



# REMERCIEMENTS

On remercie en premier lieu le **TOUT PUISSANT ALLAH** qui nous a donné la patience, le courage et la volonté pour terminer cette étude .

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toutes mes grâces, mes profonds respects à mon promoteur Dr. **CHAFIK MHAMDIS** qui à, avec beaucoup d'amabilité accepté d'encadrer ce travail .

Mes grâces vont également pour mon Co-promoteur **Dr. BAKI A** pour ses aides et ses orientations et surtout pour sa gentillesse.

Mes sincères reconnaissances s'adressent parallèlement aux membres du jury :

**Dr. ZOUAOUI HAZEM**

**Pr. BACHIR BOUIJRA SALAH EDDINE**

Une grande pensée va également à toutes les personnes du Conservation des Forêts de Tiaret pour leur aide et leur amabilité, en particulier **Mr. SIDAHMED KOUADRIA**

## **Dédicaces**

Je dédie ce travail

A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne,  
son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

Particulièrement à mon père feu MOHAMED, pour  
l'effort qu'il a suscité en moi son soutien et son encouragement.

A ma mère SOUAD , ceci est ma profonde  
gratitude pour ton éternel amour, que ce rapport soit  
le meilleur cadeau que je puisse t'offrir.

A vous mes chères sœurs ABIR et FATIMA qui m'ont toujours soutenu et encouragé  
durant ces années d'études.

A mon amie MOKHTARIA

Sans oublier mon binôme TINHINEN pour son soutien moral, sa patience  
et sa compréhension tout au long de ce projet

KHARFIA NOR EL HOUDA

## **Dédicaces**

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail  
à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais  
jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite  
et tout mon respect : mon cher père AISSA.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit  
non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre  
heureuse: mon adorable mère NACIRA.

A mes chères sœurs SOUHILA ,MANEL et LILIA qui n'ont pas  
cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes  
études. Que Dieu les protège et leur offre la chance et le bonheur.

A mon adorable petit frère ADEM qui sait toujours comment  
procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

A mes amis MIMI et DJAMILA.

Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

Sans oublier mon binôme FIFI pour son soutien moral, sa patience  
et sa compréhension tout au long de ce projet.

TINHINEN

## Résumé :

L'incendie de forêt reste incontestablement un des facteurs de dégradation les plus dévastateurs dans le bassin méditerranéen, lequel est caractérisé par une végétation très inflammable et des conditions climatiques chaudes et sèches. L'Algérie, pays du pourtour méditerranéen, n'est pas épargnée par ce fléau, avec 3900 ha de forêts qui partent annuellement en fumée ; cette situation est aggravée par les difficultés de régénération et de restauration des espaces, marqués par une vulnérabilité naturelle telle que celle de **Tagdempt**.

Les méthodes classiques généralement utilisées en Algérie pour la prévention et la lutte contre les incendies demandent du temps et ne sont toujours fiables au vu la complexité et la diversité des écosystèmes forestiers. Des travaux dans ce domaine reposant sur la télédétection et les S.I.G ont montrés leur efficacité et leur rapidité en matière d'élaboration de cartes d'évaluation du risque incendie en zone forestière grâce à l'analyse thématique des images satellitaires fournies par la plate forme Google Engine.

nous avons analysée les valeurs de l'NDVI pour la période allons de la fin du mois de Mai 2020 jusqu'à le début de mois de Aout 2020, nous avons constate que la valeur de l'NDVI avons l'incendie été estimée a 0.48 par le satellite MODIS mais après le déclanchement du feu, On a enregistré une valeur de 0.21.

le NBR enregistrée le jour de déclanchement du feu est -0.04 qui confirment la surface touchée par le feu.

**Mots clés :** incendie, Tagdempt, Google Engine, NDVI, NBR

## الملخص

تعتبر حرائق الغابات بلا شك أحد أكثر عوامل التدمير في حوض البحر الأبيض المتوسط ، الذي يتميز بنباتات شديدة الاشتعال ضف إلى ظروف مناخية حارة وجافة.

على غرار بلدان البحر الأبيض المتوسط لم تسلم الجزائر من هذه الأفة ، مع فقدان 3900 هكتار من الغابات كل عام ؛ حيث يتفاقم هذا الوضع بسبب صعوبات التجديد واستعادة المناطق التي تتميز بضعف طبيعي مثل تلك الموجودة في غابة تاقدمت.

تعتبر الطرق الكلاسيكية المستخدمة بشكل عام في الجزائر لمتابعة الحرائق ومكافحتها تستغرق وقتاً طويلاً وليست موثوقة دائماً ، نظراً لتعقيد وتنوع النظم البيئية للغابات. أظهر العمل في هذا المجال القائم على الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية كفاءته وسرعته في وضع خرائط تقييم مخاطر الحرائق في مناطق الغابات بفضل التحليل الموضوعي لصور الأقمار الصناعية التي توفرها المنصة Google Engine.

من خلال بحثنا هذا تم تحليل قيم المؤشر NDVI للفترة من نهاية مايو 2020 إلى بداية أغسطس 2020 ووجد أن قيمة NDVI خلال فترة الحريق قدرت بـ 0.48 بواسطة القمر الصناعي MODIS ، ولكن بعد بدء الحريق ، تم تسجيل قيمة 0.21

وتم الحصول على قيمة -0.04 من المؤشر NBR في يوم اندلاع الحريق هو مما يؤكد المنطقة تضررت من الحريق.

**كلمات مفتاحية:** حرائق الغابات ، غابة تاقدمت ، المنصة Google Engine المؤشر ، NDVI ، المؤشر NBR

### **Abstract :**

Forest fires are undoubtedly one of the most devastating factors of degradation in the Mediterranean basin, which is characterised by highly inflammable vegetation and hot, dry climatic conditions. Algeria, a Mediterranean country, is not spared from this scourge, with 3900 ha of forests going up in smoke every year; this situation is aggravated by the difficulties of regeneration and restoration of areas marked by a natural vulnerability such as that of Tagdempt.

The classic methods generally used in Algeria for preventing and fighting fires are time-consuming and not always reliable, given the complexity and diversity of forest ecosystems. Work in this field based on remote sensing and GIS has shown its efficiency and speed in the elaboration of fire risk assessment maps in forest areas thanks to the thematic analysis of satellite images provided by the Google Engine platform.

The NDVI values for the period from the end of May 2020 to the beginning of August 2020 were analysed and it was found that the NDVI value at the time of the fire was estimated to be 0.48 by the MODIS satellite, but after the fire was started, a value of 0.21 was recorded.

The NBR recorded on the day of fire outbreak is -0.04 which confirms the area affected by the fire.

**Keywords:** fire, Tagdempt, Google Engine, NDVI, NBR

## **Liste des Abréviations**

C.F. T : Conservation des forêts de la Wilaya de Tiaret

IH : Indice Humaine

IM : Indice topomorphologique

IR : Indice de Risque

M : température moyenne Maximale

m : température moyenne minimale

P : précipitation

## TABLEAUX DES TABLEAUX

TABLEAU	TITRE	PAGE
<b>Tableau 01</b>	Evolution de la superficie forestière en Algérie de (1830-2011)	04
<b>Tableau 02</b>	principales essences forestières et leurs superficies (ha)	07
<b>Tableau 03</b>	les zones des incendies dans le bassin médit entre 2002 et 2013, par pays	09
<b>Tableau 04</b>	origines des incendies	19
<b>Tableau 05</b>	Influence des facteurs climatiques sur les conditions du feu	32
<b>Tableau 06</b>	Classe de sévérité en fonction des valeurs de d’NBR(Firemon,2004)	51
<b>Tableau 07</b>	La forêt domanial de Tagdempt par canton (C.F.T, 2011)	53
<b>Tableau 08</b>	Nombre de jours de gelée dans la commune de Tiaret (2007)	56
<b>Tableau 09</b>	la vitesse moyenne des vent dans la Willaya de Tiaret en (2007)	56
<b>Tableau 10</b>	Quotient pluviométrique d’EMBERGER pour la zone d’étude	58
<b>Tableau 11</b>	Classification d’ PDSI	76

# SOMMAIRE

## Résumé

## Abstract

## المخلص

## Introduction générale

### CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES INCENDIES

Présentation de la forêt méditerranéenne : .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1-Présentation de la forêt algérienne : .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.1-Caractéristiques des forêts algériennes .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.2-Superficie forestière et répartition.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2- les incendies de forêt.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2.1- les incendies des forêts dans le bassin méditerranéen.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2.2-Les incendies de forêt en Algérie.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2.3-les incendie de forêts de la wilaya de Tiaret.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.3 Définitions .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.3.1 Le Comportement Du Feu .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.3.2 La combustion.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.3.2.1 Le combustible .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.3.2.2 Les différents types de feux .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.4 Les modes de propagation .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.5. les causes des incendies .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.5.1-Origine des Incendies .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.5.2 Causes naturelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.5.3 Causes humaines .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.5.4 Causes involontaires .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.5.4.1 -Les imprudences.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.5.4.2 Les accidents .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.5.5 Causes volontaires .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.5.5.1 -La pyromanie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.5.5.2 La vengeance.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.6 Méthodes de recherche des causes .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.6.1 Dédution À Partir Du Contexte Du Feu.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.6.2 Enquête Après Incendie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

I.6.3 Méthodes Originales.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.7.1 ou des preuves) physiques .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.7.2 Conséquence de l'incendie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.7.2.1 Facteurs favorables aux incendies de forêts en région méditerranéen	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.7.2.2 -Les facteurs climatiques .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.7.2.3 -Les facteurs topographiques .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.7.2.4 -Les combustible végétaux.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.7.2.5 -Les facteurs socio-économiques .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.8 Méthodes d'évaluation du risque incendie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.8.1 La Méthode turque .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.8.2 Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.8.3 Méthode Française =méthode de détermination du risque de feu de forêt grâce au SIG	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.8.4 Méthode Espagnole : Système intégré pour la détermination du danger d'incendie de forêt :.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.8.5 Méthode : Le modèle d'évaluation temporelle du risque d'incendie	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## **CHAPITRE II : TELEDETECTION**

II. Télédétection .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-1 Définition .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-2 Processus de télédétection.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-2.1 Source d'énergie ou d'illumination (A) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-2.2 Rayonnement et atmosphère (B) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-2.3 Interaction avec la cible (C) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-2.4 Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-2.5 Transmission, réception et traitement (E) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-2.6 Interprétation et analyse (F) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-2.7 Application (G).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-3 Les domaines d'application de la télédétection.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-4 Bases physique de la télédétection .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-4.1 Le rayonnement électromagnétique.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-4.2 Spectre électromagnétique .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-5 Réponses spectrales des objets de surface .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-6 Classification d'image .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-6.1 Classification non supervisée .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-6.2 Classification supervisée .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II-7. Courbes de réflectance spectrale de la végétation .....	49

II-8 Sévérité des incendies ..... **Error! Bookmark not defined.**

### **CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

III. Présentation de la forêt de Tagdempt ..... **Error! Bookmark not defined.**

III.1 Situation de la forêt de Tagdempt..... **Error! Bookmark not defined.**

III.1.1-Situation géographique ..... **Error! Bookmark not defined.**

III-1.2 Situation administrative ..... **Error! Bookmark not defined.**

III-1.3 Situation forestière..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2 Description du milieu physique ..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.1 Etude climatologique de la zone d'étude ..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.1.a-récapitation..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.1.b Température..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.1.c Autres facteurs climatiques..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.1.c.1 Humidité ..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.1.c.2 Gelée..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.1.c.3 Vent ..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.2 Synthèse bioclimatique ..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.2.a Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson .... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.2.b Quotient pluviométrique d'EMBERGER ..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.3 Relief et hydrographie..... 59

III.2.4 Pédologie ..... 59

III.2.5 Géomorphologie ..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.6 Végétation ..... **Error! Bookmark not defined.**

III.2.7 Faune..... **Error! Bookmark not defined.**

III.3 Milieu socio – économique ..... **Error! Bookmark not defined.**

III.3.1 population..... **Error! Bookmark not defined.**

III.3.2 Les stations et les peuplements de la forêt domaniale de Tagdempt**Error! Bookmark not defined.**

III.3.3 Canton Mesguida ..... **Error! Bookmark not defined.**

III.3.4 Canton de la Réserve ..... **Error! Bookmark not defined.**

### **CHAPITRE IV : MATERIELS ET METHODES**

IV.Matériels et méthodes..... **Error! Bookmark not defined.**

IV.1.Objectif de l'étude ..... **Error! Bookmark not defined.**

IV.2. Matériel utilisé..... **Error! Bookmark not defined.**

IV.2.1 Logiciels..... **Error! Bookmark not defined.**

IV.2.1.1 Google Earth Engine..... **Error! Bookmark not defined.**

IV.2.1.2.ArcGIS .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
IV.3.Collecte et traitement des données .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
IV.3.1. Collecte des informations sur les incendies .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
IV.3.2.Donnée de terrain.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## **CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION**

V.1. Résultats et discussion .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
V.1-Calcul de l'NDVI (indice de Tucker) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
V.2-Calcul de l'EVI.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
V.3-Calcul de l'NDWI.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
V.4- Calcul du Potentiel water deficit .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
V.5-calcul de Température.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
V.6 -calcul de vitesse de vent.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
V.7 -calcul de Indice PDSI (Palmer Drought Severity Index)..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
V.8 -Indice de zone de brûlure (BAI) Burn Area Index .....	77
V.9 -Calcul de l'NBR (Taux de combustion normalisé) .....	78
V.10 -Calcul de D'NBR (Rapport de combustion normalisé – thermique).....	79
V.11 -Estimation de la surface perdue.....	81

## **Introduction générale :**

La destruction des forêts, des infrastructures et le cout de la lutte contre les incendies sont estimés à plusieurs milliards de dollars chaque année. Pour l'an 2000, plus de 350 millions d'hectares de forêts ont été brulés au niveau mondial (**FAO, 2003**).

En Algérie, chaque année en moyenne plus de 36.000 hectares de forêts sont détruits par les feux. Les pertes économiques dans le secteur forestier générées par ces feux, entre 1985 et 2006, se chiffrent à plus de 113 milliards de dinars algériens (**Arfa et al, 2019**).

L'utilisation des images satellitaires pour la détection de feu est un avancé majeure dans la gestion des incendies de végétation en termes de cout, et minimise l'intervalle de temps pour l'acquisition des informations (**Zammit, 2008**). Ici la méthode de détection de feu utilise les images MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Ces images MODIS contiennent 36 bandes spectrales allant du visible à l'infrarouge thermique. Dans notre cas les bandes thermiques au niveau des longueurs d'onde 4  $\mu\text{m}$  et 11  $\mu\text{m}$  sont les bandes principalement utilisés. Le but est de voir une élévation locale de la température (point chaud) au-dessus de la température ambiante normale (**Liew et al., 2005, 2006**). Cette méthode peut parfois conduire à des fausses alarmes, donc on a introduit d'autre canaux dans les longueurs d'ondes 12, 31, 32  $\mu\text{m}$  afin d'éliminer ces divers erreurs (**Giglio et al., 2003**). Les indices de végétation sont très souvent utilisés en télédétection afin d'établir une cartographie ou bien de faire une estimation des surfaces brulées (**Martín et al., 2005**). Le NBR « Normalized Burn Ratio » (**Key et Benson, 1999**) et le NDVI « Normalized Difference Vegetation Index » (Rouse et al., 1974) deux indices obtenus à partir des images Landsat 8 ont été utilisés afin de faire une validation des points de feu détectés. L'influence due au prolongement de saison sèche renforce la disponibilité du combustible à être brulée, et considéré comme facteur de propagation de feu de végétation, mais surtout augmente sa fréquence d'apparition (**Orieux, 1974; Archibald et al., 2009**). Une autre méthode a été utilisée, elle est basée sur l'utilisation d'un modèle plus connu en télédétection par indice de risque, ici l'indice utilisé est le Forest Fire Danger Index. Elle sert à prédire le risque ou le danger de feu qui pourra apparaitre (**Sharples et al., 2009**). L'utilisation de cet indice est un moyen afin de valider les points de feu détecté. Il peut être utilisé comme outil de prise de décision pour les entités concernées de mobiliser, positionner d'avance tous les moyens et ressources nécessaires pour pouvoir intervenir à un intervalle de temps très court (**Assali et al.,**

**2016).** Le Forest Fire Danger Index connu comme le McArthur Mark 5 est un des modèles très largement utilisés en Australie par CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) depuis les années 1960 afin de prévenir la propagation des incendies de forêt (**Sharples et al., 2009**). Mais ici l'application est faite dans tous types de végétation. Ce modèle est basé sur l'utilisation des données de précipitation, de la vitesse du vent, et des autres données d'observations météorologiques comme la température et l'humidité relative (**Dowdy et al., 2009**). Ce mémoire est divisé en 4 différentes parties : l'introduction, la généralité sur les incendies, la méthodologie qui est subdivisée en trois parties (détection de feu actif, détermination de risque de feu, et enfin la caractérisation des surfaces brûlées qui sert de validation des points de feu détectés), ensuite les résultats, puis les interprétations et discussions des résultats obtenus, et se termine par une brève conclusion.

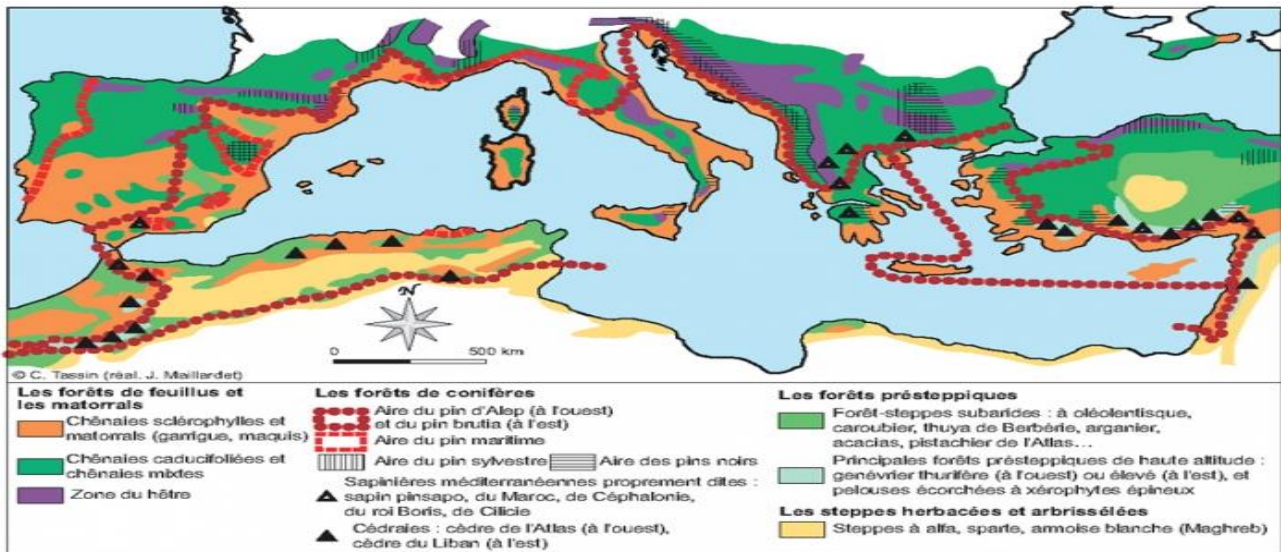
**I- Présentation de la forêt méditerranéenne :**

La forêt méditerranéenne est le plus grand des biomes de la planète terre et est composée de 14 forêts dans le monde. Sa végétation est très impressionnante et est constituée de haut chêne vert et aussi le liège. Sur le plan de la stratification, il est à noter que cette région du globe n'en compte que deux à savoir :

- La strate arborescente et le jumelage de
- Strate arbustive et de celle qui la suit.

D'après **Signen (1985)**, la forêt méditerranéenne couvre environs 65 millions d'hectares dont 45 millions de forêt proprement dites et 19 millions d'hectares de formations forestières (**Borsali, 2013**)

Climat méditerranéen est un type de climat appartenant à la famille du climat tempéré ( ou «tempéré chaud » ou « subtropical de façade ouest » , selon les considérations), qui se caractérise par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides.



**Figure I.1 :** Carte de la végétation méditerranéenne

Source : Troll et Walter, P. Quétel, A. Godard et M. Tabeaud

**I.1-Présentation de la forêt algérienne :**

L'Algérie possède un véritable potentiel forestier qu'il est possible de mettre en valeur aussi bien pour la production de ressources ligneuses destinées au développement et mêmes à des fins sociales à proximité des centres densément peuplés. Mais, en dépit des différents plans de

développement, la forêt algérienne ne semble pas aujourd'hui être en condition de production et donc ne peut satisfaire les besoins de la société, vue les besoins énormes en matière première ligneuses liées à l'accroissement de la population, aux exigences de l'élévation de son niveau de vie, au développement industriel et économique du pays et principalement du fait du profond délabrement de ces forêts. (Belkaid, 2016)

### I.1.1-Caractéristiques des forêts algériennes :

Les grands traits des forêts algériennes peuvent se résumer comme suit (Bousmal et Ezzdami, 2018) :

- Forêt essentiellement de lumière, irrégulière avec des peuplements feuillus ou résineux le plus souvent.
- Forêt souvent ouverte formée d'un mélange d'arbres de toutes tailles et de tous âges.
- Forêt avec présence d'un épais sous-bois composé d'espèces secondaires limitant l'accessibilité et favorisant la propagation des feux.
- Productivité moyenne annuelle très faible :

### I.1.2-Superficie forestière et répartition :

- **Superficie :**

La forêt algérienne est essentiellement de type méditerranéen, il y a deux siècles elle couvrait 5 millions d'hectares selon des anciennes publications. Aujourd'hui, elle ne couvre que 3.9 millions d'hectares dont 2 millions sont constituées des forêts dégradées (maquis et garrigues). De 1830 à 1955, la forêt algérienne a perdu 1.815 millions d'hectares est de 1955 à 1997, elle en a perdu 1.215 has. (Boudy, 1955 ; MATE, 2000 in MATE .2003 ; Mechara et Segueni 2019

**Tableau I.1:** Evolution de la superficie forestière en Algérie de (1830-2011)

Années	Kazi&al, 2010	Bensaid&al, 2006	Boudy, 1955, in louni.1994	Titah,2011
Superficie (has)	500.000	3247692	3800000	4671400

Source ; MATE, 2011

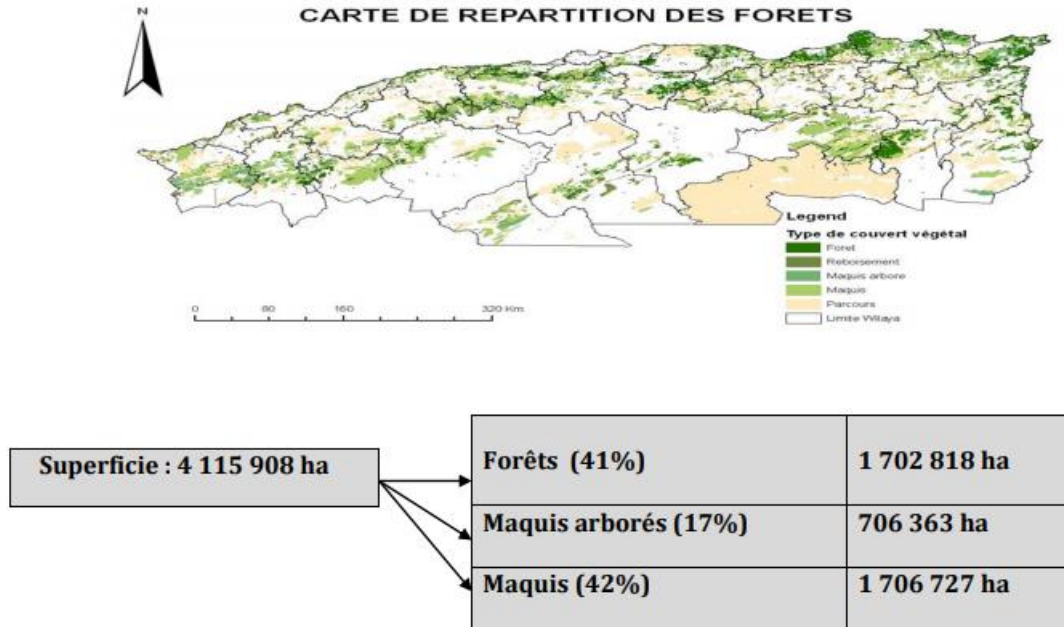


Figure I.2 : Répartition des forêts en Algérie.

Source :(D.G.F. 2018)

❖ Répartition géographique :

La forêt Algérienne est constituée par une variété d'essences appartenant à la flore méditerranéenne, leur développement est lié essentiellement au climat. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral, le faciès forestier change du Nord au Sud du pays., on peut distinguer deux principales zones bien différentes (**Ouelmouhoub 2005 ;Mechara et Segueni 2019**)

- Le littoral et surtout les chaînes côtières de l'Est du pays comme : la Grande Kabylie, Bejaia, Jijel, Collo, El Milia, El Kala. Ces régions sont bien arrosées, elles comportent les forêts les plus denses et les plus belles. C'est l'aire de répartition de deux essences principales, à savoir : le chêne liège et le chêne zène.

Les hautes plaines continentales, plus sèches représentées par les régions steppiques situées entre les chaînes côtières et l'Atlas saharien. Ces zones contiennent dans leurs parties accidentées de grands massifs de pin d'Alep et de chêne vert (Aurès , Djelfa et Saida)



Figure I.3 : Répartition des principales essences forestières en Algérie

Source : (Bouacha. 2013)

Selon (Ouelmouhoub 2005). Les formations forestières sont concentrées surtout dans l'Algérie du Nord, la diversité spécifique des principales essences forestières est très inégalement répartie sur l'ensemble de cette partie du territoire.

De façon générale, les principales essences couvrent 1.491.000 has, elles se répartissent en deux principaux groupes à savoir : (Mechara et Segueni 2019).

- Forêts d'intérêt économique constituées par : les résineux ( pin d'Alep, pin maritime et Cèdre.) et les feuillus ( chêne-liège, chênezeen et afarés , eucalyptus) :

Forêts de protection composée de chêne vert, Thuya et genévrier. Sur la base des différents travaux. (Seigue. 1985 : Goussanem, 2000 : I.N.R.F, 1994 in MATE 2003 ,Ghazi, 2005 : D.G.F.2007).

La répartition de la surface forestière entre les différentes espèces se fait comme suit :

**Tableau I.2:** principales essences forestières et leurs superficies (ha)

Essence Forestière	Superficie ha	Seigue (1985)	Goussanem (2000)	INRF (1994) in mate (2003)	GHAZI (2005)	DGF (2007)
-Pin d'Alep		855.000	880.000	881.302	881.300	881.000
-Chêne liège		440.000	230.000	228.925	-	230.000
-Chêne zène et affairés		67.000	48.000	48.034	48.000	48.000
-Cèdre de l'Atlas		30.000	16.000	23.000	16.000	16.000
-Pin maritime		12.000	32.000	31.513	31.400	31.000
-Chêne vert		680.000		108.221	108.000	108.000
-Genévriers		-	219.000	-	-	-
-Thuya de berbérie		160.000		-	-	-
-Maquis et broussailles		-	1.087.600	1.876.000	-	1.662000

### I.2- les incendies de forêt :

On parle d'incendie de forêt lorsque le feu concerne une surface minimale d'un hectare d'un seul tenant et qu'une partie au moins des étages arbustifs ou arborés (parties hautes) est détruite. Un incendie est un phénomène qui échappe au contrôle de l'Homme, tant en durée qu'en étendue.

On appelle incendies ou feux de forêt ceux qui se déclarent et/ou se propagent dans des formations forestières ou su forestières. Compte tenu qu'il n'y a pas de définition juridique de ces termes, on se reporte à l'état physique des terrains concernés et non à leur classement administratif (tel celui du cadastre) ; quant aux définitions techniques, les divergences s'estompent sous l'effet d'une volonté d'harmonisation internationale.

Un feu peut prendre différentes formes selon les caractéristiques de la végétation et les conditions climatiques dans lesquelles il se développe.

Les feux de sol. Ils brûlent la matière organique contenue dans la litière, l'humus ou les tourbières. Alimentés par incandescence avec combustion, ces feux ont une faible vitesse de propagation.

Les feux de surface. Ils consomment les strates basses de la végétation et se propagent en général par rayonnement ou convection. Ils affectent la garrigue ou les landes.

Les feux de cimes. Ils atteignent la partie supérieure des arbres (ligneux hauts) et forment une couronne de feu qui libère en général de grandes quantités d'énergie. Leur vitesse de propagation est très élevée et ils sont particulièrement intenses et difficiles à contrôler lorsque le vent est fort et le combustible sec

Un feu peut prendre **différentes formes** selon les caractéristiques de la végétation et les conditions climatiques dans lesquelles il se développe.

- **Les feux de sol.** Ils brûlent la matière organique contenue dans la litière, l'humus ou les tourbières. Alimentés par incandescence avec combustion, ces feux ont une faible vitesse de propagation.
- **Les feux de surface.** Ils consomment les strates basses de la végétation et se propagent en général par rayonnement ou convection. Ils affectent la garrigue ou les landes.
- **Les feux de cimes.** Ils atteignent la partie supérieure des arbres (ligneux hauts) et forment une couronne de feu qui libère en général de grandes quantités d'énergie. Leur vitesse de propagation est très élevée et ils sont particulièrement intenses et difficiles à contrôler lorsque le vent est fort et le combustible sec.

### **I.2.1- les incendies des forêts dans le bassin méditerranéen :**

Les incendies de forêts sont déjà une préoccupation forte dans la région méditerranéenne, À la lumière des diagnostics du monde scientifique et des nouveaux scénarios climatiques, Les gestionnaires forestiers vont être confrontés à une tendance générale d'augmentation des Superficies brûlées ainsi qu'à une augmentation de la fréquence, de l'intensité et de la gravité des Incendies de forêts (un incendie de forêts est tout feu incontrôlé de la végétation combustible qui se produit dans l'espace rural ou le milieu naturel. D'autres noms tels que le feu de broussailles, feux de brousse, feux de forêts, feu d'herbe, feu de tourbière, incendie végétation peuvent être Utilisés pour décrire le même phénomène en fonction du type de végétation brûlée.



Figure I.4 : forêt méditerranéenne et zone incendiées, 2002-2013

Tableau I.3: les zones des incendies dans le bassin médit entre 2002 et 2013, par pays

(Source : données MODIS, NASA EOSDIS)

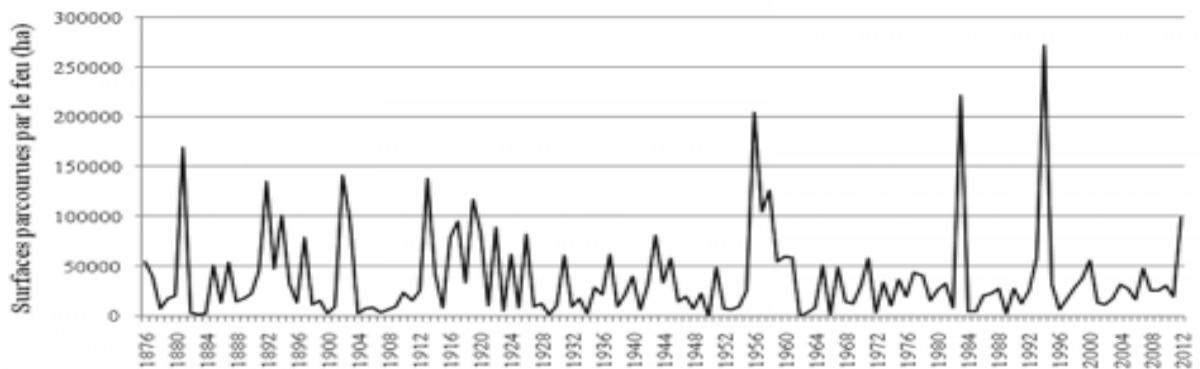
	Superficie totale (km <sup>2</sup> )	Zones incendiées (km <sup>2</sup> )		% de la superficie totale du pays	Surface annuelle moyenne incendiée (km <sup>2</sup> )		% de la superficie totale du pays
		Total (PFT 1 à 11)			Total (PFT 1 à 11)		
		2002-2013			2002-2013		
<b>Chypre</b>	9 251	5 641		61,0	470		5,1
<b>Portugal</b>	92 090	26 726		29,0	2 227		2,4
<b>Turquie</b>	783 562	87 769		11,2	7 314		0,9
<b>Bulgarie</b>	110 879	11 680		10,5	973		0,9
<b>Israël</b>	22 072	2 071		9,4	173		0,8
<b>Italie</b>	301 336	22 413		7,4	1 868		0,6
<b>Grèce</b>	131 957	7 710		5,8	642		0,5
<b>Syrie</b>	185 180	10 187		5,5	849		0,5
<b>Albanie</b>	28 748	1 350		4,7	113		0,4
<b>Espagne</b>	505 992	23 271		4,6	1 939		0,4
<b>Macédoine</b>	25 713	1 034		4,0	86		0,3
<b>Serbie</b>	88 361	3 476		3,9	290		0,3
<b>Palestine</b>	6 020	206		3,4	17		0,3
<b>Bosnie-Herzégovine</b>	51 197	1 451		2,8	121		0,2
<b>Maroc</b>	446 550	10 375		2,3	865		0,2
<b>Kosovo</b>	10 887	240		2,2	20		0,2
<b>Monténégro</b>	13 812	274		2,0	23		0,2
<b>Liban</b>	10 452	195		1,9	16		0,2
<b>Croatie</b>	56 594	980		1,7	82		0,1
<b>Egypte</b>	1 002 450	15 788		1,6	1 316		0,1
<b>Tunisie</b>	163 610	2 307		1,4	192		0,1
<b>Algérie</b>	2 381 743	16 357		0,7	1 363		0,1
<b>France</b>	547 030	1 970		0,4	164		0,0
<b>Malte</b>	316	1		0,2	0		0,0
<b>Libye</b>	1 759 540	2 246		0,1	187		0,0
<b>Autres micro-États*</b>	538	0		0,1	0		0,0
<b>Slovénie</b>	20 273	14		0,1	1		0,0
<b>Jordanie</b>	89 342	12		0,0	1		0,0
<b>TOTAL</b>	8 845 495	255 743		2,9	21 312		0,2

Entre 5 et 10 % de surface brûlée se retrouve le cortège des pays nord-méditerranéens classiquement associés aux difficultés de gestion de leur patrimoine forestier, parfois envahissant. En queue de liste figurent les contrées essentiellement méridionales et proche-orientales dont les couvertures végétales sont les plus fragiles. La France arrive dans les dernières positions, mais ceci résulte de la place limitée du milieu méditerranéen dans le pays. Ces informations mériteraient d'être affinées à un niveau régional ou local pour mettre davantage en valeur les écarts locaux

### I.2.2-Les incendies de forêt en Algérie :

L'Algérie est très touchée par les feux de forêts, avec un cumul de 42 555 feux, ayant parcouru 910 640 hectares durant la période 1985-2010. La pression exercée par les riverains sur la forêt est à l'origine de la plupart des grands incendies (superficies supérieures à 100 ha) qui représentent 3,2 % des feux en Algérie. Le pays doit affronter une intensité croissante du risque face auquel le dispositif de lutte semble inadéquat. L'objectif de cet article est d'établir un état des lieux et de comprendre le contexte et les enjeux des politiques publiques de gestion des incendies.( **Meddour-Sahar et Bouisset C,2013**)

L'Algérie est l'un des rares pays possédant des statistiques sur les feux de forêts sur une période de plus d'un siècle. La figure 1 représente une série chronologique de 137 ans des surfaces parcourues(Marc, 1916 ; Boudy, 1948 ; Grim, 1989 ; Meddour-Sahar, 2008)



**Figure I.5 :** évolution annuelle de superficies parcourues par le feu en Algérie 1876-2012

**Source :** (Marc,1916 ; Boudy, 1948 ; Grim,1989 ; Meddour-Sahar,2008)

Au cours des trente dernières années (1985-2012), l'évolution annuelle révèle la variabilité des feux de forêts et surtout l'existence d'années catastrophiques en 1993, 1994, 2000, 2007 et 2012 (Meddour-Sahar et Derridj, 2012). Tandis qu'une grande majorité des feux (soit 82,1 %) est maîtrisée avant que la surface parcourue ne dépasse 10 ha, 3,2 % des feux touchent des superficies de plus de 100 ha, dont 0,6 % sont supérieurs à 500 ha. Cette dernière catégorie représente 272 feux (dont 109 pour la seule année 1994)

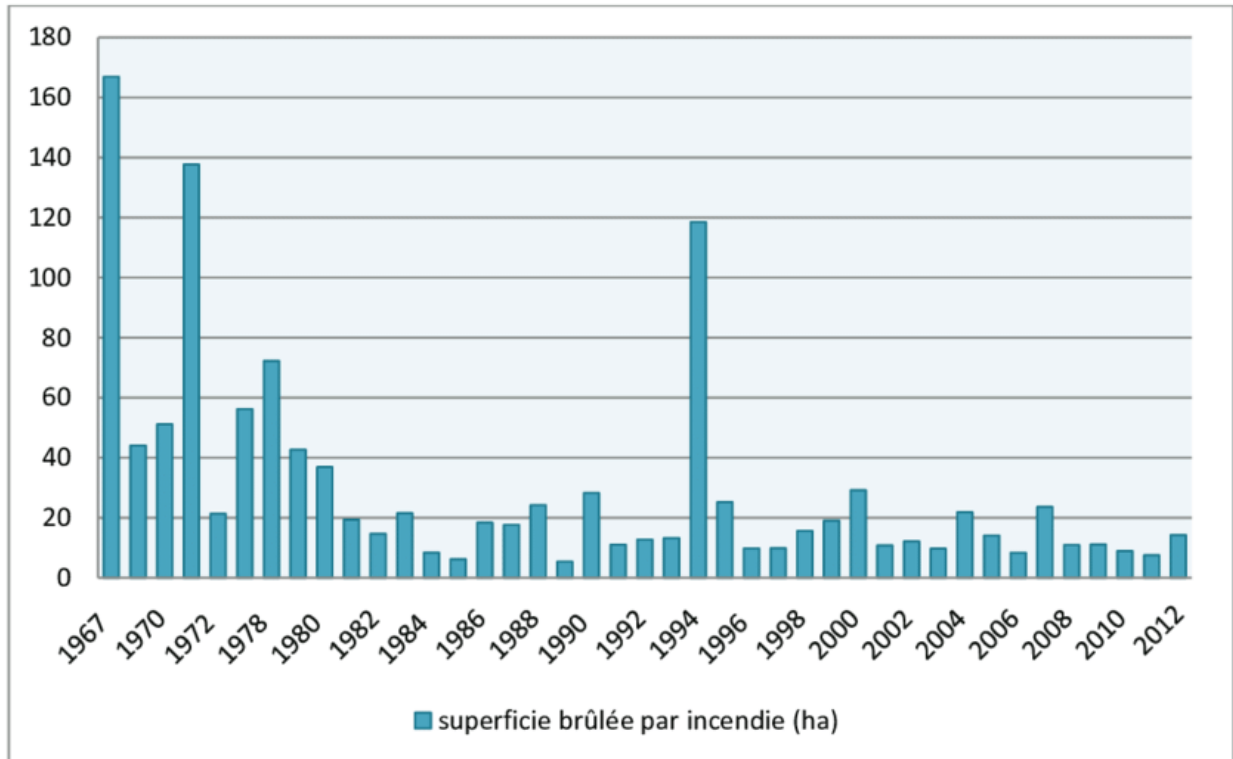


Figure I.6 : superficie des forêts brûlée annuellement par incendie en Algérie ha

Source : (Noureddine et Haddouche, 2014 )



**Figure I.7 :** Feux de forêt à Sidi Bel Abbès : Les forestiers traquent les apprentis charbonniers  
06/08/2019Publié dans ENVIRONNEMENT



**Figure I.8 :** Incendies des Forêts, TIZI OUZOU  
**Source :** elwatan.com

### I.2.3-les incendie de forêts de la wilaya de Tiaret :

A Tiaret, des centaines d'hectares ont été détruits dans l'incendie qui s'est déclaré dimanche dans la forêt du Plateau, selon un bilan préliminaire de la Conservation des forêts. Et, les efforts se poursuivaient pour venir à bout du feu.

Les vents et la canicule enregistrée dans la région, ajoutés à la nature des arbres (pin d'Alep) rapidement inflammables, ont contribué à l'extension de l'incendie aux zones forestières mitoyennes et aux agglomérations riveraines, notamment Guertoufa et Tagdamet, a-t-on fait savoir.

L'incendie qui a endommagé une grande superficie de pinèdes et causé la perte de nombreux oiseaux et animaux, est maîtrisé à une large échelle, a assuré le chargé d'information auprès de la direction de la Protection civile de la wilaya de Tiaret, le capitaine Rabah Boukhari, ajoutant qu'il reste à empêcher de se raviver quelques petits foyers de feu.



**Figure I.10 :** une photo prise durant l'incendie de la forêt du plateau de la wilaya de Tiaret juillet 2020

**Source:** Prise par le photographe Hami KhelifaTiaret

### I.3 Définitions :

Le terme incendie a été emprunté par la langue française au XVI -ème siècle au latin « incendium » (embrasement), dérivé de « incendre » (allumer). Il désigne un feu violent, un embrasement qui se propage à un édifice, une maison, une forêt...etc. L'incendie de forêt est

« une combustion qui se développe sans contrôle, dans le temps et dans l'espace ». Par forêt, il faut entendre, en plus des forêts au sens strict, l'ensemble des formations végétales dégradées de substitutions (lands, garrigues, maquis... etc.) (Jappiot *et al.*, 2002).

### I.3.1 Le Comportement Du Feu :

D'après Merrill et Alexander (1987), le comportement du feu, c'est la façon dont :

- Le combustible s'enflamme ;
- Les flammes se développent ;

Le feu se propage et prend les caractéristiques gouvernées par l'interaction des combustibles, des conditions météorologiques et de la topographie.

Il n'est plus à démontrer qu'une bonne connaissance du comportement du feu en tant qu'un phénomène physico-chimique permet une lutte efficace contre les incendies de forêt (Khalid, 2008).

### I.3.2 La combustion :

La combustion est une oxydation rapide du carbone contenu dans les combustibles, se produisant à des températures relativement élevées. Elle est rapide en comparaison avec des processus d'oxydation plus lents que sont la carie et la décomposition du bois. La combustion exige la présence en proportion convenable de trois éléments, à savoir : le combustible, l'oxygène et la chaleur. Le combustible et l'oxygène existent en abondance en forêt. Le seul élément qui manque pour compléter le symbolique triangle du feu c'est la source de chaleur suffisante.

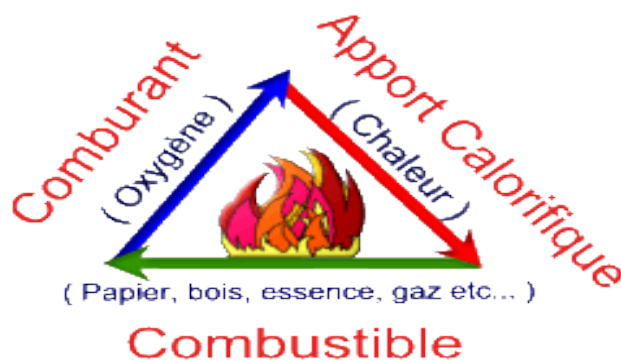


Figure I.11 : Le triangle du feu

### I.3.2.1 Le combustible :

Tous les éléments contenus en forêt susceptibles de brûler (matière organique) constituent le combustible forestier. Le complexe combustible réfère à la composition et l'arrangement des combustibles sur le terrain (**Amrouche et Lounis, 1988**). Selon Khalid (2008), il se répartit en quatre strates :

1. La litière : très inflammable, elle est à l'origine d'un grand nombre de départs de feux, difficiles à détecter, car se consomment lentement.
2. La strate herbacée : d'une grande inflammabilité, le vent peut y propager le feu sur des grandes superficies.
3. La strate des ligneux bas (maquis, garrigues) : d'inflammabilité moyenne, elle transmet rapidement le feu aux strates supérieures.
4. La 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.

### I.3.2.2 Les différents types de feux :

Une fois éclos, un feu peut prendre différentes formes, chacune étant conditionnée par les caractéristiques de la végétation et les conditions climatiques (principalement la force et la direction du vent). Ainsi on distingue :

- **les feux de sol** : qui brûlent la matière organique contenue dans la litière, l'humus ou les tourbières. Alimentés par incandescence avec combustion, leur vitesse de propagation est faible ;
- **les feux de surface** : qui brûlent les strates basses de la végétation, c'est-à-dire la partie supérieure de la litière, la strate herbacée et les ligneux bas. Ils se propagent en général par rayonnement et affectent la garrigue ou les landes ;
- **les feux de cimes** : qui brûlent la partie supérieure des arbres (ligneux hauts) et forment une couronne de feu. Ils libèrent en général de grandes quantités d'énergie et leur vitesse de propagation est très élevée. Ils sont d'autant plus intenses et difficiles à contrôler que le vent est fort et le combustible sec.

Ces trois types de feu peuvent se produire simultanément sur une même zone

**II- I.4 Les modes de propagation :**

Lorsqu'un feu éclate, il n'est pas nécessairement dangereux, car son impact va dépendre de son intensité et de sa surface d'extension. La propagation de l'incendie va être le plus souvent déterminée par des facteurs naturels, mais des facteurs anthropiques peuvent intervenir. Parmi les premiers, on distingue :

- **la structure et la composition de la végétation:** le terme de combustibilité caractérise l'aptitude de la végétation à propager le feu en se consumant. Lors de la combustion, des quantités de chaleur plus ou moins importantes vont être libérées, selon la structure de la forêt et des essences végétales présentes ;
- **le vent agit de plusieurs manières :** il apporte de l'oxygène, activant ainsi la combustion, il rabat les flammes sur la végétation, il modifie la direction du feu et il transporte des particules incandescentes ;
- **le relief :** la pente conditionne l'inclinaison des flammes par rapport au sol et ainsi leur vitesse de propagation. L'exposition a également un rôle indirect sur la progression du feu, car elle conditionne le type de végétation, l'influence des vents et l'ensoleillement. Généralement, les versants sud et sud-ouest présentent les conditions les plus favorables pour une inflammation rapide et pour la propagation des flammes.

**❖ La propagation d'un feu**

La chaleur générée par un incendie va être transportée vers l'avant des flammes selon trois processus :

la conduction permet la transmission de proche en proche de l'énergie cinétique (produite par le mouvement) ;

le rayonnement thermique correspond au mode de propagation de l'énergie sous forme d'ondes infrarouges. C'est le principal mode de propagation des incendies ;

la convection, liée aux mouvements d'air chaud, voit son importance augmenter avec le vent et la pente. Ce processus peut contribuer au transport de particules incandescentes en avant du front de flammes et au déclenchement de foyers secondaires (sautes de feu)

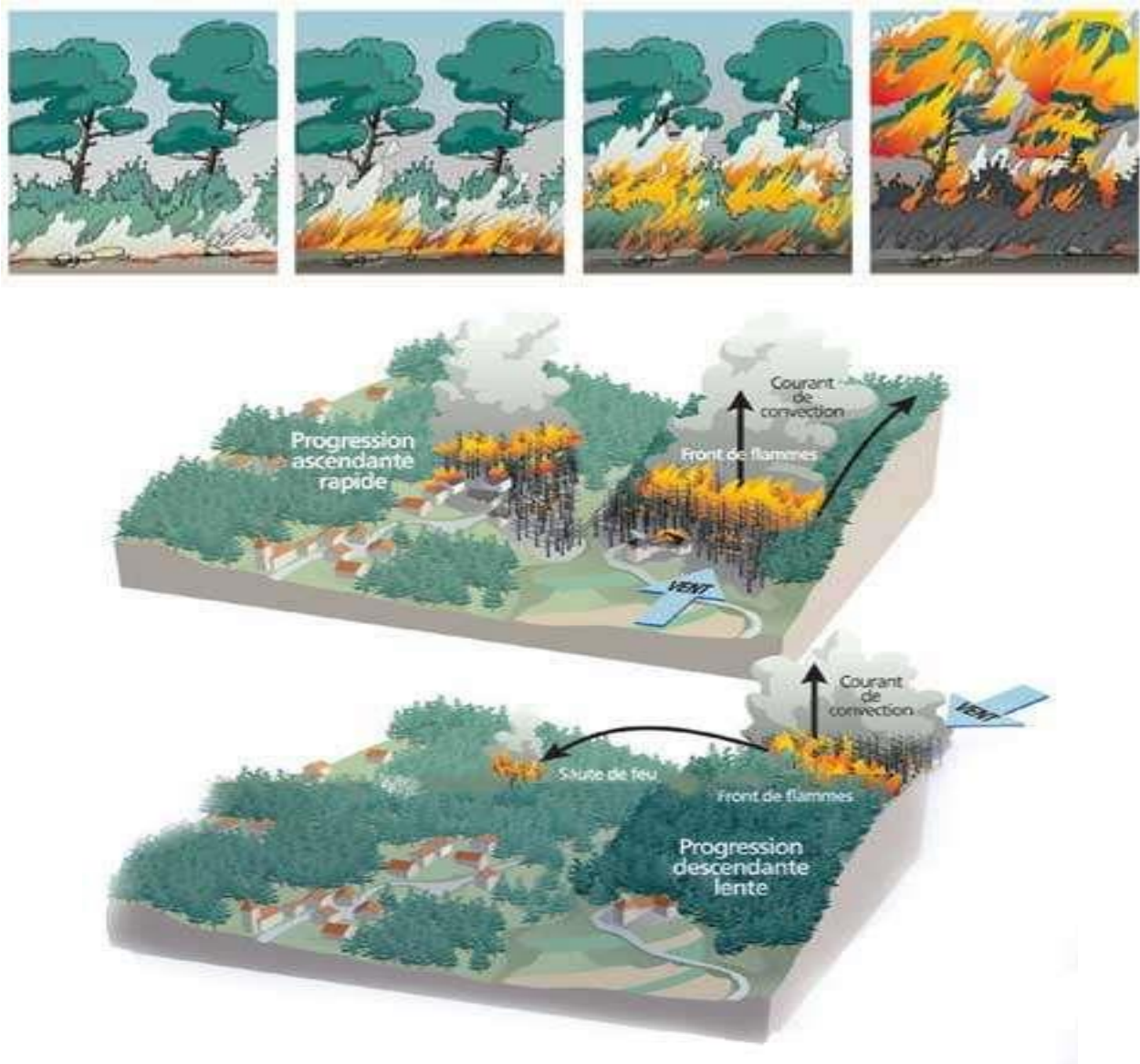


Figure I.12 : L'évolution d'un feu de forêt.

Source : <https://www.animateur-nature.com/> Consulter le : 15/04/2021

#### ❖ Le rôle du relief et du vent

- Un feu ascendant brûle d'autant plus rapidement que la pente est forte, car l'efficacité des transferts thermiques par rayonnement et convection est accrue.
- Un feu descendant voit sa vitesse considérablement ralentie, mais le risque qu'il saute d'une pente à l'autre est très important : on parle alors de « saute de feu ».

- Le front de flammes est la partie la plus virulente du feu, située à l'avant d'un foyer d'incendie.

### **Les trois phases de l'incendie**

L'incendie de forêt est un phénomène physico-chimique. Il s'accompagne d'une émission forte d'énergie calorifique et peut être décomposé en trois phases :

- évaporation de l'eau contenue dans le combustible ;
- émission de gaz inflammables par pyrolyse ;
- inflammation.

## **I.5. les causes des incendies**

### **I.5.1 Origine des Incendies :**

L'origine d'un incendie est souvent difficile à déterminer du fait de l'absence de preuves Matérielles concrètes ; il en résulte que le pourcentage de causes inconnues peut être très Important.

Ce pourcentage, en nombre d'incendies, atteint 18 % en Espagne, 33 % en France, 26 % en Grèce, 31 % au Portugal et 48 % en Turquie.

La cause d'un incendie peut être connue selon différents niveaux de certitudes.

En France, la connaissance de la cause est renseignée à l'aide d'un des niveaux suivants : certaine, très probable, supposée, inconnue.

Avant 1996, seule la gendarmerie pouvait renseigner la cause d'un incendie et les causes considérées comme connues étaient les causes certaines. Depuis 1996, d'autres services (policiers, forestiers, pompiers) sont susceptibles de fournir les informations qu'ils possèdent sur la nature de la cause, en les accompagnant du niveau de connaissance. Les causes considérées comme connues sont les causes certaines, très probables et supposées.

Ces nouvelles règles ont permis de mieux appréhender l'origine des incendies et le taux des causes connues est passé d'environ 30 % avant 1996 à environ 70 % actuellement.

### **I.5.2 Causes naturelles :**

La végétation ne s'enflammant pas seule, même par forte sécheresse, l'unique cause naturelle connue dans le Bassin Méditerranéen est la foudre. Ce phénomène, très répandu en forêt boréale

(“orages secs”), est relativement rare en région méditerranéenne où il ne concerne que 1 à 5 % des cas d’incendies.

Des exceptions peuvent toutefois être observées, notamment en Espagne, où, dans certaines régions, la foudre représente 30 % des départs de feu (Aragon : 38 % et Castille la Manche : 29 %).

Les éruptions volcaniques peuvent également être à l’origine d’incendies de forêt. Ce phénomène est cependant exceptionnel dans le Bassin Méditerranéen.

**I.5.3 Causes humaines :**

Elles représentent l’essentiel des origines des incendies de forêts. Globalement, pour l’ensemble des pays du Bassin Méditerranéen, on retrouve des causes involontaires et des causes volontaires. Leur répartition dépend étroitement du contexte social, économique, politique et législatif de chaque pays.

**I.5.4 Causes involontaires :**

Elles constituent les causes principales pour la majorité des pays du Bassin Méditerranéen

**I.5.4.1 -Les imprudences**

Elles résultent de négligence par rapport aux risques d’incendie, et sont corrélées à l’importance de la fréquentation des forêts ou de leurs abords immédiats.

La nature des imprudences dépend des activités en forêt et aux abords immédiats.

La répartition des causes pour chaque pays est très variable :

- Pour les pays où l’économie est basée sur l’agriculture et où la pression de la population rurale est forte, les travaux agricoles et forestiers représentent une des causes les plus importantes (Ex : jusqu’à 65 % en Syrie).

Les départs de feux se situent alors très souvent en bordure de forêt

**Tableau I.4:**origines des incendies

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



**Figure I.13 :** Brûlage de rémanents agricoles en bordure de forêt (Syrie)

- Dans les pays à forte croissance urbaine, le développement de l'habitat en forêt ou en lisière crée des zones d'interfaces très favorables aux départs de feu. (Ex : urbanisation à la périphérie d'Athènes).
- Dans les pays touristiques, les causes liées à l'accueil du public sont importantes (ex : 13 % à Chypre).

Certaines causes sont très spécifiques à certain pays (par exemple les exercices militaires)

#### **I.5.4.2 Les accidents**

Ils sont beaucoup moins fréquents que les imprudences.

- ❖ **Circulation en forêt ou en périphérie** : les interfaces surfaces boisées - voies de circulation sont des zones à forte probabilité d'éclosion. La projection d'étincelles lors du passage d'un train le long de la voie ferrée, ou par le pot d'échappement d'un véhicule (voiture, moto...) peut provoquer un incendie. Il en est de même des engins agricoles et forestiers mal réglés.
- ❖ **Lignes électriques** : par vent fort, des arcs électriques peuvent apparaître entre lignes agitées et mettre le feu à la végétation.

- ❖ **Dépôts d'ordures:** qu'ils soient autorisés ou clandestins, les dépôts d'ordures constituent des sources potentielles d'incendie, par l'envol de papiers enflammés ou combustion interne par fermentation.

### I.5.5 Causes volontaires :

Leur importance est très variable selon les pays : 3 % en Tunisie, 30 % en Grèce, 53 % en Sardaigne (Italie) et jusqu'à 67 % en Espagne. Cependant, ces chiffres dépendent de la façon dont sont classées les origines des incendies. Ainsi, le brûlage de résidu à proximité des forêts est parfois classé en cause volontaire.



**Figure I.14 :** Dépôt d'ordure en forêt (France)

**Source :** <https://www.actu.fr/> **consulté le :** 18/04/2021

#### I.5.5.1 -La pyromanie :

Certains individus mettent le feu par plaisir ou par jeu, pour être reconnus, pour voir les engins de lutte en action... Cette pyromanie est plus ou moins malade, selon le degré de responsabilité de l'individu. Cette cause reste cependant limitée, même si on a souvent tendance, en cas d'incertitude sur l'origine d'un feu, à l'attribuer à un pyromane

#### I.5.5.2 La vengeance :

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...

### I.5.5.3 Quand la forêt devient un enjeu :

- ❖ **Enjeu politique:** dans les pays marqués par une instabilité politique, la forêt peut être utilisée comme outil de revendication et, à ce titre, être l'objet d'incendies volontaires.
- ❖ **Enjeu économique:** les incendies criminels peuvent apporter un gain matériel direct (amélioration des pâturages, exploitation du bois...) ou indirect par appropriation foncière. Ces actes à motivation criminelle sont donc d'autant plus fréquents que le cadre législatif est mal défini (absence de cadastre ou de bornage en forêt, répression quasi inexistante).



Figure I.15 : Ligne haute tension en forêt (France)

Source : <https://www.rte-france.com/> consulter le : 18/04/2021

#### ✚ Exemples :

Ce phénomène représente près de 10 % des causes d'incendies en Syrie : le taux de croissance démographique dépassant largement celui de la disponibilité en terres arables, la pression de la population locale pour acquérir de nouveaux terrains agricoles est très forte. Les habitants brûleraient les rémanents en lisière de forêt, en espérant que le feu se propage au

peuplement forestier. En Grèce, notamment dans la périphérie d’Athènes, les incendies criminels visant l’appropriation foncière sont fréquents, du fait de la pression de la population locale urbaine et de promoteurs immobiliers peu scrupuleux (transformation des terrains forestiers brûlés en zones constructibles).

- ❖ **Enjeu social:** il s’agit là d’un cas très particulier, spécifique de l’Italie, et surtout de la Sardaigne. Les incendies criminels sont très fréquents, tout particulièrement dans les zones présentant un taux de chômage élevé. Mettre le feu à la forêt peut être le moyen de créer de nouveaux emplois (surveillance, lutte, réhabilitation de terrains brûlés...). On parle “d’industrie du feu”

📄 **Quelques chiffres...**

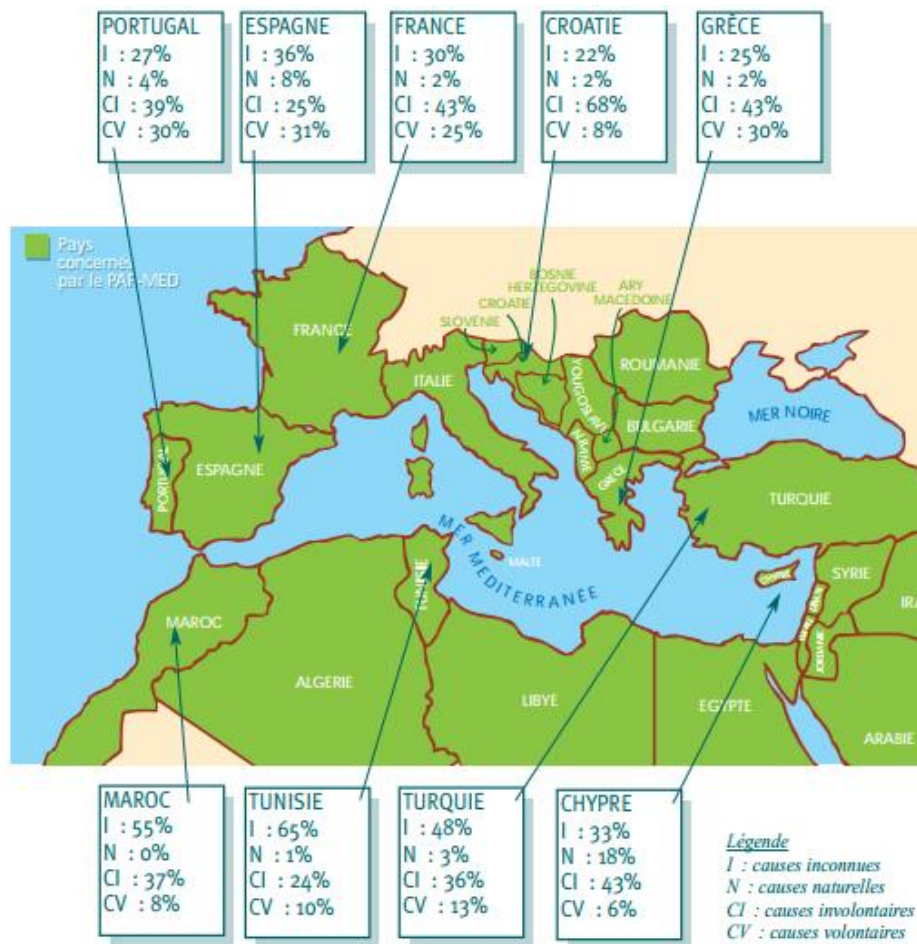


Figure I.16 : Répartition des causes par pays

**I.6 Méthodes de recherche des causes :****I.6.1 Dédution À Partir Du Contexte Du Feu :**

L'analyse de l'occurrence des feux en relation avec le contexte socio-économique peut aider à mieux identifier les causes des incendies. Les informations relatives à un incendie (époque de l'année, lieu...) peuvent permettre de préciser le contexte de l'éclosion et donc de déterminer son origine. Cette méthode est simple mais risque de donner parfois des résultats subjectifs.

**I.6.2 Enquête Après Incendie :**

Suite à un incendie, une enquête peut être menée pour déterminer l'origine du feu. Cette investigation a l'avantage d'être plus poussée que la simple déduction lors de la collecte d'informations sur le feu. Néanmoins, elle reste difficile, l'absence de preuves matérielles ne permettant pas toujours de conclure sur les véritables causes. Ainsi, de nombreuses enquêtes n'aboutissent pas et les causes demeurent inconnues.

**I.6.3 Méthodes Originales :**

La recherche des causes des incendies est une phase difficile, qui n'aboutit pas toujours par l'intermédiaire d'une enquête classique. Des méthodes originales sont utilisées depuis quelques années, mais elles nécessitent à la fois beaucoup de temps et un savoir-faire. La mise en œuvre de ces méthodes est confiée à des groupes spécialisés dans la recherche des causes, dont les membres, spécialement formés, se consacrent à temps plein à cette tâche. Trouver la cause d'un incendie de forêt nécessite trois étapes :

- Localisation du point d'éclosion.
- Démonstration du mécanisme d'éclosion.
- Explication de la propagation du feu à la forêt.

Un coopération pluridisciplinaire entre différents services (services forestiers, organismes de lutte, police, gendarmerie, justice) améliore beaucoup l'efficacité de la recherche des causes d'incendie.

**I.7 Méthode des évidences :**

**- Principe :**

La méthode se décompose en 3 phases successives :

- Localisation du point d'éclosion par reconstitution de l'évolution des contours du feu. Les traces, appelées indices physiques, laissées par le feu sur les pierres, les troncs, les poteaux, la végétation... sont analysées.
- A l'emplacement du foyer initial, analyse plus approfondie pour identifier la source de chaleur qui est à l'origine de la mise à feu.
- Identification de la cause et de l'auteur de l'incendie, en se fondant sur les preuves matérielles et les déclarations des témoins. cette méthode, originaire des États-Unis, est utilisée en Espagne et au Portugal.

- **Reconstitution du feu et localisation du point de départ :**

L'utilisation de modèles théoriques de propagation permet de reconstituer l'évolution des contours de feu et de situer approximativement la zone de départ.

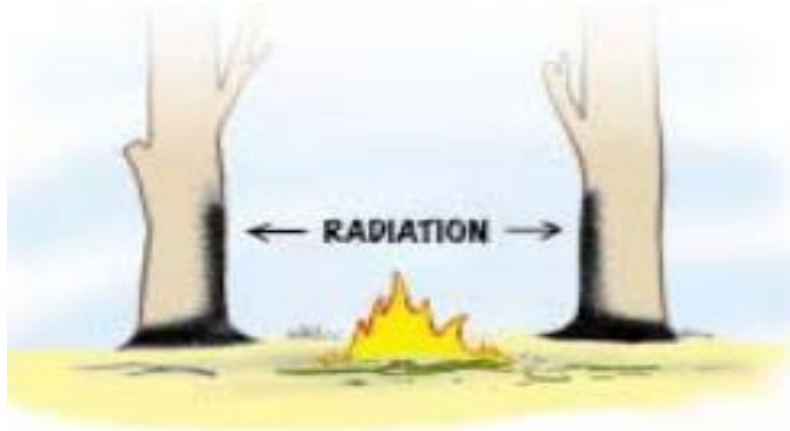
Les indices physiques permettent d'établir des vecteurs de direction et de sens de progression du feu et ainsi de préciser une aire d'origine de l'incendie.

Les types d'indice laissés par l'incendie sont nombreux et chacun d'entre eux donne des renseignements sur une ou plusieurs caractéristiques du feu : direction de propagation, vitesse de propagation ou chaleur dégagée. Deux exemples sont présentés ici.

- **Modèles de carbonisation :**

Ce sont les traces laissées par le feu sur les troncs des arbres. Leurs formes varient en fonction de la direction de propagation du feu et de la direction du vent.

- Lorsque le feu débute, il se développe par radiation et les arbres entourant le point d'éclosion présentent une carbonisation de même hauteur. S'il y a du vent, les flammes s'inclinent et marquent plus les arbres situés du côté où elles sont dirigées.
- Lorsque le feu prend de l'importance, le transfert de chaleur est dû aux radiations mais aussi à la convection. Les marques de carbonisation sont en forme de fuseau, la pointe dirigée vers le haut et sont plus marquées du côté protégé du vent, c'est-à-dire sous le vent.



**Figure I.17 :** Carbonisation symétrique due à un feu statique

**Source :** Eimfor (Espagne)



**Figure I.18 :** Effet de la convection sur la carbonisation du tronc

**Source :** Eimfor (Espagne)

- **Pétrification des rameaux**

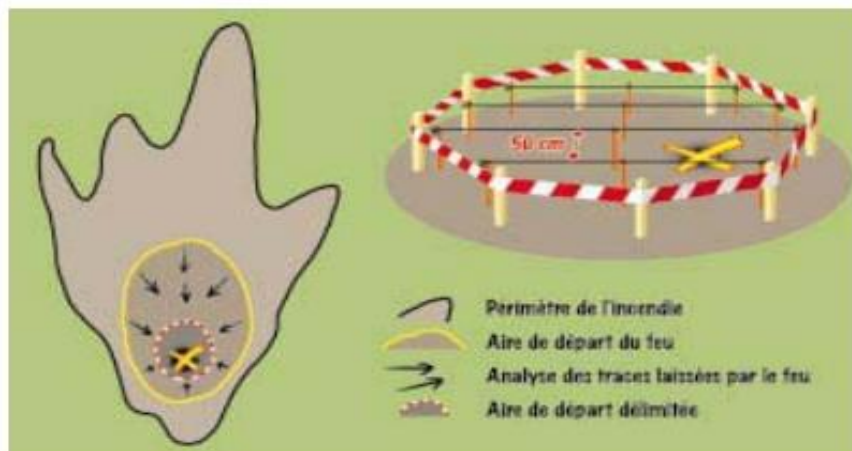
Sous l'effet des courants chauds de convection poussés par le vent, les rameaux fins des arbres et des broussailles prennent puis conservent un port en drapeau.



**Figure I.19 :** Rameaux de pin d'Alep pétrifiés (France)

Source : <https://www.pepinieres-frances.fr/> consulter le : 10/05/2021

### I.7.1 ou des preuves) physiques :



**Figure I.20 :** Délimitation de l'aire de départ d'un incendie Source :site web 01

<https://www.animateur-nature.com/> consulté le :18/05 /2021

dirigé dans le sens de propagation du feu. Cette pétrification est d'autant plus marquée que le feu avançait rapidement.

A proximité du point d'éclosion, le feu affecte plus les rameaux proches de la source de chaleur qui sont alors dirigés vers le sol après le passage des flammes. On observe des marques de radiation sur les parties basses des rameaux.

#### **Identification de la source de chaleur :**

L'aire d'origine est validée à l'aide des témoignages des personnels de lutte. Elle est ensuite délimitée par un ruban signalétique et découpée en bandes de 50 centimètres de largeur, matérialisées à l'aide de pieux et de cordelettes. Chaque bande est analysée en détail afin de rechercher le moyen d'ignition.

#### **Identification de la cause de l'incendie :**

Une cause possible de l'incendie est établie en confrontant les éléments rassemblés par l'enquête à des faisceaux d'indicateurs prédéfinis. Le faisceau présenté ci-dessous correspond à un feu dû à l'activité récréative en forêt.

- Point d'ignition situé à l'ombre des arbres.
- Lieu très fréquenté.
- Existence de zones débroussaillées.
- Traces de pneus.
- Mégots de cigarettes.
- Restes de nourriture.
- Files de fourmis.
- Restes de feu pour la cuisson, parfois entourés de protection en pierres.
- Présence d'une grille ou d'une broche.
- Départ du feu à la tombée du jour.

Parallèlement, une enquête auprès des témoins recueille les informations sur :

- Le nombre et la description des personnes présentes au départ du feu.
- La description et l'immatriculation des véhicules de passage ou stationnés.

- Toutes les observations en relation avec l'incendie.

Les circonstances à l'origine de l'incendie sont obtenues en confrontant les résultats de l'enquête matérielle et les témoignages.

La méthode des évidences physiques ne permet pas de connaître les causes de tous les incendies.

Elle permet cependant d'enquêter, de façon exhaustive, sur chaque feu d'un échantillon représentatif de la population totale des feux. Lorsque cet échantillon significatif a été obtenu, il est possible d'extrapoler les résultats en évaluant les tendances générales indicatrices des principaux groupes de cause.(ou des preuves) physiques.



**Figure I.21** : Pétrification des rameaux due au passage du feu **Source** : Eimfor (Espagne)



**Figure I.22** : Pétrification des rameaux due à un feu peu intense

**Source** :site web n: 01 <https://www.animateur-nature.com/> consulté le :18/05 /2021

### I.7.2 Conséquence de l'incendie :

Chaque incendie de forêt détruit tout ou partie des animaux et végétaux sur son passage ; seuls les grands mammifères et certains oiseaux arrivent à s'enfuir à l'approche du front de feu.

Ainsi, tout incendie a un impact immédiat sur les principales fonctions de la forêt :

- économique : perte de valeur et de production de bois, impact sur les activités économiques et touristiques
- environnementale : atteinte à la biodiversité et aux paysages
- sociale : accueil du public, chasse
- prévention d'autres risques : chute de pierres, glissements de terrain, érosion, crues torrentielles, avalanches en montagne
- protection générale : régulation du régime hydrique, qualité de l'eau, épuration de l'air, stockage du carbone

Les impacts à moyen et long terme dépendent du régime des feux auquel le territoire sinistré est confronté, un régime de feux fréquents et sévères pouvant s'accompagner localement d'une régression biologique.

Les incendies de forêt ont également des impacts sur la qualité de l'air. Les émanations de fumée de bois peuvent altérer les mécanismes des défenses immunitaires pulmonaires, et entraîner une altération de la fonction pulmonaire des personnes exposées.



**Figure I.22 :** Photo qui montre les l'une des conséquences d'incendie de forêt Près de Tiaret, où 1 500 hectares ont été ravagés par le feu **Source :** photo originale de Gacem et Meddah, 2021

### I.7.2.1 Facteurs favorables aux incendies de forêts en région méditerranéenne

Le Bassin Méditerranéen n'échappe malheureusement pas à cette logique du feu, puisque les feux de forêts y représentent une part non négligeable des incendies de la planète (Alexandrian & al., 1999).

Le type de végétation et le climat sont des facteurs importants de prédisposition au feu. Certaines formations végétales sont plus sensibles au feu que d'autres (Ouahiba Meddour-Sahar, R Meddour, A Derridj 2014 )

A côté des causes immédiates, c'est à dire des agents de mise à feu, qui apportent une quantité de chaleur suffisante pour que le matériel végétal s'enflamme, les causes profondes ou structurelles des incendies de forêts en région méditerranéenne sont bien établies (Velez, 1994).

A la fin , les modifications du climat et les changements des modes d'usage des terres représentent des facteurs clés dans l'évolution actuelle des régimes d'incendies en région méditerranéenne (Quezel et Medail, 2003).

### I.7.2.2 -Les facteurs climatiques

Les incendies de forêt dans le Bassin Méditerranéen dépendent pour une bonne part des conditions climatiques dominantes. Des étés prolongés (s'étendant de juin à octobre et parfois plus longtemps), avec une absence éventuelle de pluie et des températures diurnes moyennes bien supérieures à 30 °C réduisent la teneur en eau de la litière forestière à moins de 5 % (Dimitrakopoulos & Mitsopoulos, 2006).

En règle générale, les conditions climatiques de l'année en cours et de celle qui précède sont déterminantes, aussi bien les précipitations qui jouent un rôle décisif dans le bilan hydrique des sols et donc du végétal, que les températures qui règlent la production de biomasse, l'évapotranspiration et rendent le végétal plus ou moins inflammable et combustible.

Avec la chaleur et le manque d'eau, le vent est un autre facteur climatique important et inflammable (Quezel et al, 2008).

Les hauteurs des précipitations annuelles reflètent donc assez mal le phénomène de sécheresse spécifique au Nordeste brésilien. Il peut arriver qu'une année au total pluviométrique satisfaisant soit entrecoupée de périodes sèches de telle sorte que souvent, et malgré plusieurs tentatives de semis, aucun des cycles végétatifs cultureux n'arrive à terme, alors que la végétation naturelle moins exigeante reste verte. C'est la fameuse *seca verde* ou sécheresse verte (Leprun et al., 1995).

**Le Tableau I.4:suivant explique l'effet des facteurs climatiques sur les conditions du feu**  
**:Tableau I.5: : Influence des facteurs climatiques sur les conditions du feu (ALEXANDER & al., 1996)**

Facteurs climatiques	Influences sur les conditions du feu
Précipitation	Rôle décisif dans le bilan hydrique des sols et du végétal
Température de l'air	Augmentation de la température des combustibles, diminution de la teneur en eau et réduction de l'humidité atmosphérique lorsque la température de l'air augmente
Humidité atmosphérique	Réduction de la teneur en eau des combustibles si l'air est sec
Vitesse du vent	Accélération du dessèchement des combustibles, fléchissement de la colonne de convection, transport de matières enflammées en avant de l'incendie (sautes de feu), accélération de la propagation de l'incendie
Direction du vent	Vent dirigeant l'incendie vers des zones à propagation illimitée (boisement d'un seul tenant)
Saisons	Au printemps, dessèchement des combustibles de surface ; en été, augmentation des combustibles secs et abaissement de la nappe phréatique

Les conditions climatiques ont été particulièrement défavorables au cours des années 80, caractérisées par des sécheresses extrêmement graves, qui ont fortement affecté l'ensemble des pays du bassin méditerranéen, en particulier le Maroc, l'Algérie, le Portugal, l'Espagne et la France (Velez, 1999)

Aussi , d'après **Dimitrakopoulos (1995)**, durant la décennie 1980-1990, on a répertorié 6 années de sécheresse exceptionnelle, notamment 1981, 1985 et 1988, dans de nombreux pays méditerranéens. L'année 1989, en particulier, a été l'une des plus sèches du siècle dans toute la région méditerranéenne occidentale (**Velez, 1999**).

### **I.7.2.3 -Les facteurs topographiques**

L'alternance des facteurs topographiques tel que l'exposition , l'altitude et la pente, réagissent sur la précipitation les eaux de ruissellement , le vent , la température et le rayonnement solaire, qui à leur tour ont une incidence sur l'inflammabilité à travers la production du combustible et sa teneur en eau.

L'influence des facteurs topographiques et météorologiques est confirmée par une corrélation significative entre l'exposition, les pentes, la hauteur du soleil sur l'horizon et le degré d'inflammabilité des combustibles au cours de l'année (**De Oliveira, 2012 in Meddour-Sahar,2014**).

### **I.7.2.4 -Les combustible végétaux**

Les combustible végétaux désigne un ensemble de combustibles solides de compositions et de pouvoir calorifiques très variés. Il résulte de l'accumulation de matières végétales transformées par des micro-organismes. ils sont impliqués comme l'un des Facteurs favorables aux incendies selon leur : bois herbes bois mort, tronc de bois ..

Leurs quantités totales, leurs tailles, leurs compositions chimiques (surtout le contenu en extraits à l'éther, à potentiel énergétique élevé) sont autant de facteurs qui influencent la dynamique de propagation du feu (**Trabaud, 1989**). On peut ajouter leur état physiologique (combustibles vivants et combustibles morts), qui influence la teneur en eau, leur distribution plus ou moins homogène, leur continuité horizontale ou verticale, facteurs qui influencent également le comportement du feu (**Anderson, 1982 ; Scott et Burgan, 2005**).

Les combustibles peuvent être décrit par les modèles de combustibles qui sont une description standardisée de leur quantité par classe de taille, de leur chimie, etc. (**Scott et Burgan, 2005**).



**Figure I.23 :** Une photo de bois mort et quelques herbes de la forêt de Tiaret **Source :** photo originale de Gacem et Meddah, 2021)

#### **I.7.2.5 -Les facteurs socio-économiques**

Les causes principales des incendies de forêt sont la négligence et le manque de précautions des populations c'est une modification socio-économique dans ces années récentes , elle représente environ 2 % des incendies en zone méditerranéenne.

Les plus importantes modifications qui influent sur le déclenchement des incendies sont les suivantes :

- Pour favoriser la repousse d'une nouvelle végétation herbacée pour les animaux au pâturage. Les bergers causent souvent des incendies en brûlant les forêts et les maquis sans prendre en considérations les conséquences qu'ils causent sur la dégradation de la végétation

- Les effets du changement climatique (hausse de température, diminution des précipitations et aggravation des phénomènes extrêmes) ont accru l'intensité et l'extension du risque.
- Le manque de sensibilisations du public sur les risques qui peuvent être créés à cause de leurs mauvais comportements comme l'inconscience des fumeurs et des touristes qui font du feu pour cuire leurs aliments ex...

Les priorités de la politique forestière, autrefois centrées sur la production de bois et autres matières premières, sont actuellement axées sur la conservation de la nature, la conservation du paysage et les activités de loisirs, la diminution de la récolte de bois et de l'exploitation forestière dans certaines zones ont conduit à des quantités accrues de biomasse dans les zones boisées, et de ce fait l'inflammabilité a augmenté (Valez, 1999 in Meddour-Sahar, 2014).

### I.8 Méthodes d'évaluation du risque incendie :

Les incendies de forêt sont devenus une préoccupation majeure pour plusieurs experts environnementaux. L'évaluation des effets du feu à l'échelle locale sont de plus en plus considérées comme un aspect critique du fonctionnement des écosystèmes, puisque le feu

joue un rôle crucial dans la composition de la végétation, la biodiversité, l'érosion des sols et le cycle hydrologique. Les différentes méthodes sont passées en revue afin de renforcer l'utilisation de méthodes appropriées pour la gestion des risques et des dangers d'incendie de forêt.

#### I.8.1 La Méthode turque :

C'est un modèle qui a été développé par des universitaires turques (Erten et al, 2004). Il fait intervenir cinq facteurs pour l'évaluation du risque de feu de forêt (IR) à savoir le type de végétation (Tveg), la pente (P), l'exposition (E), les distances à partir des routes (Dr) et les distances à partir des agglomérations (Da).

Le modèle repose sur la formule suivante :

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

Ce modèle a été utilisé en Algérie sur la forêt de Tiaret (Ramat et al, 2009).

### I.8.2 Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt :

Au cours de la saison des incendies de forêt au Canada, des centaines d'incendies peuvent brûler en tout temps, et peuvent être déclenchés par la foudre ou être d'origine humaine. Tous les feux n'ont pas besoin d'être éteints. Bon nombre cesseront d'eux-mêmes ou s'éteindront avec des conditions humides. De plus, tous les incendies ne peuvent être éteints, car les ressources consacrées à la lutte contre les incendies sont limitées.

Il incombe aux gestionnaires des incendies d'évaluer quels incendies présentent une menace pour la sûreté, les biens des personnes et les biens publics (y compris les habitations, les commerces, les couloirs de passage des services publics, les espèces sauvages et le bois d'œuvre marchand) et de décider ensuite quelles ressources doivent être consacrées à la lutte contre les incendies, et à quels endroits. Lorsqu'ils prennent de telles décisions, ces gestionnaires ont recours à leur expérience personnelle et aux informations fournies par la Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt (MCEDIF).

La MCEDIF est la principale source de renseignements sur les incendies utilisée par tous les organismes chargés de la gestion des feux de forêt au Canada. Il s'agit de la méthode d'évaluation des dangers d'incendie de forêt la plus largement utilisée dans le monde.

#### ✚ Deux principaux sous-systèmes de la MCEDIF :

- La Méthode canadienne de l'Indice forêt-météo (IFM), qui dépend uniquement des lectures des indices d'humidité, fournit une mesure générale du danger d'incendie dans l'ensemble des zones forestières et rurales. Les codes et les indices de ce sous-système sont calculés sur la base d'un type de combustible forestier « standard » (principalement le pin gris et le pin tordu latifolié).
- La Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt (PCI) aide les aménagistes forestiers à évaluer la rapidité avec laquelle un incendie pourrait se propager dans un type de forêt particulière, la quantité de combustibles qu'il peut consommer et, finalement, l'intensité potentielle de cet incendie. L'intensité est le facteur qu'utilise un aménagiste forestier pour déterminer les tactiques et ressources requises qui permettront d'éteindre ce feu.

La Méthode PCI s'appuie sur 14 données principales regroupées en cinq catégories générales : les combustibles, les conditions météorologiques, la topographie, l'humidité foliaire, ainsi que le type et la durée des prévisions. Lorsqu'elles sont combinées, ces données fournissent une indication du comportement prévu de l'incendie. Par exemple, le contenu en humidité des combustibles de surface, combiné aux observations sur la vitesse du vent, permettent d'obtenir l'Indice de propagation initiale – un indicateur de la vitesse de propagation d'un feu — qui à son tour sert à calculer la vitesse de propagation d'un feu (p. ex. en kilomètres par heure)

La Méthode PCI utilise également des paramètres de la Méthode canadienne de l'Indice forêt-météo et les convertit en prévision de comportement des incendies propres aux peuplements des grands types de forêts de l'ensemble du Canada.

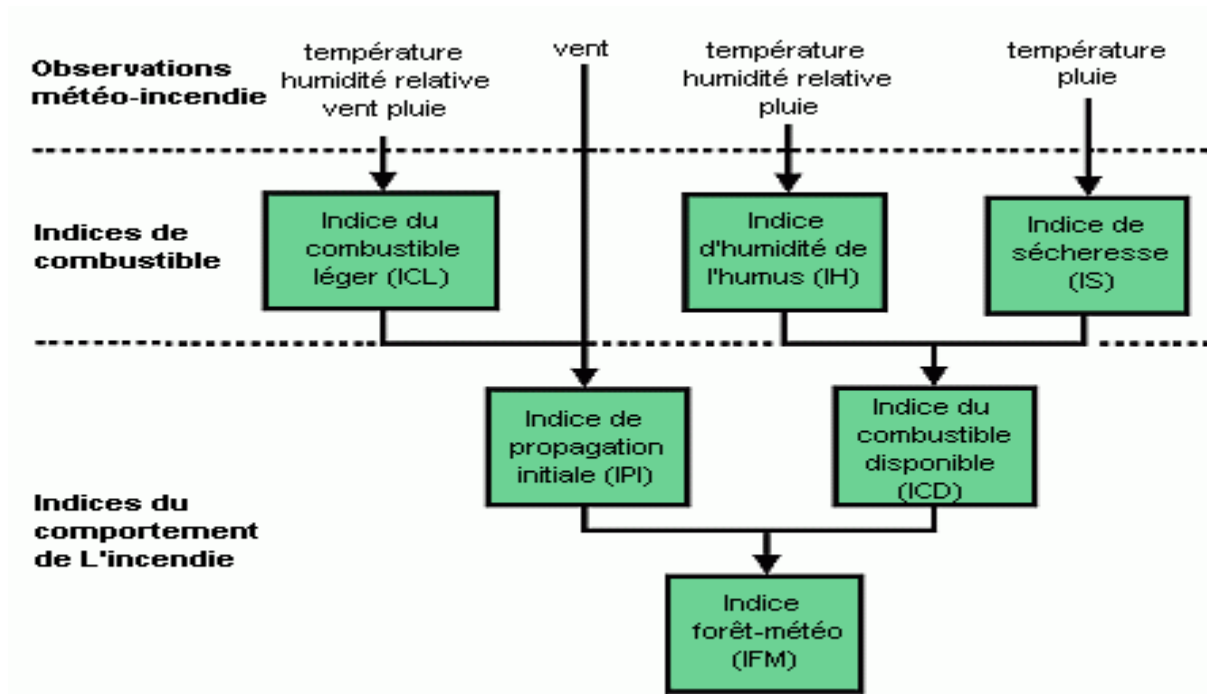


Figure I.24 : structure de la MCEDIF

**I.8.3 Méthode Française =méthode de détermination du risque de feu de forêt grâce au SIG**

L'établissement de la carte de risque incendie fait appel à l'application d'un modèle mis en place par **Duche et Dagorne (1993)** et testés sur les massifs forestiers de la région méditerranéenne.

Afin d'atteindre l'objectif fixé, le modèle appliqué fait intervenir les trois principaux facteurs pour l'évaluation du risque de feu de forêt à savoir : la topomorphologie, le combustible et les activités humaines.

Le modèle en question repose sur la formule suivante :

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

Où :

IR : Indice de risque de feu de forêt

IC : Indice de combustibilité (facteur lié au combustible)

M. Khader, K. Benabdeli, K. Mederbal, Y. Fekir, R. Gueddime et B. Mekouss 18 INDICE

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

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

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

**(Belhadjaissa, 2003).**

**I.8.4 Méthode Espagnole : Système intégré pour la détermination du danger d'incendie de forêt :**

Elle a comme non système intégré pour la détermination du danger d'incendie de forêt réalisé par VELEZ-MUNOZ elle est constituée de 6 incendies.

Quatre incendies partiels et 2 incendies intermédiaire qui combinés donnent l'indice « danger d'incendie de forêt ». la météorologie, le combustible, l'homme constituent le point de départ et

chacun de ces facteurs ; l'auteur affecte un indice de risque qui sont respectivement : l'indice météorologique de danger, l'indice d'inflammabilité et l'indice de causalité ( **Guendoule, 2011**)

### **I.8.5 Méthode : Le modèle d'évaluation temporelle du risque d'incendie – couplage**

**entre une base de données sur les incendies et une base de données météorologiques :**

**Alexandrian (1999)** souligne que les méthodes d'évaluation temporelles du risque (par opposition aux méthodes spatiales) reposent sur les formules de calcul plus ou moins complexes, incluant les paramètres météorologiques de base tels que la pluie, le vent, l'humidité, et la température.

L'indice "Carrega I85/90" a été à la source de l'indice Météo France - DK (DrouetCarrega), utilisé par les pompiers et forestiers des Alpes-Maritimes vers la fin des années 80 (**Carrega et al, 2007**).

La formule de l'indice s'écrit :

$$I85/90 = [500 - (R \cdot 0.5 H / V)] / 25$$

Où

R : la réserve d'eau du sol

H : l'humidité relative

V : la vitesse du vent

## II. Télédétection

### II-1 Définition

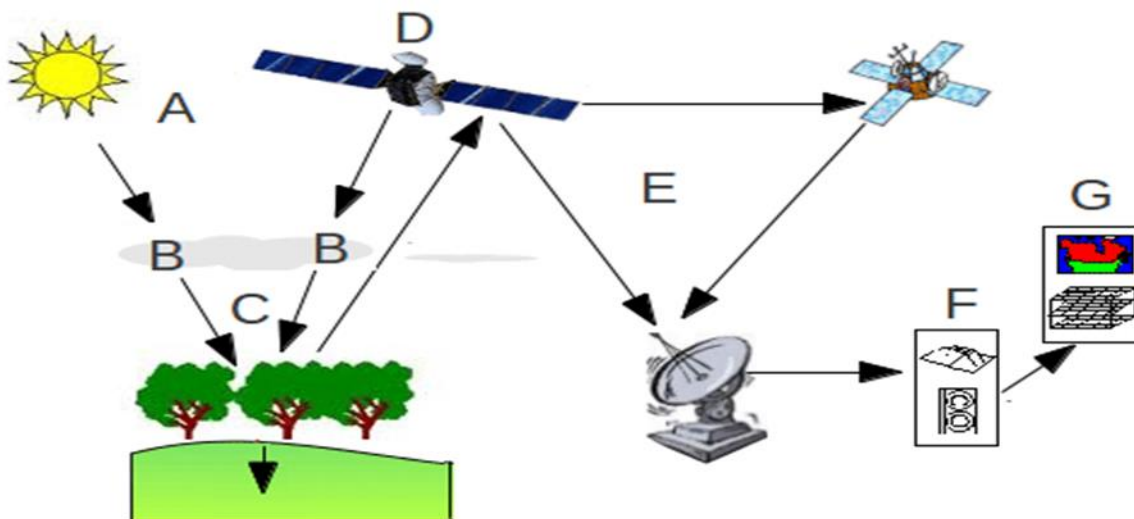
La télédétection est la technique d'observation à distance de la réponse des objets à une excitation extérieure naturelle (soleil) ou artificielle (radar). Autrement dit, La télédétection est une technique d'observation permettant de détecter et d'interpréter à distances les caractères morphologiques, physiques, et /ou spectraux des matériaux. Elle étudie leur propriété de réflexion, absorption ou émission des radiations électromagnétique ; dans le but d'en tirer des informations concernant leurs natures, leurs propriétés, et leurs états.

La télédétection est un système qui peut regrouper un ensemble de paramètres et phénomènes qui interagissent, dont nous pouvons dégager quatre (04) éléments principaux : le rayonnement électromagnétique, la cible, l'environnement de l'objet et le système d'observation.

Site web: <https://gat.univ-batna2.dz/>

### II-2 Processus de télédétection :

Comme c'est décrit dans [Bul 2008], le processus de télédétection comprend généralement sept étapes-clé (cf. figure 2.2) que nous rappelons ci-dessous :



**Figure II.1:** Les sept étapes du processus de télédétection selon [Bul 2008]

(A) source d'énergie ; (B) atmosphère ; (C) cible ; (D) capteur ; (E) transmission, réception et traitement ; (F) interprétation et analyse ; (G) Application

**II-2.1 Source d'énergie ou d'illumination (A) :** À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.

Le plus souvent, voire dans la presque totalité des cas, cette source d'énergie est le soleil. Mais le satellite lui-même peut être source d'énergie : c'est le cas pour le domaine de la télédétection radar.

**II-2.2 Rayonnement et atmosphère (B) :** Durant son parcours « aller » entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet « retour » entre la cible et le capteur.

**II-2.3 Interaction avec la cible (C) :** Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface. Chaque objet géographique émet ou réfléchit un rayonnement dans les diverses fréquences du spectre électromagnétique. Cette caractéristique s'appelle le comportement spectral. En télédétection, on suppose que tout objet ou classe d'objet sur la surface terrestre possède sa propre « empreinte digitale » dans le spectre électromagnétique (la signature spectrale), en fonction de la longueur d'onde du rayonnement qui est réfléchi ou émis par lui-même. Ainsi, une parcelle de canne à sucre aura des signatures différentes en fonction de son stade végétatif et de son niveau de maturation.

**II-2.4 Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) :** Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible mais embarqué à bord d'un satellite ou d'un avion par exemple, pour être enfin enregistrée sous format numérique.

**II-2.5 Transmission, réception et traitement (E) :** Cette information enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception généralement située au sol où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

**II-2.6 Interprétation et analyse (F) :** Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

**II-2.7 Application (G) :** La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, c'est-à-dire la portion d'espace étudiée (une ville, une zone inondée, une forêt, etc.) afin de nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

**II-3 Les domaines d'application de la télédétection :**

La télédétection s'applique à toutes les disciplines qui nécessitent d'appréhender la répartition spatiale d'un phénomène, soit pour déterminer un état à un instant donné, soit pour suivre une évolution plus au moins rapide d'un phénomène (**P .FOIN.1985**).

Le premier grand domaine d'application de la télédétection a été l'étude de l'atmosphère (météorologie et climatologie). L'intérêt de la télédétection dans ce domaine est d'assurer le suivi de l'évolution spatio-temporelle de la couverture nuageuse, mesurer la température, vapeur d'eau et précipitations...

En océanographie, et ressources marines, la télédétection offre l'avantage de permettre une analyse de la couleur de l'océan (estimation de la production biologique, turbidité), et une étude de la dynamique et caractéristiques des mers et océans (températures et altitude de surface, vagues et vents, turbidité des côtes, ..), elle permet également la surveillance des glaciers et des icebergs.

Les applications terrestres de la télédétection sont extrêmement variées. Elles vont de l'agriculture (rendements des cultures, réponses de la végétation à certaines contraintes environnementales, ..), foresterie (Cartographie forestière, estimation de certaines caractéristiques dendrométriques des peuplements forestiers, défoliation et état sanitaire, ...) et hydrologie (spatialisation de l'intensité des pluies, couverture végétale, ...), à l'urbanisme et l'aménagement (cartographie de l'occupation du sol, ...) , Cartographie régulière et thématique, Géologie (reconnaissance de la nature pétrographique des surfaces dépourvues de couverture végétale, suivre la dérive des continents, les anomalies thermiques liées aux zones tectoniques..), prospection minière, géomorphologie et structurale (identification des réseaux de failles et donc la détermination des orientations préférentielles de rupture) et risques naturels (dresser des "cartes des risques" pour certaines régions menacées par les cyclones, séismes, volcans, mouvements de terrains, sécheresse,.. ).

**II-4 Bases physique de la télédétection :**

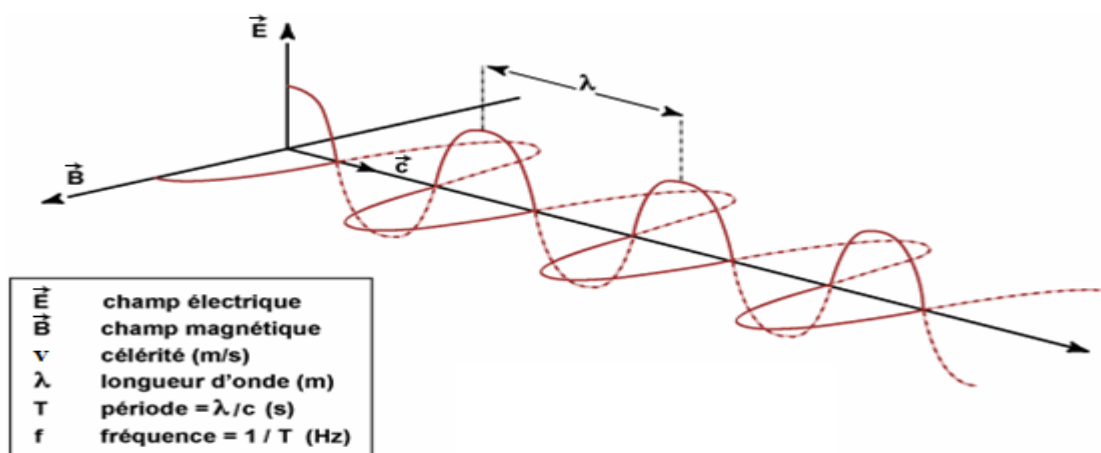
Quel que soit le domaine d'application considéré, une bonne interprétation des documents de télédétection ou une bonne utilisation des données numériques nécessite la compréhension des propriétés du rayonnement électromagnétique et principes physiques sur lesquels sont fondés la technique de télédétection.

### II-4.1 Le rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique est une forme de propagation de l'énergie dans la nature, dont la forme qui nous est la plus familière est la lumière visible telle que la perçoit l'œil humain. Le rayonnement est reconnu par les physiciens comme un phénomène ondulatoire, en relation avec l'électricité et le magnétisme. Ainsi, une onde électromagnétique correspond à la vibration simultanée dans l'espace d'un champ électrique et d'un champ magnétique (figure 2). Elle se caractérise par:

- **Sa période  $T$**  : le temps au bout duquel le champ électrique ou magnétique effectue un cycle
- **Sa fréquence  $\nu$**  : (en Herz, ou dans le cas de la télédétection caractérisée par des fréquences très élevées, les mesures sont kHz, MHz ou GHz) : qui est le nombre d'oscillations par unité de temps .
- **Sa vitesse de propagation dans le vide** : (vitesse de la lumière) de l'ordre de 300 000 km/s.

La physique moderne a montré que le rayonnement électromagnétique pouvait également être considéré comme un déplacement de particules élémentaires appelées photons transportant une quantité d'énergie par entités élémentaires ou quanta d'énergie pouvant être assimilés à des particules appelées photons.



**Figure II.2** : illustration d'une onde électromagnétique monochromatique, plane (F. Bonn and G. Rochon. Précis de télédétection. Volume 1 : Principes et méthodes. Presses Universitaires du Québec, Montréal., 1992.)

### II-4.2 Spectre électromagnétique :

Le spectre électromagnétique représente la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence ou bien encore de leur énergie (figure ci-dessous).

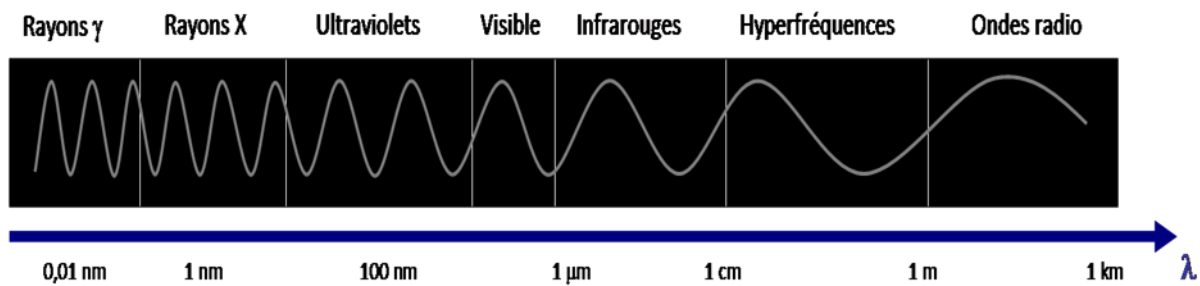


Figure II.3 : Le spectre électromagnétique ( Université paris 1 Uved )

En partant des ondes les plus énergétiques, on distingue successivement :

- **Les rayons gamma ( $\gamma$ )** : ils sont dus aux radiations émises par les éléments radioactifs.

Très énergétiques, ils traversent facilement la matière et sont très dangereux pour les cellules vivantes.

Leurs longueurs d'onde s'étendent d'un centième de milliardième ( $10^{-14}$  m) à un milliardième ( $10^{-12}$  m) de millimètre.
- **Les rayons X** : rayonnements très énergétiques traversant plus ou moins facilement les corps matériels et un peu moins nocifs que les rayons gamma, ils sont utilisés notamment en médecine pour les radiographies, dans l'industrie (contrôle des bagages dans le transport aérien), et dans la recherche pour l'étude de la matière (rayonnement synchrotron).

Les rayons X ont des longueurs d'onde comprises entre un milliardième ( $10^{-12}$  m) et un cent millième ( $10^{-8}$  m) de millimètre.
- **Les ultraviolets** : rayonnements qui restent assez énergétiques, ils sont nocifs pour la peau. Heureusement pour nous, une grande part des ultraviolets est stoppée par l'ozone atmosphérique qui sert de bouclier protecteur des cellules.

Leurs longueurs d'onde s'échelonnent d'un cent millièmètre ( $10^{-8}$  m) à quatre dixièmères de millièmètre ( $4 \cdot 10^{-7}$  m) de millièmètre.

- **Le domaine visible** : correspond à la partie très étroite du spectre électromagnétique perceptible par notre œil. C'est dans le domaine visible que le rayonnement solaire atteint son maximum ( $0,5 \mu\text{m}$ ) et c'est également dans cette portion du spectre que l'on peut distinguer l'ensemble des couleurs de l'arc en ciel, du bleu au rouge. Il s'étend de quatre dixièmères de millièmètre ( $4 \cdot 10^{-7}$  m) - *lumière bleue* - à huit dixièmères de millièmètre ( $8 \cdot 10^{-7}$  m) de millièmètre - *lumière rouge*.
- **L'infrarouge** : rayonnement émis par tous les corps dont la température est supérieure au zéro absolu ( $-273^\circ\text{C}$ ).

En télédétection, on utilise certaines bandes spectrales de l'infrarouge pour mesurer la température des surfaces terrestres et océaniques, ainsi que celle des nuages. La gamme des infrarouges couvre les longueurs d'onde allant de huit dixièmères de millièmètre de millièmètre ( $8 \cdot 10^{-7}$  m) à un millièmètre ( $10^{-3}$  m).

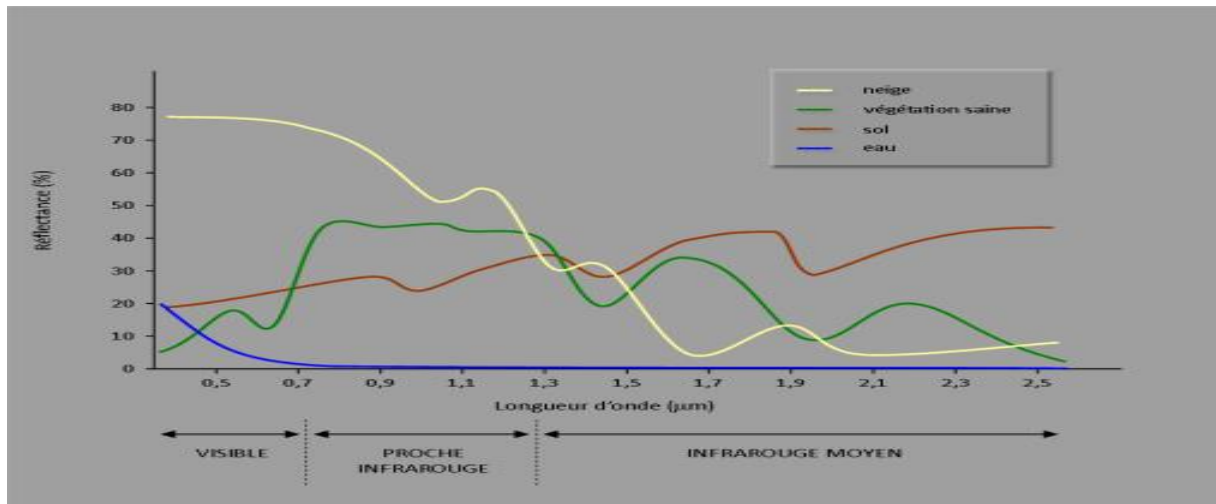
- **Les ondes radar ou hyperfréquences** : Cette région du spectre est utilisée pour mesurer le rayonnement émis par la surface terrestre et s'apparente dans ce cas à la télédétection dans l'infrarouge thermique, mais également par les capteurs actifs comme les systèmes radar.

Un capteur radar émet son propre rayonnement électromagnétique et en analysant le signal rétrodiffusé, il permet de localiser et d'identifier les objets, et de calculer leur vitesse de déplacement s'ils sont en mouvement. Et ceci, quelque soit la couverture nuageuse, de jour comme de nuit.

Le domaine des hyperfréquences s'étend des longueurs d'onde de l'ordre du centimètre jusqu'au mètre.

- **Les ondes radio** : Ce domaine de longueurs d'onde est le plus vaste du spectre électromagnétique et concerne les ondes qui ont les plus basses fréquences. Il s'étend des longueurs d'onde de quelques cm à plusieurs km.

Relativement faciles à émettre et à recevoir, les ondes radio sont utilisées pour la transmission de l'information (radio, télévision et téléphone). La bande FM des postes de radio correspond à des longueurs d'onde de l'ordre du mètre. Celles utilisées pour les téléphones cellulaires sont de l'ordre de 10 cm environ.



**Figure II.4:** Réponse spectrale des surfaces naturelles ( université Paris 1 Uved )

Contrairement à l'œil humain qui n'est capable de capter le rayonnement que dans une fenêtre très étroite du spectre électromagnétique, celle correspondant au domaine du visible (longueurs d'onde comprises entre  $0,4\mu\text{m}$  et  $0,7\mu\text{m}$ ), les capteurs satellitaires utilisent une fraction beaucoup plus étendue du spectre.

**Trois fenêtres spectrales sont principalement utilisées en télédétection spatiale :**

- Le domaine du visible
- Le domaine des infrarouges (proche IR, IR moyen et IR thermique)
- Le domaine des micro ondes ou hyperfréquences (pas abordé ici, même si elles ont une importance considérable en télédétection RADAR notamment)

**II-5 Réponses spectrales des objets de surface :**

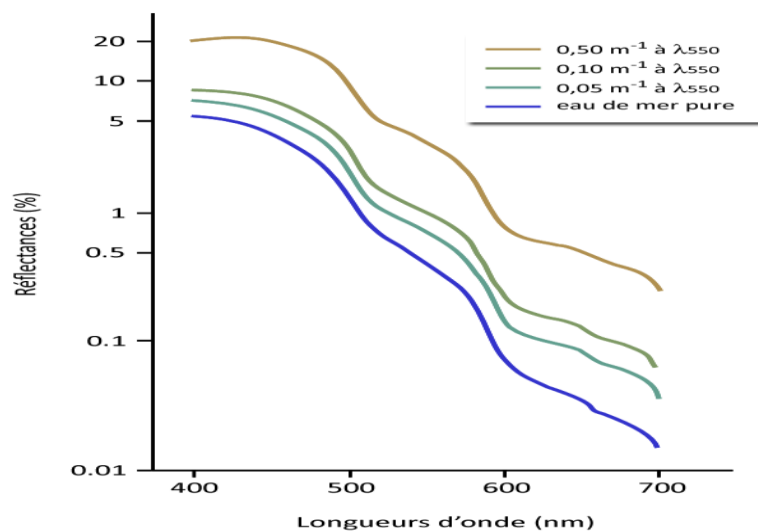
En fonction de la nature et des caractéristiques intrinsèques des objets et des surfaces, le rayonnement incident interagira avec la cible selon l'une ou l'autre des propriétés citées précédemment, ou de manière générale selon une combinaison de ces propriétés. Chaque surface possède ainsi une signature spectrale - quantité d'énergie émise ou réfléchie en fonction de la longueur d'onde - qui lui est propre et qui permettra son identification sur les images satellitaires. La figure ci-dessous présente la signature spectrale des principales surfaces naturelles.

En ce qui concerne la signature spectrale des sols, on note un accroissement régulier de la réflectance au fur et à mesure qu'on se déplace vers les grandes longueurs d'onde. Les

discontinuités que l'on observe dans le proche infrarouge et l'infrarouge moyen sont dues aux bandes d'absorption de l'eau. L'étude des propriétés spectrales des sols est toutefois particulièrement complexe car elle doit tenir compte de la nature hétérogène du sol qui contient à la fois des matières minérales et organiques, mais aussi une composante liquide ; tous ces éléments vont influencer la réflexion du rayonnement.

L'eau a une réflectance très faible dans toutes les longueurs d'onde, elle absorbe cependant un peu moins les ondes les plus courtes, d'où sa couleur bleue. Sa signature spectrale dépend à la fois des molécules qui la constituent, mais aussi des éléments dissous ou en suspension dans la colonne d'eau, comme les organismes phytoplanctoniques, les sédiments ou les substances jaunes. Lorsque la couche de surface contient de fortes concentrations en phytoplancton, on observe une augmentation de la réflectance dans les longueurs d'onde du vert et l'eau nous paraît par conséquent plus verte (figure A). Plus l'eau est turbide, plus sa réflectance augmente dans toutes les longueurs d'onde et notamment pour les ondes les plus longues – rouge.

La signature spectrale de la neige est très forte dans les courtes longueurs d'onde, mais elle diminue rapidement dans le proche infrarouge, pour atteindre des valeurs très faibles dans l'infrarouge moyen où le rayonnement est absorbé par l'eau.



**Figure II.5 :** Réflectance De L'eau De Mer Pour Diverses Valeurs Du Coefficient D'atténuation À 550 Nm (D'après Thomas, 1978)

**II-6 Classification d'image :**

Les méthodes de classification les plus communes peuvent être séparées en deux grandes catégories :

**II-6.1 Classification non supervisée :**

La classification non supervisée procède de la façon contraire. Les classes spectrales sont formées en premier, basées sur l'information numérique des données seulement. Ces classes sont ensuite associées, par un analyste, à des classes d'information utile (si possible). Des programmes appelés algorithmes de classification sont utilisés pour déterminer les groupes statistiques naturels ou les structures des données. Habituellement, l'analyste spécifie le nombre de groupes ou classes qui seront formés avec les données. De plus, l'analyste peut spécifier certains paramètres relatifs à la distance entre les classes et la variance à l'intérieur même d'une classe. Le résultat final de ce processus de classification itératif peut créer des classes que l'analyste voudra combiner, ou des classes qui devraient être séparées de nouveau. Chacune de ces étapes nécessite une nouvelle application de l'algorithme. L'intervention humaine n'est donc pas totalement exempte de la classification non supervisée. Cependant, cette méthode ne commence pas avec un ensemble prédéterminé de classes comme pour la classification supervisée.

**II-6.2 Classification supervisée :**

Lors de l'utilisation d'une méthode de classification supervisée, l'analyste identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Ces échantillons forment un ensemble de données-tests. La sélection de ces données-tests est basée sur les connaissances de l'analyste, sa familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans l'image. L'analyste supervise donc la classification d'un ensemble spécifique de classes. Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de ces ensembles sont utilisées pour que l'ordinateur puisse définir les classes et ensuite reconnaître des régions aux propriétés similaires à chaque classe. L'ordinateur utilise un programme spécial ou algorithme afin de déterminer la "signature" numérique de chacune des classes. Plusieurs algorithmes différents sont possibles. Une fois que l'ordinateur a établi la signature spectrale de chaque classe à la classe avec laquelle il a le plus d'affinités. Une classification supervisée commence donc par

l'identification des classes d'information qui sont ensuite utilisées pour définir les classes spectrales qui les représentent.

### II-7. Courbes de réflectance spectrale de la végétation :

La végétation a une signature spectrale unique, mais les différents types de végétation diffèrent dans leur réflectance. Les plantes qui sont stressées ou malades peuvent également être identifiées par leur signature spectrale distincte. Les pigments des feuilles, la structure cellulaire et la teneur en eau ont tous un impact sur la réflectance spectrale de la végétation. Par exemple, les arbres à feuilles caduques ont une réflectance plus élevée dans le proche infrarouge que les conifères.

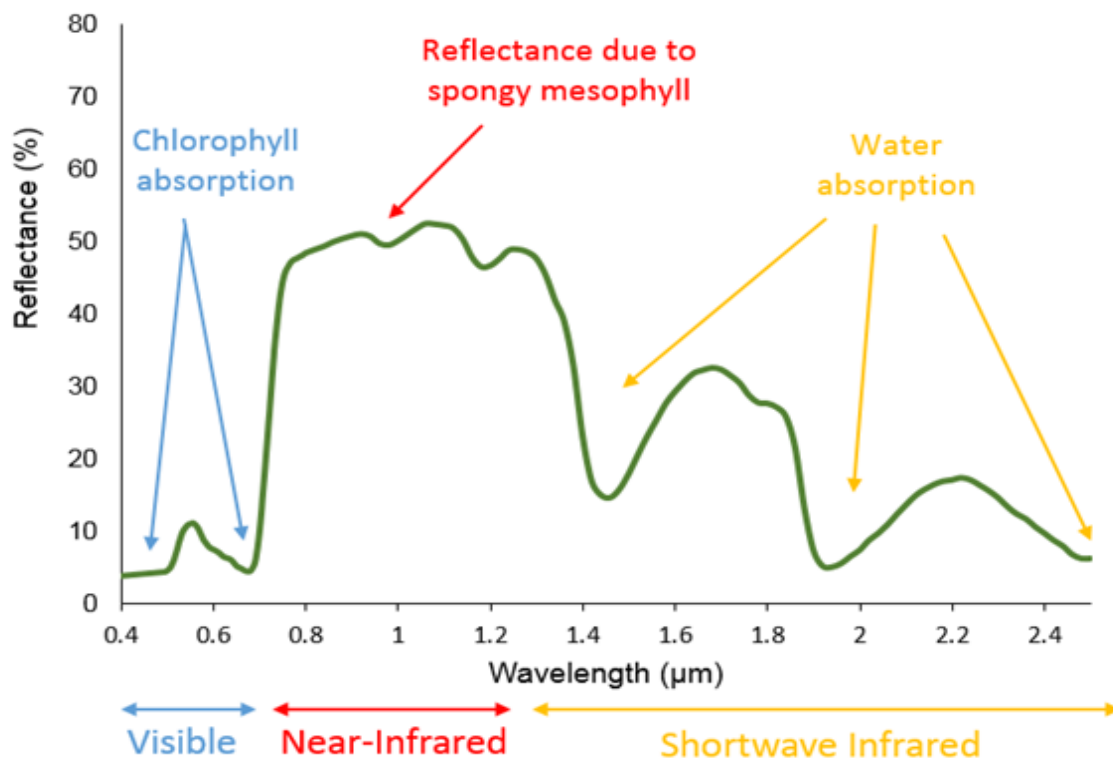


Figure II.7: Courbes de réflectance spectrale de la végétation

- **Visible :**

Dans les bandes visibles, la réflectance est relativement faible car la majorité de la lumière est absorbée par les pigments des feuilles. La chlorophylle absorbe fortement l'énergie dans les longueurs d'onde bleues et rouges et réfléchit davantage les longueurs d'onde vertes. C'est pourquoi une végétation saine apparaît en vert.

- **Infrarouge :**

Pour une végétation saine, la réflectance est beaucoup plus élevée dans le proche infrarouge (NIR) que dans le visible en raison de la structure cellulaire des feuilles, en particulier le mésophylle spongieux. Par conséquent, une végétation saine peut être facilement identifiée grâce à la réflectance élevée dans le proche infrarouge et à la réflectance généralement faible dans le visible.

- **Infrarouge à ondes courtes :**

La réflectance dans les longueurs d'onde infrarouge à ondes courtes est liée à la teneur en eau de la végétation et à sa structure. L'eau a de fortes bandes d'absorption autour de 1,45, 1,95 et 2,50  $\mu\text{m}$ . En dehors de ces bandes d'absorption dans la région SWIR, la réflectance des feuilles augmente généralement lorsque la teneur en eau de la feuille diminue.

### **II-8 Sévérité des incendies :**

De la nécessité de fournir une description de la façon dont l'intensité du feu affecte les écosystèmes forestiers est né le concept de la sévérité du feu. Ce concept intègre les modifications des propriétés physiques, chimiques et biologiques d'un site donné comme résultats de l'action du feu (**Keeley, 2009**). Les études empiriques qui ont tenté de mesurer la sévérité du feu se sont basées sur la perte et la décomposition de la matière organique, tant aérienne que souterraine. Le biovolume consommé au niveau des couronnes des arbres, les diamètres des rameaux restant sur les branches terminales et la mortalité des arbres sont retenus comme indicateurs de perte de biomasse aérienne (**van Wagner, 1973 ; Moreno & Oechel, 1989 ; Tolhurst, 1995 ; Dickinson & Johnson, 2001**). En ce qui concerne la partie souterraine, la perte de la litière et des couches d'humus et les caractéristiques des cendres reflètent, à divers degrés, le niveau de destruction de la matière organique (**Wells et al., 1979 ; Stronach & McNaughton, 1989 ; Neary et al., 1999 ; Ice et al., 2004**).

Les surfaces forestières brûlées n'auront pas forcément le même degré d'altération ou de gravité, ceci est attribuable à l'hétérogénéité des facteurs de milieu (topographie, végétation, météorologie). Les changements physiques évidents induits par le feu sont détectables à l'aide des images satellites ; en effet plusieurs informations utiles peuvent en être extraites comme le taux de reprise de la végétation et les différentes classes de sévérité.

**Tableau II.1** :Classe de sévérité en fonction des valeurs de d'NBR(Firemon,2004)

*Classe de sévérité en fonction des valeurs de dNBR (Firemon, 2004)*

Classe de sévérité	Valeurs de dNBR
Faible	[100 - 269]
Moyenne	[270 - 659]
Elevée	[660 - 1300]

- **Tableau :**

Les indices de végétation se basant sur les données satellitaires multispectrales sont la technique la plus utilisée dans la détection de changement multi-date et l'évaluation de la sévérité du feu (**Breweret al., 2005**). L'exploration des manifestations écologiques, avant et après le feu a révélé que le passage du feu entraîne un rehaussement de la réflectance dans le moyen infrarouge, c'est pourquoi cette partie du spectre électromagnétique s'est avérée très adéquate pour la cartographie de la sévérité des incendies.

Récemment, l'indice de brûlage normalisé (NBR) a gagné plus de considération, surtout aux états-Unis d'Amérique (USA), pour détecter les différentes classes de sévérité du feu (**Firemon, 2004 ; Key& Benson, 2005**).

Le NBR est formulé comme l'indice de végétation de différence normalisée (NDVI), sauf que la bande 7 du capteur Landsat TM (moyen-infrarouge) est utilisée à la place de la bande rouge.

**III. Présentation de la forêt de Tagdempt****III.1 Situation de la forêt de Tagdempt****III.1.1-Situation géographique**

La forêt domaniale de Tagdempt fait partie de la forêt domaniale de Tiaret. Elle est située dans la zone Nord Ouest de la wilaya de Tiaret. Cette forêt s'étend sur une superficie de 4893 ha, elle est organisée en 09 cantons (Tableau), et chevauche le territoire de trois communes « Tiaret, Guertoufa et Tagdempt » (Figure)

Elle est limitée :

- Au Nord par la forêt sectionnale de Guertoufa et la commune de Guertoufa ;
- Au Nord-ouest par la forêt domaniale de l'Azouania ;
- À l'Ouest par Djebel Mimounia ;
- À l'Est par la commune de Tiaret ;
- Au Sud par la commune de Tagdempt.

**III-1.2 Situation administrative**

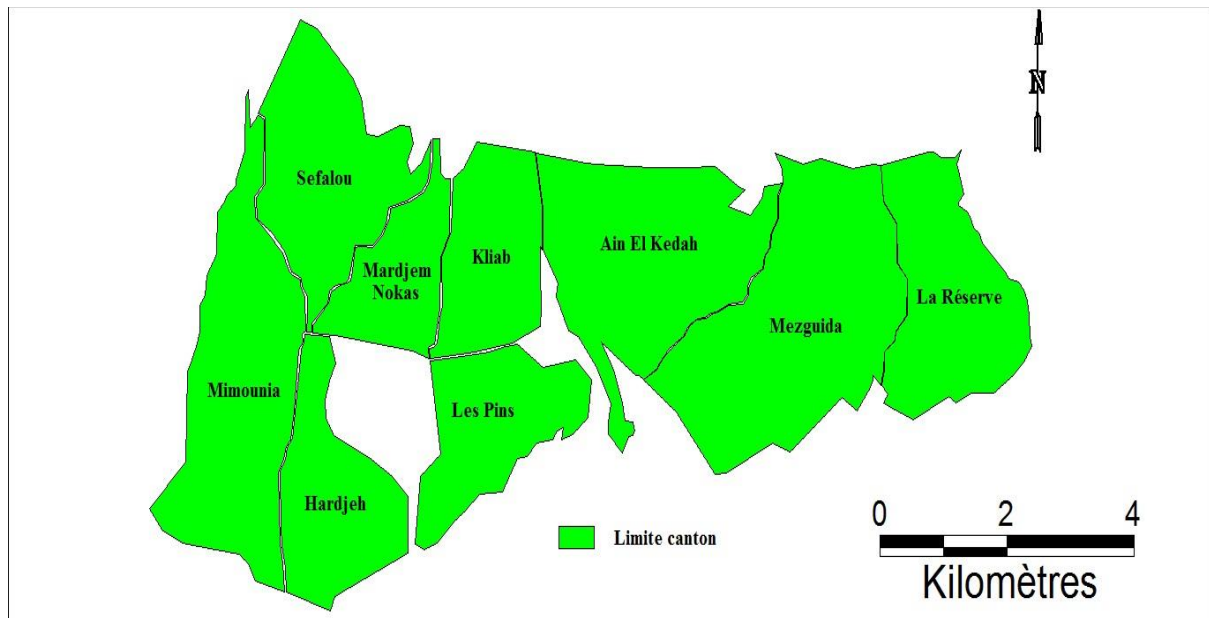
La forêt de Tagdempt, dépend de la Wilaya de Tiaret, elle s'étend sur les trois commune (Tiaret, Guertoufa et Tagdempt).

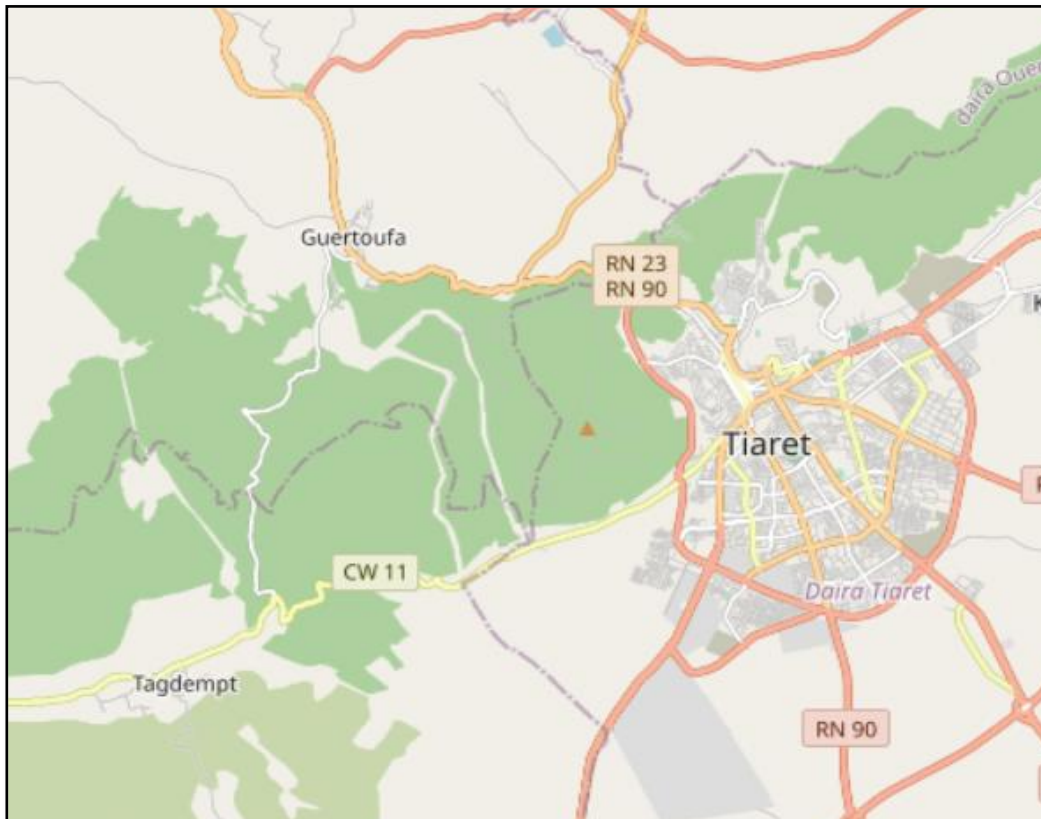
**III-1.3 Situation forestière**

Elle dépend de la conservation des forêts de la Willaya de Tiaret - Circonscription de Tiaret - District de Tiaret.

**Tableau III.1** : La forêt domaniale de Tagdempt par canton (C.F.T, 2011)

Forêt	Commune	Canton	Superficie « ha »
FD Tagdempt	Tiaret	La Réserve	558
	Tagdempt	Les Pins	426
		Mimounia	687
		Mesguida	1003
		Ain kéda	643
	Guertofa	Hardjah	386
		Kliab	473
		Safalou	532
		Mardjem nokas	189

**Figure III.1:** Localisation de la zone analysée à partir de l'image satellitaire Alsat-1B du 28 juillet 2020



**Figure III.2 :** Carte cantonale de la forêt domaniale de Tagdempt

**Source :** (C.F.T, 2011)

## III.2 Description du milieu physique

### III.2.1 Etude climatologique de la zone d'étude

Pour identifier le climat de la zone d'étude, nous sommes référés aux données climatiques fournies par l'ONM (station météorologique de Tiaret) et l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques).

#### III.2.1.a-récapitulation

Les séries de données pluviométriques relatives à la période 1994 jusqu'à 2009 enregistrées à la station météorologique de AIN BOUCHAKIF nous ont permis de pouvoir affirmer que la tranche pluviométrique de la région considérée fortement faible et mal répartie dans le temps et dans l'espace (Figure).

En fonction de la lecture de la figure la hauteur de pluviosité annuelle durant une période de 16 ans d'observation se caractérise par une irrégularité : 163,2 mm pendant l'année 1995 et 508,5 mm pour l'année 2009.

La moyenne des précipitations annuelles est égale à 284,6 mm.

Les mois les plus pluvieux de l'année sont les mois de janvier, février, mars, avril, mai, septembre octobre; novembre et décembre, avec une moyenne de 33,9 mm pour les mois de septembre octobre décembre. Tandis que les mois de juin, juillet et août représentent les mois de faible pluviométrie.

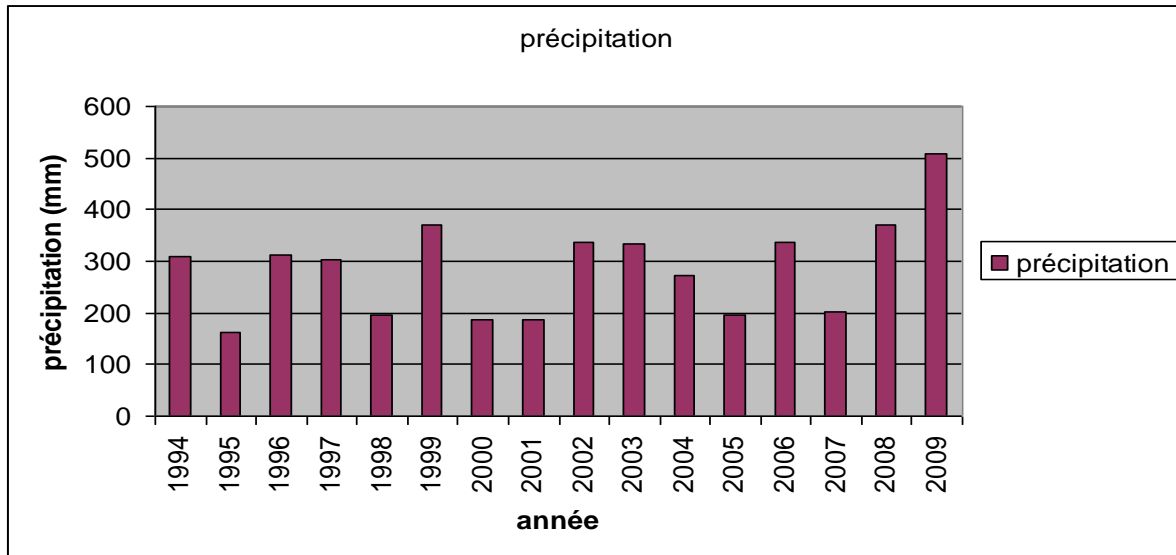


Figure III.3 :Précipitation annuelle moyenne entre (1994-2009) de la Wilaya de Tiaret

Source :(ONM)

III.2.1.b Température

L'amplitude maximale des variations des températures mensuelles moyennes (période allant de 1987 à 2010) a été enregistrée entre les mois de Janvier et Juillet (Figure n° 0).

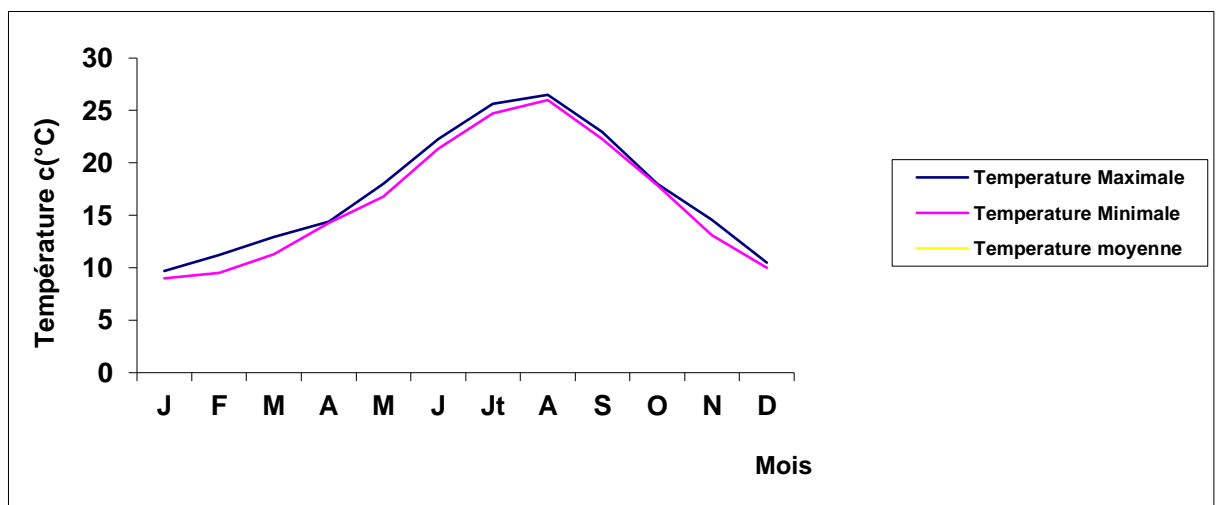


Figure III.4 :Evolution mensuelle de la température

Source :(ONM)

D'après la figure nous constatons que les températures moyennes atteignent les basses valeurs en décembre, février et surtout en janvier, et elle atteint les valeurs les plus élevées en juin, juillet et août.

### III.2.1.c Autres facteurs climatiques

#### III.2.1.c.1 Humidité

La moyenne annuelle de l'humidité relative est de 61.9%, elle atteint son minimum en mois de juillet (inférieur à 25%). Tendit que Son maximum est enregistré durant le mois de Décembre et de Janvier avec une moyenne supérieur à 70%. La période de Mars à Avril reste la plus influente avec une moyenne de 67% par mois (Annexe 02).

#### III.2.1.c.2 Gelée

Les gelées blanches caractérisèrent les hauts plateaux en moyenne 37 jours par année. Un maximum est enregistré en mois de Janvier (supérieur 10 jours) et un minimum durant les mois de Mars et Avril avec une moyenne de 4 jours par mois (Tableau III.2).

**Tableau III.2** :Nombre de jours de gelée dans la commune de Tiaret (2007)( ONM)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	Année
Nombre de jours de gelée	11	9	5	3	0	0	0	0	0	0	2	7	37

#### III.2.1.c.3 Vent

Le vent possède un régime de déplacement variable en fonction de l'altitude, la pression atmosphérique et les saisons.

La vitesse des vents est généralement stable pendant toute l'année, elle varie entre (3,7 – 5,3) m/s (Tableau III.3).

**Tableau III.3** :la vitesse moyenne des vent dans la Willaya de Tiaret en (2007)(ONM)

Mois	juill	aout	sept	oct	nov	dec	Jan	fev	Mar	Avr	Mai
Vitesse moyenne des vents (m/s)	3,8	3,7	3,9	4,1	4,3	4,6	4,9	5,2	5,3	5	4,1

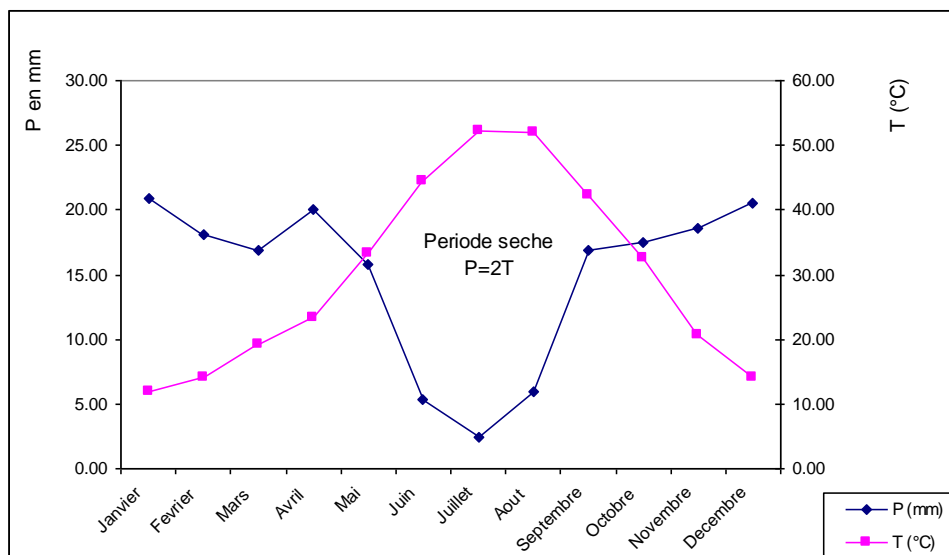
A partir du tableau, les mois les plus courants des vents sont janvier, février et mars. La vitesse moyenne annuelle est de 4,42 m/s.

### III.2.2 Synthèse bioclimatique

#### III.2.2.a Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Le diagramme ombrothermique de **Bagnouls** et **Gausсен** permet d'avoir une idée sur les périodes sèches et humides d'une région donnée. Un mois est sec lorsque sa pluviométrie totale en mm égale ou inférieure au double de sa température moyenne en °C.

Selon le diagramme ombrothermique (Figure III.5) la période sèche s'étale sur 5 mois qui va de mi-mai jusqu'à mi-octobre et la période humide du mois de novembre jusqu'à avril.



**Figure III.5** :Diagramme ombrothermique : station de Tiaret (1985-2010)

**Source** : CDF, Tiaret

**III.2.2.b Quotient pluviométrique d'EMBERGER**

Ce quotient d'EMBERGER a été mis en place spécialement pour déterminer les types de climats méditerranéens, il est calculé par la formule suivante :

$$Q_2 = 2000 * P / M^2 - m^2$$

$Q_2$  : quotient pluviométrique ;

P : précipitation annuelle en (mm) ;

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud ;

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid.

**Tableau III.4 :** Quotient pluviométrique d'EMBERGER pour la zone d'étude.

<b>Période</b>	<b>Tiaret (1987-2009)</b>
P (mm)	336,525
M (°C)	39,64
m (°C)	-4,08
$Q_2$	35,09

D'après le climagramme d'EMBERGER (Figure III.6), la zone d'étude est soumise à l'étage bioclimatique semi-aride à Hivers frais.

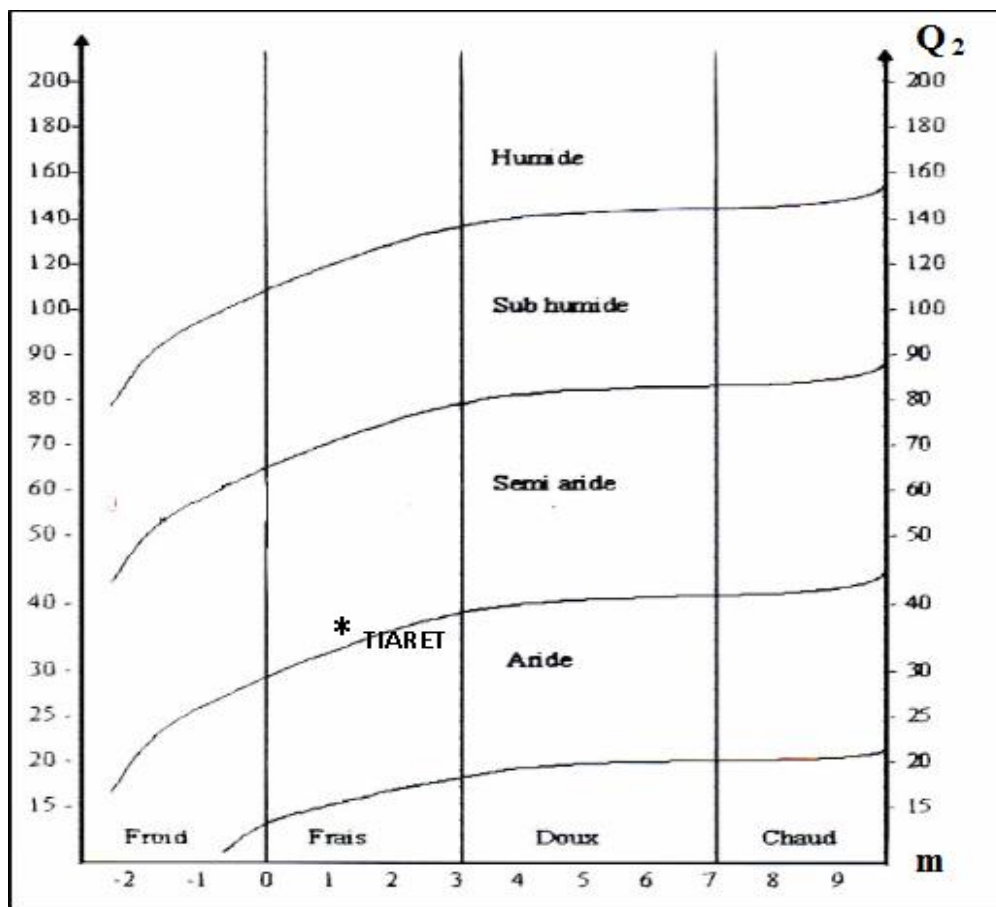


Figure III.6 : Situation de la zone d'étude dans le climagramme d'EMBERGER

Source : CDF, Tiaret

### III.2.3 Relief et hydrographie

Le relief est montagneux, accidenté du Nord vers le Sud avec des pentes de 10 à 25 %.

Les principaux oueds sont : Oued Mesguida, Oued Sefalou,

Les principaux points d'eau : Ain El Kedah et Ain Mezguida.

### III.2.4 Pédologie

Le sol est silicio-calcaires moyennement profonds et sableux dans les hauteurs sur environ 130ha, argileux sur 80ha et siliceux sur tout le reste dans la forêt de Tagdempt. On le qualifie de frais et de bonne qualité dans les profondeurs. (C.F.T, 2006).

### III.2.5 Géomorphologie

Le relief de la forêt de Tagdempt est accidenté, avec une altitude qui varie entre 850-1224 m. La rocaille représenté par des falaises et constitue environ 30% de recouvrement.

### III.2.6 Végétation

Les principales essences forestières recensées au niveau de la forêt de Tagdempt sont *Pinus halepensis*, *Juniperus oxycedrus*, *Quercus suber*, *Quercus coccifera*, de *Quercus ilex*, *Cupressus sempervirens*..

De plus d'autres espèces relevant de la couverture forestière y sont enregistrées : *Calycotome spinosa*, *Phylaria media*, *Artemisia herba-alba*, *Ampelodesma mauritanica*, *Chamaerops humilis*.

### III.2.7 Faune

On peut citer quelque mammifères et oiseaux rencontrés dans cette station comme le chacal doré (*Canis aureus*), le renard famélique (*Vulpes ruppelli*), le sanglier (*Sus scrofa*), le lièvre brun (*Lepus capensis*), le héron gard-bœuf (*Bubulcus ibis*), le faucon crécerelle (*Falco* sp.). cite *Passer domesticus*, *Carduelis carduelis* et *Carduelis chloris*(C.F.T, 2006).

## III.3 Milieu socio – économique

L'étude socio-économique à pour objet de déterminer les influences sur la forêt et d'établir le rapport homme- milieu forestier. Il est important de dégager surtout dans la composante rurale le rapport qu'entretien la population avec la forêt pacage, coupe illicite, défrichage...).

### III.3.1 population

La forêt est située sur le territoire de la commune à savoir Tagdempt, Guertoufa et Tiaret. Toutefois la population riveraine de la forêt est celle de la commune de Tagdempt. La population qui vit dans cette commune est principalement dans les douars aux alentours des massifs forestiers, est très importante; on cite le village de Tagdempt. Cette population exerce une pression intense sur le couvert végétal tel que, les coupes, les labours illicites et le pacage.

**III.3.2 Les stations et les peuplements de la forêt domaniale de Tagdempt**

Selon la méthodologie adoptée dans le chapitre précédent nous avons établie deux cartes; La carte des stations (Figure n° et la carte des peuplements (Figure ).

L'identification de ces cartes a permis de dégager les caractéristiques suivantes :

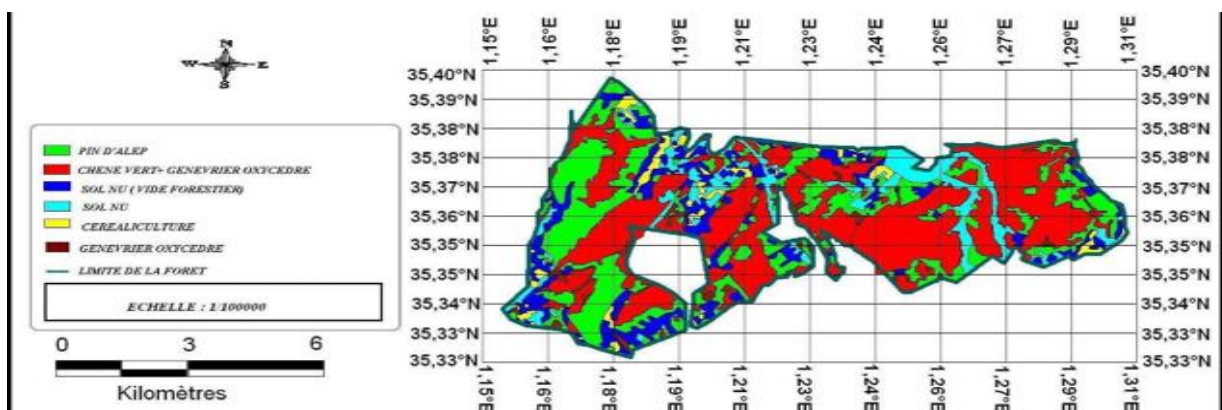
**III.3.3 Canton Mesguida**

Pour ce canton, on note la présence du pin d'Alep qui est l'essence la plus dominante, néanmoins celui-ci se trouve dans deux états distincts, dans la partie nord du canton celui-ci se trouve à l'état de futaie irrégulière, de ce fait à l'état naturel, tandis que dans la partie sud du canton, le pin d'Alep est issu d'un ancien reboisement (de 1971). Celui-ci se trouve en effet bien développé formant un peuplement régulier. Il faut signaler aussi la présence du pin pignon au niveau de la partie nord du canton de Mesguida sous forme de sujets éparpillés.

**III.3.4 Canton de la Réserve**

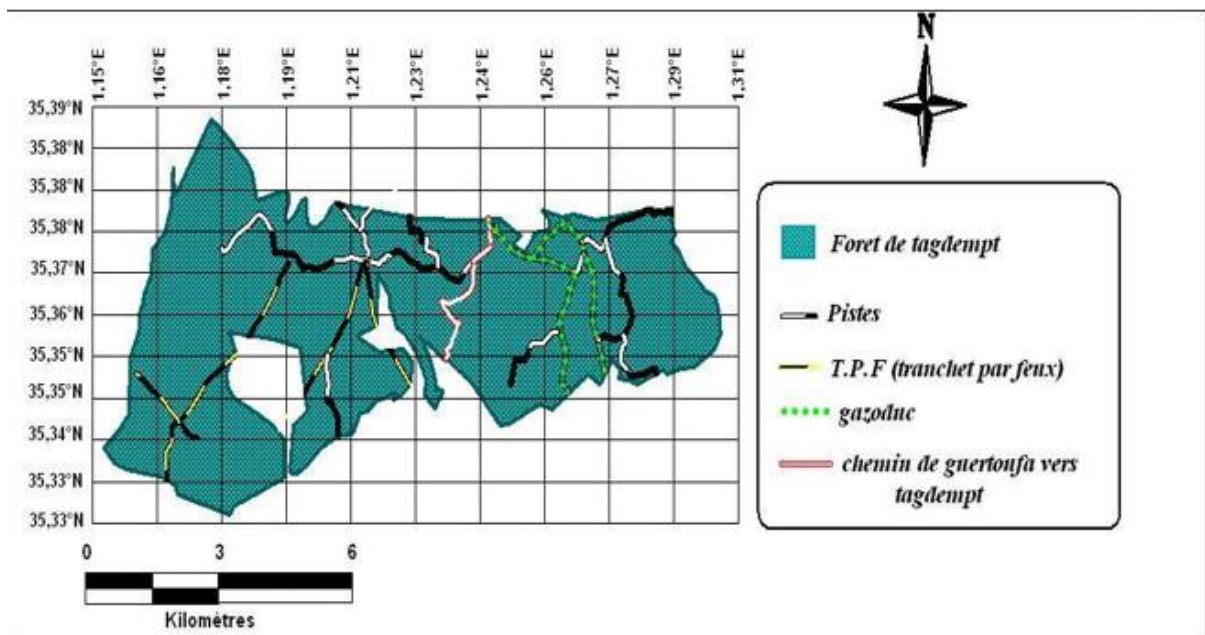
Ce canton est caractérisé par l'association du pin d'Alep et le chêne vert avec toutefois une dominance du pin d'Alep qui est bien développé à l'état naturel, contrairement au chêne vert qui présente des signes de mauvaise croissance.

Pour ce qui est de la strate arbustive, on y trouve de l'alfa, ce qui est en soit un signe de dégradation de cette partie de la forêt. L'asphodèle bien qu'il soit moins important il reste toutefois présent au niveau de l'ensemble du canton. Par ailleurs on notera que le canton de la réserve est celui qui représente une importante superficie exploitée par les clairières et aussi sous formes de concession pour l'arboriculture et l'oléo culture par la population riveraine.



**Figure III.7 :** La carte des infrastructures forestière de la forêt domaniales de Tagdempt

Source : Kouadria sidahmed, 2021



**Figure III .8 :** La carte des stations dans la forêt domaniale de Tagdempt

**Source :** Kouadria sidahmed, 2021

**IV. Matériels et méthodes :**

**IV.1. Objectif de l'étude :**

L'intention et le but de ce travail est l'étude de la dynamique des surfaces forestières affectée par les incendies dans La forêt de « Tagdemt » la wilaya de Tiaret , à l'aide du système d'information géographique et la télédétection, dans le but de de pouvoir les cartographier au cours du temps.

**IV.2. Matériel utilisé :**

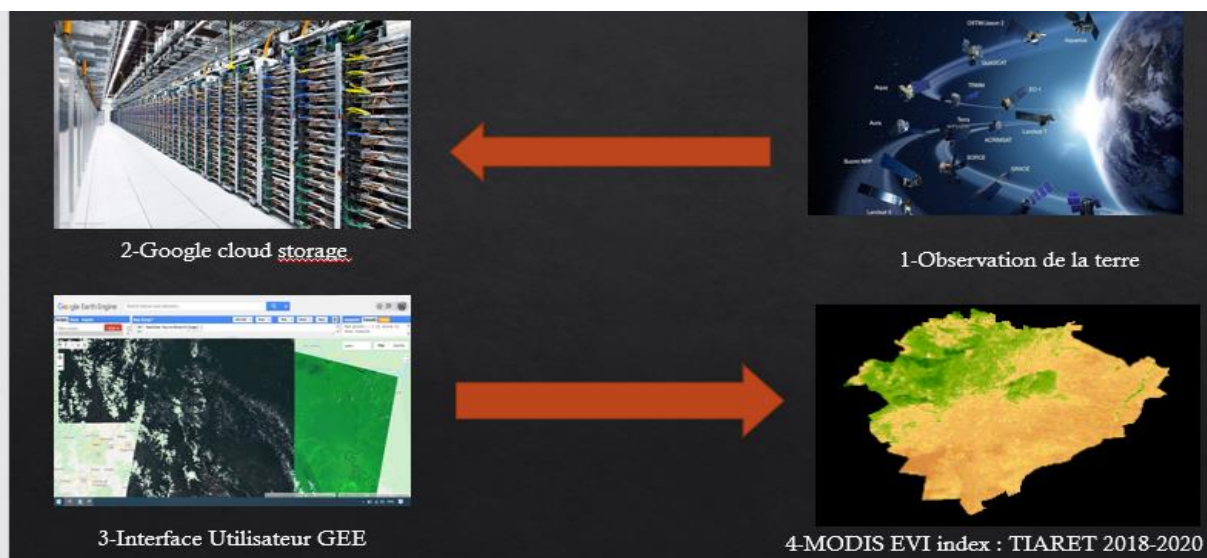
**IV.2.1 Logiciels**

**IV.2.1.1 Google Earth Engine :**

Google earth engine est une plate-forme en ligne destinée à la communauté scientifique et professionnels, elle permet l'accès à grande échelle de données géospatiales ( visualisation , analyse ).

- Une quantité importante de données ( imageries satellitaires et autres ) :  
50 pétaoctets de données d'observation de la terre traitant différentes thématiques ( climat, hydrologie , foresterie , agriculture.....etc.
- Une innovation dans le domaine des géosciences : cloud computing.,

( visualisation / analyse / traitement en ligne avec possibilité d'enregistrement des résultats sous n'importe quelle service " espace de stockage de données en ligne " )



**Figure IV.1 :**

- Google Earth engine se positionne aujourd'hui comme étant une innovation d'avenir en terme de télédétection et géosciences :
- Libre accès à une grande quantité de données.
- Aucune nécessité de téléchargement.
- Aucune configuration nécessaire ou requise du matériel informatique à utiliser.
- Possibilité d'injecter des données (vecteur / raster / csv ..... etc.).
- Temps de calcul réduit, grande quantité d'informations traitées simultanément.
- Nouveaux algorithmes de traitement numérique des images (Machine Learning , deep Learning).
- Aisance d'utilisation, création d'application et intégration webmap.

#### IV.2.1.2. ArcGIS :

- ArcGIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des smartphones et d'ordinateurs de bureau.
- **Excel 2016:**
- Permet de créer facilement des tableaux de toutes sortes, et d'y intégrer des calculs. Les valeurs du tableau se mettront donc à jour automatiquement en fonction de vos saisies et calculs. Les comptables l'utilisent beaucoup
- **2.2. Outils de prospection:**
- **GPS :** afin de déterminer la position tridimensionnelle (altitude, latitude et longitude) d'une façon continue et instantanée .
- **Appareil photo :** Pour prendre des photos de la zone sur place

**IV.3. Collecte et traitement des données :****IV.3.1. Collecte des informations sur les incendies :**

Les données qui présente la zone d'étude sont des données fournis par la conservation des forêts de la Wilaya de Tiaret sous forme de fichiers de word , excel et certaines sous forme de papiers qui sont des bilans mensuelles ou annuelles , quelques démonstration de la zone et l'étude des incendies de forêt au niveau de la forêt durant l'année (2020) pour déterminer les superficies brûlées durant cette période.

L'étude se fonder sur l'analyse les superficies brulées pour pouvoir conclure si la forêt a perdu ou gagné des surfaces forestières.

**IV.3.2. Donnée de terrain :**

On a dû limiter le nombre de sorties a une seule en raison des circonstances actuelles particulières au mois de Mars 2021 nous avons pris la direction de la foret de Tiaret Tagdemt afin de collecter les informations nécessaires à l'élaboration de notre étude en prenant le maximum de photos des lieux ( forêt ) et en précisant ses données GPS .

Dans notre approche le suivi spatio-temporel de la surface forestière à l'aide d'imageries satellitaires est d'une importance capitale pour un inventaire de ce couvert végétal, ainsi que sa variation spatiale et interannuelle.

**Cartographie des zones brûlées via GEE :**

Dans cette étude, la carte annuelle de la zone brûlée a été définie comme l'étendue spatiale des incendies survenus au cours d'une année entière et non d'incendies survenus les années précédentes. Par conséquent, une résolution globale de 30 m

La cartographie annuelle des zones brûlées nécessaire pour utiliser des images Landsat de séries chronologiques denses et élaboration d'un pipeline.

Les ensembles de données sur la gravité des incendies basés sur Landsat sont une ressource inestimable pour la surveillance et la recherche fins. Ces ensembles de données quadrillées sur la gravité des incendies sont généralement produits avant et après les incendies.

La cartographie annuelle des zones brûlées via GEE est décrite à la figure ci dessus.

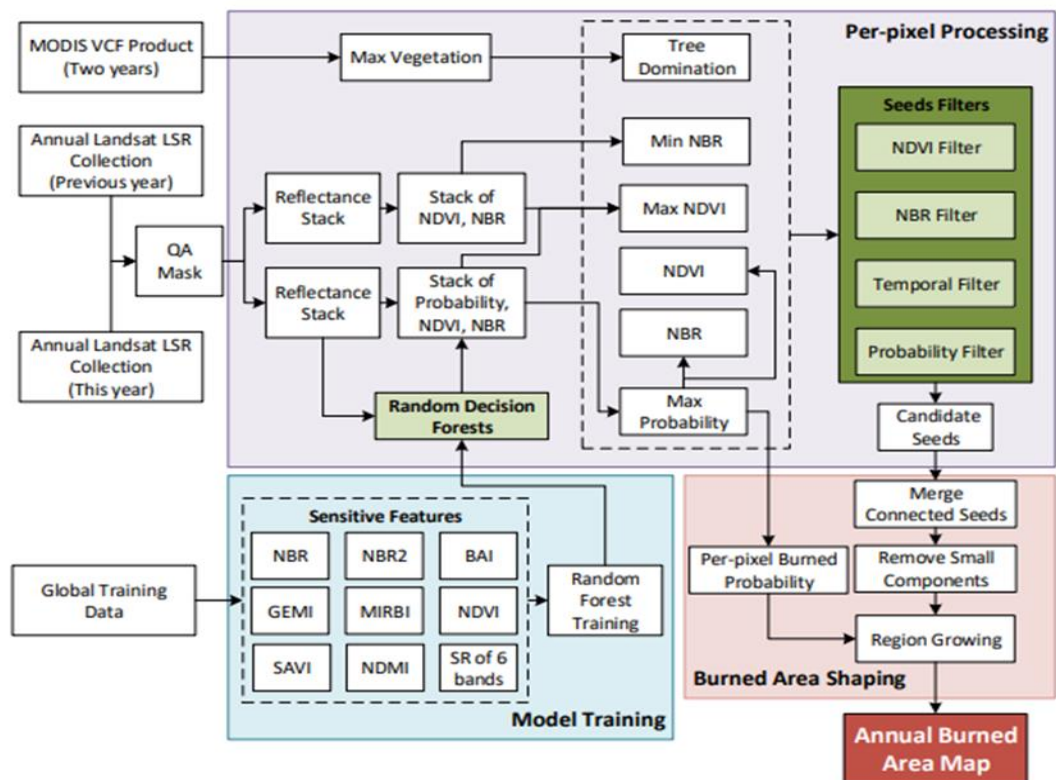


Figure IV.2 : description de La cartographie annuelle des zones brûlées via GEE

Comme le montre la figure n°, le pipeline se compose principalement de trois étapes, formation du modèle, par pixel traitement, et mise en forme de la zone brûlée, et ce qui suit fournit plus de détails sur chaque étape.

### Indice spectral

Différence normalisée Indice de végétation (NDVI) :

Le NDVI est un calcul effectué entre la lumière proche de l'infrarouge réfléchi par la végétation et la lumière visible.

En utilisant de nouveaux algorithmes avancés et des longueurs d'onde de lumière supplémentaires, les scientifiques de VineView sont capables d'éliminer ces erreurs et de corriger les inexactitudes du NDVI grâce à l'indice de végétation amélioré (EVI).

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

Indice de végétation amélioré (EVI)

Il est calculé de la même façon que le NDVI mais utilise des longueurs d'onde de la lumière supplémentaires pour corriger les imprécisions du NDVI, notamment les variations de l'angle d'incidence solaire, les conditions atmosphériques comme les distorsions de la lumière réfléchiée par les particules dans l'air ainsi que les signaux de la couverture du sol au-dessous de la végétation.

Indice de différence normalisé de l'eau (NDWI)

Cet indice peut faire référence à l'un d'au moins deux indices dérivés de la télédétection liés à l'eau liquide:

L'un est utilisé pour surveiller les changements dans la teneur en eau des feuilles, en utilisant les longueurs d'onde proche infrarouge (NIR) et infrarouge à ondes courtes (SWIR), proposées par Gao en 1996.

Un autre est utilisé pour surveiller les changements liés à la teneur en eau dans les plans d'eau, en utilisant les longueurs d'onde vertes et NIR, définies par McFeeters (1996)

**Rapport de combustion normalisé (NBR)**

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

**Indice de surface brûlée (BAI) :**

$$BAI = 1 - \frac{(0,1 - R)^2 + (0,06 - NIR)}{2}$$

Indices spectraux utilisés dans cette étude (NIR: Near Infrared, R: Red, SWIR: Short Wave Infrared).

(Veraverbeke et coll. 2011) affirment que l'amélioration du NBR avec la bande thermique de Landsat offre une meilleure séparabilité entre les terres brûlées et non brûlées. Ce dernier

indice, le BAI, a une capacité de discrimination élevée pour les zones brûlées dans le domaine spectral R-NIR (Chuvieco *et al*, 2002). En outre, le NDVI a été largement utilisé dans la surveillance des zones touchées par les incendies (García-Haro *et al*, 2001; van Leeuwen *et al*, 2010).

### **Le rapport de combustion normalisé delta (dNBR) :**

le rapport de combustion normalisé delta relativisé (RdNBR), et le rapport de combustion relativisé (RBR). Nos méthodes ne reposent pas sur une scène a priori chronophage sélection, mais utilisent plutôt une approche de composition moyenne dans laquelle tous les pixels valides (par exemple, sans nuage) une plage de dates pré-spécifiée (avant et après le feu) est empilée et la valeur moyenne de chaque pixel sur chaque stack est utilisée pour produire les ensembles de données de gravité d'incendie résultants.

Les ensembles de données de gravité peuvent être produits avec une facilité et une rapidité relatives par rapport à l'approche standard dans lequel un pré-incendie et un post-incendie sont judicieusement identifiés et utilisés pour produire un incendie ensembles de données de gravité.

### **API :**

un API ou interface de programmation d'application est un ensemble normalisé de classes, de méthodes, de fonctions et de constantes qui sert de façade par laquelle un logiciel offre des services à d'autres. (GEE n'en est pas un ).

L'API est le moyen de communication avec le serveur , chaque Logiciel ou plate-forme dispose de son propre API ( un langage d'échange de requêtes et de résultats entre l'utilisateur appelé développeur et le serveur qui comporte les données ).

Sans maîtrise et connaissance de l'API : aucune possibilité d'écrire un code.

L'API de google earth engine est écrit en langage JS / Python / REST ( Html).

Il devient dès lors essentiel d'avoir des notions de base en terme de langage informatique java script ou python ( variable , classe , tuples , array , function.....etc).

## V.1. Résultats et discussion

### V.1-Calcul de l'NDVI (indice de Tucker)

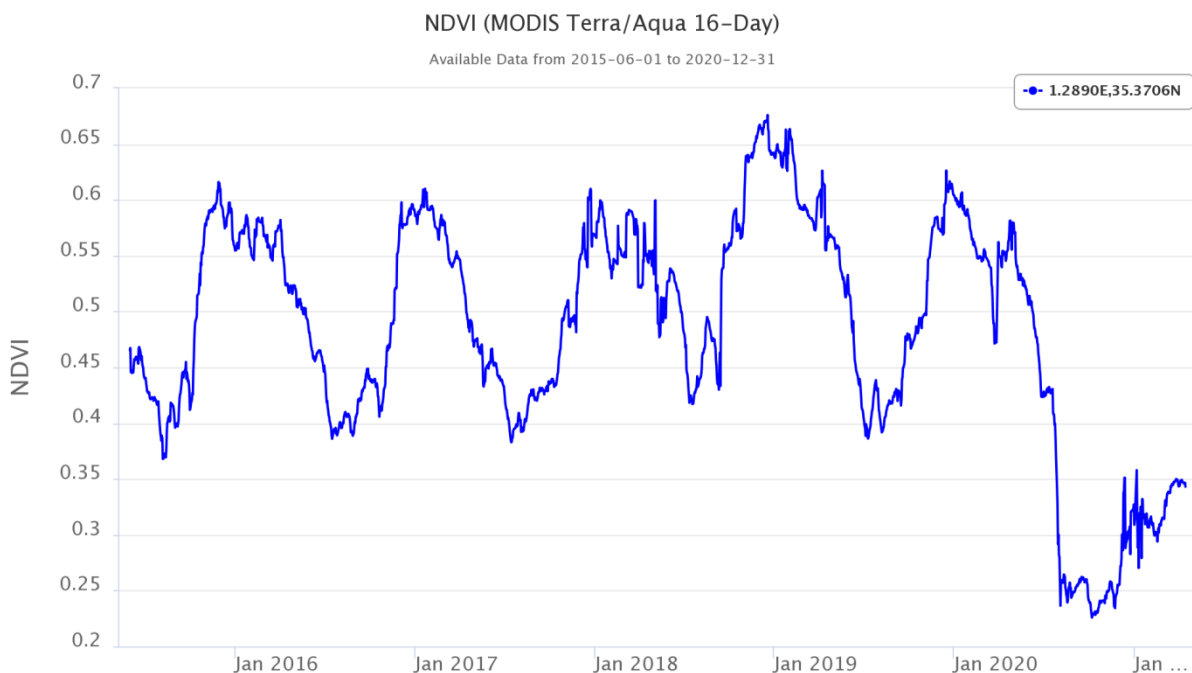
L'indice de végétation (NDVI) se révèle être un outil bien adapté pour différencier et hiérarchiser la densité des couverts végétaux (NDVI de 0,3 à 0,8). Il est aussi un bon indicateur pour le suivi régional de la végétation (**Haddouche et al, 2011**). Le NDVI présente la particularité d'augmenter en présence de végétation dense.

L'indice de végétation est un outil utilisé dans les domaines environnementaux, car il fournit des informations sur la verdure et l'état de la végétation.

En réalité le **NDVI** est un indicateur de la santé végétale

Calcul de l'NDVI Les résultats du calcul de l'indice de végétation NDVI, des différents satellites, sont représenté par les figures .

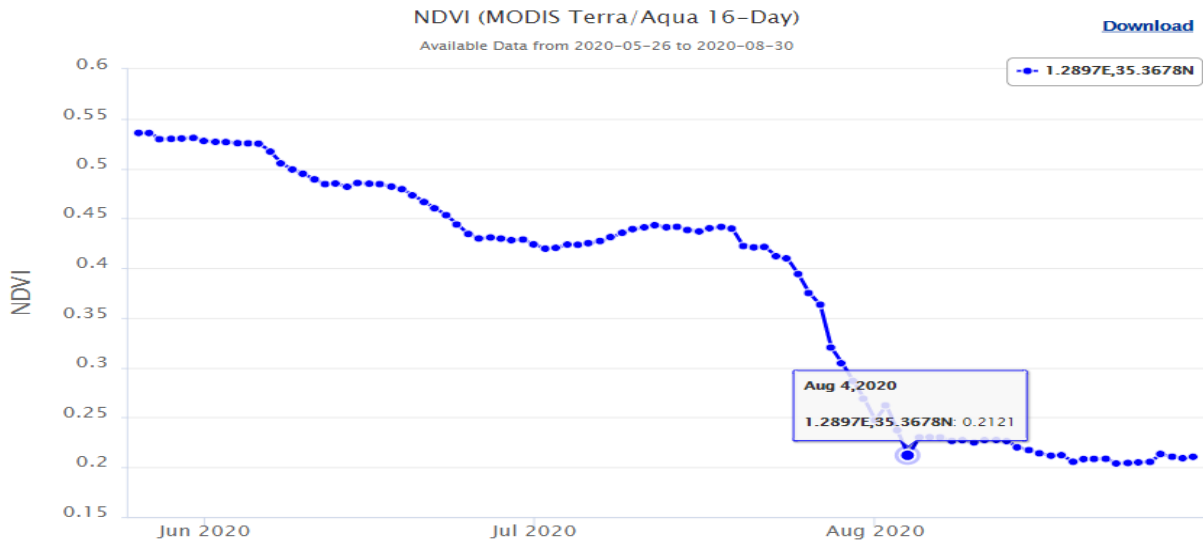
Les valeurs de l'NDVI pour la période 2016-2020 sont comprises entre +1,62 et + 0,68.



**Figure V.1** : Valeurs de NDVI de le forêt de TEGDEMPT du 2015 jusqu'au 2020

Afin de mieux interpréter les résultats obtenus par télédétection et Suite à l'incendie survenu le 26 juillet 2020, dans la région de Guertoufa (Wilaya de Tiaret), nous avons analysée les valeurs de l'NDVI pour la période allons de la fin du mois de Mai 2020 jusqu'à le début de mois de Août

2020, nous avons constaté que la valeur de l'NDVI avant l'incendie a été estimée à 0.48 par le satellite MODIS mais après le déclenchement du feu, on a enregistré une valeur de 0.21.

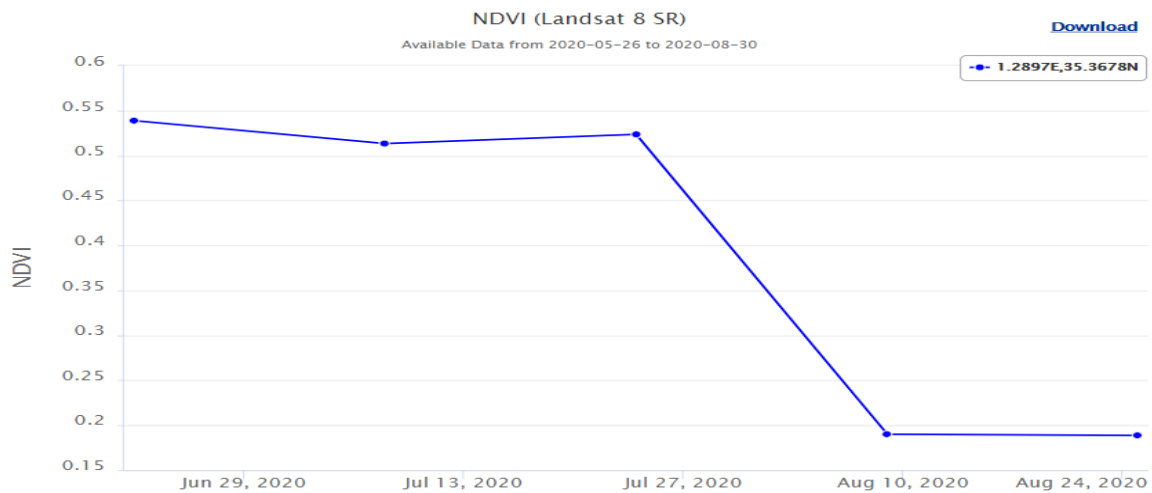


**Figure V.2 :** Valeurs de NDVI fournis par MODIS de la forêt de TEGDEMPT du en période estival 2020

A noter que les résultats sont corroborés par le satellite Sentinel-2 comme le montre les figures suivantes :



**Figure V.3 :** Valeurs de NDVI fournis par Satellite Sentinel- 2 de la forêt de TEGDEMPT du en période du 2018 à 2020

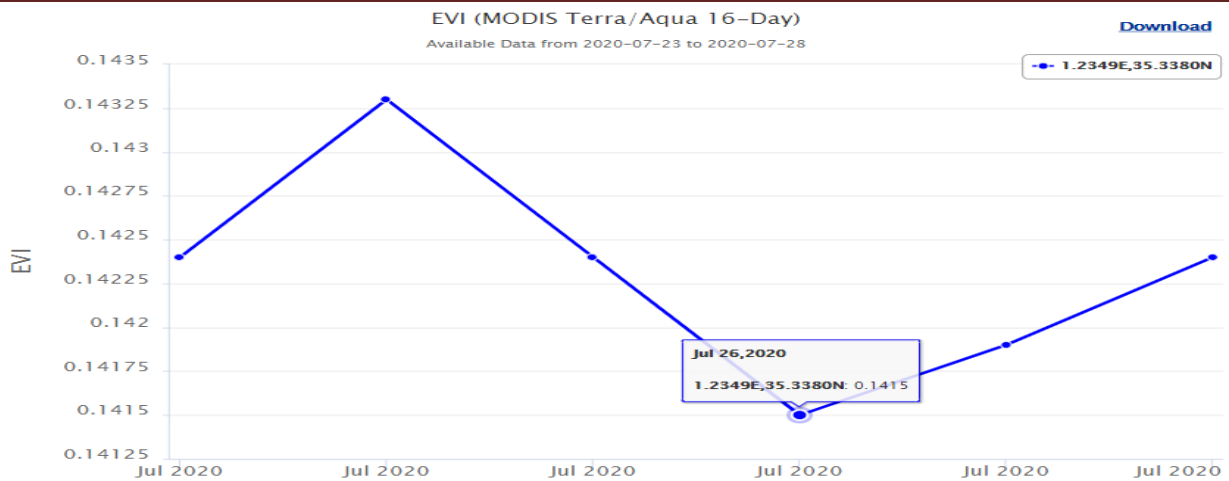


**Figure V.4 :** Valeurs de NDVI fournis par landsat du forêt de TEGDEMPT du en période estival 2020

### V.2-Calcul de l'EVI :

Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses. Une végétation en bonne santé absorbe la plupart de la lumière visible qui l'intercepte et réfléchit une partie importante de la lumière PIR. Une végétation en mauvaise santé ou clairsemée réfléchit plus de lumière visible et moins de PIR. La puissance de cet indice réside dans sa capacité de distinguer même entre les espèces végétales, car il est directement lié à l'activité photosynthétique des plantes et donc à la capacité d'absorption énergétique du couvert végétal. Il agit comme indicateur de la biomasse chlorophyllienne des plantes,

L'interprétation visuelle de la courbe du satellite MODIS fournis par le Google Engine a permis de enregistrée des valeurs l'EVI du mois de juillet, généralement comprises entre **0,15 et 0,14** et qui confirme les résultats obtenus précédemment sur l'NDVI.

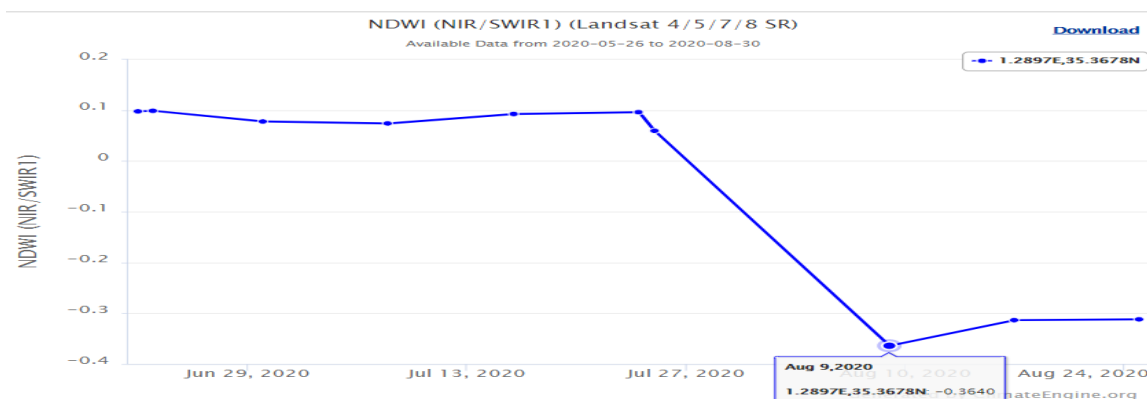


**Figure V.5 :** Valeurs de EVI fournis par MODIS de la forêt de TEGDEMPT du en période estival 2020

**V.3-Calcul de l'NDWI :**

Suivant le même principe que le NDVI, l'indice de teneur en eau par différence normalisée (Normalised Difference Water Index, NDWI) utilise la bande proche infrarouge et une bande de l'infrarouge à courtes longueurs d'onde (short-wave-infrared, SWIR) (Gao, 1996). Au lieu de la bande rouge, où la réflectance est affectée par la chlorophylle, le NDWI utilise une bande de l'infrarouge à courtes longueurs d'onde (entre 1500 et 1750 nm), où l'eau possède un pic d'absorption. La bande du proche infrarouge (Near-infrared, NIR) est la même que celle du NDVI car l'eau n'absorbe pas dans cette région du spectre électromagnétique.

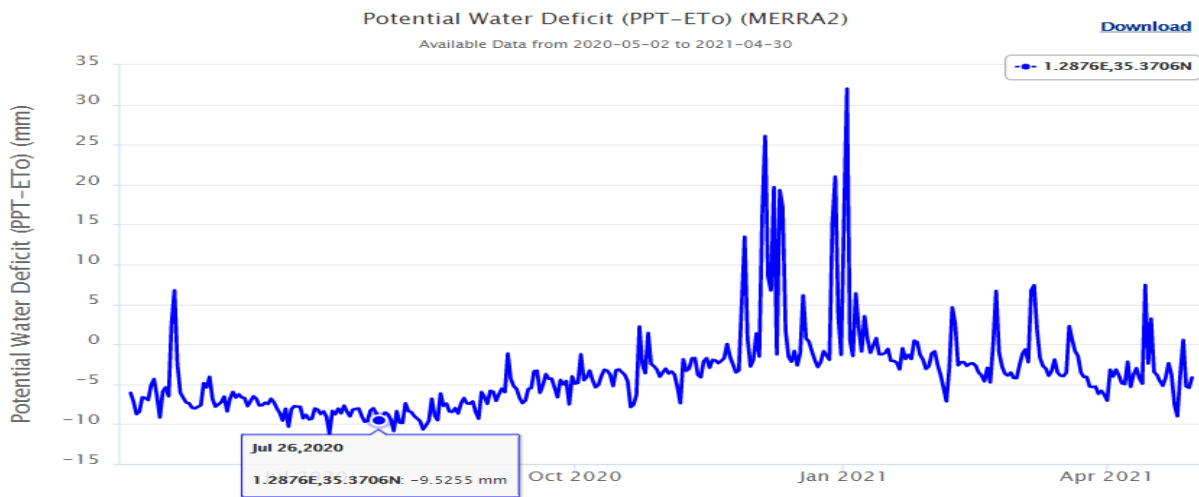
La figure V.6 ci-dessus montre clairement le déséquilibre entre l'eau, végétal et le sol après l'incendie ou on a enregistré une valeur de NDWI de 0,36.



**Figure V.6 :** Valeurs de NDWI fournis par MODIS de la forêt de TEGDEMPT du en période estival 2020

#### V.4- Calcul du Potentiel water deficit :

La figure ci-dessous illustre le déficit du potentiel de l'eau de notre zone d'étude estimé a -9.52 mm et qui montre que la forêt de TEGDEMPT été prédisposé au déclanchement de feux.

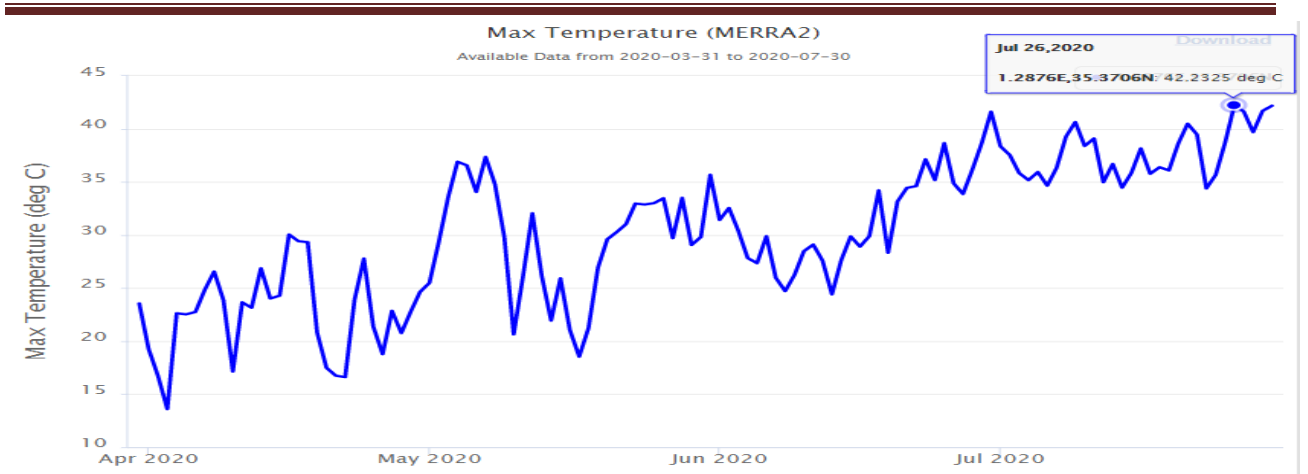


**Figure V.7 :** Valeurs de Potentiel water deficit fournis par MERRA2 de la forêt de TEGDEMPT en période du 2019 à 2021

#### V.5-calcul de Température

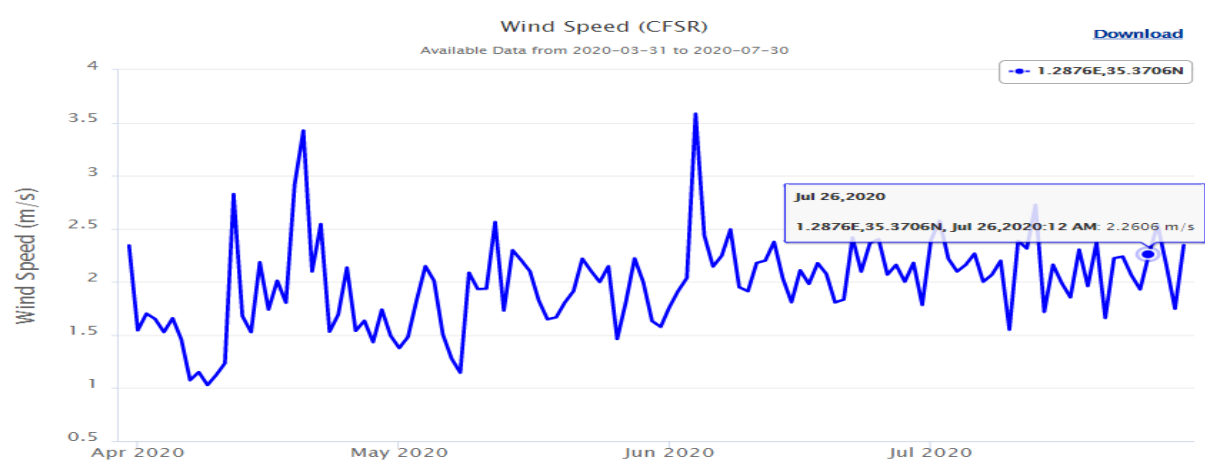
La température est également un indicateur d'alerte précoce pouvant renseigner sur le début du stress hydrique de la végétation. Les zones touchées par la sécheresse peuvent souvent être détectés avant que la dégradation de la biomasse ne soit observée à travers les indices de végétation.

Le jour de l'incendie survenu le 26 juillet 2020 via le satellite MERRA2, la région de Guertoufa a enregistré une température maximal de 45.23 c°.



**Figure V.8 :** Valeurs de Potentiel water deficit fournis par MERRA2 de la forêt de TEGDEMPT en période du 2019 à 2021

**V.6 -calcul de vitesse de vent**



**Figure V.9 :** Valeurs de Potentiel water deficit fournis par CFSR de la forêt de TEGDEMPT en période estival 2020

**V.7 -calcul de Indice PDSI (Palmer Drought Severity Index)**

Cet indice mesure la différence d’approvisionnement en humidité pour les phases sèches autant que pour les phases humides. Il est calculé pour des périodes hebdomadaires ou mensuelles afin de caractériser les conditions régionales. Etant donné que ces indicateurs sont normalisés, il est possible de comparer différentes régions.

$$PDSI = X(i) = 0,897X(i - 1) + Z(i) / 3$$

où :

- $X_{i(i-1)}$  PDSI de la période précédente
- $Z(i)$  “Moisture Anomaly Index” ou Indice de l’anomalie en humidité
- $i$  Mois de l’année

Et

$$Z(i) = K(P - P_c)$$

Où

K Facteur de poids (voir Alley, 1984)

P Précipitation actuelle (mm)

$P_c$  Précipitation CAFEC (mm)

$$P_c = \alpha_j PE + \beta_j PR + \gamma_j PRO - \delta_j PL \quad [\text{mm}]$$

Où

CAFEC "Climatically Appropriate for Existing Conditions"  
ou approprié pour les conditions climatiques existantes

$\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$  et  $\delta_j$  Coefficients climatiques mensuels

j Mois de l'année

PE Évapotranspiration potentielle (mm)

PR Recharge du sol potentielle (mm)

PRO Ruissellement potentiel (mm)

PL Perte potentielle dans le sol (mm)

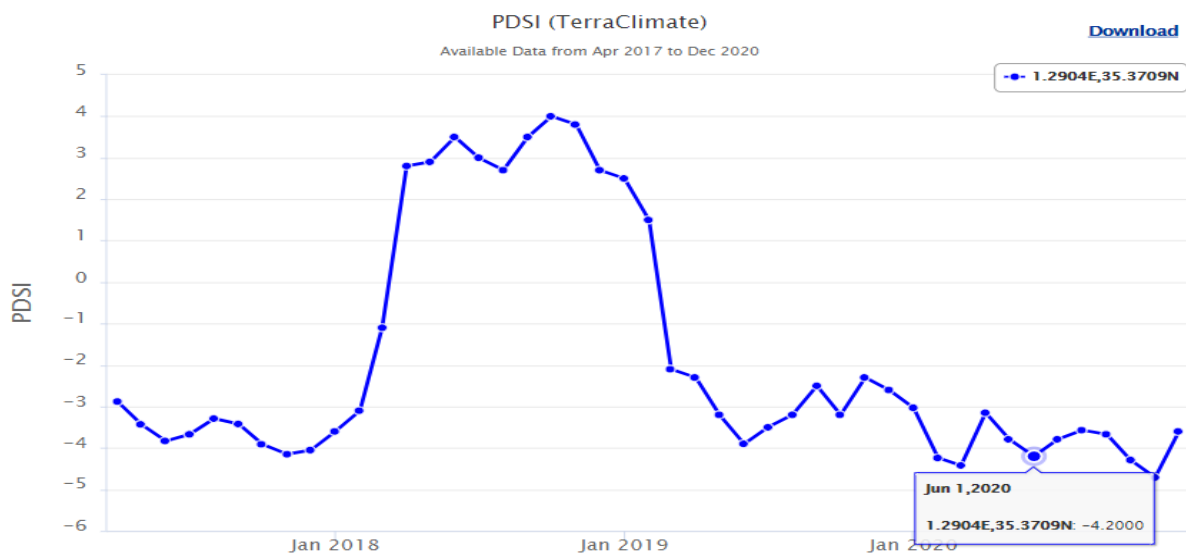
Le PDSI utilise, en plus des précipitations et de la température de l'air, l'humidité contenue dans le sol. Toutefois il ne tient pas compte des ressources hydrologiques de surface pouvant influencer les conditions de sécheresse, comme les cours d'eau, les réservoirs, la couverture neigeuse ou le gel du sol. Il ne tient pas compte non plus des changements pouvant survenir dans l'utilisation des ressources en eau.

**Tableau V.1:** Classification d' PDSI

Palmer Classifications	
4.0 or more	extremely wet
3.0 to 3.99	Very wet
2.0 to 2.99	moderately wet
1.0 to 1.99	Slightly wet
0.5 to 0.99	incipient wet spell
0.49 to -0.49	near normal
-0.5 to -0.99	incipient dry spell
-1.0 to -1.99	mild drought
-2.0 to -2.99	moderate drought
-3.0 to -3.99	severe drought
-4.0 or less	extreme drought

**Source :** Brian D. Wardlow, Tsegaye Tadesse, Jesslyn F. Brown, and Yingxin Gu; 2007; The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A New Drought Monitoring Approach for Vegetation.

La courbe si dessous montre que notre site d'étude se classe en zone sécheresse extrême avec une valeur de PDSI de -0.4.20.



**Figure V.10 :** Valeurs de PDSI de la forêt de TEGDEMPT en période du 2018 à 2020

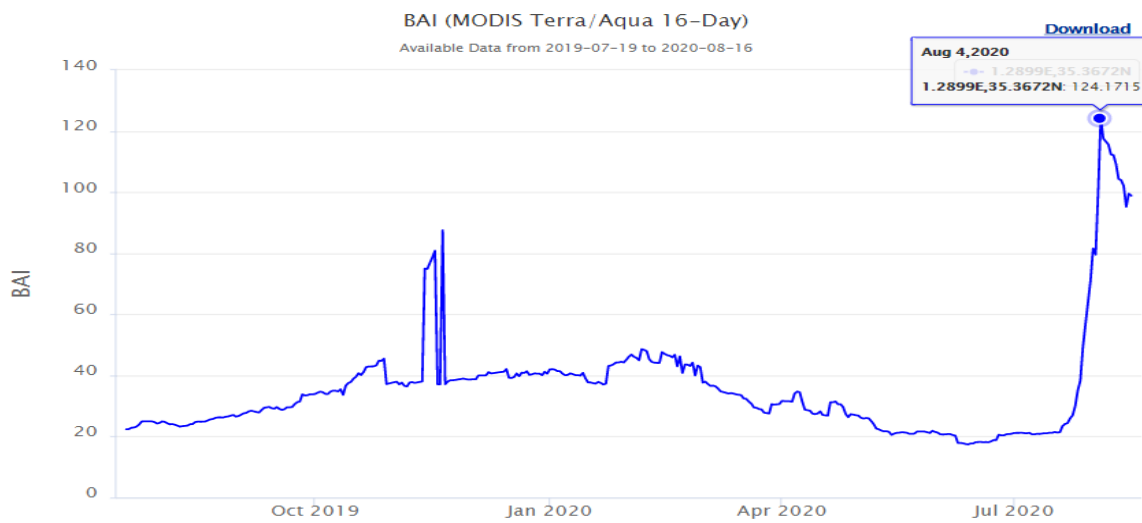
**V.8 -Indice de zone de brûlure (BAI) Burn Area Index :**

le BAI ("Burnt Area Index") [Chuvieco et al., 2002] défini spécifiquement pour la détection de zones brûlées et qui met en valeur la quantité de carbone et cendres des zones brûlées. Cet index est donné par l'inverse de la distance euclidienne entre chaque pixel et un point de référence :

$$\text{BAI} = 1 / (\text{NIR} - \rho\text{NIR})^2 + (\text{R} - \rho\text{R})^2$$

Cet indice met en évidence les terres brûlées dans le spectre rouge à proche infrarouge, en accentuant le signal de charbon de bois dans les images post-incendie. L'indice est calculé à partir de la distance spectrale de chaque pixel à un point spectral de référence, où convergent les zones récemment brûlées. Des pixels plus clairs indiquent les zones brûlées.

Le graphe fournis par le satellite MODIS montre que le BAI avant l'incendie été proche de la valeur 20 mais après l'incendie on enregistré une valeur de BAI de 124 ,171.



**Figure V.11** : Valeurs de BAI fournis par MODIS de la forêt de TEGDEMPT en période du 2019 à 2020

La figure **V.12** , si dessous confirme les résultats obtenus précédemment.

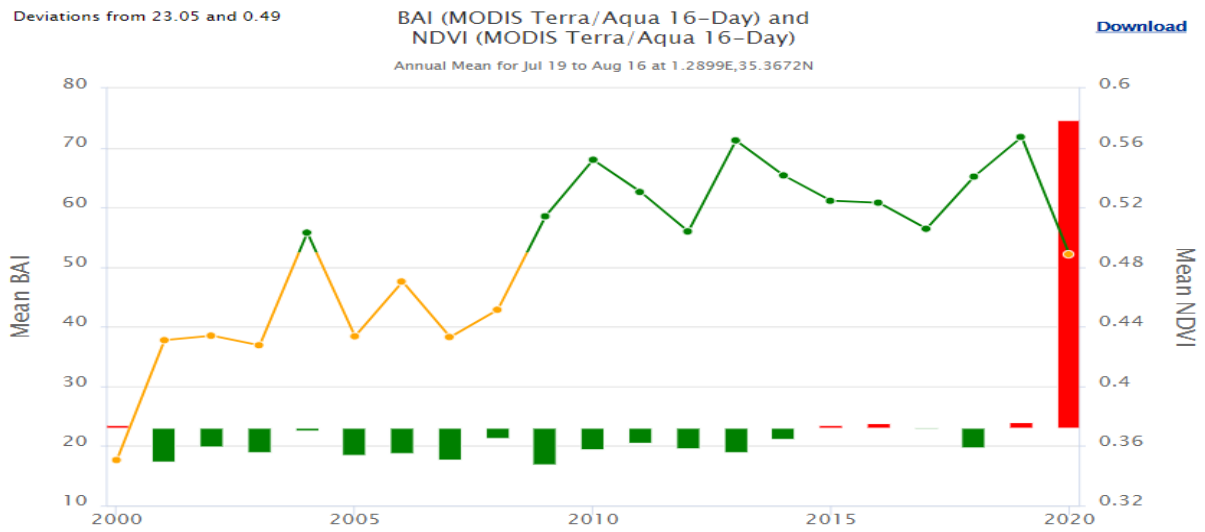


Figure V.12 : Valeurs de BAI et NDVI fournis par MODIS de la forêt de TEGDEMPT en période du 2000 à 2020

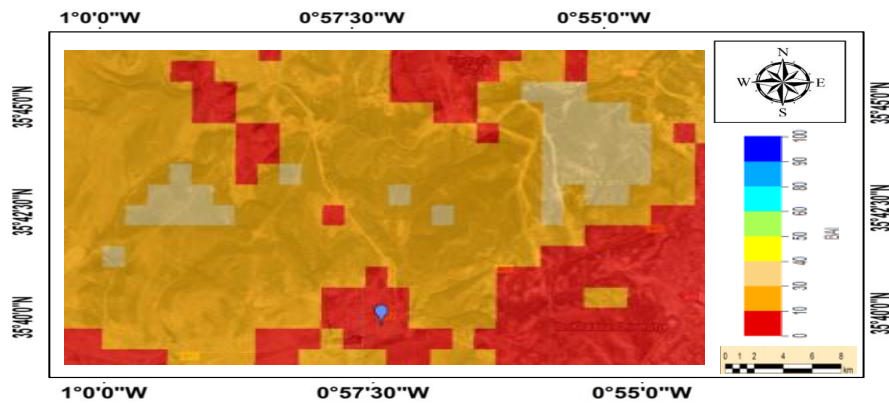


Figure V.13: carte de BAI de la zone d'étude

V.9 -Calcul de l’NBR (Taux de combustion normalisé) :

Cet indice met en évidence les zones brûlées dans les grandes zones d'incendie de plus de 500 acres. La formule est similaire à un indice de végétation par différence normalisée (NDVI), sauf qu'elle utilise des longueurs d'onde proche infrarouge (NIR) et ondes courtes-infrarouge (SWIR) (Lopez, 1991; Key et Benson, 1995).

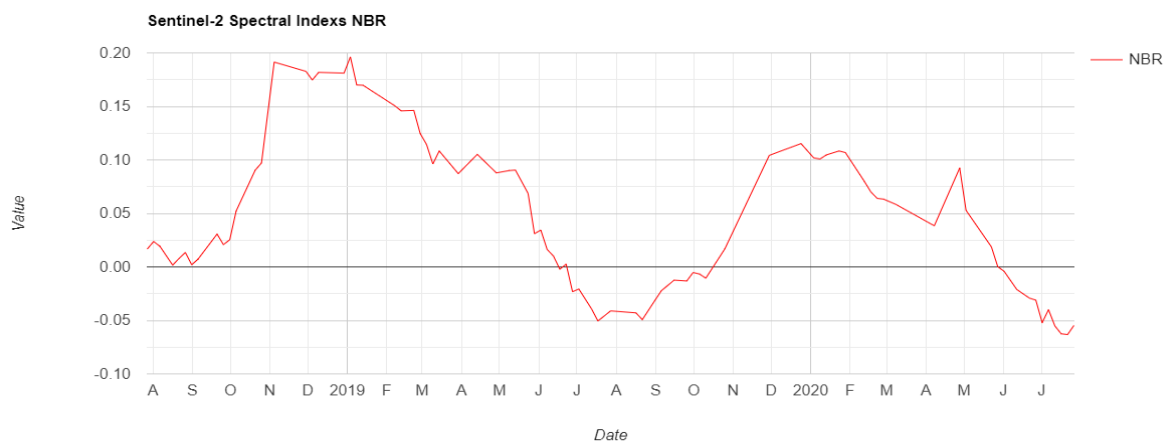
$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

Le NBR a été développé à l'origine pour être utilisé avec les bandes Landsat TM et ETM + 4 et 7, mais il fonctionnera avec n'importe quel capteur multispectral (y compris Landsat 8) avec une bande NIR entre 0,76-0,9 µm et une bande SWIR entre 2,08-2,35 µm.

Le rapport de combustion normalisé (Normalized Burn Ratio, NBR) est un indice conçu pour mettre en évidence les zones brûlées dans les grandes zones d'incendie. La formule est similaire à celle de l'indice de végétation NDVI, à la différence près qu'elle combine l'utilisation des longueurs d'ondes dans le proche infrarouge (NIR) et l'infrarouge à ondes courtes (MIR). Une végétation saine présente une réflectance très élevée dans le proche infrarouge et une faible réflectance dans la partie MIR du spectre. contrairement à ce que l'on voit dans les zones dévastées par le feu. Une valeur NBR élevée indique une végétation saine, tandis qu'une valeur basse indique un sol nu et des zones récemment brûlées. Les zones non brûlées sont normalement attribuées à des valeurs proches de zéro.

La différence entre les NBR avant et après feu obtenus à partir des images est utilisée pour calculer le NBR delta (dNBR ou ΔNBR), qui peut ensuite être utilisé pour estimer la gravité de la brûlure. Une valeur plus élevée de dNBR indique des dommages plus graves, tandis que les zones avec des valeurs de dNBR négatives peuvent indiquer une repousse après un incendie. (Source : UN-Spider)

D'après la lecture des courbes fournis par le satellite de Sentinel, on constate que le NBR enregistrée le jour de déclenchement du feu est -0.04 qui confirment la surface touchée par le feu.



**Figure V.13 : calcul de l’NBR de la zone d’étude via SENTINEL2**

#### **V.10 -Calcul de D’NBR (Rapport de combustion normalisé – thermique)**

Cet indice utilise une bande thermique pour améliorer le NBR. Il en résulte une meilleure séparabilité entre les terres brûlées et non brûlées (**Holden et al. 2005**).

$$NBRT = \frac{(NIR - SWIR \left(\frac{Thermal}{1000}\right))}{(NIR + SWIR \left(\frac{Thermal}{1000}\right))}$$

NBRT1 a été initialement développé pour être utilisé avec les bandes LANDSAT TM et ETM + 4, 7 et 6. Cependant, il fonctionnera avec n'importe quel capteur multispectral (y compris LANDSAT 8) avec des bandes comprises dans les plages suivantes:

- NIR: 0,76 à 0,9  $\mu\text{m}$
- SWIR: 2,08 à 2,35  $\mu\text{m}$
- Thermique: 10,4 à 12,5  $\mu\text{m}$

Le rapport thermique normalisé de combustion (NBRT) a été développé sur la base de l'idée que les terres brûlées ont une faible réflectance NIR (moins de végétation), une réflectance SWIR élevée (pensez aux cendres) et une température de luminosité élevée (**Holden et al.2005**). Contrairement aux autres indices, un NBRT inférieur signifie plus de brûlure.

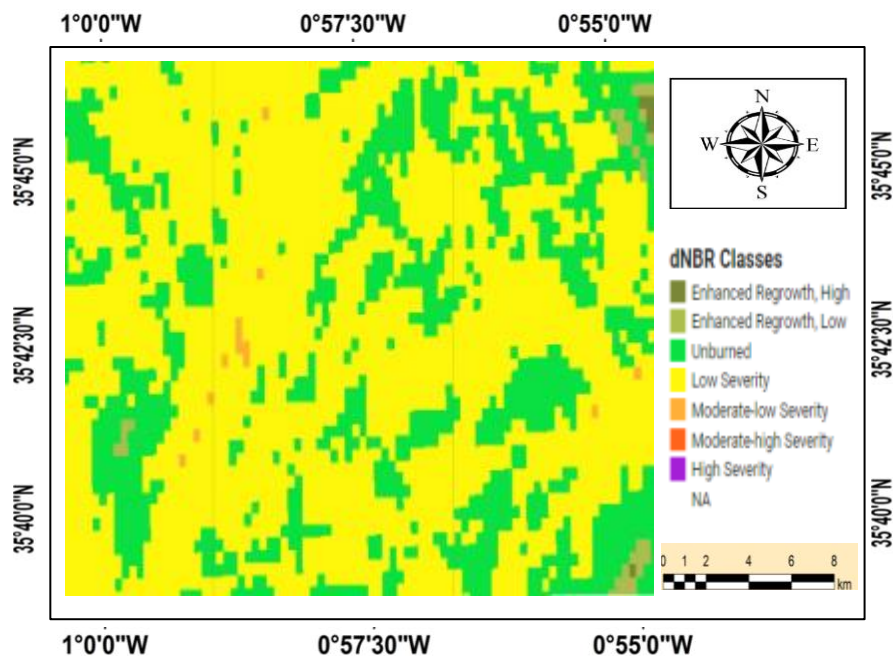


Figure V.14 : carte de NBRT de la zone d'étude

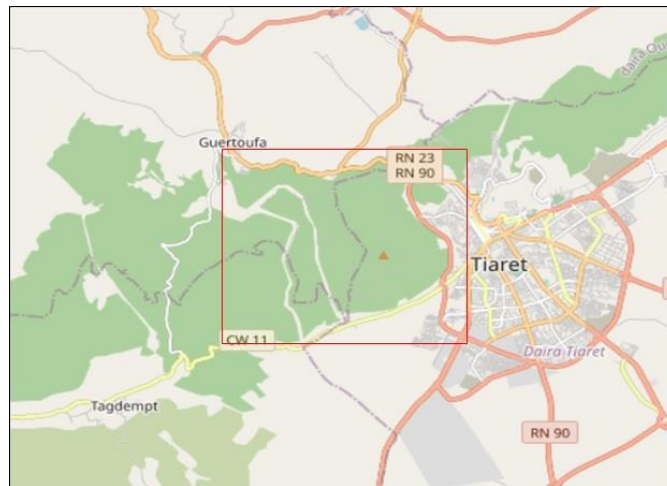
Les valeurs de d’NBR permettent de déterminer le degré de sévérité pour chaque incendie. Huit classes de sévérité ont été retenues :

- -1237,79907226563 -1000
- -1000, -251(très élevé)
- -251, -101(modéré-élevé)
- -101, 99(modéré-faible)
- 99, 269(low)
- 269, 439(non-brûlé)
- 439, 659(repousse améliorée, faible)
- 659, 1880(repousse améliorée, élevé)

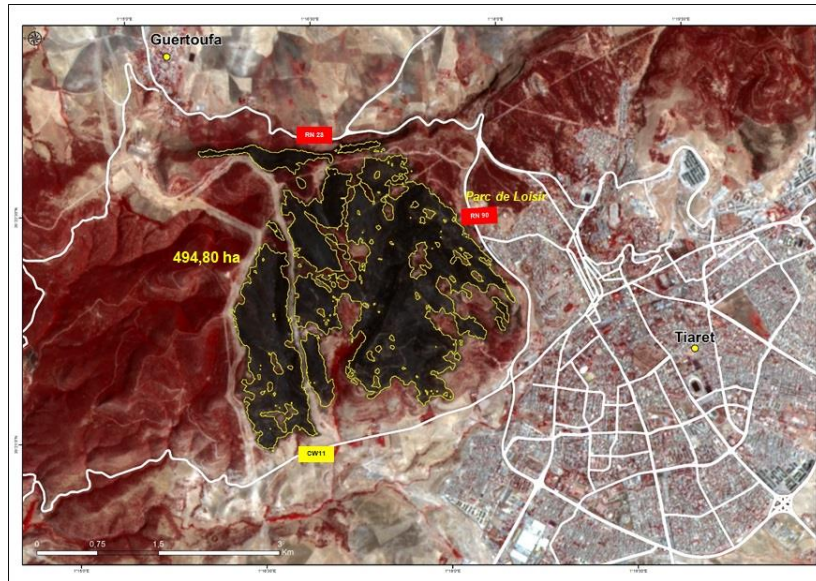
### V.11 -Estimation de la surface perdue

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

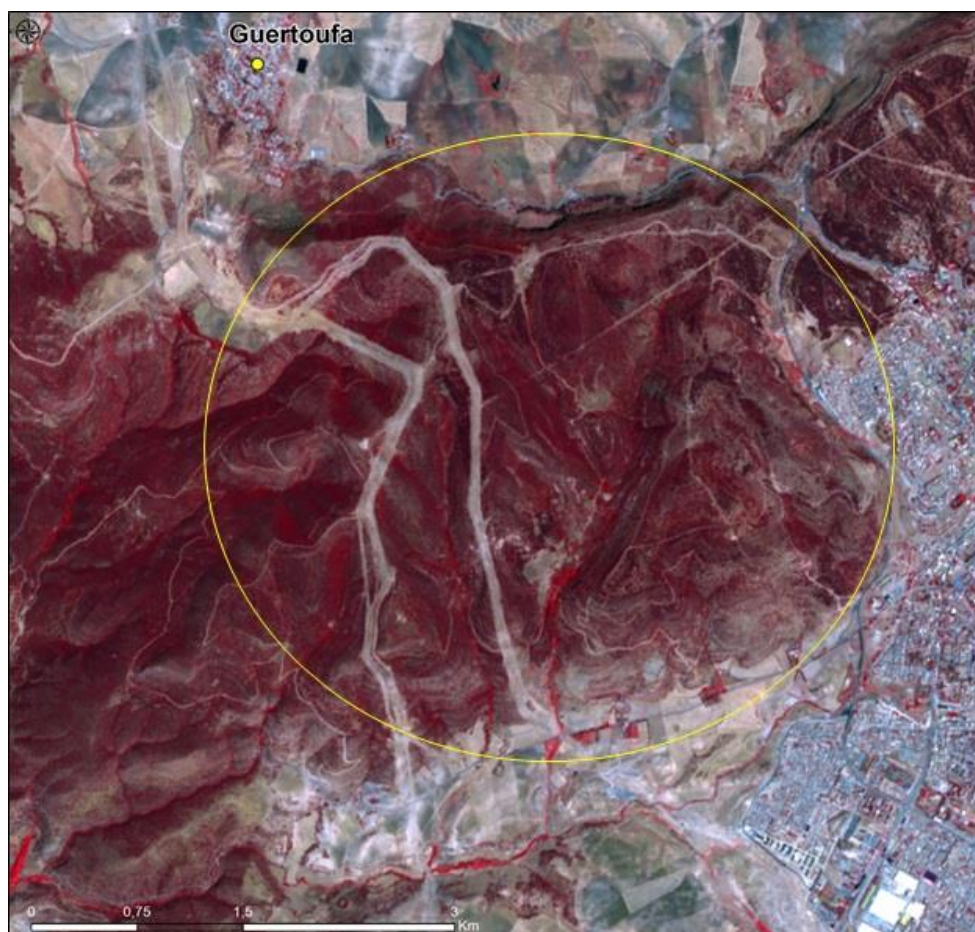
Cette analyse a permis de localiser et de délimiter les impacts de feu, couvrant une superficie totale parcourue par le feu évaluée à **494,80 ha**.



**Figure V.15 :** Localisation de la zone analysée à partir de l’image satellitaire Alsat-1B du 28 juillet 2020



**Figure V.16 :** Zone parcourue par le feu de forêt, identifiée et délimitée à partir de l'imagerie satellitaire Alsat-1B du 28 juillet 2020



**Figure V.17 :** Image satellitaire à moyenne résolution du 06 juillet 2020 (avant)

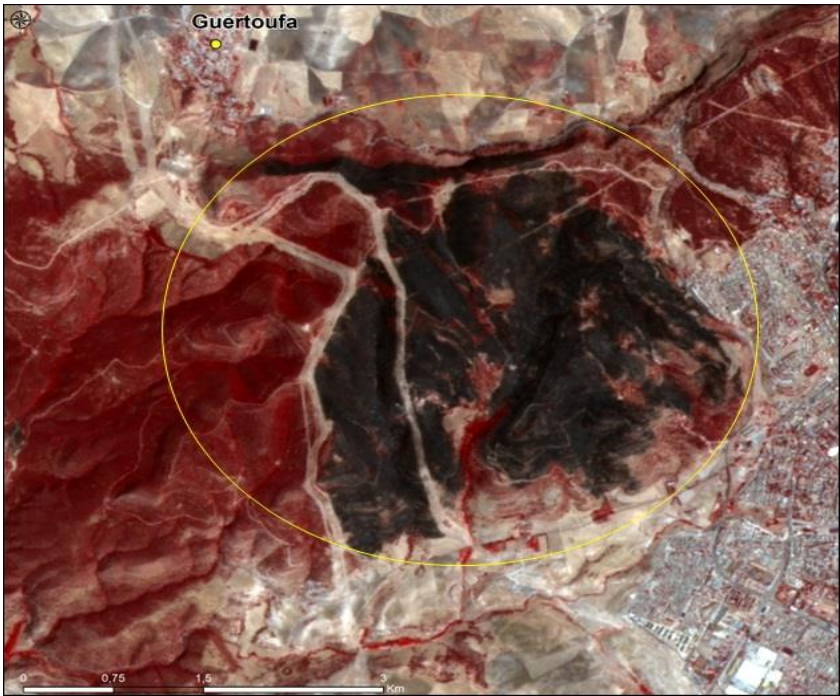


Figure V.18 :Image satellitaire Alsat-1B du 28 juillet 2020 (après)

## **Conclusion générale :**

en région méditerranéenne le feu de forêt est un phénomène ancien et récurrent qui a largement orienté l'évolution et la dynamique de la forêt et de espaces naturels. Incendie et feu de forêt un phénomène dévastateur. ( **LAZREG ABDELAZIZ,2015**)

Chaque année plus de 20 000 hectares de forêts sont détruits par les feux en Algérie. Les feux coûtent beaucoup en termes de vies humaines et en biens et nos préoccupations sont orientées vers l'historique des feux de forêts dans le pays, l'inventaire, la prévention et la gestion.

La télédétection satellitale est donc une source d'informations géographiques originale, dont la richesse doit être mise au service du gestionnaire, de l'aménageur, du décideur. (HESSAS. 2005). Malheureusement l'Algérie retarde à appliquer cette technique moderne par rapport d'autres pays qui avance sur ce domaine par exemple (la méthode canadienne). L'indice de végétation est un des moyens très souvent utilisés en télédétection afin d'établir une cartographie et de faire une estimation des surfaces brûlées (Martín et al. 2005) Parmi ces indices le NBR (NIVONIRINA ,2018). Reste l'indice le plus performant. Comparer les données multi-dates avant et après l'incendie est intéressant pour cartographier la sévérité du feu et la d'évaluer l'état de la dynamique végétale. Le NBR fournit une mesure quantitative du changement et permet de différencier les zones brûlées des zones non brûlées (JAZIRI et BACCOUCHE1 ,2017) .cette méthodologie il y a un point faible qui est représenté dans les nuages qui n'a pas donné une image claire pour observer les zones brûlées .à mon avis je recommanderais d'utiliser cette méthode, parce qu'il peut détecter toutes les surfaces brûlées Conclusion Générale. 49 brûlée dans une période courte ,et aussi il donne des informations sur si il y a une résilience ou pas .et évalue le danger du dégât L'incendies plus spectaculaire et le plus grave. Non seulement .il peut entraîner la destruction totale des peuplements. Mais il dégrade aussi les sols, enlaidit les compromet gravement la reconstitution future de la forêt. Sous le terme (incendies de forêts). On désigne aussi, les feux parcourant les formations forestières qui constituent souvent des stades de dégradations de la forêt à la suite d'incendies antérieurs. Ces passages du feu plusieurs fois répétés, peuvent aboutir à la stérilisation totale des sols. L'incendie est un fléau qui entraîne la dégradation de la forêt et le bouleversement du système écologique (**HOUACINE ,2016**). Est aussi en lien avec le changement de la structure (modification de taux de recouvrement d'une strate de végétation, modification dans la composition des espèces) des changements lents dans l'activité végétale (modification dans le niveau de biomasse). La conséquence de feu sur le couvert végétal (changement climatique. Désertification. Érosion .....).