, d'exposition ou de visibilité, les vues en perspective (3D)...etc (Elhadj., 2015).

### 2.1.5. Les images satellitaires :

Les images satellitaires constituent un outil important dans la cartographie de végétation ainsi que dans la planification et la gestion des ressources; elles sont descriptives et apportent une information spatiale, beaucoup plus importante par rapport aux autres sources d'information (Pouchin., 2001).

Pour cette étude, nous avons utilisé une image satellitaires LANDSAT 8 datée de du14/08/2018. Cette image a été téléchargée depuis le site web :

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

**Tableau n°07: Caractéristique de l'image satellitaire Landsat8**

Bande spectrale	Longueur d'onde( $\mu\text{m}$ )	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

### 2.1.6. Les personnes contactées :

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

## 2.2 Méthodes

### 2.2.1. Scannérisation :

Le scanner est un matériel permettant de transformer des documents en fichier numérique. Dans notre étude la carte topographie a été scanné en format TIFF, avec une résolution de 400 dpi (Dots Per Inch).



**Figure n°18 : La carte topographie de SIDI MEROUANE**

### 2.2.2. Géoréférencement :

Cette opération permet la bonne superposition des couches d'informations par la suite. 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.

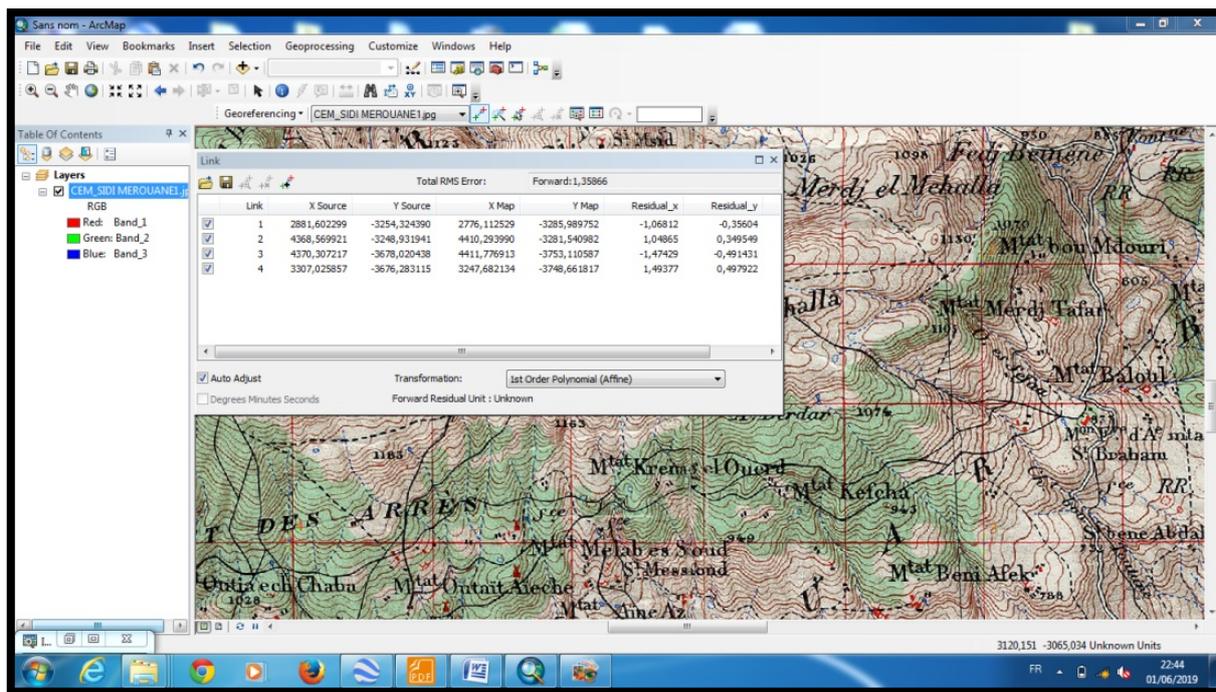


Figure n°19: Géo-référencement de la carte topographique sous ArcGis 10.1

### 2.2.3. Vectorisation :

Cette opération permet de créer sous Google Earth des vecteurs géoréférencés (polygones, lignes) qui représentent la limite du massif forestier et les infrastructures de la zone d'étude (les habitats et les routes).

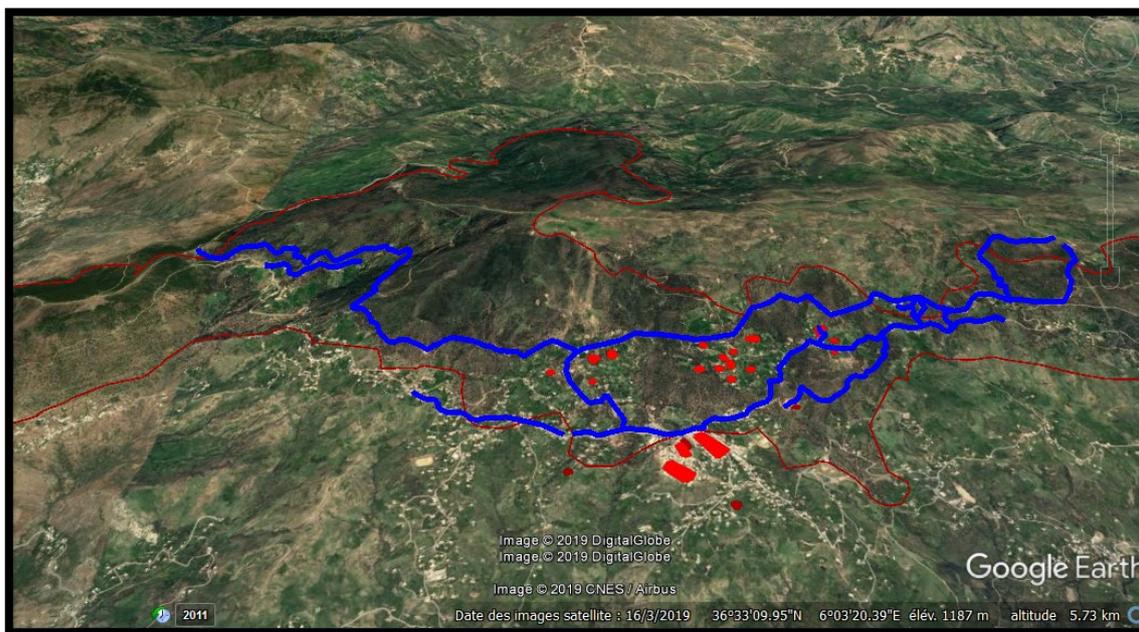


Figure n°20 : Vecteur du massif forestier de Zouagha

#### **2.2.4. Les cartes dérivées de l'MNT :**

Le modèle numérique de terrain 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 du MNT : la carte des pentes et d'exposition par l'utilisation des fonctions du logiciel ArcGis 10.1.

#### **2.2.5. Cartographie de la forêt de Zouagha**

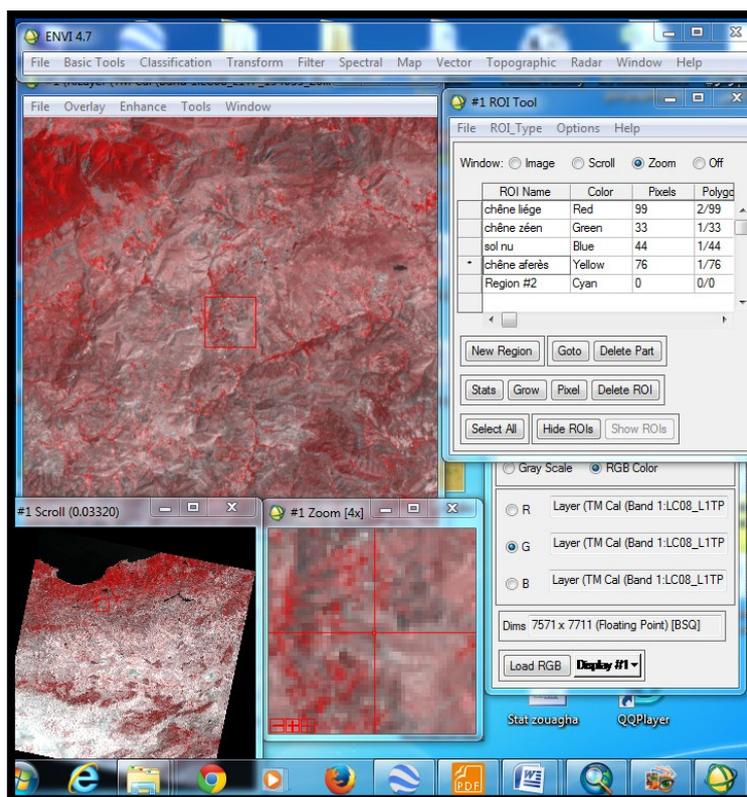
##### **2.2.5.1. Prétraitement**

Il permet la correction des distorsions géométriques de l'image dues aux variations de la géométrie Terre-Capteur, la transformation des données en vraies coordonnées géographiques, la correction radiométrique qui réduit les bruits d'images dus au capteur ou à l'atmosphère (nuages, poussière atmosphérique, vent de sable, etc) (Elhadj., 2015).

L'image LANDSAT8 utilisée dans notre étude a été géoréférencée, rectifiée et orthorectifiée par le distributeur USGS (United States Geological Survey).

#### **2.2.6. La classification supervisée de l'image satellitaire:**

La classification supervisée est une procédure utilisée pour l'identification de zones «spectralement similaires» d'une image. Elle consiste à découper les pixels de l'image en polygones pour les regrouper dans les mêmes classes correspondantes. Le principe de la classification se fait selon une règle de discrimination basée sur la différence statistique entre les valeurs numériques des pixels dans le but de réaliser le découpage optimal (Deshayes et Maurel., 1990).



**Figure n°21: Localisation géographique des zones tests sous ENVI4.7**

Pour réaliser la classification supervisée de l'image satellitaire, nous avons fait une sortie de terrain le 20 Mars 2019 avec les forestiers de la District de Terrai Beinen afin de cibler et géolocaliser les zones testents qui correspondent aux différents types d'occupation du sol.

### 2.2.6.1. L'indice de séparabilité

Cet indice permet l'évaluation de la fiabilité des zones tests. Il est utilisé pour distinguer la séparabilité des signatures spectrales entre les parcelles d'entraînement (zones tests). 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 fournis des statistiques qui varient entre 0 et 2 :

- $0 < x < 1$  : séparabilité très faible, 0 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).

### 2.2.7. Modèle de calcul du risque d'incendies :

Pour réaliser la carte du risque d'incendie, nous avons utilisé la méthodes d'ERTEN et *al.*, 2004).

$$IR = 7Tveg + 5(P+E) + 3(Dr+Da)$$

Cette méthode fait intervenir cinq facteurs:

Tveg: type de végétation

P: la pente

E : l'Exposition

Dr: distance à partir des routes

Da : distance à partir des habitations

Les différentes étapes de la méthodologie adoptée tout au long de ce travail sont illustrées dans l'organigramme suivant :

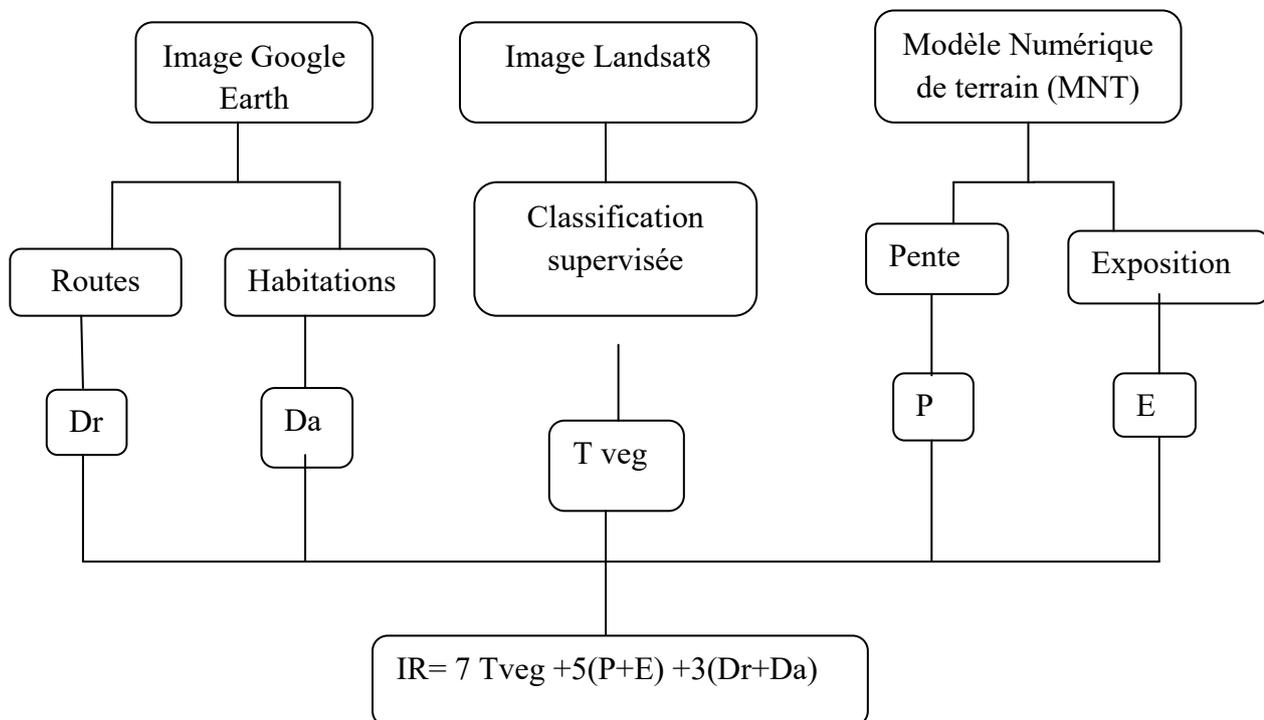
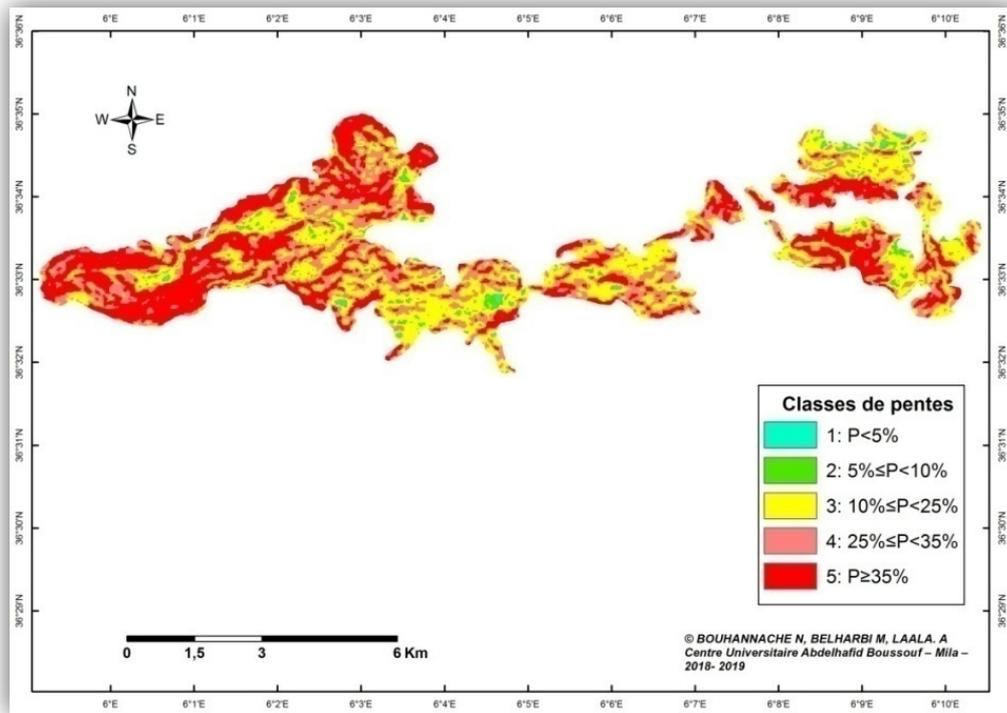


Figure n° 22: Procédure de cartographie de l'indice de risque des incendies

# **Chapitre III : Résultats et discussion**

### 1. La carte des pentes

La pente est l'inclinaison d'une surface exprimée en degrés ou en pourcentage par rapport au plan de l'horizon, elle modifie l'inclinaison relative des flammes par rapport au sol et favorise, lors d'une propagation ascendante, l'efficacité des transferts thermiques par rayonnement et convection (Elhadj., 2015).



**Figure n°23: Carte des pentes de la forêt de Zouagha**

D'après la figure 23 et 24, on remarque que 39% de la superficie totale de la forêt de Zouagha est caractérisée par des pentes variant entre 10% et 25% ces pentes sont localisées géographiquement au Sud-Est de la zone d'étude. Concernant les pentes abrupte ( $P > 35\%$ ), elles représentent 24% de la surface totale du massif forestier. En ce qui concerne les terrains horizontaux à pente faible, ils occupent une très faible superficie égale à 12%.

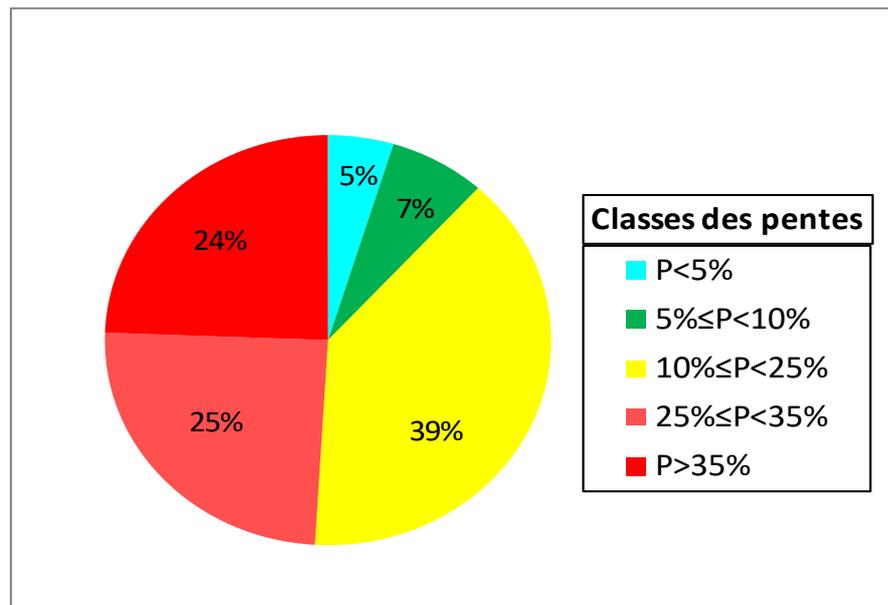


Figure n°24: Superficie forestière (en %) par classe de pente

## 2. Carte d'expositions

L'exposition identifie la direction de la pente. Elle traduit la situation du versant par rapport aux vents dominants et à l'ensoleillement. En effet, elle joue également un rôle indirect dans la progression du feu. En général, les versants Sud et Est présentent les conditions les plus favorables pour la propagation des feux.

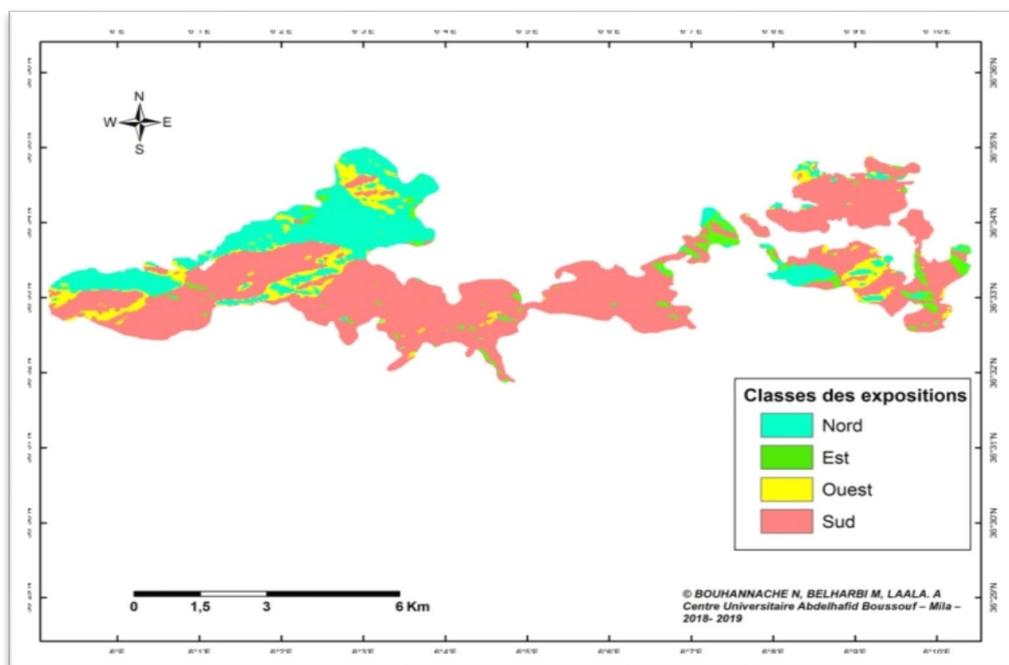
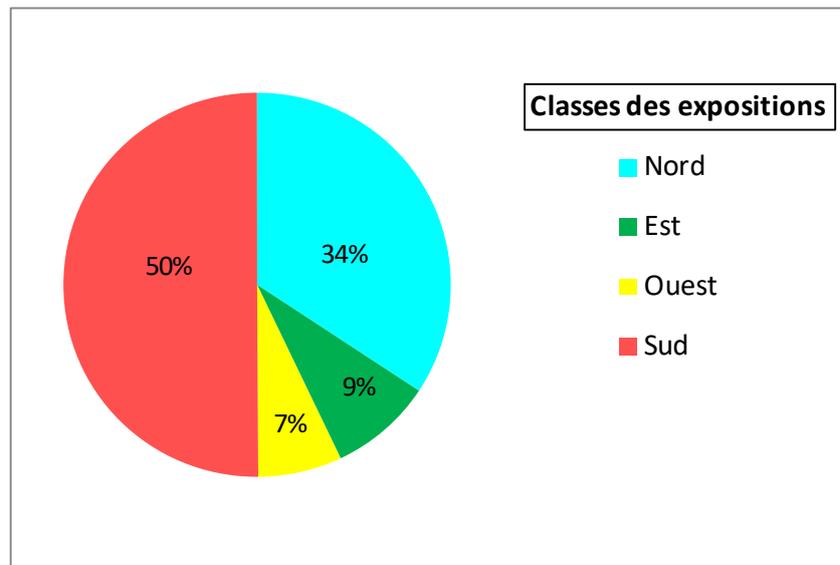


Figure n°25: Carte d'expositions de la forêt de Zouagha

Le dénombrement des pixels nous a permis de déterminer la superficie de chaque classe d'exposition dans la forêt de Zouagha (figure 25).

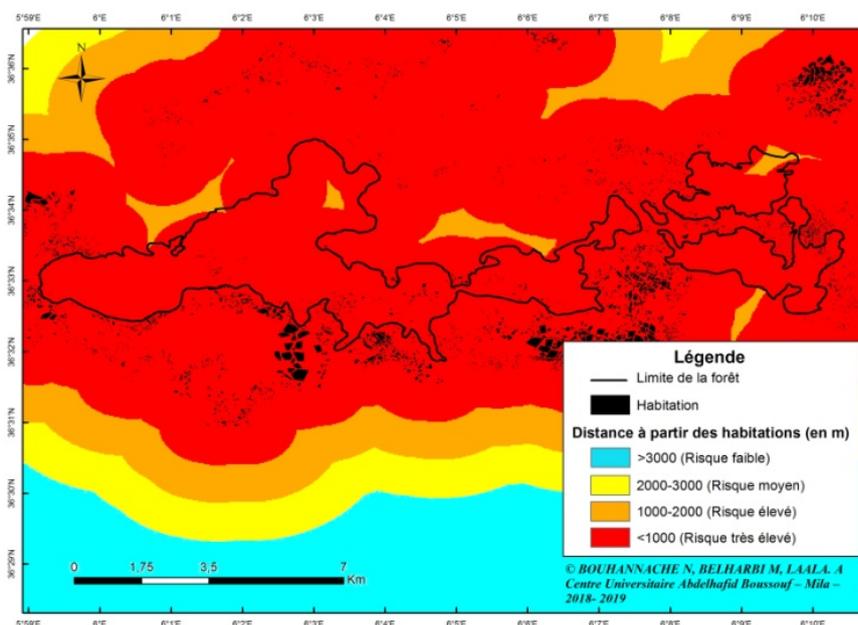


**Figure n°26: Superficie forestière (en %) par classe d'exposition**

On constate que la moitié de la superficie forestière étudiée est caractérisée par une exposition Sud. Ainsi, 34% de cette superficie est caractérisé par une exposition Nord. Concernant l'exposition Ouest et Est, elles ne représentent que 9% et 7% respectivement.

### 3. La carte des habitations :

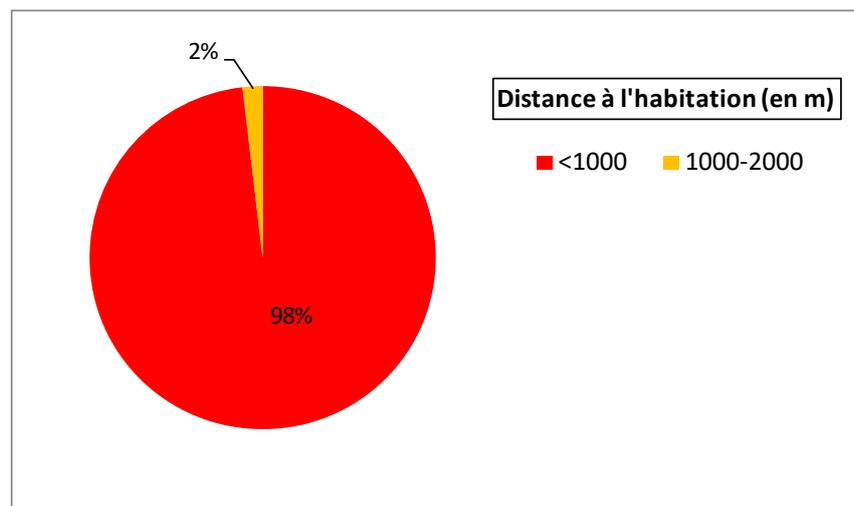
Puisque l'homme est responsable de la plupart des mises à feu (volontaires et involontaires) des forêts, il est impossible de modéliser le comportement humain. L'approche statistique développée par Robin en 2006 montre une corrélation claire entre le nombre des foyers près d'une route ou d'habitations.



**Figure n°27: Carte des classes de risque liée à l'habitat**

Les résultats obtenus montrent que la forêt de Zouagha comporte des zones très favorables pour le déclenchement des incendies. L'explication peut-être trouvée dans le mode de la répartition spatiale de l'action anthropique (habitat éparse et diffus) qui favorise le départ des feux.

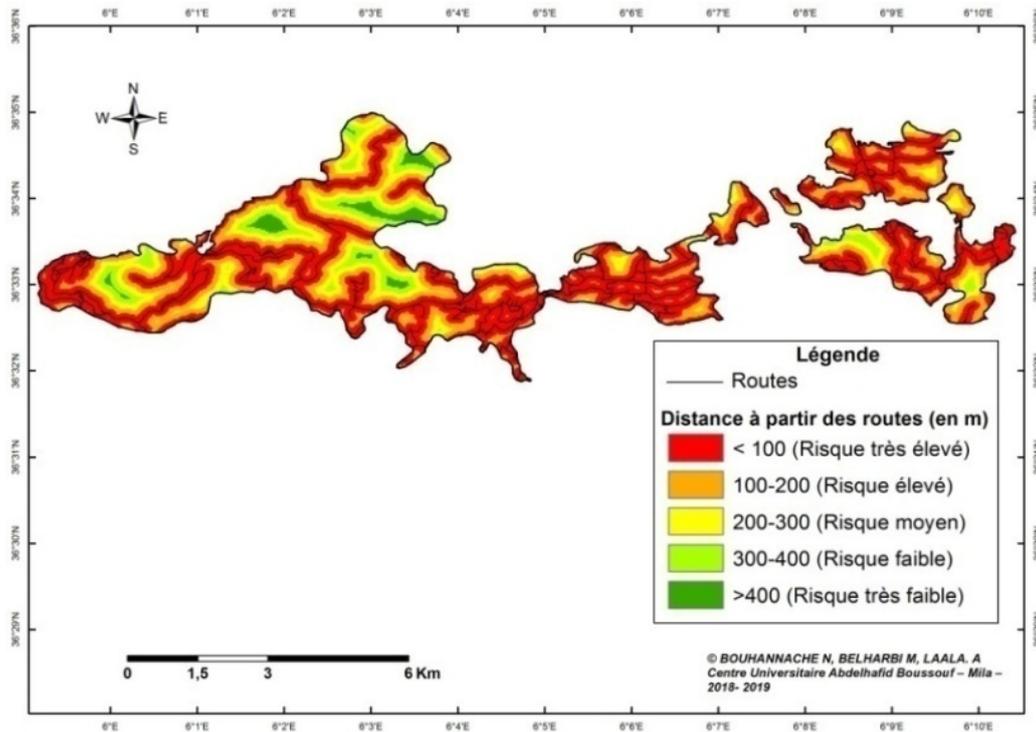
D'après la figure 27, on peut dire que les zones à risque très élevé, où les habitations se situent à une distance inférieure à 1000 m, dominent le massif forestier avec un pourcentage de 98%. Quant aux zones à risque élevé, où les habitations se localisent à une distance variant entre 1000-2000m, elles représentent une très faible superficie (2%).



**Figure n°28 : Superficie forestière (en %) par classe de distance à partir des habitations**

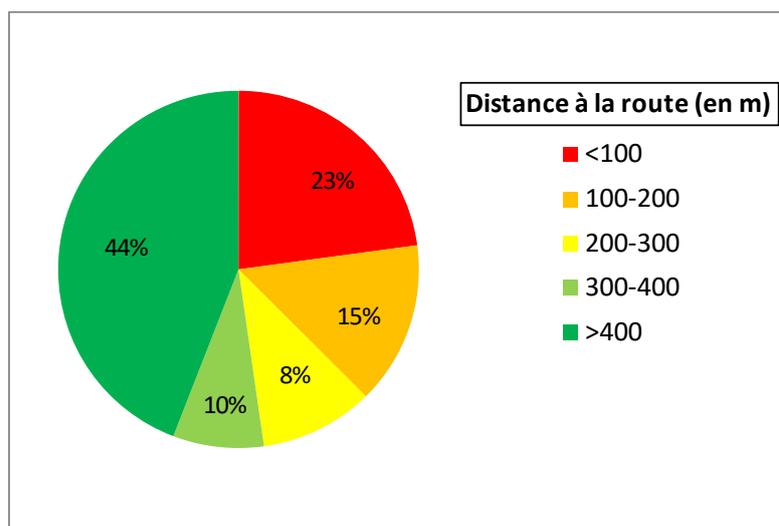
#### 4. La carte des routes

Les incendies sont très fréquents aux voisinages des routes et des pistes carrossables. Selon Robin (2006), plus de 50 % des incendies se déclarent à moins de 50 mètres d'une route.



**Figure n°29 : Carte des classes de risque liée aux routes**

D’après les résultats obtenus (figure 29 et 30), nous concluons que le risque d’incendie est élevée à très élevée lorsque les routes communale et les pistes sont situées à une distance inférieure à 200m de la forêt. Ce risque touche 38% de la surface totale de la forêt. Ainsi, le risque est moyen lorsque cette distance varie entre 200-300m. Ce type de risque caractérise 8% du massif. Concernant le risque très faible où les routes se situent à une distance supérieures à 400 m, il représente 44% de la surface totale de la forêt.



**Figure n°30 : Superficie forestière (en %) par classe de distance à partir des routes**

## 5. Cartographie de la forêt de Zouagha par la classification supervisée :

### 5.1 Indice de séparabilité:

Le principe de la classification supervisée est basé sur l'identification des échantillons homogènes de l'image satellitaires. Ces échantillons peuvent représenter une ou plusieurs zones occupées par une catégorie thématique connue (zones tests).

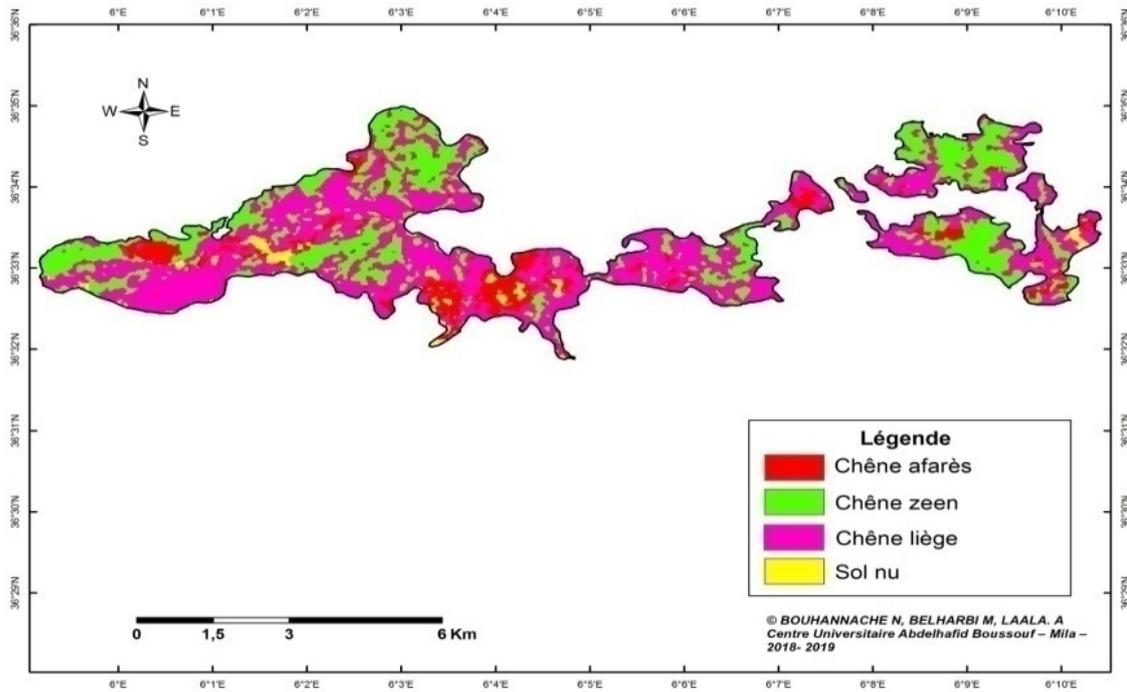
**Tableau n°08: Indice de séparabilité des parcelles d'entraînement**

Les classes		Valeurs du test de Séparabilité
Chêne liège	Chêne zéen	1.982
Chêne liège	Chêne afarès	1.999
Chêne liège	Sol nu	2
Chêne zéen	Chêne afarès	1.969
Chêne zéen	Sol nu	2
Chêne afarès	Sol nu	2

On remarque d'après le tableau ci-dessus que les valeurs du test de séparabilité des classes varient entre 1.96 et 2.0, ce qui confirme la bonne représentation des zones tests pour toutes les classes spectrales.

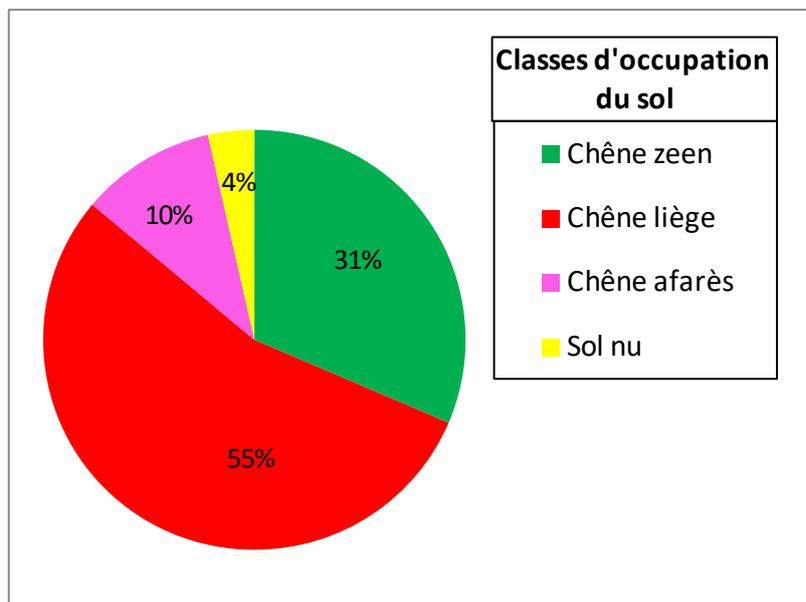
### 5.2 Carte d'occupation du sol de la forêt de Zouagha

La classification supervisée de l'image satellitaire nous a permis de déterminer quatre classes d'occupation du sol, trois classes de la végétation arborée composée de chêne liège, de chêne zéen et de chêne afarès et une classe représente le sol nu.



**Figure n°31: Carte d’occupation du sol de la forêt domaniale de Zouagha**

D’après la figure 31 et 32, on constate une dominance de chêne liège qui occupe plus de la moitié de la superficie forestière (55%), soit une superficie de 1681,65ha. Concernant le chêne zéen, il s’étale sur une superficie égale à 967,77ha, soit 31 % de la superficie du massif étudié. Pour le chêne afarès, il colonise 10% de la surface totale. Ainsi, le sol nu colonise une très faible superficie égale de 108,72ha, soit environ 4 % de la superficie forestière totale.



**Figure n°32 : Superficie forestière (en %) de chaque type d’occupation du sol de la forêt de Zouagha**

### 5.3. La carte du risque d'incendie lié aux espèces:

La figure 33 montre que la forêt de Zouagha présente un risque très élevé qui se caractérise les parcelles forestières occupées par le chêne liège. La classe de risque élevé se répartie principalement au Nord de cette forêt où se trouve le peuplement de chêne Zéen et de chêne afarès. Concernant la classe à risque faible, elle est négligeable (0,05%), représente les terrains à sol nu.

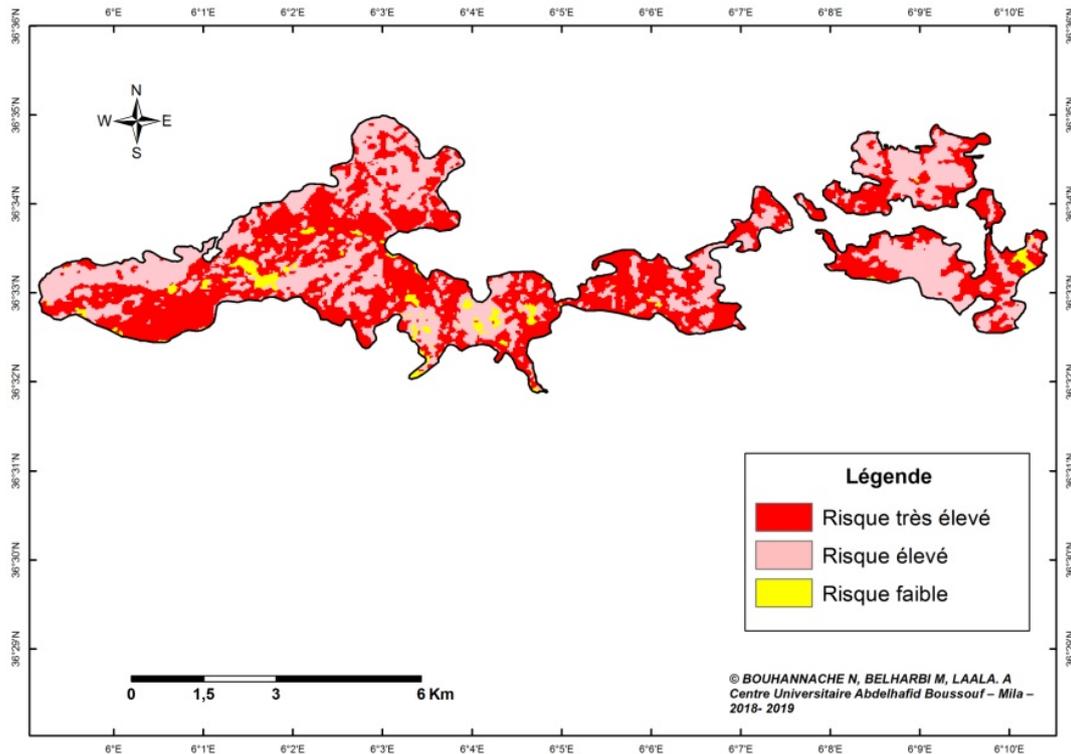


Figure n°33 : Carte du risque d'incendie liée à la végétation forestière

## 6. Cartographie du risque des incendies

La cartographie du risque d'incendies nous a permis de délimiter les zones potentielles d'éclosion des incendies, tout en pouvant remonter aux causes et degré du risque (végétation très inflammable, pente élevée, proximité d'une route, ... etc).

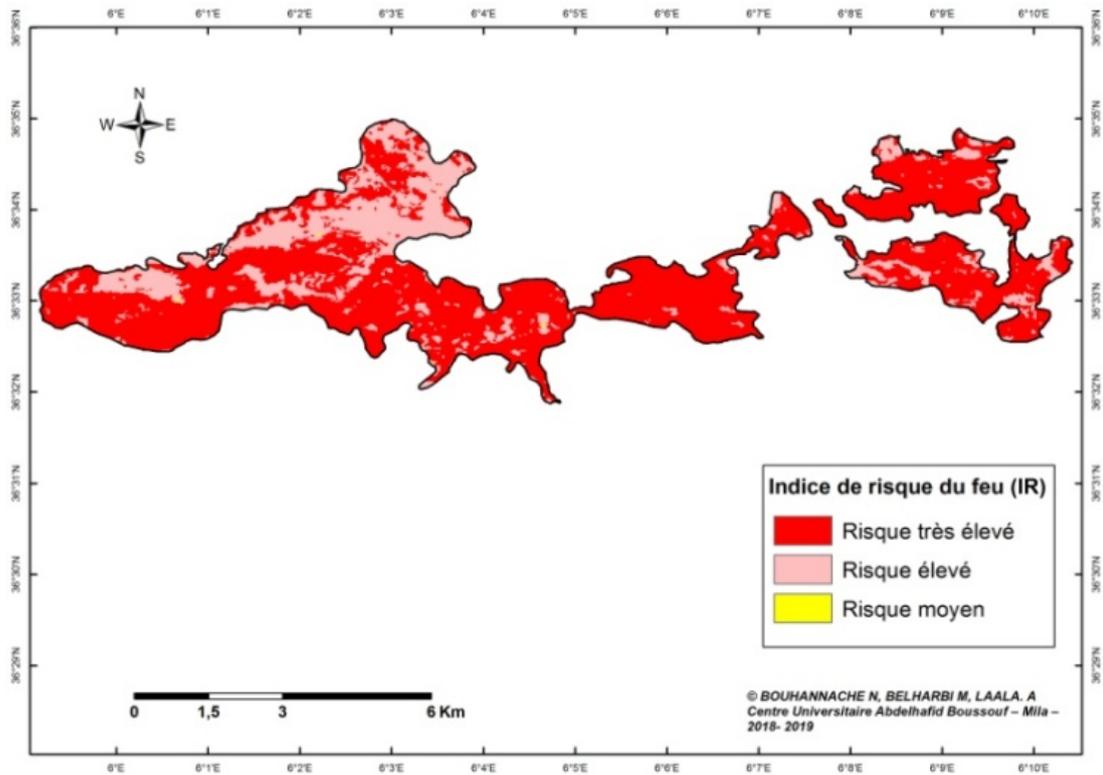


Figure n°34: Carte d'indice de risque d'incendies (IR)

L'analyse de la carte de risque des feux de forêts montre que 74,92% de la superficie forestière de Zouagha est exposé au risque d'incendie très élevé, ce qui représente une superficie de 2305,44 ha. Les zones à risque élevé occupent le un-quart du massif, ce qui représente 770,13ha. Elles se retrouvent au Nord-Ouest de la forêt de Zouagha. La classe à risque moyen est négligeable, elle ne représente que 0,05% de la superficie totale, soit une superficie de 1,44 ha.

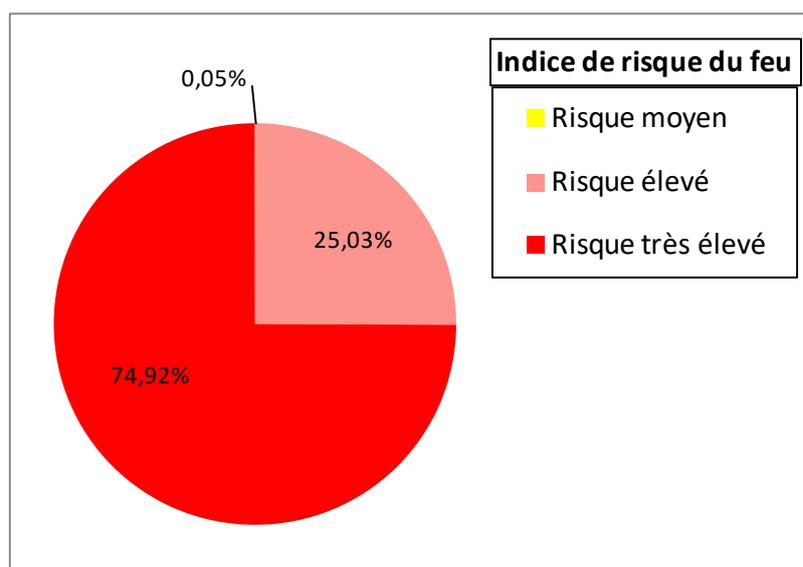


Figure n°35 : Superficie forestière (en %) par classe d'indice de risque du feu

Globalement, les zones à risque très élevé sont caractérisées par une végétation inflammable (*Quercus suber*), une fréquentation humaine élevée (élevage, agriculture), un réseau routier dense, une pente élevée > 25 % et une exposition Sud. Les zones à risque élevé sont dominées par une végétation à risque élevé (*Quercus canariensis*, *Q. afares*), une pente moyenne à élevée, une exposition Nord-Ouest. Concernant les zones à risque moyen, elles sont caractérisées par une pente faible à très faible et des sols nus.

# Conclusion

---

## Conclusion

L'incendie des forêts constitue le facteur de dégradation le plus redoutable de la forêt Algérien. Il pèse lourdement sur l'environnement et l'économie locale. 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.

Cette présente étude a porté sur l'utilisation du SIG et de la télédétection pour la cartographie du risque d'incendie au niveau de la forêt domaniale de Zouagha. L'approche adoptée est un modèle qui fait intervenir plusieurs paramètres qui contrôlent le comportement du feu: la topomorphologie du terrain, la combustibilité du couvert végétal et l'activité humaine. Cinq cartes ont été créées sous le logiciel ArcGIS: la carte d'occupation du sol, la carte des pentes, d'exposition, la carte de proximité des routes et de proximité des agglomérations. L'intégration, sous SIG, de toutes ces cartes nous a permis de calculer l'indice de risque d'incendie (IR) et par conséquent déterminer la sensibilité de chaque parcelle de la forêt de Zouagha face au risque d'incendie.

Les cartes issues de cette étude montrent que le terrain du massif de Zouagha est accidenté avec des pentes qui dépassent 35°. Ainsi, la carte des expositions fait apparaître les différentes orientations des versants où la moitié de la superficie totale de la forêt de Zouagha est orientée vers le Sud. Concernant les cartes du réseau routier et des zones d'habitat, elles reflètent des grandes superficies dont le risque de départ de feu de forêt intervient, cette situation est due aux fortes densités humaines et au réseau routier implanté en forêt.

La carte finale de l'indice de risque d'incendie montre également que le massif forestier de Zouagha est fortement touché par l'aléa d'incendie. A cet effet, 99.9 % de la superficie totale de ce massif est considérée comme une zone très favorable pour le déclenchement rapide des incendies. Cette vaste zone est caractérisée par la dominance du peuplement dense du chêne liège.

L'approche cartographique informatisée, que nous avons adopté dans ce travail, nous a permis d'élaborer, d'une part, les différentes cartes qui figurent dans ce document, et d'autre part, une base de données géographiques qui permet de définir et de mieux préciser les zones à protéger qui sont considérées comme prioritaires pour la mise en place d'une stratégie efficace de protection.

---

Enfin, et comme perspectives, nous souhaitons que ce travail sera approfondie par d'autres études utilisant d'autres méthodologies pour déterminer le risque d'incendie. Nous proposons également que la Direction générale des forêts renforce les Circonscriptions et les Districts forestiers par des équipes d'intervention qualifiées et de fournir aux services forestiers des véhicules équipés de tout le dispositif de lutte contre les incendies.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

- **Alexandrian D., Rigolot E., 1992.** Sensibilité du pin d'Alep à l'incendie. Forêt Méditerranéenne t. XIII, n° 3. Juillet 1992. pp 185-197.
- **Alexandrian,D ;Esnault,F et Calabri,G ., 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 foret. 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.
- **Arfa, A Med T., 2008.** Les incendies de forêt en Algérie : Stratégies de prévention et plan de gestion. Mem Mag. SNV. Univ. MENTOURI-Constantine, 115 p.
- **BARBERO. M et al., 1988.** Perturbations et incendies en régi on méditerranéenne française, univd'aix- Marseille III. p 409-419.
- **Bekdouche F., Sahnoune M., Krouchi F., Achour S., Geumati N. & Derridj A., 2011.** The contribution of legumes to post-fire regeneration of Quercus suber and Pinus halepensis Forest in North-Eastern Algeria. Rev. Ecol. (Terre Vie) 66: 29-42.
- **Belkaid Hamid., 2016.** Analyse spatiale et environnementale du risque d'incendie de forêt en Algérie cas de la Kabylie maritime .Univ de Nice - Sophia Antipolis 80-82p
- **Berrouaine Z., 2013.** Analyse comparative des incendies de forêt dans la Wilaya de Tlemcen. Mém. Master II. Uni. Abou Bekr Belkaid.Tlemcen, 88p.
- **BLIN, 1974.** Le vent et l e développement des feux.R.F.F. n° sp. p 37-60
- **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.
- **CARREGA P., 1992.** Vers une évaluation intégrée du risque incendie de forêt. Actes de colloque international « le feu : avant-après » Nice- Mai 1992, Revue d'analyse spatiale quantitative et appliquée. Laboratoire d'analyse spatiale, Université de NiceSophia Antipolis. 49 p.

## Références bibliographiques

---

- **CARREGA P., 1994.** Analyse spatiale quantitative et appliquée, Topoclimatologie et Habitat. Revue de Géographie du laboratoire d'analyse spatiale Raoul Blanchard, UFR Espaces et Cultures, Université de Nice Sophia Antipolis. 373 p.
- **CEMAGREF. ENSMP-ARMINES. Agence MTDA.** Colloque de restitution des travaux de recherche du SIG Incendies de forêt. 4 Décembre 2002. Marseille (France).
- **Chantrand L. et Molinier R.1984.** La forêt méditerranéenne : Description, Rôle et Protection. Entente interdépartementale pour la protection de la forêt méditerranéenne contre l'incendie. Aubagne ; 31p.
- **Colin P.Y., Jappiot M., Mariel A., Lampin C. & Veillon S., 2001.** Protection des forêts contre l'incendie. Edit. FAO/C.E.M.A.G.R.E.F. Cahier FAO Conservation n°36. 149 p.
- **Combes F., 1990.** Après le feu.....la boue. Espaces forestiers et incendies. Numéro spécial : 303-306.
- **Delavaud P., 1981.** Le feu, outil sylvicole? Utilisation pratique des données. Mémoire de 3ème année. p 91 + Annexes.
- **Deshayes M .Maurel P.1990.** l'image spatiale et son contenu. Ciheam-options méditerranéennes sur la télédétection en agriculture.
- **DGF(2018).** Direction Générale des Forêts, fiche signalétique de la forêt domaniale de Zouagha
- **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 – ArcGIS 9.1 Webhelp topic, 40 pages, [En ligne] <http://webhelp.esri.com> (dernière visite Mars, 2009).
- **FAO., 2002.** Communautés en flamme : actes d'une conférence internationale sur la participation des communautés à la lutte contre les incendies. Bureau régional de la FAO pour l'Asie et la pacifique, publication 2002/25. ISBN 974- 7946- 29-7.
- **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.

## Références bibliographiques

---

- **G.I.S. 2000.** Etat des connaissances sur l'impact des incendies de forêt ; mise en place de protocoles expérimentaux pour le suivi des incendies et la reconstitution des écosystèmes forestiers. Groupement d'intérêt scientifique « Incendies de forêts ». Forêt méditerranéenne.t.XXI, (3) : 342-352.
- **Gaétan Lemaire.** Professeur associé, Cours gestion du feu en forêt (2007) : Introduction à la pyrologie forestière section A et B. 77 p.
- **Grogno A., 2000.** Propositions d'étude et premières réhabilitations des terrains incendiés du massif de l'étoile. t.XXI, (3) : 315-318.
- **Guillon D., 1990.** Les effets des feux sur la richesse en éléments minéraux et sur l'activité biologique du sol. Rev. For. Fr. t.XLII, (Sp.) : 295-302.
- **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,44, 83,84p.
- **J- M Gilliot (2000).** Revue, Introduction aux SIG « Systèmes D'informations Géographiques.
- **Jappiot M., Lampin C., & 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.
- **Jappiot M., Blanchi R., & Alexandrian D., 2002.** Cartographie du risque : recherche méthodologique pour la mise en adéquation des besoins, des données et des méthodes.
- **Kaiss A., Zekri L., Zekri N., Porterie B., Clerc J-P., & Picard C., 2007.** Efficacité des coupures de combustible dans la prévention des feux de forêts. C. R. Physique, 8 : 462–468.
- **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. Univde Tlemcen, Facdes Sciences, département de forêt. Algérie, 162 p.
- **Lilioriente M., 1996.** Micoflora y patologiadelalcornoque (Quercus suber.L).M.A.P.A; Madrid, 32.

## Références bibliographiques

---

- **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.
- **Martin C. & Allee P., 2000.** Impact d'un incendie de forêt sur l'érosion hydrique dans le bassin versant du Rimband (massif des Maures, Var). Forêt méditerranéenne. t.XXI, (2) : 163-169.
- **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.
- **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, 83 p.
- **Missoumi et Tadjerouni., 2003.** SIG et imagerie Alsat1 pour la cartographie du risque d'incendie de forêt.
- **Moro C. 2006.** Inflammabilité et siccité de la bruyère arborescente et de l'arbousier, risque spatiale de la bruyère. Institut nationale de la recherche Agronomique. 53 p.
- **Pouchin T., 2001.** Cours de télédétection. Université le havre. France.p44.
- **Robin J.G., 2006.** Les risques d'incendies de forêts dans le département des alpes maritimes, éclosion des feux de forêts – analyse structurelle. Mémoire de stage, U.M.R. 6012 « ESPACE » du CNRS. 38 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.
- **Station Météorologique de Ain Tine( wilaya de Mila)**
- **Tir Elhadj., 2015.** Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière postincendie dans la wilaya de Tissemsilt. Thèse magister .Abou bekr belkaid 5,8,9,36,39P
- **Trabaud L., 1992.** Les feux de forêts : mécanismes, comportement et environnement. Éditions France- Sélection, 278 P.

# Résumé

## Références bibliographiques

---

- **Trabaud L., 1979.** Etude du comportement du feu dans la garigue de chene 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., 2000.** Réaction du milieu après un incendie... réflexions d'un écologue. Forêt méditerranéenne. t. XXI, (3) : 299-300.
- **Trabaud. L, 1970a.** Le comportement du feu dans les incendies de forêts. Extrait de la revue technique du feu. N° 103, p 15.
- **Valette, J.C, 1988.** Notions générales relatives à la combustion. Forêt Méditerranéenne, t. X, numéro 1, juillet 1988. pp 197-201 (p 198). Itinérant.
- **Velez R., 1996.** La sylviculture préventive des incendies en Espagne. Revue Mapping n° 29. pp 3-6.

### Site web:

- <http://fr.borealforestfacts.com>

---

## Résumé:

Le problème des feu de forêt est son impact sur le développement socio-économique et environnemental en Algérie est devenu une question inquiétante. La forêt étant un patrimoine qui joue un rôle très important dans cet axe, est soumis actuellement à des incendies causées par différents facteurs. L'étude et le suivi de cet aléa au niveau des massifs forestiers nécessitent l'utilisation des techniques nouvelles. Dans ce contexte, nous avons essayé de cartographier le risque d'incendie du massif forestier de Zouagha par l'utilisation d'un modèle qui s'appuie sur un certain nombre de paramètres à savoir: le type de végétation, la pente, l'exposition, la proximité des routes et la proximité des habitations. Les résultats obtenus indiquent que la forêt domaniale de Zouagha est fortement touchée par les incendies. Le dénombrement des pixels montre qu'environ le trois-quarts de notre zone d'étude présente un risque d'incendie très élevé. Ce dernier est lié particulièrement à la végétation très inflammable, à la pente très forte, à l'exposition Sud, au réseau routier dense et à la fréquentation humaine importante. Les cartes issues de cette étude constituent une référence cruciale pour les forestiers qui leurs permettent de localiser spatialement les zones vulnérables aux incendies, afin d'intervenir rapidement sur le milieu avec une gestion durable.

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

## الملخص:

مشكلة حرائق الغابات هي أن تأثيرها على التنمية الاجتماعية والاقتصادية والبيئية في الجزائر أصبح قضية مقلقة. الغابة كونها مورد حراجي يلعب دورا هاما للغاية في هذا المحور، يخضع حاليا لحرائق ناجمة عن عوامل مختلفة. تتطلب دراسة ومتابعة هذا الخطر على مستوى الغابات استخدام تقنيات جديدة. في هذا السياق ، حاولنا تعيين خطر الحريق في غابة زواغة باستخدام نموذج يعتمد على عدد من المتغيرات وهي: نوع الغطاء النباتي ، والمنحدر ، واتجاه المنحدر ، وقرب الطرق وقرب المنازل. تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن غابة زواغة تتأثر بشدة بالحرائق. يظهر عدد البكسلات أن حوالي ثلاثة أرباع منطقة دراستنا لديها مخاطر حرائق عالية جداً. يرتبط هذا الأخير بشكل خاص بالنباتات شديدة الاشتعال ، والمنحدر شديد الانحدار ، واتجاه الانحدار الجنوبي ، وشبكة الطرق الكثيفة ، والحضور البشري المهم. تشكل الخرائط الناتجة عن هذه الدراسة مرجعاً حاسماً بالنسبة لعمال الغابات الذي يسمح لهم بتحديد موقع المناطق المعرضة للحرائق ، من أجل التدخل السريع و تخطيط مستدام.

**الكلمات المفتاحية:** رسم الخرائط ، غابة زواغة ، نظم المعلومات الجغرافية ، مخاطر الحرائق ، LANDSAT8.

---

**Abstract:**

The problem of forest fire is its impact on socio-economic and environmental development in Algeria has become a worrying issue. The forest being a heritage that plays a very important role in this axis, is currently subject to fires caused by various factors. The study and the follow-up of this hazard at the forest level require the use of new techniques. In this context, we tried to map the fire risk of the Zouagha forest using a model based on a number of parameters namely: the type of vegetation, the slope, the exposure, the proximity of roads and the proximity of houses. The results obtained indicate that the Zouagha State Forest is strongly affected by fires. The pixel count shows that about three-quarters of our study area has a very high fire risk. The latter is particularly related to the highly flammable vegetation, the very steep slope, the southern exposure, the dense road network and the important human attendance. The maps resulting from this study constitute a crucial reference for foresters who allow them to spatially locate areas vulnerable to fire, in order to intervene quickly on the environment with sustainable management.

**Key words:** Cartography, Zouagha forest, GIS, fire risk, LANDSAT8.