



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique
جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut De Maintenance Et Sécurité Industrielle

Département de sécurité industrielle et environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

Protection et détection des feux de forêt : une
approche intégrée pour la préservation des
écosystèmes forestiers

Présenté et soutenu publiquement par :

Mlle BENZIANE Roumaïssa & Mlle BOUHLASSA Ferdaous Asmaa

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
GUETARNI Hadj Mohamed Islam	MCB	Université d'Oran2/IMSI	Président
HEBBAR Chafika	Professeur	Université d'Oran2/IMSI	Encadrante
BELKHODJA Leila	MCB	Université d'Oran2/IMSI	Examinatrice
FETTATI Rachid	Directeur	Conservation des forêts d'Oran	Invité

Année 2022/2023

Dédicaces

Je dédie ce travail à toutes les personnes qui m'ont soutenu et inspiré tout au long de mon cursus en particulier :

À mes merveilleux parents Bouhlassa Mohamed et Sighrini Rachida , piliers de ma vie, votre fierté d'être votre fille a été ma plus grande motivation pour aller de l'avant.

À tout la famille, A mon petit frère Taha , à mes chers cousins qui m'ont encouragé et soutenu sans relâche, je vous suis reconnaissante pour votre amour et votre soutien inconditionnels.

À la mémoire de mes grandes mères, qui resteront à jamais gravée dans mon cœur ;

A la famille Lechar, tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour et Le respect pour vous.

À mes amis, notamment Hadjer , Amina , Wissem et Jihan qui ont été présents à mes côtés, m'apportant réconfort, motivation et de précieux moments de détente.

A toutes la promotion de Sie 2023,

À toutes les personnes qui ont cru en moi,

A tous qui m'aime.

BOUHLASSA FERDAOUS ASMA

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents, Toufik et Boutchiche Wahiba dont l'amour, le soutien et les sacrifices sont inestimables.

À mes sœurs et mon frère, Rayhane Mohamed et Amel, vous êtes mes compagnons de vie et mes piliers de soutien.

Je dédie également cette réussite à toute la famille Benziane et Boutchiche, ainsi qu'à la famille Arbaoui, Belghari, Derrar. Votre soutien, vos encouragements et votre fierté ont été des moteurs essentiels tout au long de mon parcours.

Je tiens à rendre hommage à ma regrettée grand-mère, à mon cher grand-père et à mon oncle Allah yerhamhom. Que notre bon Dieu les accueille dans son vaste paradis.

À mes chers amis, vous êtes les étoiles qui ont illuminé mon chemin.

Un grand merci à Mr Metaoui Habib, pour m'avoir fait découvrir le vrai sens du concept « HSE ». Votre encadrement et votre partage d'expérience ont été inestimables dans mon développement professionnel.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à mon parcours, je vous suis profondément reconnaissante pour votre soutien, votre inspiration et votre présence précieuse.

Roumaïssa Benziane.

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre gratitude envers Allah, qui nous a accordé la force, la persévérance et la guidance nécessaires pour mener à bien notre projet de fin d'études.

Nous souhaitons également exprimer nos sincères remerciements à nos parents, dont le soutien indéfectible et les encouragements constants ont été essentiels pour mener à bien ce projet.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers notre encadrante, Mme le Professeur HEBBAR Chafika, pour sa guidance experte, son soutien inconditionnel et ses conseils avisés tout au long de notre parcours.

Nous remercions les membres du jury, Mme le Docteur BELKHODJA Leila et Mr le Docteur GUETARNI Hadj Mohamed Islam pour accepter d'examiner et de présider notre projet.

Enfin, Nous adressons également nos remerciements chaleureux à tout le personnel de la Conservation des Forêts d'Oran et plus spécialement : Mr FETTATI Rachid et Mr AÏT-MENGUELLAT Karim, ainsi qu'à Mme Aliaa Mesrour pour leur précieuse collaboration, Mr DAHOU Mohamed et Mr BELARBI Adel Mohamed pour leurs conseils éclairés et leur assistance dans la réalisation de notre prototype.

BOUHLASSA FERDAOUS ASMA.

BENZIANE ROUMAÏSSA.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
<i>Chapitre 01 : Généralités sur les forêts et les feux de forêts</i>	
Introduction	2
1.Généralités sur les forêts.....	2
1.1 Définition d'une forêt.....	2
1.2 Importance d'une forêt.....	3
1.2.1 Importance environnementale	3
1.2.2 Importance économique	3
1.2.3 Importance culturelle et Historique sociale	4
1.2.4 Importance récréative.....	4
1.3 Classement des forêts de l'Algérie	4
1.3.1 Présentation des forêts de la wilaya d'Oran	5
1.3.2 Compositions du patrimoine forestier de la wilaya d'Oran	6
1.3.3 Etat de vulnérabilité des forêts.....	6
2.Généralité sur les feux de forêt	7
2.1 Définition d'un feu	7
2.1.1 Définition d'un feu de forêt	7
2.1.2 Naissance d'un feu de forêt	8
2.1.3 Types de feux de forêts.....	9
2.1.4 Forme d'un feu	10
2.2 L'incendie.....	11
2.2.1 Combustion.....	11
2.2.2 Combustion végétale	11
2.3 Causes provocatrices des incendies.....	12
2.3.1 Causes Humaines	13
2.3.2 Causes naturelles	13
2.5 Principales caractéristiques d'un incendie	14
2.5.1 Flamme.....	15
2.5.2 L'incendie.....	16
2.6 Propagation des incendies	17
2.6.1 Mécanisme de propagation.....	17
2.6.2 Facteurs influençant la propagation.....	18
2.6.2.1 Matériaux combustibles.....	18
2.6.2.2 Conditions météorologiques	18
2.6.2.3 Topographie.....	20

Sommaire

Conclusion.....	21
<i>Chapitre 2 : Les impacts des feux de forêts</i>	
Introduction	22
2.1 Conséquences d'un feu de forêt sur la santé humaine	22
2.1.1 Exposition à la fumée	22
2.1.2 Risque de blessures et de décès	22
2.1.3 Risque du rayonnement thermique	23
2.1.4 Effets psychologiques	23
2.2 Conséquences d'un feu de forêt sur la vie animale	23
2.3 Conséquences d'un feu de forêt sur le bâti	24
2.4. Conséquences d'un feu de forêt sur l'environnement.....	25
2.4.1 Destruction de bois et du couvert végétal.....	25
2.4.2 Érosion des sols et accélération de la désertification vers les espaces verts	27
2.4.3. Exacerbation du réchauffement climatique.....	28
2.4.4 Détérioration des aspects touristiques et esthétiques de la région.....	28
2.4.5 Pollution de l'enveloppe atmosphérique	29
2.5 Barrages d'envasement.....	29
2.6 Bilan général des feux de forêt de la W. Oran	30
2.6.1 Bilan des incendies des dix dernières années (2012-2021)	30
2.6.2 Bilan du nombre de feux de forêts dans les départements d'Oran.....	31
2.6.3 Évolution des incendies selon les mois de la saison des incendies :	32
2.6.4 Évolution des incendies par jours de la semaine	33
2.6.5 Le cycle de brûlage horaire	34
Conclusion.....	34
<i>Chapitre 3 : Prévention et Lutte contre les feux de forêt en Algérie</i>	
Introduction	35
3.1 Conservation de la forêt.....	35
3.1.1 Missions de la direction de la conservation de la forêt.....	36
3.1.1.1 Tâches administratives	36
3.1.1.2 Tâches techniques :	36
3.1.1.3 Tâches judiciaires.....	36
3.1.1.4 Organigramme de la conservation de la forêt	37
3.2 Présentation de la campagne de prévention et de lutte contre les feux de forêts	37
3.2.1 Dispositif réglementaire de prévention contre les incendies de forêt	37
3.2.2 Plan opérationnel de lutte contre les feux de forêts.....	38
3.3 Dispositif de sensibilisation.....	39

Sommaire

3.3.1 Programme de sensibilisation	39
3.3.2 Bilan de Sensibilisation	39
3.3.3 Installation des comités de lutte contre les feux.....	40
3.3.4 Préparation de la campagne.....	40
3.4 Plan de Prévention	40
3.4.1 Dispositif de prévention	40
3.4.2 Dispositif de surveillance et d’alerte.....	42
3.4.3 Dispositif de 1 ^{ère} intervention	42
3.4.4 Travaux de prévention à exécuter par les organismes	43
3.5 Dispositif d’Intervention.....	44
3.5.1 Postes de vigies.....	44
3.5.2. Brigade mobile.....	45
3.5.3 Comités de Riverains	46
3.5.4 Approvisionnement en eau	46
3.6 Problèmes enregistrés durant les campagnes de lutte contre les feux des forêts.....	48
Conclusion.....	48
<i>Chapitre 4: Elaboration d’un système de détection de feux des forêts</i>	
Introduction	51
4.1 Méthodes de détection des incendies de forêt	51
4.1.1 Méthodes traditionnelles.....	51
4.1.1.1 Utilisation de tours de guet pour observer les signes d’incendie :	51
4.1.1.2 Utilisation d’images satellites pour détecter les feux de grande envergure :	52
4.1.2 Limitations des méthodes traditionnelles.....	53
4.1.2.1 Efficacité réduite en raison de la dépendance à l’observation humaine.....	53
4.1.2.2 Consommation d’énergie élevée	54
4.1.2.3 Latence dans la détection et la transmission des informations d’incendie.....	54
4.2 Etat de l’art sur les RCSF.....	54
4.2.1 Les capteurs sans fil	54
4.2.2 Définition d’un réseau de capteurs	55
4.2.3 Domaines d’application des RCSF	56
Conclusion.....	57
CONCLUSION GENERALE	58
Bibliographie	60
ANNEXE.....	65

Liste des abréviations
Liste des figures
Liste des tableaux

Liste des abréviations

AGF : Aménagement Gestion Des Forêts
APC : Assemblée Populaire Communale
BMF : Brigade Mobile Forestière
C.F.O : Conservation des Forêts de la Wilaya d'Oran
CEMAGREF : Centred'Etudes du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts
DGF : Direction Générale des Forêts
DSA : Direction des Services Agricoles
DTP : Direction des Travaux Publics
FAO : Food and Agriculture Organization
Irstea : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
HT : Haute Tension
HA : Hectare.
K : Degré calorique.
L : litre.
ISO : Organisation Internationale de standardisation
MAPAQ : Ministre d'Agriculture des pêcheries et de l'alimentation du Québec
AVC : Accident Vasculaire Cérébral
M.T : Moyenne Tension
PE : Points d'Eau
PF : Protection des forêts (page de garde)
PF : Pistes Forestières
PV : Poste de Vigie
SEROR : Société d'Etudes et de Réalisation d'Ouvrages et d'Arts
SONELGAZ : Société Nationale de l'Electricité et du Gaz.
TPF : Tranche Par- Feu
COV : Composés organiques volatils
BTP : Bâtiment et Travaux Public
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
ONF : Office National des forêts
RCSF : Réseaux capteurs sans fil
BME : Bosch Sensortec BME688 (capteur environnemental)
MQ-06: SMS : Short Message Service
GSM : Global System for Mobile Communications
2G : Deuxième génération (technologie de communication mobile)
LGA : Land GridArray
hPa : Hectopascal (unité de pression)
VDDIO : Tension d'alimentation pour l'interface I/O
VDD : Tension d'alimentation
SPI:Serial Peripheral Interface

Liste des figures

Fig. 1.1: Types de végétation dans la région Oranaise.	2
Fig. 1.2: Principale essence excitante.	3
Fig. 1.3: Barrage vert sur une carte du nord de l'Algérie.....	3
Fig. 1.4 Carte des forêts d'Algérie.....	5
Fig. 1.5: Taux de formation végétale	6
Fig. 1.6: Forêt brûlée à Grèce	7
Fig 1.7:Eléments déclenchants un feu.....	8
Fig.1.8: Etages de la végétation	9
Fig. 1.9: Types de feu de forêt.....	10
Fig. 1.10: Différentes formes d'un feu de forêt	11
Fig. 1.11: Diagramme de la combustion d'un végétal.....	12
Fig. 1.12: Schématisation de la dégradation d'un combustible végétal.....	12
Fig. 1.13: Coupe transversale d'une flamme.....	15
Fig. 1.14:Représentation schématique d'une flamme.	15
Fig. 1.15: Représentation schématique d'un périmètre d'un feu de forêt.....	16
Fig. 1.16 : Phénomène de saute de feu	17
Fig. 1.17 : Types de transfert thermique.....	18
Fig. 1.18: Rôle de la topographie et du vent sur la propagation du feu	19
Fig. 1.19: Effet de pente sur la propagation de feu.....	21
Fig. 2.1: Impact clinique et subclinique des particules fines d'un feu de forêt	23
Fig. 2.2: La carcasse d'un animal mort après les incendies.	24
Fig. 2.3 : Risque résultant de la combinaison d'un aléa et d'une vulnérabilité.....	25
Fig. 2.4 : Zone brûlée dans un restaurant du zoo suite aux incendies dévastateurs..	25
Fig. 2.5: Forêt brûlée suite à des incendies près de la ville d'El-Kala.....	26
Fig. 2.6 : Problèmes d'érosion de surface	27
Fig. 2.7 : Forêt du Tchad en proie au phénomène de la désertification.	27
Fig. 2.8 : Evolution annuelle du nombre de foyers et superficie brûlée	31
Fig. 2.9 :Taux des formations végétales ravagées par les feux.....	31
Fig. 2.10 : Evolution annuelle des superficies brûlées foyers d'incendies	32
Fig. 2.11 : Taux de la superficie brûlée en (ha) par mois période.....	33
Fig. 2.12 : Histogramme des fréquences des incendies suivant les jours.....	33

Fig. 2.13 : Répartition des départs de feu par tranches horaires 2012-2021.....	34
Fig. 3.1 : Découpage administratif de la wilaya d'Oran.	36
Fig. 3.2 : Organigramme de la conservation des forêts d'Oran.	37
Fig. 3.3 : Panneau de signalisation du lieu d'une forêt	39
Fig. 3.4 : Affiches distribuées.....	40
Fig. 3.5 : Tranchée pare-feu d'une largeur de 25 m.....	41
Fig. 3.6 : Piste forestière	41
Fig. 3.7 : Carte de visibilité de la Wilaya d'Oran	42
Fig. 3.8 : Carte de prévention et de lutte contre les feux de forêts	43
Fig. 3.9 : Poste de vigie	44
Fig. 3.10: Brigade mobile de 1ère intervention	45
Fig. 3.11 : Brigade mobile de coordination.....	46
Fig. 3.12 : Point d'eau.....	47
Fig. 3.13 : Carte du dispositif d'intervention contre les feux de forêt	47
Fig. 4.1 : tour de guet d'incendie	52
Fig. 4.2 : Photo d'utilisation d'images satellites	53
Fig. 4.3 :Les composants d'un nœud capteur	55
Fig. 4.4 : Architecture de communication d'un RCSF	56

Listes des tableaux

Tab. 1.2 : Cartographie de la vulnérabilité des régions.	6
Tab. 1.3 : Quelques exemples de l'origine des incendies.....	13
Tab. 1.4 : Influence du taux d'humidité sur l'inflammabilité.....	20
Tab. 1.5 : Réserve en eau (en mm) et le cas échéant la sécheresse	20
Tab. 2.6 : Effets cardiovasculaires des principales composantes de la pollution atmosphérique.....	29

Résumé
ملخص
Abstract

Résumé

Les forêts, écosystèmes d'une importance vitale pour notre planète, jouent un rôle important dans la préservation de la biodiversité. Cependant, ces vastes étendus boisées sont vulnérables aux feux de forêt. Ce travail est réparti en deux parties essentielles : la première partie est répartie en trois chapitres : le chapitre 1 est relatif à un bilan de connaissances bibliographiques sur la forêt, les caractéristiques et les agents causaux d'un feu de forêt ainsi que sa propagation. Le chapitre 2 est axé sur les conséquences négatives et néfastes que peut causer un feu de forêt sur les écosystèmes forestiers, les communautés humaines et l'environnement. Face à cette réalité, la prévention et la lutte contre le feu de forêt sont devenues une des priorités nationales et internationales dédiées dans le chapitre 3. En connaissance des enjeux liés à la forêt et au feu de forêt, nous serons mieux informés et équipés pour prendre les mesures appropriées ciblant la protection et la préservation de ce précieux écosystème. Cet objectif sera atteint par le biais du rôle important de la direction de la conservation des forêts à travers des mesures de sensibilisation du public et leur information des risques liés aux incendies, la mise en place des systèmes de surveillance avancés et actualisés et la formation des équipes spécialisées dans la lutte contre les incendies forestiers. Dans la partie 2, on assistera à la fabrication et l'emplacement d'un dispositif de détection rapide et précis du déclenchement de fumée présente dans une zone forestière pour permettre une intervention rapide et une aide efficace des équipes de secours (protection civile). Ça consiste à l'utilisation de réseaux de capteurs pour la détection électronique des feux de forêt à travers quatre paramètres : température, humidité, monoxyde de carbone et fumée. Les capteurs de température et d'humidité nous ont permis de surveiller les conditions environnementales propices à la formation et à la propagation des incendies. Nous décrivons en détail le développement réalisé avec ces composants, ainsi que l'environnement (carte) ARDUINO utilisé pour la mise en œuvre de notre système de détection.

Mots clés : Feu de forêt, détection, Conservation, incendie, Système de surveillance.

ملخص

الغابات، النظم الإيكولوجية ذات الأهمية الحيوية لكوننا، تلعب دوراً مهماً في حفظ التنوع البيولوجي. ومع ذلك، فإن هذه المناطق الحرجية الشاسعة معرضة لحرائق الغابات. وينقسم هذا العمل إلى جزأين أساسيين: الجزء الأول مقسم إلى ثلاثة فصول: الفصل 1 يتعلق باستعراض المعرفة البيولوجية المتعلقة بالغابات والخصائص والعوامل حرائق الغابات وانتشارها. يركز الفصل 2 على السليبيات حرائق الغابات يمكن أن تسبب أضراراً للنظم الإيكولوجية الحرجية والمجتمعات البشرية واستجابة لهذا الواقع، أصبح منع حرائق الغابات ومكافحتها واحداً من أولويات وطنية ودولية مكرسة في الفصل 3. ثالثاً المعرفة بالمسائل المتصلة بالغابات حرائق الغابات، سنكون على دراية وتجهيز أفضل لاتخاذ التدابير المناسبة لاستهداف حماية هذا النظام الإيكولوجي الثمين والحفاظ عليه. وسيحقق ذلك من خلال الدور الهام إدارة حفظ الغابات عن طريق التوعية العامة المعلومات المتعلقة بأخطار الحرائق، وتنفيذ نظم مراقبة متقدمة أفرقة حديثة ومدربة معنية بحرائق الغابات وسيشهد الجزء 2 صنع ووضع جهاز سريع ودقيق للكشف عن الدخان في منطقة حرجية لإتاحة الاستجابة السريعة والمساعدة الفعالة من أفرقة الطوارئ. وهذا ينطوي على استخدام شبكات الاستشعار للكشف الإلكتروني عن حرائق الغابات من خلال أربعة معايير: درجة الحرارة والرطوبة وأول أكسيد الكربون والدخان. سمحت لنا مستشعرات درجة الحرارة والرطوبة بمراقبة الظروف البيئية المؤدية إلى تكوين الحرائق وانتشارها. سنصف بالتفصيل التطور الذي تم إجراؤه باستخدام هذه المكونات، بالإضافة إلى بيئة (لوحة) ARDUINO المستخدمة لتنفيذ نظام الكشف لدينا.

الكلمات المفتاحية: حرائق الغابات، الكشف، الحفظ، الحرائق، نظام الرصد

Abstract

Forests, ecosystems, play an important role in preserving biodiversity. However, these vast forested areas are vulnerable to forest fires. This work is divided into two essential parts: the first part is divided into three chapters: Chapter 1 deals with a review of bibliographical knowledge on the forest, the characteristics and causative agents of a forest fire and its spread. Chapter 2 focuses on the negative and harmful impacts that a forest fire can have on forest ecosystems, human communities and the environment. Faced with this reality, the prevention and fight against forest fire has become one of the national and international priorities dedicated in chapter 3. In knowledge of the issues related to forest and forest fire, we will be better informed and equipped to take appropriate action to protect and preserve this valuable ecosystem. This will be achieved through the important role of the Forest Conservation Directorate through public awareness measures and information on fire-related risks, the establishment of advanced and up-to-date monitoring systems and the training of forest fire teams. In Part 2, a rapid and accurate detection device of the smoke in a forest area to allow rapid response and effective assistance from emergency teams (civil protection). It consists of the use of sensor networks for the electronic detection of forest fires through four parameters: temperature, humidity, carbon monoxide and smoke. Temperature and humidity sensors have allowed us to monitor the environmental conditions conducive to the formation and spread of fires. We will describe in detail the development carried out with these components, as well as the ARDUINO environment (board) used for the implementation of our detection system.

Keywords: Forest fire, detection, conservation, fire, monitoring system.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

La préservation des écosystèmes forestiers et la lutte contre les feux de forêt constituent des enjeux cruciaux à l'échelle mondiale. Les incendies forestiers sont des catastrophes naturelles qui peuvent engendrer immenses dégâts écologiques, économiques et sociaux. L'objectif de notre travail est de réaliser une étude approfondie et de proposer une approche pratique sur la mise en place d'un outil de détection des feux de forêt, au niveau de la wilaya d'Oran visant à améliorer la prévention et la lutte contre ces incidents dévastateurs. La wilaya d'Oran, connue pour sa richesse forestière, est confrontée à des risques élevés d'incendies. Ainsi, l'élaboration d'un système efficace de détection précoce des feux de forêt revêt une importance capitale pour la préservation de ses ressources naturelles et la protection des populations locales.

Ce mémoire est structuré en plusieurs chapitres qui permettent d'aborder de manière approfondie les différents aspects liés aux feux de forêt. Le premier chapitre dresse des généralités sur les forêts et les feux de forêt, en mettant en évidence leur importance environnementale, économique, culturelle et récréative. Il présente également un aperçu des caractéristiques des feux de forêt, des causes qui les déclenchent et des mécanismes de propagation qui leur sont associés.

Le deuxième chapitre se concentre sur les conséquences (négatives) des feux de forêt. Il examine en détail les impacts sur la santé humaine, la faune, les infrastructures et l'environnement principalement la destruction de la végétation, l'érosion des sols, l'accélération de la désertification.

Le troisième chapitre est consacré à la prévention et à la lutte contre les feux de forêt en Algérie, avec un focus particulier sur la wilaya d'Oran. Il présente les mesures et les dispositifs mis en place pour prévenir les incendies, détecter les départs de feu, coordonner les interventions et sensibilisera population. Des exemples concrets de programmes de surveillance, de formation et de coopération entre les différents acteurs sont abordés.

Enfin, le quatrième et le dernier chapitre propose une étude de cas qui décrit la mise en place concrète de l'outil de détection des feux de forêt dans la wilaya d'Oran. Il met en avant les défis rencontrés, les solutions techniques adoptées et les résultats obtenus. Ce chapitre offre une perspective concrète et opérationnelle pour la gestion des incendies forestiers.

Chapitre 01

Généralités sur les forêts et les feux de forêts

Chapitre 01 : Généralités sur les forêts et les feux de forêt

Introduction

Ce chapitre consacré aux généralités sur les forêts et les feux de forêt, vise à fournir une compréhension approfondie de l'importance des forêts et des enjeux liés aux incendies forestiers. En premier lieu, il définit une forêt et signale son importance tant sur le plan environnemental que sur le plan économique, culturel et récréatif. De plus, une attention particulière est portée à la composition du patrimoine forestier de la wilaya d'Oran et aux classifications des forêts en Algérie. En second lieu, on définit et on explique les causes, les caractéristiques et la propagation des incendies.

1. Généralités sur les forêts

1.1 Définition d'une forêt

Selon le FAO 2020, la forêt est une étendue d'arbres et de sous-bois, naturels ou plantés, avec une densité minimale de la couverture arborescente supérieure à 10 % en surface.

En effet, la superficie forestière en Algérie était d'environ 4,2 millions d'hectares en 2023, soit environ 6,3% de la superficie totale du pays et est caractérisée par une grande diversité d'espèces végétales, notamment l'Oranie, résultant de la variété des conditions climatiques, s'étendant sur une altitude allant de la mer jusqu'à environ 700 à 1000 m. Elles sont définies en fonction de leurs exigences écologiques et comprennent sept ensembles différents (fig. 1.1) (fig. 1.2) dans la région qui représentent la série du genévrier de Phénicie, la série du chêne-liège, la série du thuya de Berbérie, la série du chêne vert, la série de Olivier-Lentisque, la série du Pin d'Alep et la série halophile.[1]

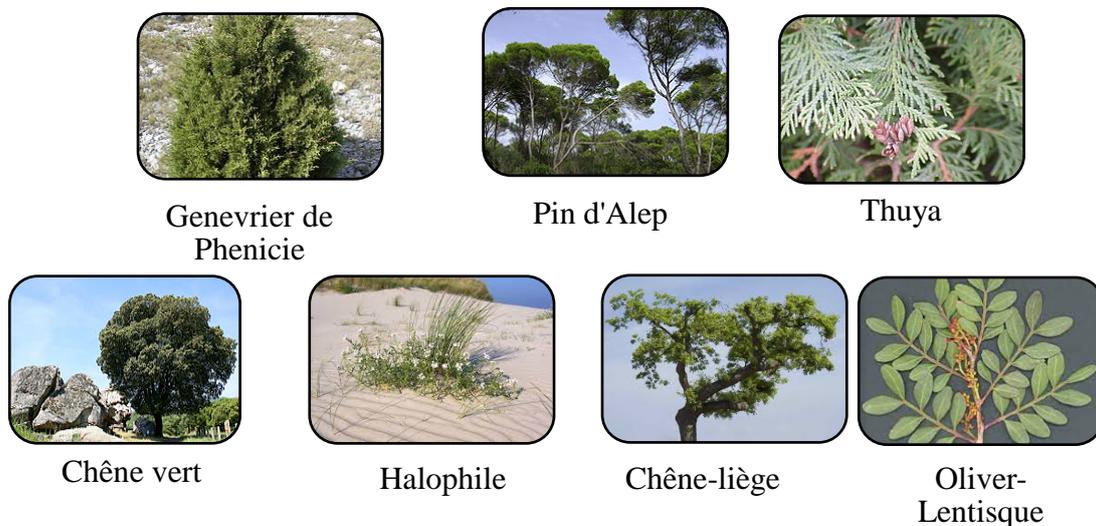


Fig. 1.1: Types de végétation dans la région Oranaise.(wikipedia.fr)

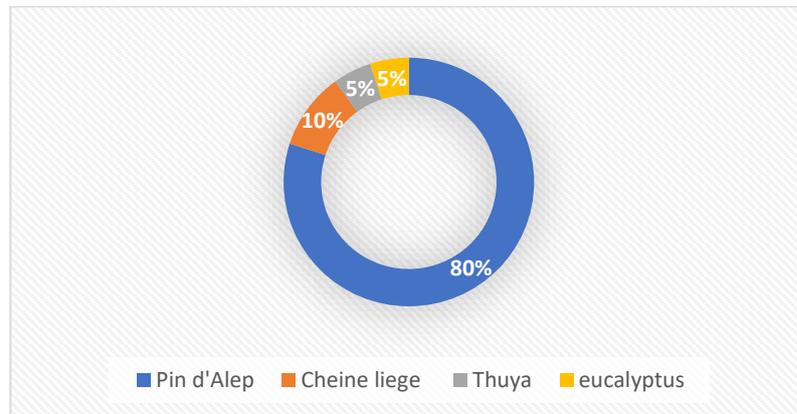


Fig. 1.2: Principale essence excistante.(CFO,2023)

1.2 Importance d'une forêt

1.2.1 Importance environnementale

Les forêts sont des réservoirs de biodiversité, des puits de carbone, des régulateurs de climat et des protecteurs des écosystèmes ; elles aident à maintenir la qualité de l'air et de l'eau, à stabiliser et limiter les risques de glissements de terrain aussi à éviter que le sable n'envahisse pas (barrage vert) (fig.1.3) et de jouer un rôle contre l'érosion. [2]

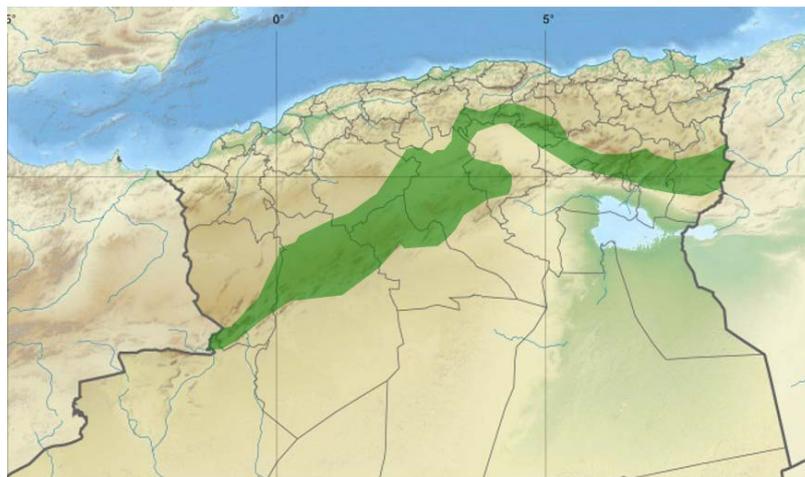


Fig. 1.3: Barrage vert sur une carte du nord de l'Algérie.(wikipedia.org)

1.2.2 Importance économique

Les forêts sont des sources de bois, de médicaments, de produits alimentaires et d'autres produits ; elles sont également un lieu de travail pour les travailleurs forestiers et

Chapitre 01 : Généralités sur les forêts et les feux de forêt

les agriculteurs. Environ 1,3 milliards d'individus (20% de la population mondiale) dépendent des forêts pour leur travail, leurs moyens de subsistance et leurs revenus. [3]

1.2.3 Importance culturelle et Historique sociale

Les forêts sont des lieux de vie pour les communautés rurales, de même que des zones de loisirs pour les citadines peuvent être considérées comme des patrimoines culturels et des monuments historiques. [4]

1.2.4 Importance récréative

La forêt est également importante pour les activités de loisirs qu'elle offre (la randonnée, le camping, la chasse, la pêche, l'escalade, le ski). Elle inclut :

- ✓ Une escapade naturelle afin de profiter de la beauté naturelle, du silence et de la tranquillité de la forêt ;
- ✓ Des exercices physiques et une alternative saine aux activités sédentaires ;
- ✓ Un pôle touristique ce qui peut générer des revenus pour les communautés locales ;
- ✓ Des opportunités éducatives ce qui peut favoriser la compréhension et la sensibilisation à l'environnement. [5]

1.3 Classement des forêts de l'Algérie

Compte tenu de l'hétérogénéité des facteurs bioclimatiques et géomorphologiques, six (06) régions forestières relativement homogènes peuvent être distinguées en Algérie, sachant que toutes les forêts se situent dans sa partie nord (fig. 1.4). Le relief et les précipitations abondantes de cette partie sont les deux principales conditions de la présence des forêts ; elles se déclinent de l'Ouest vers l'Est comme suit :

- La région oranaise ou Tell occidental, qui se trouve à l'ouest (Tlemcen, Aïn Témouchent, Oran, Mascara, Mostaganem, Relizane et la partie nord de Sidi Bel Abbès) ;
- La région englobant l'Ouarsenis, l'Atlas Blidéen et l'Algérois (Tell central) sur la côte méditerranéenne, est limitée au Sud par les hauts plateaux ;
- La région de Kabylie au Nord ;
- La région des plateaux constantinois et du massif des Aurès située au Sud-Est de la région de Kabylie ;
- La région des massifs de Collo, de Skikda et de l'Edough borde la basse plaine d'Annaba qui s'ouvre sur la mer méditerranéenne et où se trouvent les deux plus grandes zones humides d'eau douce, le lac Tonga et le lac Oubeïra.

Chapitre 01 : Généralités sur les forêts et les feux de forêt

1.3.2 Compositions du patrimoine forestier de la wilaya d'Oran

La wilaya d'Oran possède un patrimoine forestier diversifié, avec plusieurs types d'arbres présents sur son territoire (fig. 1.5).

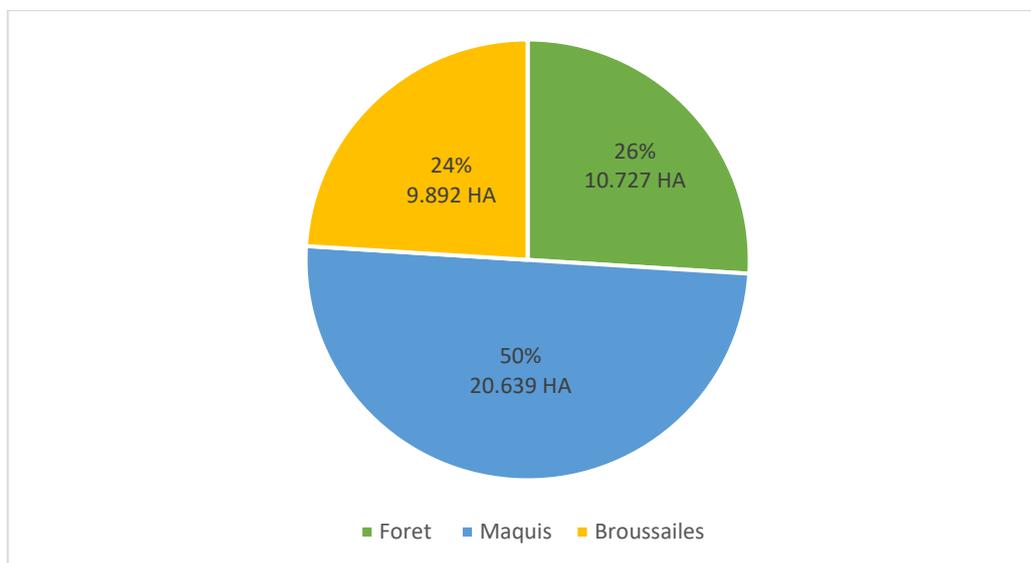


Fig. 1.5: Taux de formation végétale (CFO,2023).

1.3.3 Etat de vulnérabilité des forêts

Les forêts de la wilaya d'Oran sont vulnérables en raison de divers facteurs. Elles sont fortement fréquentées par la population, ce qui exerce une pression sur les ressources naturelles. De plus, la présence de décharges liées aux constructions illicites nuit à l'environnement et compromet la santé des écosystèmes forestiers.

Certaines forêts ont une densité élevée de sous-bois, ce qui peut entraîner une compétition entre les espèces végétales. (Tab. 1.1)

Tab. 1.2 : Cartographie de la vulnérabilité des régions.

	Forêt	Très vulnérable	Vulnérable	Faiblement vulnérable
Oran	Planteurs	X		
	Coca Cola		X	
	Canastel		X	
Aïn Turck	Cap lindes		X	
	Terrasse de Bousfer			X
	Aïn Khadida			X

Chapitre 01 : Généralités sur les forêts et les feux de forêt

Arzew	Kessiba		X	
	Plateaux	X		
	Sidi Moussa		X	
	Cap Carbon			X
Boutlelis	M'sila		X	
	Safra			X
	Madagh		X	
	Cap blanc		X	
	Terziza			X
	Rabin Vièrge	X		
Gdyel	Ras El-Aïn	X		
	Tafrient			X
	Menatsia			X
Bir El-Jir	Aïn Franine			X
	Djebel Khaar		X	
	Hassi Ben Okba		X	
	Cap Rousseau		X	

2. Généralité sur les feux de forêt

2.1 Définition d'un feu

Selon la norme ISO 13943 :2017 (Annexe 01), le feu désigne un processus de combustion indépendant qui se développe au fil du temps et de l'espace.

2.1.1 Définition d'un feu de forêt

Le feu de forêt (fig. 1.6) se définit comme tout feu qui brûle de l'herbe dans des zones arborées ou forestières ou de la végétation. [9]



Fig. 1.6: Forêt brûlée à Grèce (francebleu.fr).

Chapitre 01 : Généralités sur les forêts et les feux de forêt

2.1.2 Naissance d'un feu de forêt

Le feu est déclenché par la présence simultanée de trois éléments clés : un combustible, un comburant et une source d'énergie d'activation. Ces trois paramètres sont représentés dans le triangle du feu (fig. 1.7) :



Fig1.7:Eléments déclenchants un feu (nwfirescience.org).

2.1.2.1 Combustible

Tous les matériaux organiques combustibles se trouvant dans les forêts et d'autres types de végétation, y compris les systèmes agricoles, tels que les herbages, les branches et le bois, qui créent de la chaleur lors du processus de combustion [10]. Il se répartit en quatre étages de la végétation (fig.1.8) :

1. **Litière**, très inflammable, est à l'origine d'un grand nombre de départs de feux, difficiles à détecter, car se consumant lentement.
2. **Strate herbacée** : d'une grande inflammabilité, le vent peut y propager le feu sur des grandes superficies.
3. **Strate des ligneux bas** (maquis, garrigue) : d'inflammabilité moyenne, elle transmet rapidement le feu aux strates supérieures.
4. **Strate des ligneux hauts** : rarement à l'origine d'un feu, elle permet cependant la propagation des flammes lorsqu'elle est atteinte : ce sont les feux de cimes. [11]

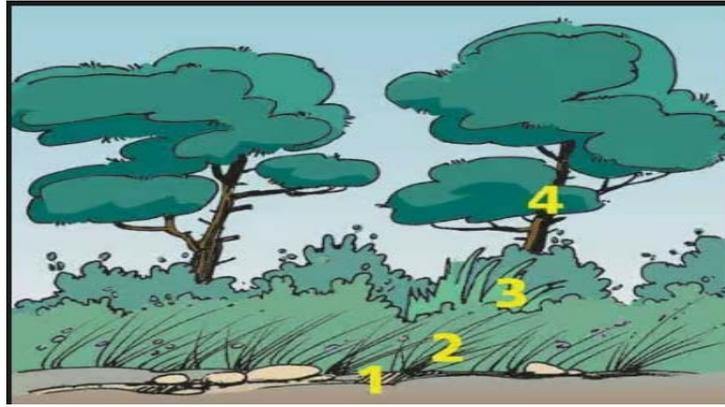


Fig.1.8: Etages de la végétation (futura sciences).

2.1.2.2 Comburant

Dans le cas des feux de forêts, il s'agit de l'oxygène de l'air. La combustion dépend fortement de cet élément, puisque, pour qu'une flamme se produise et s'entretienne, il faut que le pourcentage en volume d'oxygène restant présent dans l'air soit supérieur à 15,75 % ; ce taux étant normalement de 20,94 %. [12]

2.1.2.3 Chaleur

La chaleur est la température à partir de laquelle les combustibles prennent feu. Cette température est appelée « point d'inflammation », [13] une fois les matériaux en ignition, on observe un grand dégagement de chaleur et une forte température. [14]

2.1.3 Types de feux de forêts

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. 1.9) et peuvent se produire simultanément sur une même zone.

2.1.3.1 Feu de sol (A)

Il se produit dans la litière, l'humus ou les tourbières, sa vitesse de propagation est faible. Il peut être très destructeur en s'attaquant aux systèmes souterrains des végétaux et son extinction est difficile.

2.1.3.2 Feu de surface (B)

Des feux qui brûlent la partie supérieure de la litière, ils se propagent en général par rayonnement. Ils peuvent aussi enflammer la cime des arbres en montant de branche en branche.

Chapitre 01 : Généralités sur les forêts et les feux de forêt

2.1.3.3 Feu de cimes (C)

C'est un feu qui brûle la partie supérieure des arbres et forme une couronne de feu. Il libère, en général, de grandes quantités d'énergie et sa vitesse de propagation est très élevée. [15]

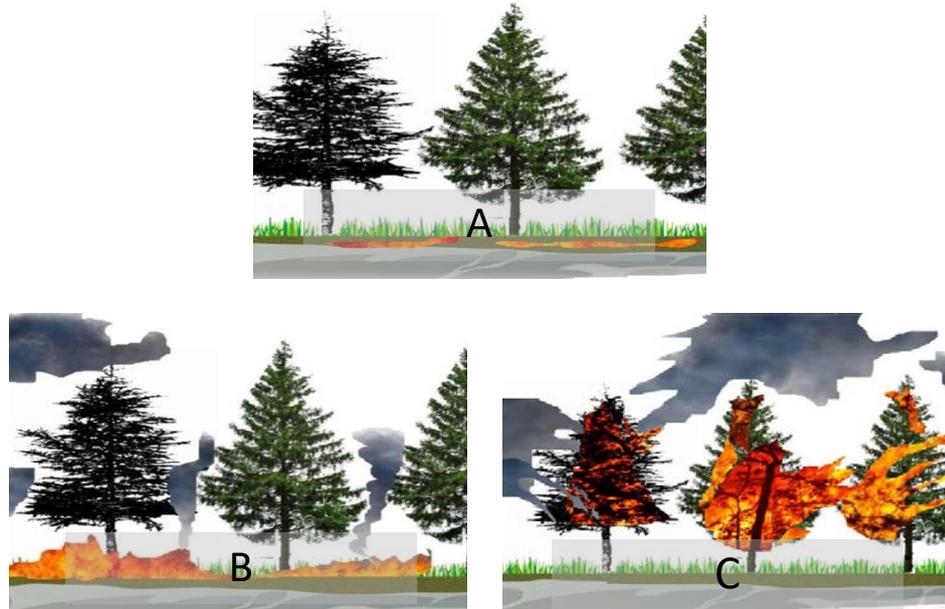


Fig. 1.9: Types de feu de forêt (futurasciences.com).

2.1.4 Forme d'un feu

La forme d'un feu de forêt varie en fonction de certains paramètres : de la direction et de l'intensité du vent, de la topographie et de la nature des combustibles (fig. 1.10).

-Sur un terrain plat, par temps calme le feu prend une forme circulaire et progresse dans toutes les directions.

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

-Le feu prend une forme irrégulière en montagne et dans les pentes. [16]

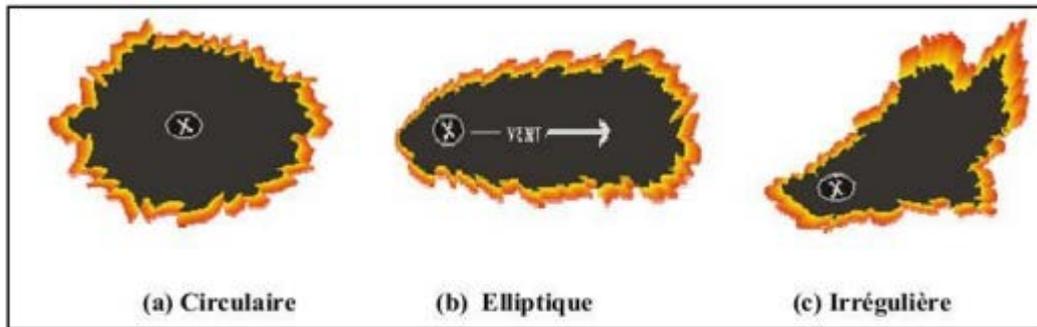


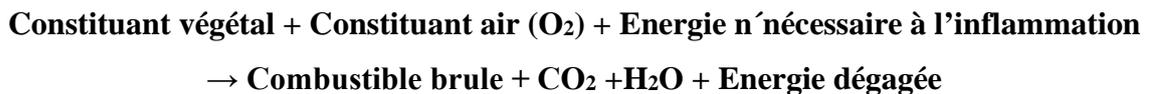
Fig. 1.10: Différentes formes d'un feu de forêt.[16]

2.2 L'incendie

Par ailleurs, l'incendie de forêt est défini comme la propagation non contrôlée dans le temps et dans l'espace d'un feu sur l'ensemble de la végétation. [17]

2.2.1 Combustion

La combustion est une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant en présence d'une source de chaleur. [18] Cette réaction est fortement exothermique :



2.2.2 Combustion végétale

La combustion d'un végétal peut être considérée comme la succession de plusieurs étapes (fig.1.11) :

Quand la surface d'un végétal est exposée à un flux d'énergie, sa température augmente. Entre 50 et 200°C, le végétal émet des composés organiques volatils (COV) et l'eau contenue dans le combustible s'évapore. Lorsque la température du végétal atteint la température de pyrolyse, un phénomène de dégradation thermique apparaît libérant des goudrons et des gaz (combustibles et non combustibles). [20]

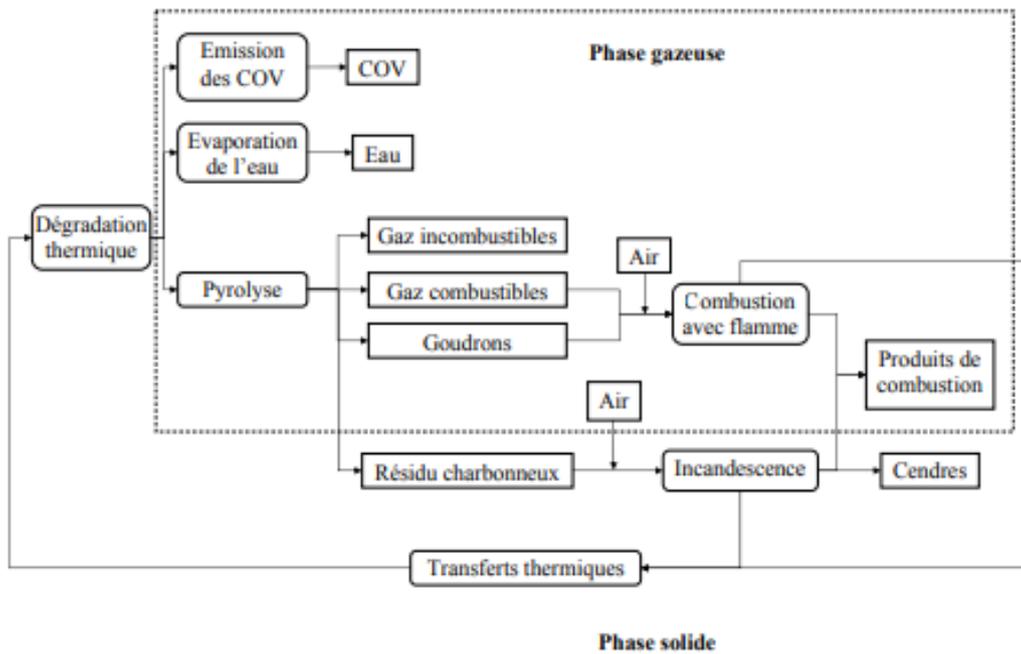


Fig. 1.11: Diagramme de la combustion d'un végétal.[19]

La composition du mélange varie avec la nature du combustible, les conditions de température ambiante, l'intensité de l'entraînement de l'air, les dimensions du solide... Au-dessus de 450°C, les émissions de gaz diminuent, le résidu charbonneux est formé [21]. Un schéma de la dégradation du combustible végétal est présenté par la figure 1.12.

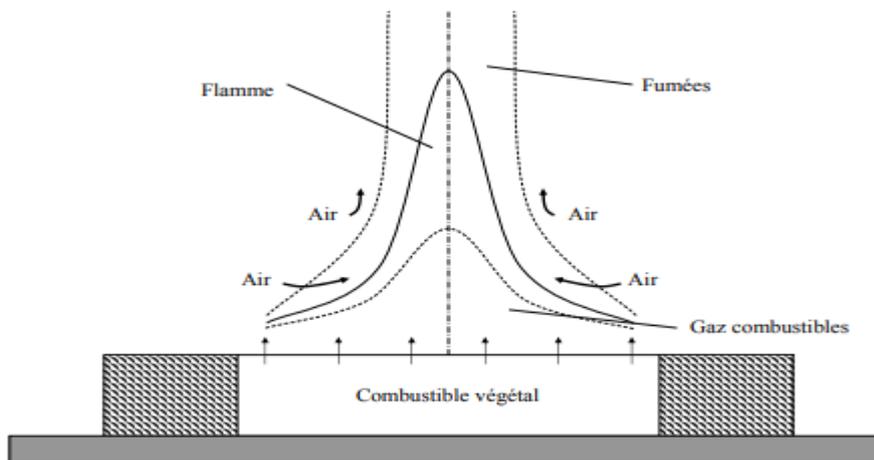


Fig. 1.12: Schématisation de la dégradation d'un combustible végétal.[22]

2.3 Causes provocatrices des incendies

Les causes provocatrices des incendies peuvent être de trois types : humaines, naturelles et volontaires (tab. 2.1).

Chapitre 01 : Généralités sur les forêts et les feux de forêt

2.3.1 Causes Humaines

L'activité humaine est la principale cause de déclenchement d'incendies, que ce soit du fait d'une activité économique (chantiers de BTP, activités agricoles, dilatation des câbles électriques...) ou bien d'une activité du quotidien (mégots de cigarettes, barbecues ou feux de camps, incendie de véhicules ou de poubelle...). La moitié de ces feux d'origine anthropique est due à des imprudences ou des comportements dangereux. Le feu peut être un outil de vengeance suite à un différend avec l'administration (chasseurs) ou avec un voisin, à une exclusion sociale (ouvriers licenciés), à une expropriation... [23]

2.3.2 Causes naturelles

La végétation ne s'enflammant pas seule, même s'il y a une forte sécheresse, l'unique cause naturelle connue dans est la foudre. Les éruptions volcaniques peuvent également être à l'origine d'incendies de forêt. Ce phénomène est cependant exceptionnel dans le Bassin Méditerranéen. [23]

Tab.1.3 : Quelques exemples de l'origine des incendies [24].

Causes	Motifs
Naturelles	Foudre
Accidentelles	Lignes électriques
Volontaires	Echappement de véhicules Débris de verre Conflits : pour occupation de sol, de chasse, avec l'administration, relatifs à la propriété de la forêt, et à la politique forestière Feux provoqués pour des raisons politiques Intérêts et profits intérêts pour l'occupation du sol Intérêts de chasse Pastoralisme (renouvellement des pâturages) Chercheurs de miel (récolte de miel avec enfumoir) Feux allumés dans le but d'éloigner des animaux nuisibles Feux provoqués pour susciter les investissements publics Brûlage des décharges
Négligences liées aux Travaux forestiers	Travaux forestiers : machines Travaux forestiers : brûlages des rémanents
Négligences liées aux Travaux agricoles	Travaux agricoles : machines Travaux agricoles : brûlage après nettoyage
Négligences liées aux particuliers	Reprise d'incendie Emplois d'un réchaud Jeu d'enfant Touristes Jets de mégots promeneurs ou de véhicule Départ des feux de décharges sauvages
Volontaires non responsables	Pyromane

2.4 Classes d'incendies

Selon la longueur de la flamme, on distingue six classes d'incendies :

2.4.1 Incendies de classe 1 ($0 < L < 0,2$ m).

Si ces incendies ne s'éteignent pas d'eux-mêmes, ils ne se propagent généralement pas beaucoup au-delà de leur point d'origine. Il s'agit souvent de feux couvant ou de profondeur.

2.4.2 Incendies de classe 2 ($0,2 < L < 1,4$ m).

Il s'agit généralement de feux de surface se propageant lentement et dont les flammes sont relativement basses. Dans les peuplements où la base des cimes des arbres est basse, une petite partie du feuillage de la cime peut s'enflammer.

2.4.3 Incendies de classe 3 ($1,4 < L < 2,6$ m).

Ce sont des feux de surface ayant une vitesse variable (lente à rapide selon la hauteur de la base des cimes).

2.4.4 Incendies de classe 4 ($2,6 < L < 3,5$ m).

Ce sont des incendies à propagation relativement rapide produisant surtout de hautes flammes.

2.4.5 Incendies de classe 5 ($3,5 < L < 5$ m).

Ces incendies se propagent très rapidement avec des flambées généralisées, voire un embrasement continu des cimes dans les peuplements denses. Les flammes vont du sol forestier jusqu'au-dessus du couvert. La dissémination du feu sur de courtes distances est probable.

2.4.6 Incendies de classe 6 ($L > 5$ m).

Ces incendies peuvent se propager très rapidement, avec un embrasement continu des cimes, formant de vastes murs de flammes, de grandes colonnes de convection et des tourbillons de feu. Ils possèdent une dissémination de moyennes et longues distances. [25]

2.5 Principales caractéristiques d'un incendie

Lors de la propagation d'un incendie, certains paramètres géométriques sont utiles pour caractériser le front des flammes et l'incendie (fig. 1.13) :

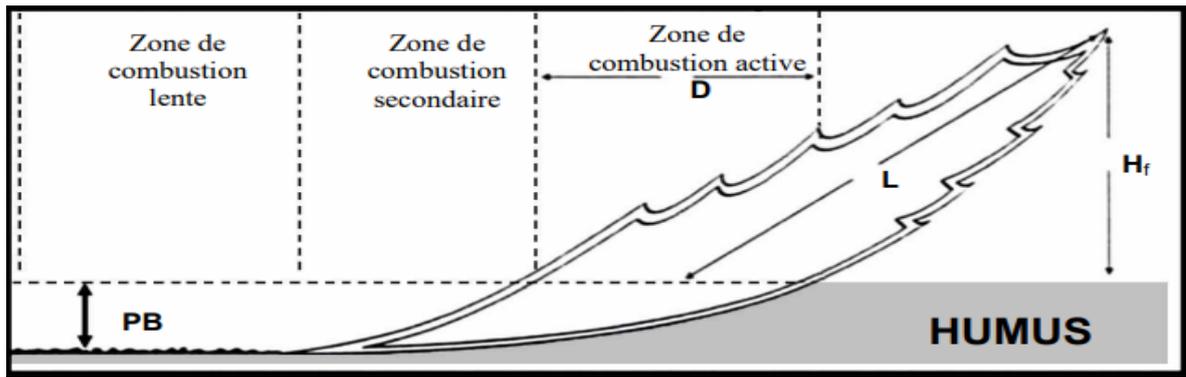


Fig. 1.13: Coupe transversale d'une flamme [25].

Avec :

D : Largeur ou profondeur de la flamme

Hf : Hauteur de la flamme

L : Longueur de la flamme

PB : Profondeur de brûlage

2.5.1 Flamme

- **Hauteur et longueur de la flamme** : la hauteur de la flamme est la longueur du segment compris entre le sommet de la flamme et la projection orthogonale de ce dernier sur le haut du couvert végétal.
- **Longueur de la flamme** : est la distance entre le sommet visible de la flamme et la base du front de feu délimitant la zone brûlée et imbrulée de la végétation.
- **Angle d'inclinaison** : représente l'angle compris entre la verticale au sol et la droite passant par le sommet de la flamme et la base de cette dernière.
- **Épaisseur de la flamme** : représente la distance entre l'arrière et l'avant du front de flammes (fig. 1.14).

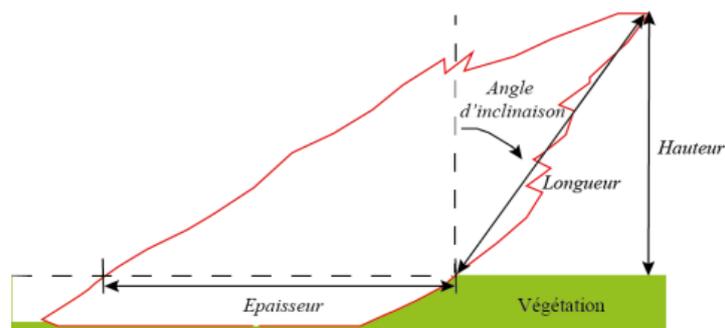


Fig. 1.14: Représentation schématisée d'une flamme.

2.5.2 L'incendie

- **Vitesse de propagation**, qui définit la rapidité de la propagation du feu et permet d'évaluer la distance parcourue par l'incendie pendant une durée donnée. Ses valeurs sont comprises entre 1,5 m/h et 20 km/h.
- **Intensité du feu**, qui définit l'énergie dégagée par un feu par unité de temps. On utilise une mesure appelée "Fire line intensity" qui correspond à l'énergie dégagée par unité de temps et de longueur d'un front de flammes. Cette grandeur est exprimée en $W.m^{-1}$ et les valeurs enregistrées peuvent varier de $10 kW.m^{-1}$ à $105 kW.m^{-1}$.
- **Périmètre d'un feu de forêt** : la projection au sol d'un front de flammes correspond à son périmètre dont la forme peut être divisée en trois parties : la tête du front de feu, l'arrière du front et les flancs. (fig. 1.15).

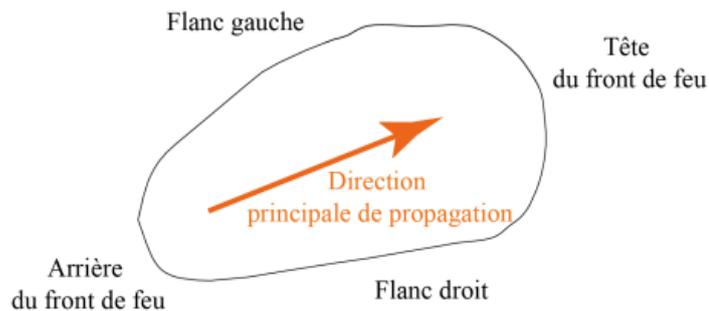


Fig. 1.15: Représentation schématique d'un périmètre d'un feu de forêt.

Lors d'un incendie, la tête du front de flammes se propage plus rapidement que les autres parties, tandis que la zone arrière à la vitesse de propagation la plus faible. Les flancs sont les parties latérales parallèles à la direction principale de propagation de l'incendie, et leur vitesse est comprise entre celle de la tête et celle de l'arrière du front de feu. [26]

Sautes de feu : le phénomène de sautes de feu est lié à l'existence de particules enflammées (brandons) qui sont transportées en avant du front de flammes où elles sont à l'origine de foyers secondaires (fig. 1.16).

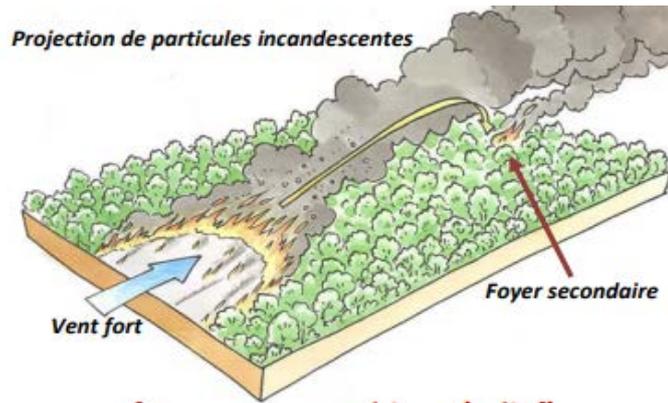


Fig. 1.16 : Phénomène de saute de feu (ONF, 2012).

2.6 Propagation des incendies

2.6.1 Mécanisme de propagation

Le transfert de chaleur en avant du front du feu est assuré par trois modes de transfert de chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement, qui agissent simultanément au cours des feux de forêts.

2.6.1.1 Conduction

C'est le transfert de chaleur à travers la matière sans mouvement de matière elle-même. Cela se produit lorsque des molécules de matière entrent en collision, transférant ainsi de l'énergie thermique de la région à haute température vers la région à basse température.

Les végétaux ont une faible conductivité thermique, ce qui signifie qu'ils sont de mauvais conducteurs de chaleur. La conduction de la chaleur à travers la végétation est donc un moyen de transfert de chaleur de faible importance lors d'un feu de végétation. Cependant, la conduction peut jouer un rôle à l'échelle microscopique dans le processus de pyrolyse de la végétation et donc indirectement sur la vitesse de propagation du feu ; il agit également dans la propagation des feux de sol à travers les strates compactes de la litière et de l'humus, mais cela est généralement lent et sans flammes vives (fig. 1.17).

2.6.1.2 Convection

La convection correspond au transport d'énergie grâce au mouvement des masses gazeuses à l'échelle mesoscopique. Les masses d'air chaudes qui proviennent de la zone en feu peuvent en effet contribuer à l'augmentation de la température des végétaux en avant du front du feu. Cette augmentation est due à un échange local de chaleur entre l'air chaud et le végétal.

Chapitre 01 : Généralités sur les forêts et les feux de forêt

2.6.1.3 Rayonnement

Lors d'un feu de végétation, le combustible frais en avant du front du feu est aussi chauffé par la chaleur du rayonnement en provenance de la zone en feu. La distance sur laquelle le rayonnement chauffe le combustible frais en avant du front du feu, est approximativement l'ordre de grandeur de la hauteur de flamme ; elle est plus grande que la distance de chauffage due à la convection. Nous pouvons donc penser que le rayonnement a une action non locale [27].

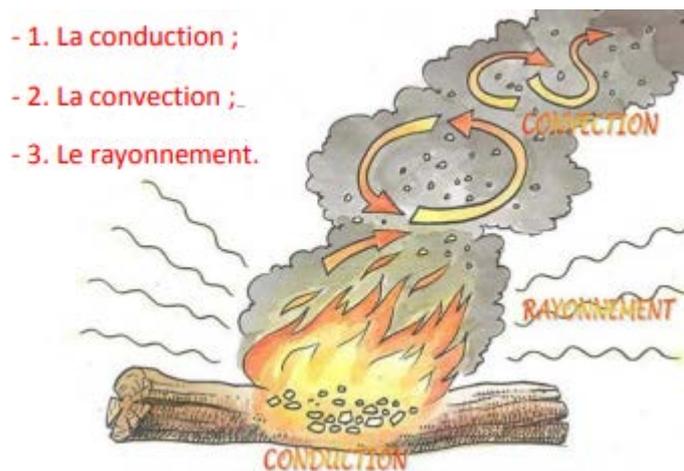


Fig. 1.17 : Types de transfert thermique (ONF, 2012).

2.6.2 Facteurs influençant la propagation

La vitesse de propagation dépend de la capacité de l'incendie à fournir une énergie suffisante à la végétation imbrûlée. Il existe de nombreux facteurs participant à la dynamique de propagation, nous citons :

2.6.2.1 Matériaux combustibles

Les combustibles végétaux sont principalement composés de carbone. 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 inflammation. Ainsi, plus un végétal est riche en minéraux, moins son pouvoir calorifique théorique est élevé, moins il est combustible. [28]

2.6.2.2 Conditions météorologiques

- **Vent :**

Les vents ont un effet important sur la propagation des feux car ils peuvent accélérer la vitesse de propagation des flammes et peuvent s'estimer à 10 % de la vitesse du vent. Un vent de 40 km/h détermine une propagation de l'ordre de 4 km/h). [29]

Chapitre 01 : Généralités sur les forêts et les feux de forêt

Plus un vent sera fort, plus le feu se propagera vite ; il agit à plusieurs niveaux, en renouvelant l'oxygène de l'air, en favorisant le transport des étincelles et des corps enflammés et en modifiant la direction du feu comme les vents estivaux de terre, caractérisés par une grande violence et un fort pouvoir desséchant, tel que le sirocco au Maghreb, fait tomber l'humidité atmosphérique à moins de 30 % et contribue à propager les incendies (fig. 1.18).

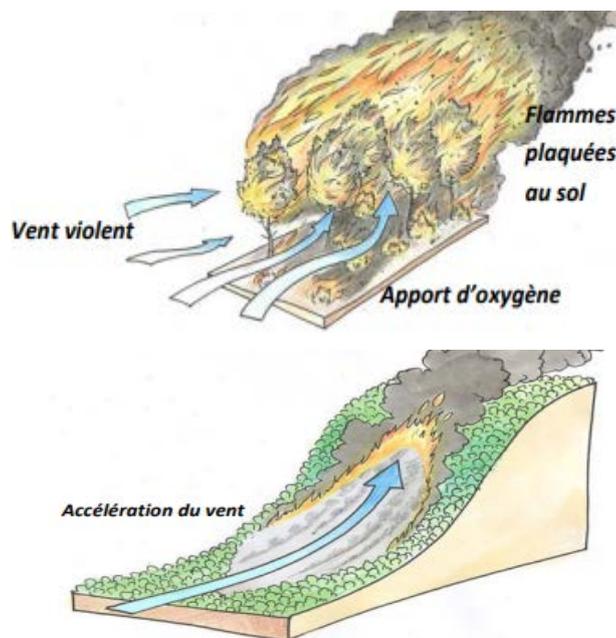


Fig. 1.18: Rôle de la topographie et du vent sur la propagation du feu (ONF,2012).

- **Température :**

La hausse des températures amplifie le risque de sécheresse lors des périodes les plus chaudes(été) la végétation s'assèche rapidement par évaporation et provoque la libération d'essences volatiles et contribue la quantité de combustibles disponibles pour les incendies. Ils peuvent également réduire l'humidité relative de l'air, ce qui rend l'environnement plus propice à l'ignition et à la propagation du feu. [30]

- **Humidité relative :**

La teneur en eau ou humidité relative des combustibles végétaux est un facteur crucial qui influence leur inflammabilité. Des études ont montré que l'inflammation ne se produit que lorsque la teneur en eau est inférieure à 70 %. En général, un combustible plus sec brûlera plus rapidement qu'un combustible plus humide. Ainsi, l'humidité du combustible peut avoir un impact significatif non seulement sur sa capacité à s'enflammer, mais aussi sur son potentiel de combustion [27]

Chapitre 01 : Généralités sur les forêts et les feux de forêt

Tab.1. 4: Influence du taux d'humidité sur l'inflammabilité.[27]

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

- **Précipitations :**

Le bilan des précipitations est la réserve en eau du sol. Il est important pour nous de savoir que la réserve en eau maximale est de 150 mm (sol saturé). Considérant maintenant le tableau 1.4 qui montre la réserve en eau (en mm), le cas échéant la sécheresse :

Tab. 1.5 : Réserve en eau (en mm) et le cas échéant la sécheresse[33].

150 mm - 101 mm	Sécheresse faible
100 mm - 51 mm	Sécheresse moyenne
50 mm - 31 mm	Sécheresse forte
30 mm - 0	Sécheresse très forte

D'une part, plus le sol est humide, moins il est susceptible de brûler, car l'eau agit comme un isolant thermique et ralentit la propagation du feu. [31]

2.6.2.3 Topographie

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

Les paramètres topographiques pris en considération dans les études d'aléas restent parmi les plus simples à obtenir. Trois types de paramètres sont prépondérants :

- **Pente :** Des études expérimentales sur le comportement du feu ont montré que la vitesse de propagation double sur une pente de 10 à 15 degrés et quadruple sur une pente de 20 degrés [27] / (**fig. 1.19**).
- **Exposition**, qui est généralement prise en compte pour distinguer les zones sous le vent sur la zone d'étude. Elle peut également servir à déterminer les zones au sud, qui sont plus exposées au soleil et donc plus sèches.

Chapitre 01 : Généralités sur les forêts et les feux de forêt

- **Insolation**, qui est souvent utilisé pour déterminer les zones les plus sèches en fonction de la quantité de chaleur reçue [32]

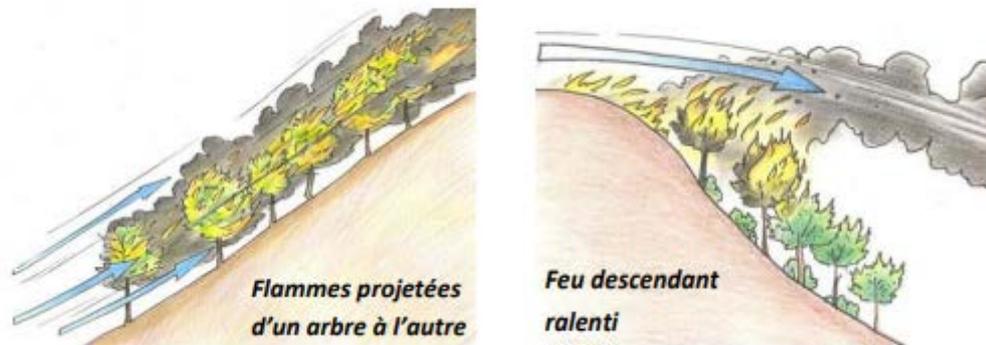


Fig. 1.19: Effet de pente sur la propagation de feu(ONF,2012).

Conclusion

Ce premier chapitre nous a permis d'acquérir une vision globale des forêts et des feux de forêt, en mettant en évidence leur importance et leurs enjeux. Nous avons déduit que les forêts jouent un rôle essentiel dans notre environnement, notre économie, notre culture et notre bien-être récréatif. De plus, en ce qui concerne les feux de forêt, nous avons dressé leur définition, leurs causes, leurs caractéristiques et leur propagation, en soulignant l'impact des matériaux combustibles, des conditions météorologiques et de la topographie. Ce chapitre se concentrera sur la mise en place d'un détecteur de feux de forêt (Cf: prototype) et contribuera à la prévention et à la lutte des catastrophes environnementales.

Chapitre 2
Impacts des feux de forêt

Introduction

Les incendies de forêt ont des impacts dévastateurs qui touchent divers aspects de notre environnement : de la santé humaine à la biodiversité, en passant par les infrastructures et l'écosystème. Dans ce chapitre, nous examinerons en détail les différentes conséquences que les feux de forêt peuvent avoir sur la santé humaine, la vie animale, les structures bâties et l'environnement naturel. En comprenant pleinement ces impacts négatifs, nous serons mieux préparés à prendre des mesures préventives et à mettre en œuvre des stratégies d'atténuation efficaces. Le bilan des incendies forestiers des dernières années nous a permis de mieux comprendre l'évolution de cette problématique, en mettant en évidence les périodes critiques et les tendances observées.

2.1 Conséquences d'un feu de forêt sur la santé humaine

Les feux de forêt peuvent avoir des effets négatifs importants sur la santé humaine (fig. 2.1) et l'environnement.

2.1.1 Exposition à la fumée

L'émission des fumées toxiques accompagnées de composés organiques volatiles (COV) et d'aérosols (des suies et des goudrons) peuvent affecter la qualité de l'air et causer plusieurs conséquences négatives, à citer :

- L'inflammation respiratoire chez les populations locales ;
- Irritation des yeux ;
- Abrasions de cornées ;
- Réduction de la visibilité et augmentation du risque d'accidents routiers dans les endroits à proximité des feux. [36]

2.1.2 Risque de blessures et de décès

Les incendies de forêt peuvent causer des brûlures, des blessures liées à la fumée et des décès chez les pompiers ainsi que chez les populations locales qui tentent de fuir les flammes. En 2021, Algérie a vécu un feu de forêt important qui a causé la mort de 90 personnes dont 33 militaires. (Lepoint.fr)

Chapitre 02 : Impacts des feux de forêt

2.1.3 Risque du rayonnement thermique

Le rayonnement thermique peut être particulièrement dangereux pour les personnes et les biens qui se trouvent à proximité d'un feu. Ils peuvent enflammer des objets à distance (foin, bois, papier, ... etc.). Les flammes d'un front de feu puissant sont de l'ordre de plusieurs watts/cm² à une distance de 20 à 30 m, c'est à dire 10 à 50 fois la valeur du rayonnement solaire au Sahara en été, peut enflammer des objets à distance. [34]

2.1.4 Effets psychologiques

Outre la destruction des maisons et d'autres biens matériels, laissant les gens sans abri et sans ressources ; un feu de forêt peut causer de l'anxiété et du stress, des traumatismes émotionnels et psychologiques chez les populations touchées, car elles se sentent qu'elles ne sont plus en sécurité et ont perdu leur confort et leur sentiment de stabilité. [23]

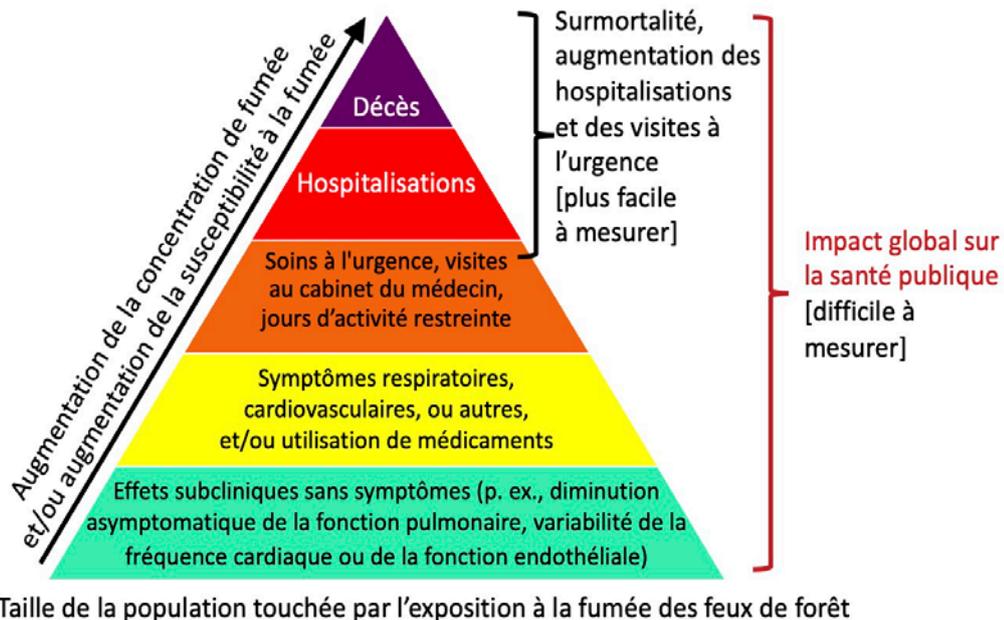


Fig. 2.1: Impact clinique et subclinique des particules fines d'un feu de forêt (Observatoireprevention.org).

2.2 Conséquences d'un feu de forêt sur la vie animale

Les incendies de forêt peuvent causer la destruction totale ou partielle des écosystèmes forestiers et affecter les animaux qui y vivent où certains étant brûlés ou

Chapitre 02 : Impacts des feux de forêt

asphyxiés par la fumée par exemple en Russie 2019, un laboratoire a fait se reproduire des rats mâles juste après les avoir exposés à la fumée simulant des incendies. La progéniture de ces derniers s'est révélée être plus stressée et présentait des signes de troubles de la fonction cognitive [35]. Certains animaux parviennent à échapper aux flammes en fuyant ou en se réfugiant dans des abris souterrains (fig. 2.2). Les chances de survie dépendent non seulement de la gravité de l'incendie, qui peut entraîner une forte augmentation de la température du sol et causer la mort des animaux. Ainsi, les oiseaux, par exemple, peuvent être particulièrement vulnérables, surtout pendant la période de nidification. De plus, les incendies perturbent indirectement les cycles biologiques des animaux par une diminution de la population animale et de la destruction de leur habitat, ainsi que d'une diminution des ressources alimentaires. [35]



**Fig. 2.2 : La carcasse d'un animal mort après les incendies.
(TV5MONDE)**

2.3 Conséquences d'un feu de forêt sur le bâti

Les dangers que présente un feu de forêt et les risques connexes surviennent lorsque des activités humaines et l'aménagement résidentiel, commercial ou industriel atteignent des zones forestières. [36]. Les feux peuvent s'allumer dans ces zones de deux façons :

- Les feux qui brûlent dans les zones forestières peuvent se propager à des zones aménagées situées à l'intérieur. S'ils ne sont pas maîtrisés, ces incendies peuvent brûler de manière importante des maisons, des entreprises et des infrastructures essentielles telles que les lignes électriques, les conduites d'eau et les routes, laissant les gens sans abri et sans moyens de subsistance. [37]

Chapitre 02 : Impacts des feux de forêt

- Des incendies peuvent se déclarer dans des secteurs aménagés, des activités comme l'incinération des déchets et ensuite se propager aux forêts environnantes et menacer les richesses écologiques ainsi que d'autres valeurs, comme l'industrie primaire (l'exploitation forestière).[36]

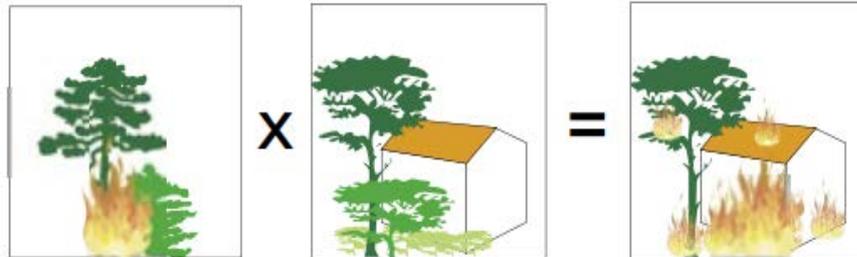


Fig. 2.3: Risque résultant de la combinaison d'un aléa et d'une vulnérabilité. [38]



Fig. 2.4 : Zone brûlée dans un restaurant du zoo suite aux incendies dévastateurs dans la ville d'El-Kala en Algérie (Agence France-Presse, 2022).

2.4. Conséquences d'un feu de forêt sur l'environnement

2.4.1 Destruction de bois et du couvert végétal

Les incendies de forêt peuvent endommager les sols et la végétation qui retiennent. Ils provoquent la destruction du couvert végétal (fig. 2.5) :

- En l'absence de couverture végétale, les radiations solaires frappent directement le sol et altèrent son régime hydrique et thermique naturel.
- La perte de matière organique et le noircissement du sol qui amplifient les variations journalières d'humidité et de température.
- L'absence de couverture végétale expose le sol au compactage, au lessivage et à l'érosion par la pluie.

Chapitre 02 : Impacts des feux de forêt

- La dégradation des propriétés physiques du sol peut réduire sa capacité à retenir l'eau et à prévenir l'érosion.
- Endommager les racines des plantes qui maintiennent la structure et la stabilité du sol.
- Modifier également la nature chimique du sol, en le faisant passer de formes organiques à inorganiques. [39]

Ces impacts directs découlent des conséquences indirectes ressenties sur plusieurs années.



Fig. 2.5: Forêt brûlée suite à des incendies près de la ville d'El-Kala (AFP,2022).

Les incendies de forêt peuvent avoir des répercussions économiques importantes, notamment en perturbant les industries locales notamment celles liées à la transformation du bois ; ceci peut entraîner des pertes financières considérables, car le bois est souvent une source de revenus importante. Les coûts de reconstruction et de restauration écologique peuvent être élevés, ce qui peut affecter les gouvernements, les communautés locales et les entreprises. [40]

L'Algérie a connu plusieurs incendies de forêt destructeurs au cours des dernières années. En 2020, des feux de forêt ont ravagé des zones boisées dans plusieurs wilayas, notamment dans la région de Tizi Ouzou où les pertes en patrimoine forestier ont été évaluées à 970 millions de DA. Ce montant représente ce qui a été perdu en bois et liège et dont 520 millions de DA représentent les pertes en chêne liège. [41]

Chapitre 02 : Impacts des feux de forêt

2.4.2 Érosion des sols et accélération de la désertification vers les espaces verts

La mise à nu du sol suite à l'incendie ainsi que les modifications structurales induites par le feu augmentent très fortement le risque d'érosion de différentes manières, notamment en brûlant la couche de végétation qui recouvre le sol, ce qui peut entraîner une perte de sa capacité à retenir l'eau, en créant une couche imperméable à l'absorption de l'eau dans le sol, en détruisant la structure du sol et en provoquant une augmentation du ruissellement lors des précipitations. L'ensemble de ces facteurs peut entraîner une augmentation de l'érosion (fig. 2.6), ce qui peut causer une accélération de la désertification et une détérioration des espaces verts (fig. 2.7). Les conséquences de ces phénomènes peuvent être nocives pour les communautés humaines et les écosystèmes. En effet, la perte de fertilité des sols peut entraîner une diminution importante de la capacité de production agricole, affectant ainsi la sécurité alimentaire des populations locales. [42]



Fig. 2.6 : Problèmes d'érosion de surface. (Agriculture.canada.ca,2020)

Fig. 2.7 : Forêt du Tchad en proie au phénomène de la désertification (TchadInfos,2022).

Chapitre 02 : Impacts des feux de forêt

2.4.3. Exacerbation du réchauffement climatique

Les incendies de forêt sont une source importante d'émissions de gaz à effet de serre (GES), lequel est la cause majeure du réchauffement actuel de la planète. C'est un phénomène naturel de la basse atmosphère, qui contribue à retenir une partie de la chaleur solaire à la surface de la Terre, par le biais du pouvoir absorbant de certaines émissions (des gaz) notamment le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote. Ces émissions peuvent contribuer au réchauffement climatique qui a des conséquences à long terme sur la planète. Les températures moyennes augmentent progressivement chaque année, ce qui entraîne une perturbation du climat à l'échelle planétaire, avec des variations complexes du climat dans le monde.

Une des conséquences les plus évidentes est la fonte des glaciers qui entraîne une élévation du niveau de la mer. Les océans absorbent également plus de chaleur, ce qui provoque une acidification de l'eau et des perturbations des écosystèmes marins. Il entraîne également des événements climatiques extrêmes tels que des canicules, des sécheresses et des ouragans et des tremblements de terre ; tout cela peut perturber les écosystèmes et avoir des répercussions sur la sécurité alimentaire et la biodiversité par la disparition de certaines espèces animales et végétales qui ne peuvent pas s'adapter rapidement aux changements climatiques. [43]

2.4.4 Détérioration des aspects touristiques et esthétiques de la région

Le réchauffement climatique présente également une nouvelle menace pour le tourisme. Les incendies ravagent des centaines d'hectares dans des sites touristiques, endommagent la beauté naturelle d'une région, polluent l'air et perturbent la faune et la flore ; ils présentent un risque de sécurité pour les touristes, car ils peuvent se propager rapidement et mettre leur vie en danger. En conséquence, les autorités peuvent fermer des sites touristiques populaires pour des raisons de sécurité, ce qui peut dissuader les touristes de visiter la région ce qui entraîne à un impact négatif sur l'économie locale. Par exemple le bassin méditerranéen (Grèce, Turquie, Italie) affronte des séries de feux ; certaines zones touristiques sont particulièrement touchées. Dans ces pays, le tourisme fait vivre de nombreuses régions, des hôtels ont été vidés de leurs résidents et de nombreux vacanciers évacués d'urgence. [44]

Chapitre 02 : Impacts des feux de forêt

2.4.5 Pollution de l'enveloppe atmosphérique

« On a très peur : non seulement ces forêts ne jouent plus leur rôle de puits de carbone, mais qu'en plus elles émettent du CO₂ et ceci accentue l'effet de serre », alerte **Jean-Pierre Wigner**.

Ce sont des quantités considérables de particules et de fumées émises dans l'atmosphère qui contribuent à la fois à l'augmentation de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère (aggravant encore le réchauffement climatique) et à la perturbation des équilibres atmosphériques notamment au niveau de la couche d'ozone. [45]

Selon un rapport de l'OMS 2019, la pollution de l'air ambiant est responsable chaque année de 4,7 millions de décès de maladies cardiovasculaires (conséquence de la très grande sensibilité du cœur et des vaisseaux sanguins aux différents gaz : ozone, dioxyde d'azote, dioxyde de soufre et monoxyde de carbone et aux particules présentes dans l'air pollué (tab. 2.6). [46]

Tab. 2.6: Effets cardiovasculaires des principales composantes de la pollution atmosphérique.[47]

Polluants	Effets cardiovasculaires
Particules fines et ultrafines	Maladies coronariennes Insuffisance cardiaque AVC Hypertension Thrombose Arythmies
Ozone	Hypertension AVC Arrêt cardiaque extrahospitalier
Monoxyde de carbone	Insuffisance cardiaque Arrêt cardiaque extrahospitalier Infarctus du myocarde
Oxydes d'azote	Insuffisance cardiaque AVC Infarctus du myocarde
Dioxyde de soufre	Insuffisance cardiaque Infarctus du myocarde

2.5 Barrages d'envasement

La principale cause de l'envasement d'une retenue de barrage est l'érosion hydrique. Ce phénomène est amplifié par les feux de forêt qui détruisent la couverture végétale protectrice du sol. Le processus d'érosion est complexe et la majorité des solides transportés dans les retenues de barrage proviennent du ruissellement diffus qui balaie le terrain et

Chapitre 02 : Impacts des feux de forêt

provoque des affouillements dans le réseau hydrographique. Ceci peut causer un colmatage du barrage, réduisant ainsi sa capacité de stockage d'eau et augmentant le risque d'inondations en aval.

Un des plus importants effets de l'érosion sur la qualité des eaux des retenues de barrages, est la dégradation très sérieuse de cette qualité due au phénomène d'eutrophisation. Ce phénomène est lié à un aspect particulier du transport solide dans les bassins versant, à savoir, sa charge en phosphore, en manganèse et en azote et à l'effet des sédiments sur la modification du chimisme de l'eau et la stratification thermique de la retenue. [48]

De plus, les cendres et les débris de l'incendie peuvent se déposer dans les rivières et les cours d'eau, augmentant ainsi la turbidité de l'eau et réduisant sa qualité et le rendre inutilisable pour la consommation humaine ou animale. Les barrages peuvent également être endommagés physiquement si les flammes atteignent la zone de stockage ; ils peuvent se fissurer ou être déformés par la chaleur intense.

2.6 Bilan général des feux de forêt de la W. Oran

2.6.1 Bilan des incendies des dix dernières années (2012-2021)

En examinant la figure 2.8, nous pouvons constater que le nombre d'incendies, a tendance à augmenter d'année en année, avec une forte augmentation en 2014, il y a eu environ 106 incendies dans la wilaya d'Oran. Cette tendance à la hausse du nombre d'incendies peut être attribuée à plusieurs facteurs, allant de la négligence humaine à des facteurs climatiques tels que la sécheresse et les températures élevées. La figure 9 montre les différentes formations ravagées par le feu.

Chapitre 02 : Impacts des feux de forêt

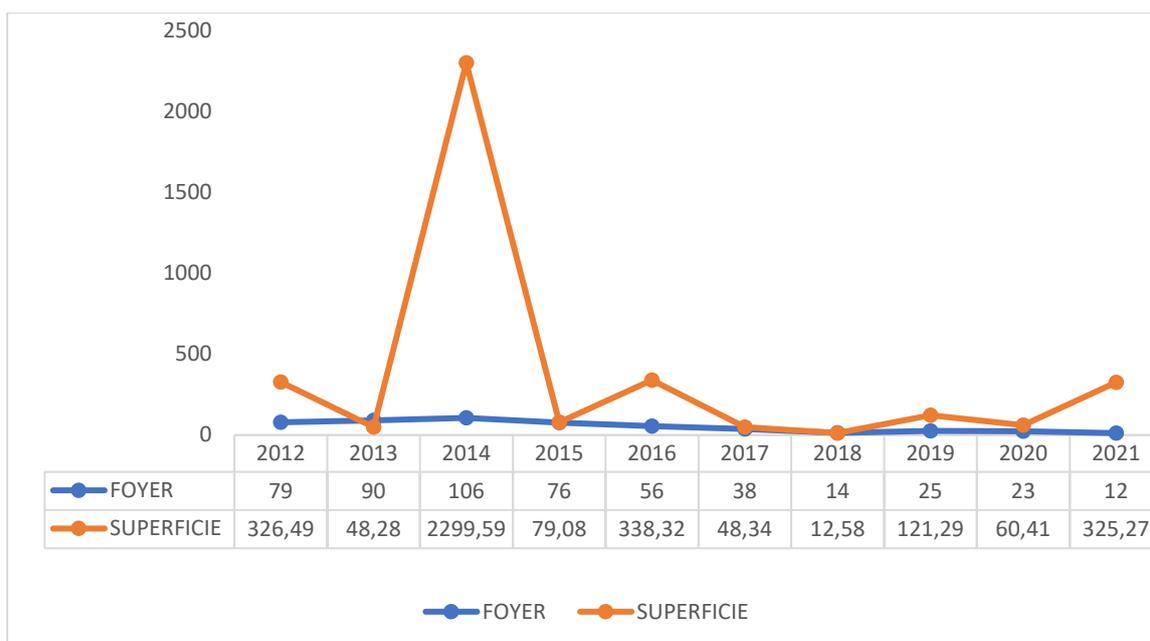


Fig. 2.8: Evolution annuelle du nombre de foyers et superficie brûlée. (CFO,2023)

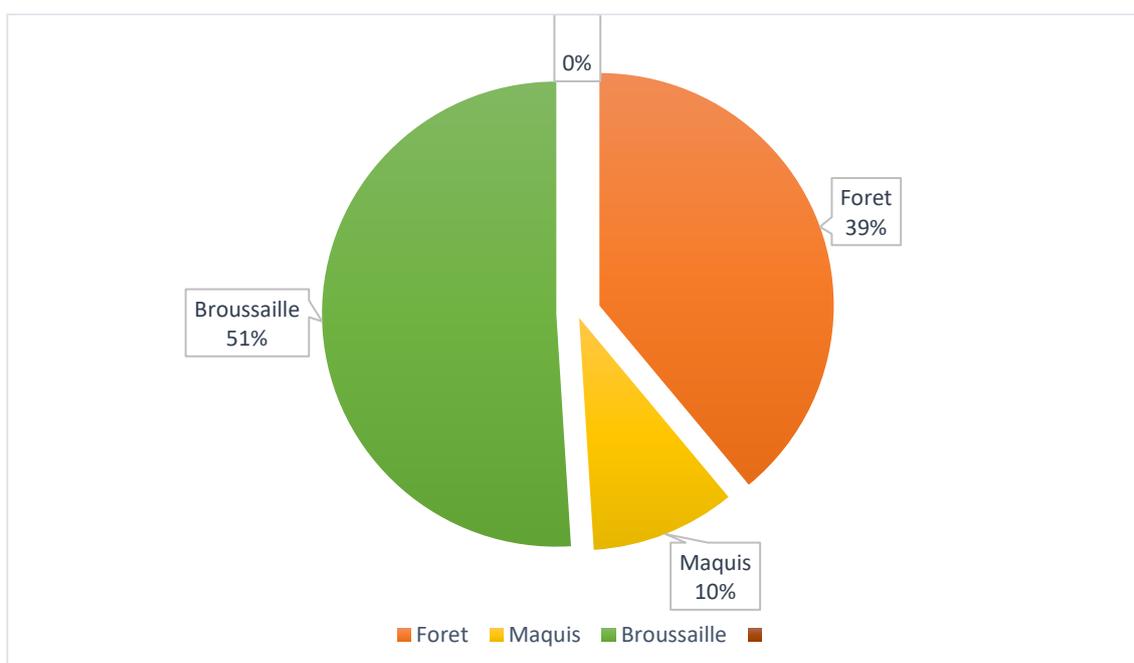


Fig. 2.9 : Taux des formations végétales ravagées par les feux (CFO,2023).

2.6.2 Bilan du nombre de feux de forêts dans les départements d'Oran

En général, les incendies semblent être plus fréquents au cours des années les plus récentes. Toutes les Daïras n'échappent malheureusement pas aux feux et celles ayant enregistré le nombre de foyers d'incendies le plus élevé sont : Oran, Boutlelis et Arzew. Nous remarquons que dans la Daïra d'Arzew, la totalité des superficies brûlées sont

Chapitre 02 : Impacts des feux de forêt

enregistrés en une année, soit **819.356** ha. Dans les autres Daïras, les superficies brûlées sont faibles et parfois rares (fig. 2.10).

2.6.3 Évolution des incendies selon les mois de la saison des incendies :

La figure 2.11 donne une indication sur le nombre de foyers. On constate, que les deux mois (Juin et Août) totalisent le plus grand nombre de foyers ; ils détiennent la plus grande part dans le nombre d'incendie (24% de foyers enregistrés au mois Juillet et 24% pour le mois d'Aout). Le mois d'octobre enregistre la plus faible part du nombre d'incendie (11%).

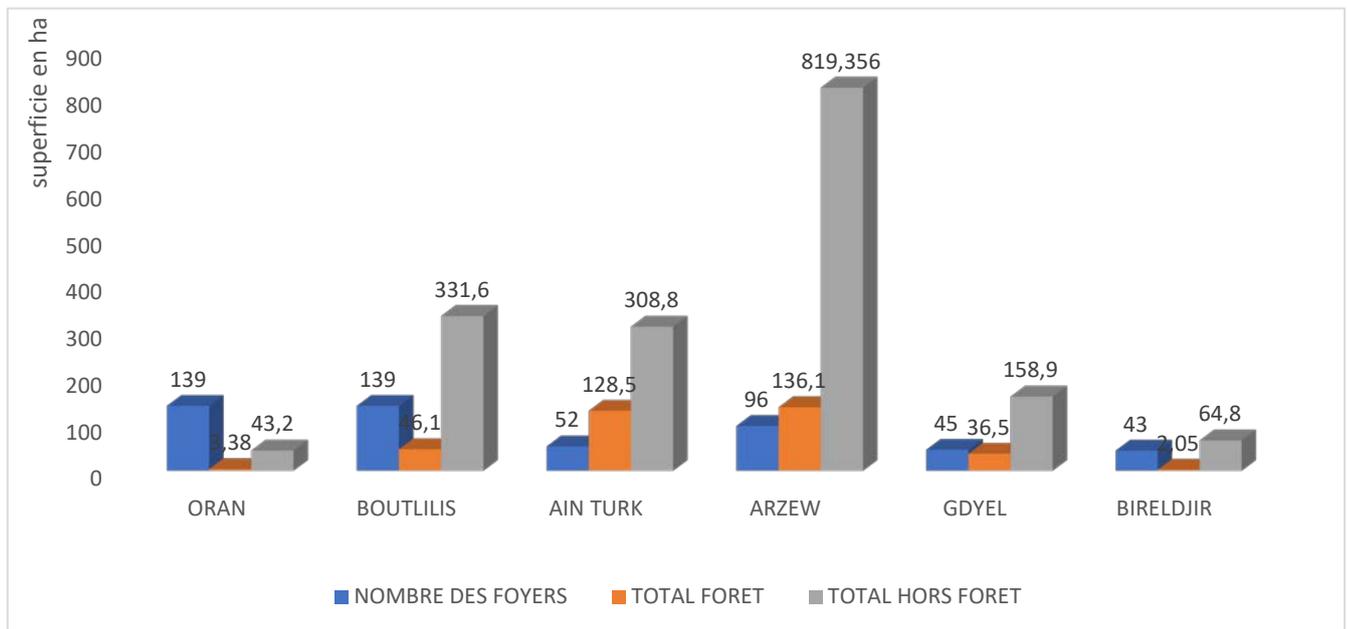


Fig. 2.10: Evolution annuelle des superficies brûlées en (ha) par foyers d'incendies par Daira 2012-2021 (CFO,2023).

Chapitre 02 : Impacts des feux de forêt

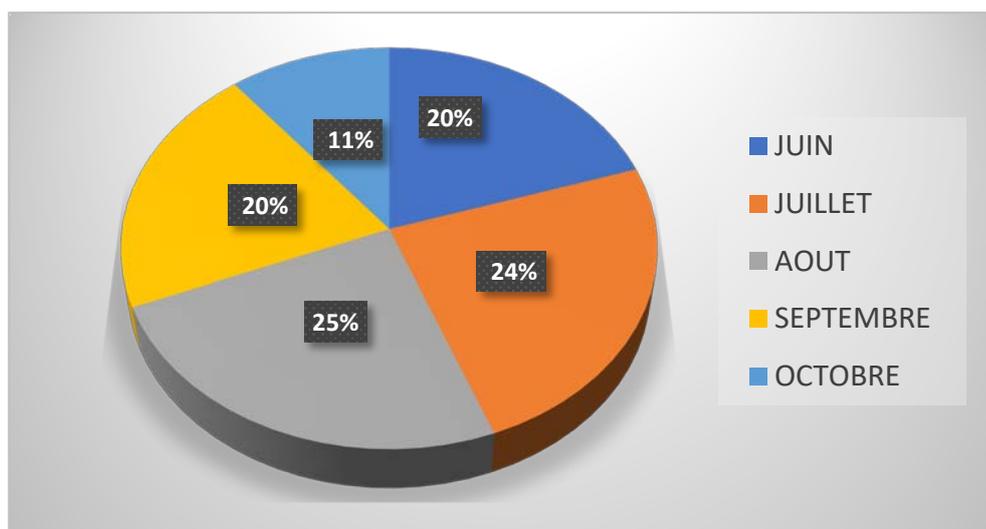


Fig. 2.11 : Taux de la superficie brûlée en (ha) par mois période 2012-2021. (CFO,2023)

2.6.4 Évolution des incendies par jours de la semaine

D'après la figure 2.12, la fréquence des incendies la plus élevée est celle des deux journées (samedi et vendredi). Ceci, nous permettra de noter que les journées de la fin de semaine sont remarquables pour les forêts algériennes et c'est surtout durant la période estivale où les départs des feux sont beaucoup plus liés aux activités des vacanciers.

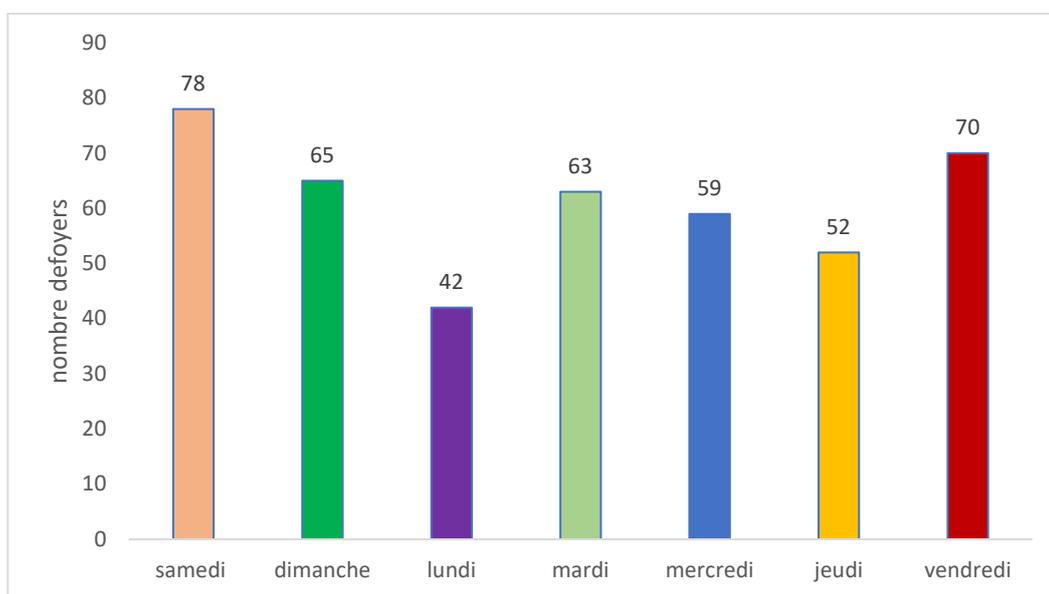


Fig. 2.12 : Histogramme des fréquences des incendies suivant les jours de la semaine période 2012-2021(CFO, 2023).

Chapitre 02 : Impacts des feux de forêt

2.6.5 Le cycle de brûlage horaire

La majorité des départs des feux sont déclarés entre 12H00-16H00 et 16H00-18H00 où les températures sont très élevées, mais il est à signaler que toutes les tranches horaires sont marquées par les départs des feux.

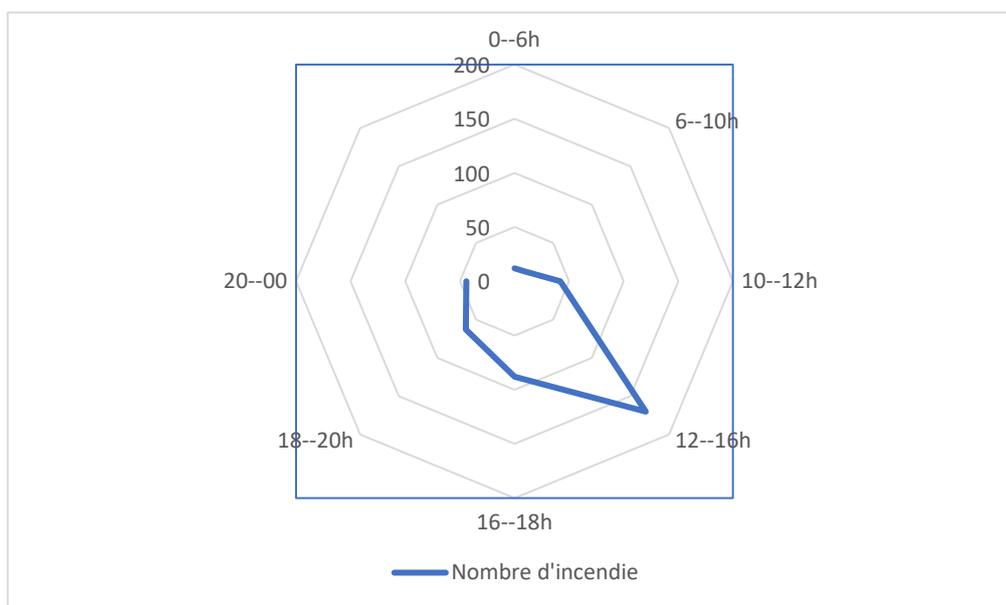


Fig. 2.13 : Répartition des départs de feu par tranches horaires 2012-2021 (CFO, 2023).

Conclusion

Le chapitre 2 est relatif à la mise en évidence des conséquences graves et variées d'un feu de forêt. Il est essentiel de prendre conscience de ces conséquences négatives afin de mieux comprendre l'urgence de prévenir et de lutter contre les feux de forêt.

En adoptant des pratiques de prévention, en mettant en œuvre des stratégies d'atténuation et en renforçant la sensibilisation du public, nous pouvons contribuer à réduire les dommages causés par les incendies de forêt et à protéger nos écosystèmes fragiles. Par ailleurs, le bilan des incendies forestiers des dernières années nous a permis de mieux comprendre l'évolution de cette problématique, en mettant en évidence les périodes critiques et les tendances observées. À la lumière des connaissances acquises dans ce chapitre, il est important (et même très important) de continuer à rechercher des solutions durables pour minimiser les impacts négatifs des feux de forêt et assurer la préservation de notre environnement pour les générations futures.

Chapitre 3

Prévention et Lutte contre les feux de forêt en Algérie

Chapitre 03 : Prévention et lutte contre les feux forêt en Algérie

Introduction

La prévention et la lutte contre les feux de forêt sont des enjeux majeurs pour la préservation des écosystèmes forestiers et la protection des populations. En Algérie, pour mettre en évidence le rôle de la conservation et les missions de la direction de la conservation de la forêt, ainsi que les différents services qui y sont associés, la wilaya d'Oran a mis en place une campagne de prévention et de lutte contre les incendies de forêt dans le cadre du plan national de lutte contre les incendies de forêts. Cette campagne repose sur un dispositif réglementaire, un plan opérationnel, un programme de sensibilisation et diverses mesures de préparation et d'intervention. Dans ce chapitre, nous explorerons en détail les différents aspects de cette campagne et les mesures prises pour protéger les forêts de la wilaya d'Oran contre les incendies.

Les données sous forme d'un bilan annuel des incendies des forêts de la Wilaya d'Oran de 10 campagnes (2012 - 2021) sont collectées auprès du service de la protection de la faune et de la flore, bureau de la prévention et de la lutte contre les incendies, les maladies et les parasites de la conservation des forêts de la Wilaya d'Oran.

3.1 Conservation de la forêt

La conservation des forêts de la Wilaya d'Oran est représentée administrativement par **03** Circonscriptions et **09** Districts forestiers gérés par un effectif global de **113** dont **68** corps techniques : **26** appartenant aux corps administratifs et **19** contractuels.

La Circonscription des forêts d'Oran d'une superficie de **7625 ha**, couvre les Daïras d'Oran Es Senia et Oued Tlelat, avec un découpage en deux Districts celui d'Oran regroupant les communes d'Oran, Es Senia, Sidi Chami et El Kerma, et le District d'Oued Tlelat qui regroupe les communes d'Oued Tlélat – Tafraoui- El Braya et Boufatis.

La Circonscription des forêts de Boutlélis d'une superficie de **19.633 ha** regroupe deux Daïras Boutlélis et Ain El Türck et quatre Districts dont trois Districts au niveau des communes de Misserghine – Boutlélis et Ain El Kerma et le quatrième sur quatre communes Mers el Kebir, El Ançor – Bousfer et Ain el Turck.

La Circonscription des forêts d'Arzew, d'une superficie de **14.002 ha**, couvre quatre Daïras – Bir El Djir- Gdyel- Arzew et Bethioua avec deux Districts celui d'Arzew pour la commune d'Arzew, Sidi Ben Yebka, Mers el Hadjadj- Bethioua et Ain El Biya et le district de Gdyel pour les communes de Gdyel – Ben Freha – Hassi Mefsoukh –Hassi Bounif et Hassi Ben Okba.

Chapitre 03 : Prévention et lutte contre les feux forêt en Algérie

3.1.1 Missions de la direction de la conservation de la forêt

3.1.1.1 Tâches administratives

D'après la Conservation des forêts, la Wilaya d'Oran possède neuf Dairas (circonscriptions administratives), chacune comprenant plusieurs communes, pour un total de vingt-six communes (fig. 3.1).

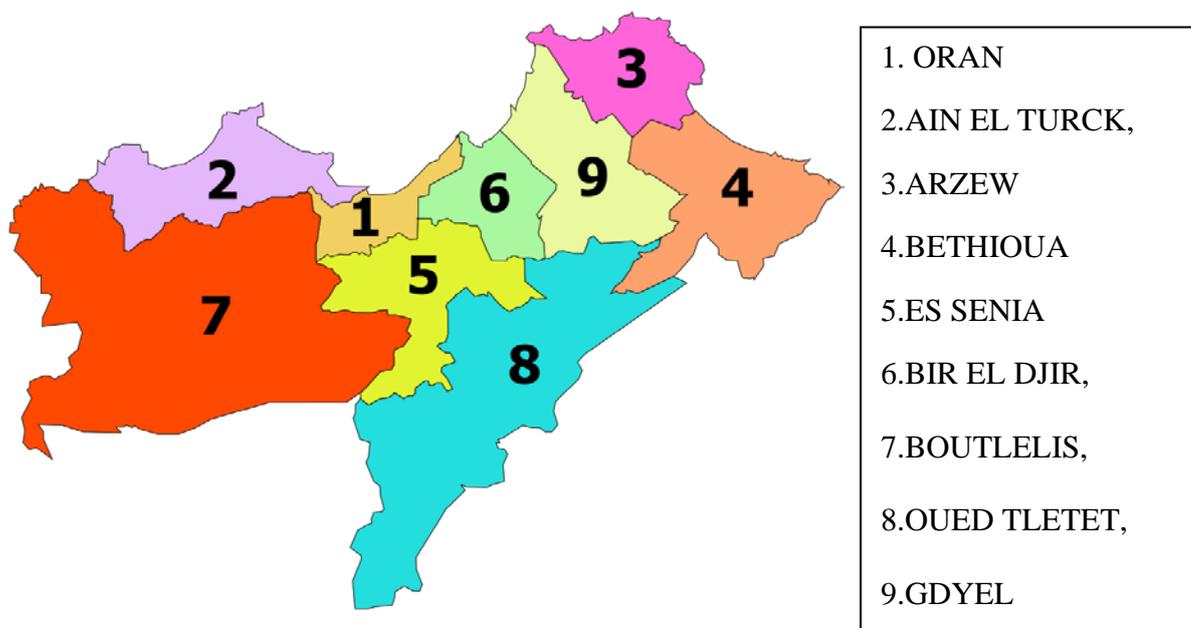


Fig. 3.1 : Découpage administratif de la wilaya d'Oran. (CFO, 2023)

3.1.1.2 Tâches techniques :

La conservation des forêts implique un large éventail de tâches techniques visant à protéger, préserver et restaurer les écosystèmes forestiers par :

- Inventaire forestier.
- Surveillance et lutte contre les incendies de forêt.
- Gestion de la faune et de la flore.
- Restauration des écosystèmes forestiers.
- Gestion durable des ressources forestières.
- Éducation et sensibilisation du public.

3.1.1.3 Tâches judiciaires

Les tâches judiciaires dans le domaine de la conservation des forêts sont essentielles pour assurer le respect des lois et réglementations en matière de protection de l'environnement et de préservation des ressources forestières par :

- L'application de la législation environnementale.

Chapitre 03 : Prévention et lutte contre les feux forêt en Algérie

- L'enquête sur les infractions environnementales.
- Le traitement des affaires environnementales.
- La lutte contre le trafic illégal de bois

3.1.1.4 Organigramme de la conservation de la forêt

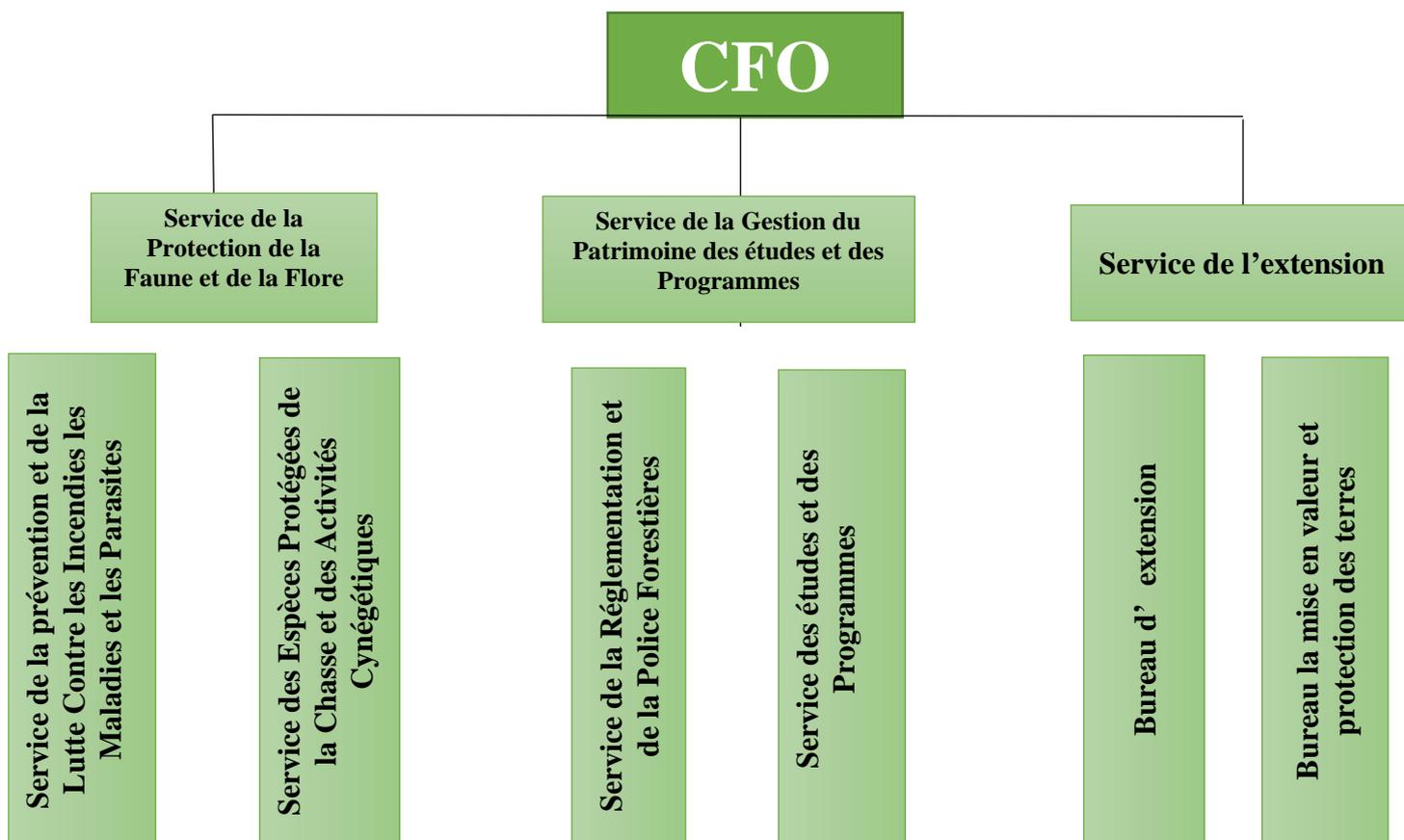


Fig. 3.2 : Organigramme de la conservation des forêts d'Oran. (CFO, 2023)

3.2 Présentation de la campagne de prévention et de lutte contre les feux de forêts dans la wilaya d'Oran

La campagne de prévention et de lutte contre les feux de forêts dans la Wilaya d'Oran s'inscrit dans le cadre du plan national de lutte contre les incendies de forêts, qui repose sur :

3.2.1 Dispositif réglementaire de prévention contre les incendies de forêt

La campagne de prévention et de lutte contre les incendies de forêts est préparée selon les lois et les décrets suivant :

- Loi n° 91-20 du 02.12.1991 modifiant et complétant la loi n° 84-12 du 23.06.1984 Portant régime général des forêts.

Chapitre 03 : Prévention et lutte contre les feux forêt en Algérie

- Loi n° 04-20 du 25.12.2004 relatif à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
- Décret n° 87-44 du 10.02.1987, relatif à la prévention contre les incendies dans le domaine forestier national et à proximité.
- Décret n° 87-45 du 10.02.1987, portant organisation et coordination des actions en matière de lutte contre les incendies de forêts dans le domaine forestier national.
- Décret exécutif n° 07-301 du 27.09.2007 portant mise en place des organes de coordination des actions de protection des forêts.
- Arrêtés de la Wilaya établis pour la préparation de la campagne de prévention et de lutte contre les incendies de forêts
- Arrêté relatif à l'ouverture de la campagne de lutte contre les incendies de forêts fixée du 01 Juin 2017 au 31 Octobre 2022.
- Arrêté relatif à la surveillance des massifs forestiers de la wilaya d'Oran qui prévoit la mise en place des postes de vigies et les brigades mobiles forestières de 1 ère intervention.
- Arrêté relatif à l'installation de la commission de lutte contre les feux de forêts de wilaya.
- Arrêté relatif à l'installation du comité opérationnel permanent de lutte contre les feux de forêts de wilaya.
- Arrêté relatif à l'installation des comités opérationnels de lutte contre les feux de forêts de daïra.
- Arrêté relatif à l'installation des comités opérationnels de lutte contre les feux de forêts des communes.
- Arrêté de wali n° 4866 en date du 07.06.2015 concernant la fermeture partielle des forêts fréquentées par le public (Forêts : Madagh, M'sila, Djebel Khaar et les Hauts plateaux d'Arzew).
- Arrêté de wali n° 2552 et n° 2551 en date du 10.05.2015 concernant l'organisation de circulation des véhicules au niveau de la forêt de M'sila (commune de Boutlelis) et la forêt de Canastel (commune d'Oran).

3.2.2 Plan opérationnel de lutte contre les feux de forêts

Document ayant pour objet de rassembler toutes les informations susceptibles d'être mise en œuvre pour le déclenchement de la lutte en cas d'incendie de forêts ainsi que toutes indications nécessaires en matière de prévention contre les incendies de forêts.

3.3 Dispositif de sensibilisation

3.3.1 Programme de sensibilisation

Un important programme d'information et de sensibilisation est réalisé avant et durant la préparation de la campagne par la conservation des forêts en collaboration avec les associations, les directions de wilaya, les collectivités locales, et les chasseurs, et qui a touché un vaste public au niveau de toutes les forêts de la wilaya et des zones humides.

3.3.2 Bilan de Sensibilisation

La conservation des forêts réalise :

- Des émissions radio.
- Des émissions télévisées.
- Mise en place d'un panneau de signalisation.
- Des articles de presses, des conférences débats et des exposition réalisée.
- Plantation et distribution des plants.
- Sensibilisation de Riverains.
- Distribution d'affiches et dépliants.
- Publication électronique.
- Plaques de signalisation et de sensibilisation.
- Distribution de cartes de visite du numéro vert (041/62.22.22) pour faciliter l'alerte en cas d'incendie.



Fig. 3.3 : Panneau de signalisation du lieu d'une forêt (CFO, 2023).

Chapitre 03 : Prévention et lutte contre les feux forêt en Algérie



Fig. 3.4 : Affiches distribuées. (CFO,2023)

3.3.3 Installation des comités de lutte contre les feux

La lutte contre les incendies de forêts telle que définie par le décret n°80-184 du 19 juillet 1980 modifié et complété par le décret n° 07-301 du 27 septembre 2007 portant mise en place des organes de coordination des actions de protection des forêts. C'est une organisation pyramidale représentée à la base par les comités opérationnels de commune, au milieu par ceux des daïras et au sommet par le comité opérationnel permanent de Wilaya.

Les procédures d'installation des comités opérationnels de daïra et de commune ont été lancées avec l'insertion des index téléphoniques de tous les intervenants ainsi que l'inventaire de tous les moyens humains et matériels mobilisables en cas de feux de forêts.

3.3.4 Préparation de la campagne

Les préparatifs de la campagne d'incendie sont lancés dès le début du mois de Mars en prévision d'une campagne qui s'annonce difficile due à l'importance de la végétation herbacée existante d'une part, et d'autre part aux conditions climatiques caractérisées par une longue période de sécheresse.

3.4 Plan de Prévention

3.4.1 Dispositif de prévention (Travaux de DFCI) Programme PSD

La Défense des Forêts Contre l'Incendie (DFCI) vise principalement à limiter le développement des incendies dans les massifs forestiers. Elle comprend :

- La mise en place d'équipements dans chaque massif sensible pour le cloisonner, en faciliter la surveillance, permettre l'accès et la sécurité des secours et assurer la permanence de l'eau.
- La mise en œuvre d'un dispositif estival de surveillance d'alerte.

Chapitre 03 : Prévention et lutte contre les feux forêt en Algérie

- Aménagement de pistes forestières (**55 Km**) facilité aux massifs forestiers est un gage d'efficacité pour les moyens de lutte. L'arrivée rapide et sûre au plus près du sinistre ne peut être garantie que par des pistes en nombre suffisant et correctement entretenues.
- Aménagement de tranchée pare feu (**61 ha**) Les pare-feu sont des barrières linéaires spécifiquement conçues pour diviser les zones forestières en compartiments et contenir les incendies dans des zones isolées Ils sont construits à l'aide de bulldozers ou manuellement et ont une largeur minimale de **20m**.
- Travaux sylvicoles : **485Ha**
- Travaux sylvicoles : **75 Ha**



Fig. 3.5 : Tranchée pare-feu d'une largeur de 25 m. (CFO,2023)



Fig. 3.6 : Piste forestière. (CFO,2023)

Chapitre 03 : Prévention et lutte contre les feux forêt en Algérie

3.4.2 Dispositif de surveillance et d'alerte

La Conservation prévoit dès le début de la campagne l'installation :

- Postes de vigie au nombre de **12** ayant une visibilité totale de la wilaya sont mis en place dès le lancement de la campagne.
- Brigades mobiles de coordination : **12** véhicules de liaison.
- Mise en place de **43 périmètres d'apiculteurs** au niveau des forêts, mobilisés en cas d'incendie de forêts.
- Mise en place de **42** comités de riverains.
- Mise en place **10 bénéficiaires** des locataires d'autorisation droit d'usage qui sont mobilisés en cas des incendies de forêts.

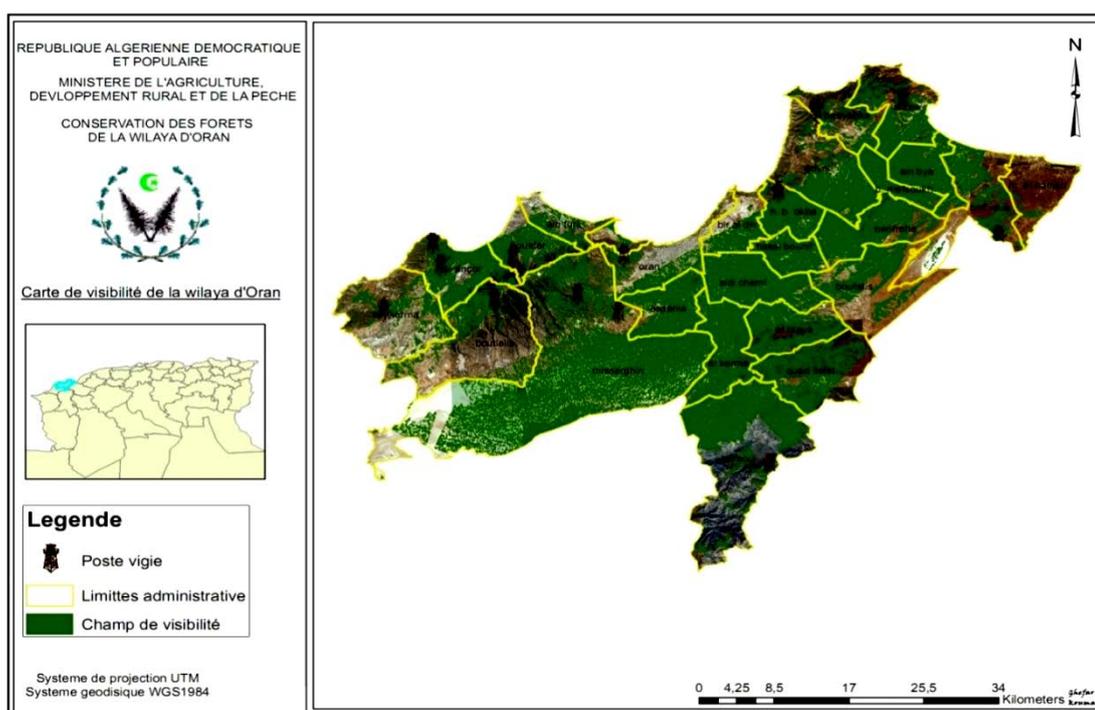


Fig. 3.7 : Carte de visibilité de la Wilaya d'Oran. (CFO,2023)

3.4.3 Dispositif de 1^{ère} intervention

Brigades mobiles forestières de 1^{ère} intervention : **07 Toyota station** d'une capacité de 400 L équipés par des lances à tuyaux dépassant 100 m de longueur et des camions de la protection civile qui seront positionnés dans un dispositif de proximité des forêts sensibles aux feux de forêts.

Chapitre 03 : Prévention et lutte contre les feux forêt en Algérie

3.4.4 Travaux de prévention à exécuter par les organismes (DTP- DSA, APC et Sonelgaz)

Les travaux de prévention réalisés par les différents organismes (DTP - DSA – APC et SONELGAZ), afin d'éviter la naissance et la propagation des incendies conformément au décret n°87/44 du 02 février 1987 relatif à la prévention contre les feux de forêts dans le domaine forestier national et à proximité :

- **DTP** est concerné par un volume de **102 Km** de route traversant les massifs forestiers de la wilaya.

- **DSA** : un volume prévu de tourière est de **71 Ha**.

-**Sonelgaz** : Les travaux de prévention d'un volume de **74 Ha** en aménagement de TPF sous ligne HT et MT.

- **APC** : le volume prévu des travaux de nettoyage des accotements des voies de circulation (piste, route, etc...) est de : **23,5 Km** et la réalisation de bande de protection autour des décharges publiques d'un volume de **1,5 ha** est prévu.

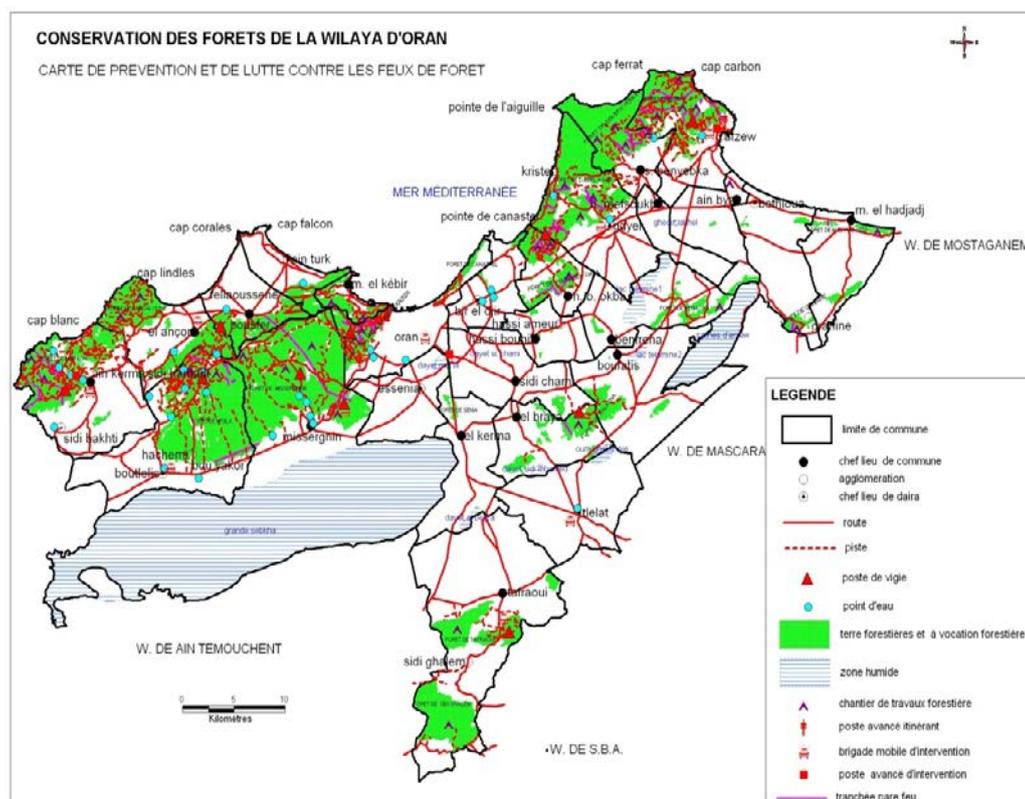


Fig. 3.20 : Carte de prévention et de lutte contre les feux de forêts de la Wilaya d'Oran. (CFO,2023).

3.5 Dispositif d'Intervention

3.5.1 Postes de vigies

Les tours de guet placées en hauteur sont souvent utilisées pour la surveillance. Grâce à une vue panoramique à 360°, les opérateurs peuvent observer de vastes étendues de territoire. Les vigies sont responsables de la détection précoce des fumées suspectes et peuvent localiser avec une grande précision les points de départ des incendies. L'ensemble de ces moyens est un atout majeur pour détecter et prévenir les feux, ainsi que pour diriger les opérations de lutte contre les incendies dès leur apparition.

La Conservation prévoit dès le début de la campagne l'installation de 12 postes de vigies et qui fonctionnent comme suites :

Madagh : commune d'Ain el kerma —————> 09 h à 21 h

M'sila : commune de Boutlélis —————> 24/24 h

La vièrge : commune de Misserghine —————> 09 h à 21 h

Cap lindles : commune d'El Ançor —————> 09 h à 21 h

Terrasse de Bousfer : commune de Bousfer —————> 09 h à 21 h

Djebel Khaâr : commune de Gdyel —————> 24/24 h

Guérite garde communale : commune de Gdyel —————> 09 h à 21 h

Les Hauts P.A: commune d'Arzew —————> 09 h à 21 h

Murdjadjo : commune d'Oran —————> 09 h à 21 h

Djebel Grabis : commune de Tafraoui —————> 09 h à 21 h



Fig. 3.9 : Poste de vigie. (CFO,2023).

Chapitre 03 : Prévention et lutte contre les feux forêt en Algérie

3.5.2. Brigade mobile

3.5.2.1 Brigade mobile de 1ère intervention:07 unités

Il s'agit de véhicule 4x4 doté d'un kit de lutte contre les feux de forêts et qui sera stationnée au niveau des massifs forestiers hautement sensible, et a haute fréquentation par le publique, ce qui permettra une intervention rapide et efficace en cas d'incendie.

➤ **Equipement :**

- 03 éléments,
- Moteur 15cv + citerne de 400 litres, 02 sortie de tuyauterie de + 100 ml,
- Outillages : 05 pelles, 03 arrosoirs
- Transmission radio.



Fig. 3.10 : Brigade mobile de 1ère intervention. (CFO,2023)

➤ **Brigade mobile de coordination :12 unités**

Pour la coordination des moyens d'intervention. Ce sont des véhicules pour tous terrains, composés de :

- 02 Forestiers.
- Outillages : Pelle et Pioche.

Chapitre 03 : Prévention et lutte contre les feux forêt en Algérie

- Transmission radio.



Fig. 3.11 : Brigade mobile de coordination(CFO,2023).

3.5.3 Comités de Riverains

Création d'un numéro vert : **041/62.22.22** au niveau de la conservation des forêts, et autre source de réception de l'information : Le Standard (**041/62.20.61**) et le numéro de portable (**06-67-16-48-48**), et mise en place du réseau radio phonique couvrant 90% de la Wilaya en transmission, ce qui permettra la rapidité d'alerte des incendies et une meilleure coordination entre les intervenants (postes de vigie, les brigades mobiles et la conservation).

Il y a eu mise en place des gardiens de sites relais au niveau des massifs forestiers pour faciliter l'alerte en cas d'incendie :

- Djezzy : commune d'Oran, Hassi ben Okba, Misserghine, Ain el Kerma
- Ooredoo : commune d'Oran et Ain el Kerma
- Mobilis : commune d'Oran, Ain el Kerma, Misserghine et Arzew
- SLC internet : commune d'Oran.

Mise en place 10 bénéficiaires des locataires d'autorisation droit d'usage qui sont mobilisés en cas d'incendies de forêts, ainsi que 42 comités de riverains et les associations de chasse.

Mise en place de 43 périmètres d'apiculteur au niveau des forêts d'Oran.

3.5.4 Approvisionnement en eau

Citernes, plans d'eau, poteau incendie sont indispensables au bon ravitaillement des moyens de lutte (terrestres et aériens pour les hélicoptères bombardiers d'eau). Cette ressource en eau est vitale pour les opérations d'extinction et la défense des habitations.

Recensement de 91 points d'eau dont :

Chapitre 03 : Prévention et lutte contre les feux forêt en Algérie

- 41 points d'eau principale (32 PE SEROR, 04 PE conservation des forêts, 05 PE APC, 03 PE au niveau de Cap lindles) constitués par des châteaux d'eau, réservoir, puits, forage, source, bassin bêche d'eau.
- 50 points d'eau secondaires 10PE particulier + 02 de la conservation des forêts: constitués par puits et forage se trouvent au niveau des massifs forestiers.

Ces points d'eau équipés sont proches aux massifs forestiers pour facilitent l'extinction en cas d'incendie de forêts.



Fig. 3.12 : Point d'eau. (CFO,2023)

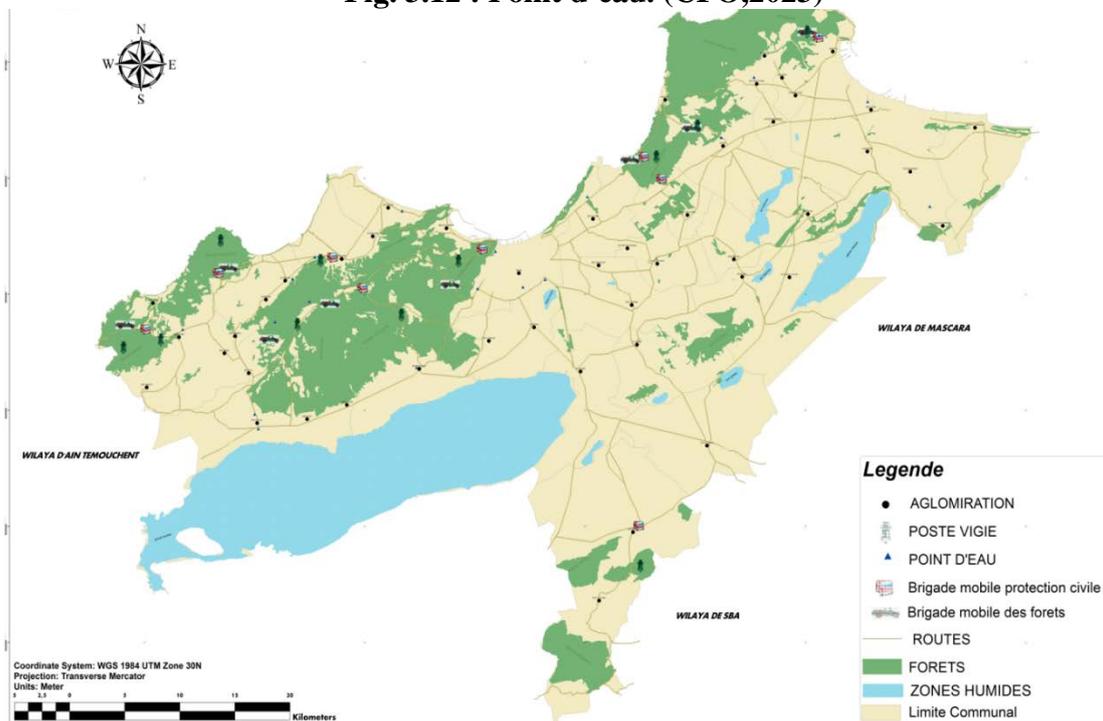


Fig. 3.13 : Carte du dispositif d'intervention contre les feux de forêt de la wilaya d'Oran. (CFO,2023)

3.6 Problèmes enregistrés durant les campagnes de lutte contre les feux des forêts

- La haute fréquentation des massifs forestiers par le public durant la période estivale en utilisant (barbecue traditionnel...).
- L'inaccessibilité de certains massifs forestiers.
- Insuffisance de crédit de fonctionnement de la Conservation des forêts.
- Les travaux des organismes (Sonelgaz, DSA, DTP, APC) ne sont pas entamés,
- Déclenchement des foyers d'incendies au niveau des massifs forestiers a terrain accidenté et difficile d'accès et plus de 80 % des peuplements forestiers sont constitués par des essences résineuses (pin d'Alep) fortement inflammable avec un sous-bois très développé et très dense.
- Manque de travaux d'aménagement, les travaux sylvicoles et d'assainissement de forêts.
- Une végétation marquée par un taux de dessiccation élevé dès le début de la saison à cause des conditions climatiques caractérisées par une longue période de sécheresse.
- Importante pression sur les forêts urbaines et suburbaines à caractères récréatives et de loisirs par la population.
- Difficulté de mobiliser rapidement les moyens humains et matériels (engins de terrassement...) pour l'extinction des incendies.
- Négligence au niveau des permanences des différents intervenants.
- Manque d'effectif en personnel technique et moyen de 1^{ère} intervention pour assurer le bon déroulement de la campagne.

Conclusion

La campagne de prévention et de lutte contre les feux de forêt dans la wilaya d'Oran témoigne de l'engagement des autorités locales pour la préservation des ressources forestières et la sécurité des populations.

Grâce à un dispositif réglementaire solide, un plan opérationnel efficace, des programmes de sensibilisation étendus et des mesures de surveillance et d'intervention bien organisées, la wilaya d'Oran est mieux préparée pour faire face aux incendies de forêt et pour réduire les risques associés. Cependant, il est essentiel de maintenir ces efforts de manière continue et de renforcer la coordination entre les différents acteurs impliqués.

Chapitre 03 : Prévention et lutte contre les feux forêt en Algérie

La préservation des forêts et la prévention des incendies nécessitent une action collective et une sensibilisation continue de la part de la population. En travaillant ensemble, nous pourrions mieux protéger les écosystèmes forestiers et préserver ces précieux espaces naturels pour les générations futures.

Chapitre 4

Elaboration d'un système de détection d'un feu de forêt

Introduction :

Dans le chapitre précédent, nous avons exploré en détail la problématique des feux de forêt et leur impact dévastateur sur les écosystèmes naturels. Il est crucial de mettre en place des systèmes de détection efficaces pour détecter et réagir rapidement à ces incendies. Une approche qui a suscité notre intérêt est l'utilisation de réseaux de capteurs pour la détection électronique des feux de forêt. Dans ce chapitre, nous nous concentrons spécifiquement sur l'utilisation des paramètres de température, d'humidité, Co et le fumé pour détecter les feux de forêt. Nous proposons de réaliser cette détection en utilisant des capteurs spécifiques, tels que des capteurs de température et d'humidité, qui nous permettent de surveiller les conditions environnementales propices à la formation et à la propagation des incendies. Nous décrirons en détail le développement réalisé avec ces composants, ainsi que l'environnement Arduino utilisé pour la mise en œuvre de notre système de détection

4.1 Méthodes de détection des incendies de forêt

4.1.1 Méthodes traditionnelles

Les méthodes traditionnelles de détection des incendies de forêt reposent sur des approches manuelles et visuelles pour repérer les signes de feu. Les observateurs humains sont déployés sur le terrain pour surveiller activement les zones à risque et rechercher tout indice de départ de feu ou de propagation. Cette méthode s'appuie sur l'expérience et les compétences des observateurs pour détecter les fumées, les flammes ou toute autre indication visuelle d'un incendie. [49]

4.1.1.1 Utilisation de tours de guet pour observer les signes d'incendie :

Les tours de guet sont généralement situées dans des endroits stratégiques offrant une vue dégagée sur les zones forestières (fig 4.1). Des observateurs formés occupent ces tours et surveillent attentivement les environs à la recherche de signes d'incendie, tels que des colonnes de fumée ou des flammes. Ils utilisent des jumelles, des télescopes et d'autres équipements optiques pour repérer les incendies éventuels. Une fois un incendie détecté, ils communiquent immédiatement cette information aux autorités compétentes pour une intervention rapide. [50]



Fig. 4.1 : tour de guet d'incendie
([Www.steeltowerchn.com](http://www.steeltowerchn.com))

Cependant, cette méthode présente certaines limitations :

- Dépendance à l'observation humaine : La détection des incendies repose entièrement sur la vigilance et l'attention des observateurs. La charge de travail élevée et la fatigue peuvent entraîner des erreurs de détection ou des retards dans la transmission de l'information.
- Limitations météorologiques : Les conditions météorologiques défavorables, comme la pluie, le brouillard ou une mauvaise visibilité, peuvent rendre plus difficile la détection des signes d'incendie à partir des tours de guet.
- Coût et entretien des tours : La construction, l'entretien et le personnel nécessaire pour occuper les tours de guet représentent des coûts significatifs pour les organismes de gestion des incendies. [49]

4.1.1.2 Utilisation d'images satellites pour détecter les feux de grande envergure :

Les images satellites sont utilisées pour surveiller de vastes zones forestières et détecter les incendies de grande envergure. Les satellites captent des images de la surface terrestre et permettent de visualiser les zones où des feux se sont déclarés. Ces images fournissent des informations précieuses sur l'emplacement, l'étendue et l'évolution des incendies. [50]

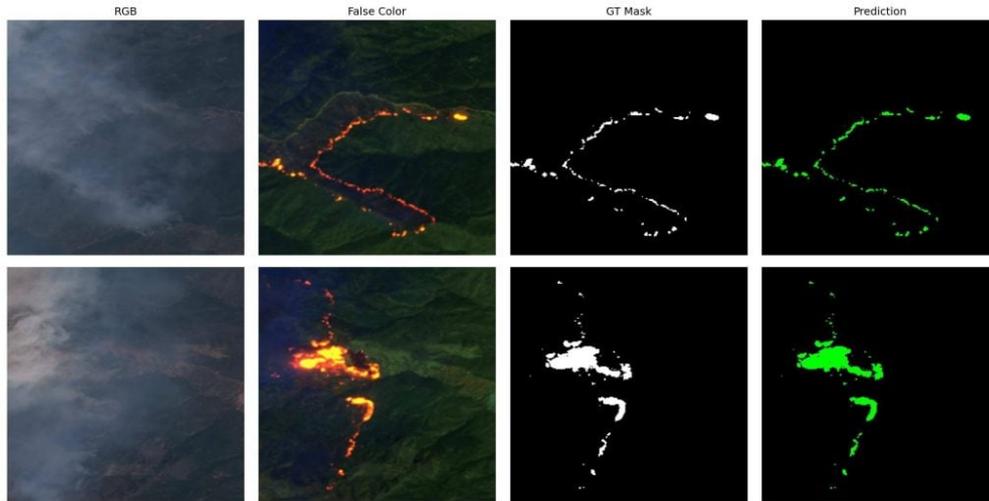


Fig.4.2 : Photo d'utilisation d'images satellites pour détecter les feux de grande envergure.
(www.actuia.com)

Cependant, cette méthode présente également des limitations :

- **Coût élevé** : L'utilisation de satellites pour la détection des incendies de forêt implique des coûts considérables, notamment le lancement, le fonctionnement et la maintenance des satellites, ainsi que le traitement des données.
- **Limitations temporelles** : Les images satellites sont prises à intervalles réguliers, souvent de quelques heures à quelques jours, ce qui peut entraîner un délai entre la détection d'un incendie et la réception des données. Cela peut retarder les mesures d'intervention et permettre aux incendies de se propager davantage.
- **Résolution spatiale limitée** : Les images satellites peuvent ne pas fournir une résolution spatiale suffisamment élevée pour détecter des incendies de petite taille ou localisés dans des zones densément boisées. [50]

4.1.2 Limitations des méthodes traditionnelles

4.1.2.1 Efficacité réduite en raison de la dépendance à l'observation humaine

La détection des incendies à l'aide de méthodes traditionnelles repose fortement sur l'observation humaine, ce qui peut entraîner des erreurs, des retards et une couverture limitée. Les observateurs peuvent manquer des signes subtils d'incendie, surtout lorsqu'ils sont fatigués ou confrontés à un grand nombre de fausses alarmes. [49,50]

4.1.2.2 Consommation d'énergie élevée et coûts associés à l'utilisation d'images satellites

Les satellites nécessitent une alimentation en énergie continue pour capturer, transmettre et traiter les images. Cela peut être coûteux en termes d'énergie et de ressources financières, en particulier pour les organismes de gestion des incendies qui doivent utiliser des services commerciaux de satellites. [49,50]

4.1.2.3 Latence dans la détection et la transmission des informations d'incendie

Le délai entre la détection d'un incendie et la transmission des informations aux autorités compétentes peut entraîner un retard dans la réponse et les mesures d'atténuation. Ce délai peut être causé par divers facteurs tels que la communication manuelle, la distance entre les tours de guet et les centres de contrôle, ainsi que le temps nécessaire au traitement des images satellites. [49, 50]

4.2 Etat de l'art sur les RCSF

Cette section présente l'état de l'art des réseaux de capteurs, elle consiste à décrire un nœud capteur et ses composants, l'architecture de communication dans les RCSF et leur domaines d'application.

4.2.1 Les capteurs sans fil

Un capteur est un petit appareil autonome capable d'effectuer des mesures simples sur son environnement immédiat, comme la température, la vibration, la pression, etc. Chaque capteur assure trois fonctions principales : la collecte, le traitement et la communication de l'information vers un ou plusieurs points de collecte appelés station de base (SB). Il est constitué de quatre unités principales [51,52] :

- **Unité de capture (Sensing unit)** : elle est composée d'un dispositif de capture physique qui prélève l'information de l'environnement local et un convertisseur analogique/numérique appelé ADC (Analog to Digital Converter) qui va convertir l'information relevée et la transmettre à l'unité de traitement.
- **Unité de traitement (Processing unit)** : est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une autre pour l'unité de transmission. Cette unité est également composée d'un processeur et d'une mémoire. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les stocke en mémoire ou les envoie à l'unité de transmission.

- **Unité de transmission (Transceiver unit)** : elle est composée d'un émetteur/récepteur (module radio) pour assurer toutes les émissions et réceptions de données.
- **Unité d'énergie (Power unit)** : elle est responsable de la gestion de l'énergie et de l'alimentation de tous les composants du capteur. Elle consiste, généralement, en une batterie qui est limitée et irremplaçable, ce qui rend l'énergie comme principale contrainte pour un capteur.

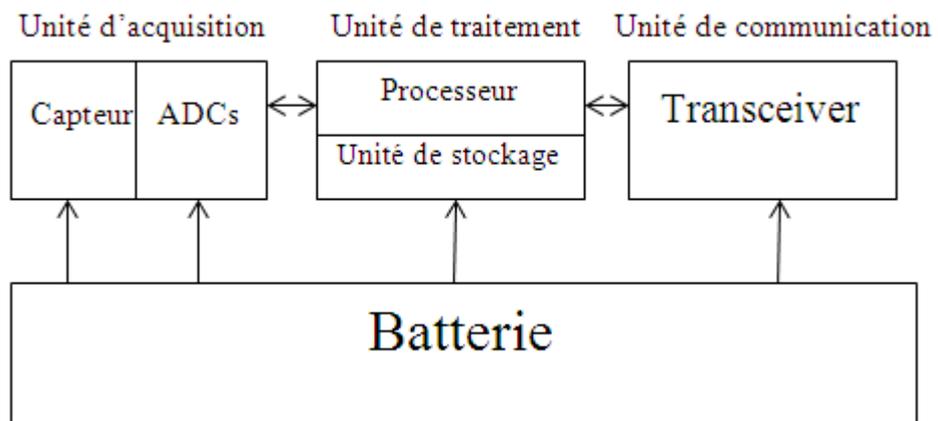


Fig. 4.3 : Les composants d'un nœud capteur (www.researchgate.net)

4.2.2 Définition d'un réseau de capteurs

Un réseau de capteurs est un type spécial de réseau ad hoc où l'infrastructure de communication et l'administration centralisée sont absentes [53] : il est constitué d'un ensemble de dispositifs très petits, nommés nœuds capteurs dispersés dans une zone géographique appelée champs de captage. Chacun de ces nœuds ont la capacité de collecter les données, les router vers la station de base (le nœud puits), et par la suite vers l'utilisateur final via une communication multi-sauts. Le nœud puits peut communiquer avec le nœud coordinateur de tâches (utilisateur) par internet ou par satellite [54] (fig 4.4).

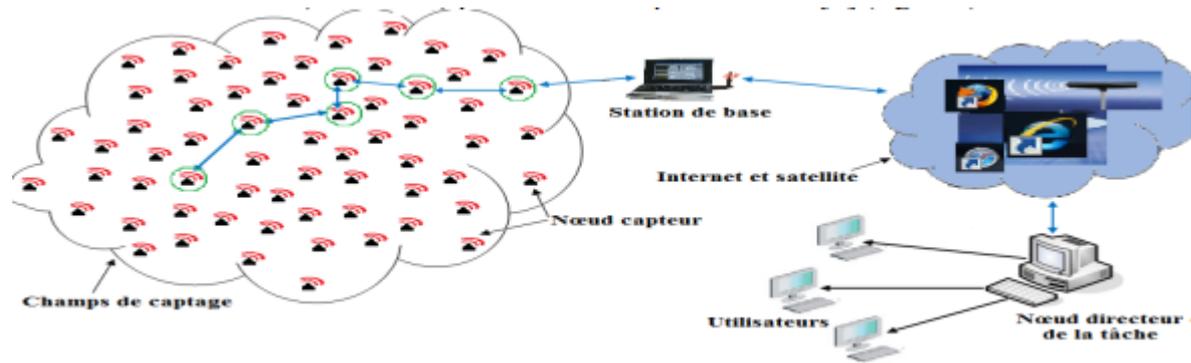


Fig. 4.4 : Architecture de communication d'un RCSF. (Core.ac.uk)

4.2.3 Domaines d'application des RCSF

La miniaturisation des micro-capteurs, le coût de plus en plus faible, la large gamme des types de capteurs disponibles (thermique, optique, vibrations, etc.) ainsi que le support de communication sans fil utilisé, permettent l'application des réseaux de capteurs dans plusieurs domaines [52,55] parmi lesquels :

- **Domaine militaire**

Comme pour de nombreuses autres technologies, le domaine militaire a été le moteur initial pour le développement des réseaux de capteurs. Le déploiement rapide, le coût réduit, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes des réseaux de capteurs sont des caractéristiques qui font de ce type de réseaux un outil appréciable dans un tel domaine. Actuellement, les RCSFs peuvent être une partie intégrante dans le commandement, le contrôle, la communication, la surveillance, la reconnaissance, etc.

- **Domaine médical**

Les réseaux de capteurs sont également largement répandus dans le domaine médical. Cette classe inclut des applications comme : fournir une interface d'aide pour les handicapés, collecter des informations physiologiques humaines de meilleure qualité, facilitant ainsi le diagnostic de certaines maladies, surveiller en permanence les malades et les médecins à l'intérieur de l'hôpital.

- **Domaine architectural**

Transformation des bâtiments en environnements intelligents capables de reconnaître des personnes, interpréter leurs actions et y réagir.

- **Domaine environnemental**

Dans ce domaine, les capteurs peuvent être exploités pour détecter les catastrophes naturelles (**feux de forêts**, tremblements de terre, etc.), détecter des émanations de produits toxiques (gaz, produits chimiques, pétrole, etc.) dans des sites industriels tels que les centrales nucléaires ou pétrolières.

- **Domaine commercial**

Parmi les domaines dans lesquels les réseaux de capteurs ont aussi prouvé leur utilité, on trouve le domaine commercial. Dans ce secteur on peut énumérer plusieurs applications comme : la surveillance de l'état du matériel, le contrôle et l'automatisation des processus d'usinage, etc.

Conclusion

L'utilisation de réseaux de capteurs sans fil offre une solution prometteuse pour la détection des feux de forêt. Contrairement aux méthodes traditionnelles telles que l'observation humaine et l'utilisation d'images satellites, les réseaux de capteurs sans fil présentent des avantages significatifs tels qu'une faible consommation d'énergie, une collecte continue des données et une capacité de couverture étendue. Le capteur BME688, utilisé dans notre système de détection, offre des fonctionnalités avancées pour la surveillance des paramètres environnementaux tels que la température, l'humidité, la pression atmosphérique et la qualité de l'air. Grâce à ces informations, il est possible de détecter précocement les signes d'incendie et de réagir rapidement pour minimiser les dommages causés par les feux de forêt. En intégrant des panneaux solaires pour une alimentation autonome et en utilisant la technologie de communication GSM 2G pour la transmission des données, notre système offre une solution complète et autonome pour la détection des incendies de forêt. Ce chapitre a permis de présenter en détail notre approche et les spécifications techniques clés du capteur BME688, jetant ainsi les bases pour la mise en œuvre de notre système de détection des feux de forêt.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

La forêt occupe une place centrale sur les terres émergées de notre planète, mais aussi dans l'économie des nations et le développement des civilisations : elle fait partie intégrante de notre histoire et de notre humanité.

Les feux de forêts sont des incendies qui se déclarent et se propagent dans un massif d'au moins un demi hectare d'un seul tenant, détruisant une partie au moins des étages arbustifs et/ou arborés. D'une manière générale, pour se déclencher et progresser, le feu a besoin des trois conditions suivantes : Une mise à feu (une flamme, une étincelle), Un carburant (l'oxygène de l'air : vent actif de la combustion) et Un combustible (végétation).

Ce mémoire a abordé de manière approfondie les différents aspects des feux de forêt, en mettant en évidence les conséquences néfastes de ces incendies sur la santé humaine, la faune, et les infrastructures et l'environnement. Les mesures de prévention et de lutte contre les feux de forêt mises en place en Algérie, notamment dans la wilaya d'Oran ont été examinées et de cela nous avons proposé un système de détection de feu de forêt par réseaux capteur sans fil.

Les importances environnementale, économique, culturelle et récréative des forêts sont très remarquables. Malheureusement ces espaces verts peuvent être exposés à des facteurs naturels et anthropiques déclenchant ainsi des feux de forêt provoquant de graves conséquences dévastatrices sur la santé humaine, la vie animale, les infrastructures et l'environnement en général. Un bilan des incendies des dernières années de la wilaya d'Oran est dressé, en analysant leur évolution selon les mois de la saison des incendies et les jours de la semaine.

Plusieurs mesures de prévention et de lutte contre les feux de forêt sont adoptées. En Algérie, en mettant l'accent sur la wilaya d'Oran, nous avons eu l'opportunité de réaliser un stage de fin cursus auprès de la Conservation des Forêts d'Oran (CFO) ; ceci nous a permis d'approfondir nos connaissances et de travailler de manière concrète sur les enjeux liés à la préservation des forêts. Nous avons décrit les dispositifs mis en place, les

campagnes de sensibilisation, les travaux de prévention, les dispositifs d'intervention, et les problèmes rencontrés lors des campagnes de lutte contre les feux de forêt.

Notre présent travail consiste à explorer les méthodes de détection des incendies de forêt, en soulignant les limites des méthodes traditionnelles. Nous avons également présenté l'état de l'art sur les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) et détaillé la description générale du système proposé, en mettant l'accent sur le choix des capteurs, les paramètres surveillés, le système de transmission, l'alimentation, le déploiement des capteurs et le système de localisation.

Les feux de forêt sont bien plus qu'une menace environnementale ; ils représentent une tragédie qui laisse derrière elle un paysage dévasté et des cicatrices profondes dans les cœurs des populations humaines. La perte des forêts est une blessure que nous ressentons émotionnellement, car elle touche notre lien intime avec la nature et compromet l'équilibre fragile de notre planète. Chaque arbre brûlé est un rappel poignant de ce qui était autrefois un écosystème florissant, et chaque statistique future nous rappelle l'urgence de prendre des mesures pour protéger nos forêts.

Agissons avec compassion, responsabilité et détermination, car les forêts, symboles de vie et de beauté, méritent notre plus grand respect et notre protection sans causer de failles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Sites web :

FAO, 2020 - Évaluation des ressources forestières mondiales : <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/fr>

ONF, 2012 - Plaquette Comportement de feu de forêt : Défense des forêts contre l'incendie Futura science - <https://www.futura-sciences.com/nwfirescience.org->

https://www.nwfirescience.org/sites/default/files/publications/FIREFACTS_Triangles.pdf

[https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/incontournables-feux-foret-](https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/incontournables-feux-foret-information-prevention-391/page/3/)

[information-prevention-391/page/3/](https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/incontournables-feux-foret-information-prevention-391/page/3/)

Le point.fr - https://www.lepoint.fr/monde/incendies-en-algerie-le-bilan-s-alourdit-a-90-morts-14-08-2021-2438865_24.php

Observationprevention.org -

<https://observatoireprevention.org/2021/08/31/limpact-des-feux-de-foret-sur-la-sante-humaine/>

<https://observatoireprevention.org/2017/08/24/limpact-devastateur-de-pollution-atmospherique-sante-cardiovasculaire/>

<https://observatoireprevention.org/author/dr-gabrielle-denault/>

Mdpi.com - <https://www.mdpi.com/2305-6304/9/1/3/htm>

Nationalgeographic.fr- <https://www.nationalgeographic.fr/animaux/2020/09/californie-australie-la-faune-sauvage-assiegee-par-les-feux-de-foret>

Tchadinfo - <https://tchadinfos.com/lutte-contre-la-desertification-la-ceinture-verte-existe-dixit-la-directrice-des-forets-yena-zougoulou/>

agriculture.canada.ca - <https://agriculture.canada.ca/fr/production-agricole/sols-terres/gestion-sols/diagnostic-solutions-problemes-derosion-au-champ-drainage-surface>

TV5MONDE - <https://information.tv5monde.com/afrique/incendies-en-algerie-38-personnes-meurent-dans-les-flammes-1119170>

Agence France Press (AFP) - <https://edition.cnn.com/2022/08/18/africa/algeria-forest-fire-intl/index.html>

- [1] : **El Ommari S & El Ommarikh.**, 2021 - Synthèse bibliographique sur l'étude de la biodiversité végétale au niveau de l'Oranie. Mémoire de master. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.page 26.
- [2] : **Lisan B.**, 2013 - doc développement durable : documents pédagogiques de sensibilisation : Importance des arbres et des forêts.
- [3] : **Greenfact**,2022 - <https://www.greenfacts.org/fr/forets/1-2/8-bienfaits-economiques-sociaux.htm>
- [4] : **Huybens, N.**, 2016 : Les services culturels, sociaux et spirituels de la forêt :
- [6] : **Madoui A.**, 2003- La forêt algérienne. Association internationale. Forêt Méditerranéenne, Bulletin d'information n° 11.
- [5] : **Callède J-P, Sabatier F & Bouneau C.**, 2014 - Sport, Nature Et Développement Durable : La fonction récréative des forêts : analyse géographique du Seven Stanes (Écosse) ou la reconquête des espaces forestiers sous le prisme du développement durable.
- [7] : **Plarier A.**, 2021 - Populations et administration forestière en Algérie (1830 – 1914) : Des usages forestiers entre persistance et reconfiguration.
- [8] : **Anonyme.**,2021 -plan d'intervention des feux de foret.Conservation des foret.
- [9] : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/MaQID%20FF%20v1-0.pdf>
- [10] : **Rivett R.**, 1997 - Bushfires – Living with Australia's Natural Heritage, Country Fire Authority, en association avec la Geography Teachers' Association of Victoria Inc. Burwood East, Victoria.
- [11] : **Anonyme.**, 2002- Document d'information édité par le ministère de l'Écologie et du Développement durable, direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs.
- [12] : **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.
- [13] : **Joseph A.**,1990 - contribution à l'optimisation de fonctionnement d'un système de gestion centralisée, Appliquée à la sécurité incendie ; Projet dirigé par l'école polytechnique de Montréal.
- [14] : **Trabaud L.**, 1979 - Etude du comportement du feu dans la Garrigue de Chêne kermès à partir des températures et des vitesses de propagation. Annales des sciences forestières.

- [15] : **Benlemzaoud S.,2015** - Les infrastructures de lutte contre les incendies de forêt dans la région Dans la région de Djebel El ouahch (Constantine).Memoire de master.Univ des Frères MentouriConstantine,page 2/3.
- [16] : **Ammari M., 2011** - Etude de la dimension fractale du front dans un système désordonné binaire. Application aux feux de forêt. Mémoire de Magister. Univ Oran. Algérie, page12
- [17] : **Plana, E., Font, M., Serra, M., Chauvin, S., &Gladiné, J., 2016** - Les incendies en forêt. Guide pour les journalistes et les médias. Projet eFIRECOM. Edition CTFC.
- [19] : **Tihay V., 2007** - Contribution expérimentale et théorique pour la modélisation de la combustion dans les feux de forêt. Thèse de doctorat. Université de Corse ´ U. F. R. Sciences et Techniques.page58.
- [18] : **Valette, J., 1988** - Notions générales relatives à la combustion.
- [20]: **White R &Dietenberger M., 2001** - Wood products: Thermal degradation and fire. Encyclopedia of Materials : Science and Technology.
- [21] : **Elodie R., 2014.**- Dynamique de combustion des végétaux et analyse des fumées émises, effets de l'échelle et du système. Chimie analytique. Université Pascal Paoli., Français.
- [22]: **Cox G., 1995** - Combustion fundamentals of fire. Academic Press, San Diego.
- [23] :**Perez J., 2021** -causes et conséquences des incendies de forêt.<https://www.ompe.org/causes-et-consequences-des-incendies-de-foret/>
- [24] : **Meddour S., 2014** - Les feux de forêts en Algérie : Analyse du risque, étude& des causes, évaluation du dispositif de défense et des politiques de gestion. Thèse de doctorat, Universite Mouloud Mammeri. Tizi Ouzou, Algérie.
- [25] : **Arfa A-M-T, 2008** - Les incendies de forêt en Algérie : Stratégies de prévention et plans de gestion. Thèse de doctorat. Université Mentouri Constantine.page72
- [26] : **Moretti B., 2016** - Modélisation du comportement des feux de forêt pour des outils d'aide à la décision. Modélisation et simulation. Thèse de doctorat. Université Pascal Paoli. Page45
- [27] : **Margerit J., 1998** - Modélisation et simulations numériques de la propagation de feux de forêts. Thèse, Doctorat. Inst. National polytechnique de lorraine. Nancy, France. Page62
- [28] : **Jappiot M., Blanchi R & Alexandre 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).

[29] : **Carretero C-A & Benoit de Coignac G., 1988** - Emploi du contre-feu pour stopper et éteindre les incendies de forêts. Forêt Méditerranéenne.

[30] : **Carrega P & Napoli A., 2002** - Climat, Foehns et incendies de forêts. Publication de l'association internationale de climatologie, Vol.14.

[31] : **Gödde S., 1979**- Données climatiques et risques d'incendie de forêts en Provence. In: Méditerranée, deuxième série, tome 24, 1.

[32] : **Gérard F., 2010** - Compte rendu : Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles (AFPCN).

[33] : **Denault G., 2021** - L'impact des feux de forêt sur la santé humaine.

[34] : **CHEVROU R., 1998** - forêt méditerranéenne n°1 : Prévention et lutte contre les grands incendies de forêts.

[35] : **Irstea & FAO., 2001**- fiche technique partie n°8 : après l'incendie.

[36] : Document d'information : les feux de forêts risquent naturel majeur édité par le ministère de l'Écologie et du Développement durable, direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs, 2002.

[37] : **Dubois-Maury Jocelyne., 1988** - La vulnérabilité de la ville à l'incendie. In : Les Annales de la recherche urbaine, Risques et périls. N°40.

[38] : **Benjamin L.; 2007** - Dossier réalisé par CAUE Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement du Gard.

[39] : **PIERRE P., 1994** - mémoire : Impact immédiat de feux de forêt simulés sur les macroarthropodes édaphiques. UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL, page 12

[40] : **Sauvagnargues S., 2012** - Incendies de forêts défis et perspectives ; Traité RTA, série Environnement et risques ; lavoisier.fr.

[41] : **Ould Mohamed Y.; 2021** - article du journal Algérie presse service publié le 26 août 2021 : Incendies de Tizi-Ouzou : les pertes au patrimoine forestier.

[42] : **Martin C, Allée P, Béguin E, Kuzucuoglu C & Levant M., 1997** - Mesure de l'érosion mécanique des sols après un incendie de forêt dans le massif des Maures In: Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol. 3, n°2.

[43] : **Abhe S R & N'Dja A., 2009** – thesedelicence : Exposé sur le réchauffement planétaire, Université de Bouaké ,Algérie, page 22.

- [44] : **Muryel J., 2021** : Article du journal les ECHOS publié le 3 août 2021 : Les incendies, nouvelle menace pour le tourisme dans le sud et l'est de l'Europe.
- [45] : **Clément F.,2022** – youmatter : Les fumées des incendies de forêt détruiraient aussi la couche d’ozone : <https://youmatter.world/fr/incendies-foret-couche-ozone-trou-pollution/>.
- [46] : **Martin J., 2017** - FRCP L’impact dévastateur de la pollution atmosphérique sur la santé cardiovasculaire.
- [47] : **Michael T.C. ; 2015** - Centre national d’information sur la biotechnologie : Mécanismes de base des événements cardiovasculaires indésirables associés à l’air pollution.
- [48] : **Badraoui A & Hajji A. ; 2001** - Envasement des retenues de barrages, La Houille Blanche.
- [49]:**Alkhatib A.,2014**- Review on forest fire detection techniques. Int. J. Distributed Sensor Netw. 10p
- [50]:**Matin, M.A. & Islam, M.M2012** - Overview of wireless sensor network. Intech Open, 20-31p
- [51] :**Akyildiz I.F& Sankarasubramaniam W. S& Cayirci E., 2002**: -Wireless Sensor Networks: A Survey. Computer networks, 38, pp. 393-422p
- [52]: **David C & Deborah E & Mani S.,2004** - Guest editors' introduction : Overview of sensor networks. Computer, 37(8) :41-49, p.
- [53]: **Mohapatra Ps & Krishnamurthy V., 2004** - Ad Hoc Networks Technologies and Protocols. Springer Verlag Telos, 17-19p
- [54]:**Akyildiz I W &Cayirci S, E& Y. Sankarasubramaniam 2002** -A survey on sensor Networks. IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, pp. 102-114p
- [55]:**Akyildiz I. F&Sankarasubramaniam Y &Cayirci E l.,2002** - A survey on sensor Networks. IEEE Communications Magazine, Vol. 40, No.8. 102-116p

ANNEXE

Annexe 01 : ISO 13943:2017 définit la terminologie relative à la sécurité incendie, telle qu'elle est utilisée dans les normes incendie de l'ISO et l'IEC.

Informations générales

État actuel : Publiée

Date de publication : 2017-07

Edition : 3

Nombre de pages : 55

Comité technique : ISO/TC 92 Sécurité au feu

ICS : 01.040.13 Environnement. Protection de la santé. Sécurité (Vocabulaires) 13.220.01

Normes générales relatives à la protection contre l'incendie