

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES



**FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT**

Mémoire

De fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : science de la nature et de la vie (S.N.V)

Spécialité : Biologie de la conservation

Intitulé du thème :

**Cartographie du risque d'incendie de la forêt Cap Lindès
(Wilaya d'Oran) via la plateforme Google Earth Engine**

Présenté par : Mr SENOUCI Imad Eddine

Melle BARAKAT Asma

Mémoire soutenu devant l'honorable jury composé de :

Président de jury	: Mr. BACHIR BOUIADJRA Salah Eddine	(MCA)
Examineur	: Mme. AYACHE Abbasia	(MCA)
Promoteur	: Mr. MHAMDIA Chafik	(MCB)

Année universitaire 2019 -2020

Remerciements

Au terme de ce travail nous tenons à exprimer nos remerciements:

Avant tout nous remercions le tout puissant ALLAH de nous avoir donné la force et la santé pour accomplir ce travail

A notre encadreur Mr MHAMDIA Chafik qui nous a aidés et orientés par ses conseils très précieux ne ménageant aucun effort afin de nous véhiculer le maximum d'informations et de directives adéquates en dépit des circonstances malaisées actuelles

Nos remerciements vont aussi à l'ensemble des membres du jury Mr **BACHIR BOUIADJRA** Salah Eddine (MCA) et Mme **AYACHE** Abassia (MCA) qui nous ont fait l'honneur d'être présents aujourd'hui afin d'examiner notre travail et de l'évaluer

Enfin nous tenons à exprimer nos remerciements à toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à achever travail.



Dédicace 1

Asma

Je dédie ce modeste travail à:

Mes très chers parents Mohamed et Fatima pour leur témoigner toute la tendresse que j'éprouve à leur égard

A mes grands-parents Abdellah et Khadîdja maternels, Farouk et Melouka paternels, je vous dédie ce travail pour vous dire merci, merci pour m'avoir appris les valeurs de la vie merci pour votre soutien durant tous les cycles de mon parcours scolaire.

A mes chères sœurs Imene, Rachida et Abir, à mon petit frère Farouk à mon beau frère Hami, et à mes petits neveux adorés Meriem et Anis

A mon fiancé Mohamed Boussaid pour son courage durant mon parcours

A mes Copines qui sont plus qu'amies des véritables sœurs serine, Nadia, Rania et Inesse.

A mon Binôme Imad pour son sérieux et sa persévérance

En guise de témoignage de la grande affection que je porte pour toute ma famille

A mes enseignants de l'université et particulièrement à

<< Mr Mhamdia Chafik >>

A tous mes Amis



Dédicace 2

Imad Eddine

Je dédie ce travail

A mes très chers parents que je ne

Pourrais être jamais reconnaissant envers leurs dévouements, leurs

Amours, leurs sacrifices et leurs encouragements et sans qui je ne

Serais pas là aujourd'hui. Ce travail soit pour eux.

A mon chère frère Marouane

A toute la famille Senouci

A mon binôme Asma

A toute ma promotion

Et bien sur a mon encadreur Mr Chafik Mhamdia et toute mes
enseignants

Et à tous mes amis



Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure I.1	Carte de la végétation méditerranéenne	4
Figure I.2	Forêt méditerranéenne et zones incendiées, 2002-2013	7
Figure I.3	incendiées dans le bassin médit entre 2002 et 2013, par pays	8
Figure I.4	Évolution annuelle des superficies parcourues par le feu en Algérie	9
Figure I.5	Superficie des forêts brûlée annuellement par incendie en Algérie ha	10
Figures I. (6,7 et 8)	Photos de l'incendie de la forêt de Tiaret juillet 2020	11, 12
Figure I.9	Une photo de d'incendies de forêt dans la wilaya d'Oran 05 SEPTEMBRE 2018	13
Figure I.10	Triangle du feu	14
Figure I.11	Les différents types de feu	16
Figure I.12	Répartition des causes par pays	17

Figure I.13	Mécanisme de propagation d'un feu de forêt	20
Figure I.14	Photo qui montre les l'une des conséquences d'incendie de forêt Près de Bormes-les- Mimosas	23
Figure I.15	Une photo de bois mort et quelques herbes	27
Figure I.16	Effet du vent sur la vitesse de propagation du feu	29
Figure I.17	structure de la MCEDIF	33
Figure I.18	structure de l'IFM	34
Figure I 19	Structure de la méthode de PCI	35
Figure II.20	Définition du SIG	37
Figure II.21	MODES DE REPRÉSENTATION DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE	38

Figure III.22	Processus de télédétection	41
Figure III.23	Une tempête sur le proche Atlantique le 18 octobre	44

	2002. Image Météosat	
Figure III.24	illustration d'une onde électromagnétique monochromatique, plane	46
Figure III.25	LE SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE	46
Figure III.26	Principales parties du spectre électromagnétique	49
Figure III.27	: Réponse spectrale des surfaces naturelles	50
Figure III.28	Réflectance de l'eau de mer pour diverse valeur du coefficient d'atténuation à 550 nm	51
Figure III.29	Courbes de réflectance spectrale de la végétation	54
Figure IV.30	carte de localisation géographique du foret Cap Lindès Oran.	60
Figure IV.31	: carte d'altitude du site djebel lindès	60
Figure IV.32	polygone de précipitation	61

	(mm) Oran (CHIRPS).	
Figure IV.33	boursier de distribution de précipitation (Oran).	62
Figure IV.34	: boursier de distribution de température (°C) Oran	62
Figure IV.35	: histogramme de la précipitation et la température (1989-2018) Oran.	63
Figure IV.36	carte géologique du bassin du sebkha d'oran.	63
Figure V.37	Exemple d'une création d'une image avec Google Engine	66
Figure V.38	description de La cartographie annuelle des zones brûlées via GEE	69
Figure VI.39	carte d'indicateur NDVI (Oran-2020)	72
Figure VI.40	: histogramme d'indicateur NDVI capturé par le satellite LANDSAT 4/5/7/8 SR.	73

Figure VI.41	histogramme d'indicateur NDVI capturer par le	74
--------------	---	----

	satellite MODIS	
Figure VI.42	carte d'indicateur EVI (Oran-2020)	75
Figure VI.43	histogramme d'indicateur EVI capturé par le satellite MODIS	76
Figure VI.44	carte d'indicateur SAVI (Oran-2020).	77
Figure VI.45	: carte d'indicateur NDWI (Oran-2020).	78
Figure VI.46	carte d'indicateur NBR (Oran-2020).	79
Figure VI.47	carte d'indice de D' NBRT	80
Figure VI.48	: histogramme d'indicateur BAI capturer par le satellite MODIS.	81
Figure VI.49	histogramme de rayonnement à ondes courtes vers le bas	82
Figure VI.50	histogramme de vitesse du vent	83
Figure VI.51	histogramme de la température de surface du	84

	sol	
Figure VI.52	histogramme de précipitation (mm)	84
Figure VI.53	histogramme de PSDI	85
Figure VI.54	histogramme du climat eau déficit (mm)	86

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau I.1	Répartition générale des terres en Algérie Septentrionale	5
Tableau I.2	Influence des facteurs climatiques sur les conditions du feu	25
Tableau I.3	Les différentes importances pour chaque méthode	36
Tableau III.4	Application de la télédétection	43
Tableau III.5	Indices de végétation définis à partir de données de télédétection	53
Tableau III.6	Classe de sévérité en fonction des valeurs dNBR	56

Liste des abréviations

SIG : système d'information géographique.

FAO : l'organisation des nations unies pour alimentation et l'agriculture.

MODIS : le moderate-résolution Imaging spectroradiometer.

LANDSAT : land remote-sensing satellite système.

GEE: la plate-forme Google Earth Engine.

BAI : Index de la zone de brûlure.

NBR : Taux de combustion normalisé.

NBRT : Rapport de combustion normalisé – thermique.

NDVI : l'indice de végétation par déférence normalisé.

EVI : Indice de végétation amélioré.

NDWI : Indice de différence normalisé de l'eau.

SAVI : l'indice de végétation ajusté au sol.

API : Application Programming Interface

Sommaire

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

CHAPITRE I : RISQUE D'INCENDIE DE FORÊTS

I.1 présentation de la forêt méditerranéenne :	3
I.2 Présentation de la forêt Algérienne.....	5
I.3. Les incendies de forêts.....	6
3.1 Les incendies des forêts dans le bassin méditerranéen.....	6
3.2. Les incendie des forêts en Algérie.....	9
3.3. Les incendies de forêt dans la wilaya d'Oran.....	12
I.4. Généralité sur l'incendie de forêt.....	13
4.1 Définitions	14
4.2. Causes des incendies	17
4.3. Propagation des incendies	19
4.4. Conséquence de l'incendie	22
4.5 Facteurs favorables aux incendies de forêts en région méditerranéen	23
I.5.Risque d'incendie.....	28
5.1. Risque lié à l'homme.....	28
5.2. Risque lié à la météorologie	29
5.3. Risque lié à la topographie	31
5.4. Risque lié à la végétation ou au combustible	31
II.6 Méthodes d'évaluation du risque incendie	31
6.1. Méthode Française =méthode de détermination du risque de feu de forêt grâce au SIG.....	32

6.2. Méthode Espagnole = Système intégré pour la détermination du danger d'incendie de forêt	32
6.3. Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt	32
6.4. La Méthode turque.....	36

CHAPITRE II Système d'information géographique

II.1-Définition de SIG :	37
II.2. Mode de représentation de l'information géographique dans une SIG	38
II.3. Les principaux rôles d'un SIG :	39
II.4. Les domaines d'application :	39

Chapitre III: La Télédétection

III.1 Définition	41
III.2 Processus de télédétection.....	41
III.3 Les domaines d'application de la télédétection.....	42
3.1 Exemples d'application de la télédétection.....	44
III.4. Bases physique de la télédétection	45
4.1. Le rayonnement électromagnétique.....	45
4.2. Spectre électromagnétique.....	46
III.5. Réponses spectrales des objets de surface.....	50
III.6. Classification d'image.....	52
6.1. Classification non supervisée	52
6.2. Classification supervisée	52
III.7-Courbes de réflectance spectrale de la végétation	54
7.1 Visible.....	54
7.2 Proche infrarouge	55
7.3 Infrarouge à ondes courtes.....	55
III.8-Sévérité des incendies	55
III.9-Taux de combustion normalisé (NBR)	56

III.10	Index de la zone de brûlure	57
III.11	Taux de combustion normalisé	57
CHAPITRE IV : l'Étude du milieu physique		
IV-1	Présentation de la zone d'étude	60
1-1	Position géographique	60
1.2	Altitude.....	60
1.3	Climat :	61
1.4	Géologie de la région :	63
1.5	populations :	64
Chapitre V : matériels et méthodes		
V.1.	Objectif de l'étude :	65
V.2.	Matériel utilisé :	65
2.1.	Logiciels	65
2.2. Outils de prospection:		
V.3.	Collecte et traitement des données	67
3.1.	Collecte des informations sur les incendies.....	67
3.2.	Donnée de terrain.....	67
V.4	Méthodologie :	68
4.1	Cartographie des zones brûlées via GEE :	69
4.2	Indice spectral.....	70
Chapitre VI: résultat et discussions		
VI.1	Calcule de l'NDVI (indice de Tucker).....	72
VI.2	Calcule de l'EVI	74
VI.3	Calcule du SAVI :	76
VI.4	Calcule de l'NDWI :	78
VI.5	Calcule de l'NBR (Taux de combustion normalisé) :	78
VI.6	Calcule de D'NBR (Rapport de combustion normalisé – thermique).....	80
VI.7	Indice de zone de brûlure (BAI) Burn Area Index :	81

Conclusion générale.....90
Références bibliographiques.....92
Annexes.....96

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 la Cap Lindès.

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 montré 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 plateforme Google Engine.

Le taux de combustion normalisé (NBR) a été conçu pour mettre en évidence les zones brûlées et estimer la gravité du feu.

La présente étude a analysé les capacités de détection des cicatrices de brûlures en utilisant les indices NDVI, SAVI, EVI, NBR et différence NBR (dNBR).

Les résultats obtenus indiquent à huit classes de sévérité du feu qui constituent un apport pour une meilleure prévention des incendies de forêts et une aide à la décision certaine.

Mots clés ; incendie de forêt, Cap Lindès, Google Engine, sévérité du feu.

ملخص

حريق الغابات لا يزال أحد أكثر عوامل التدهور تدميراً في حوض البحر الأبيض المتوسط، الذي يتسم بخضرة شديدة الاشتعال وبظروف مناخية ساخنة وجافة. الجزائر، هي بلد في منطقة البحر الأبيض المتوسط، لم تسلم من هذه الآفة، حيث تفقد الغابات سنوياً 3900 هكتار وفي الدخان، تتفاقم هذه الحالة بسبب صعوبات التجديد وترميم مساحات، تتميز بضعف (Cape Lindès) كيب لينده طبيعى في المساحة

الأساليب التقليدية المستخدمة عموماً في الجزائر للوقاية والسيطرة. فالحرائق تستغرق وقتاً، ولا يمكن الاعتماد عليها دائماً نظراً لتعدد وتنوع النظم البيئية الحرجية. وقد أظهر العمل في هذا الميدان، القائم على الاستشعار عن بعد وعلى أساس الدراسات المتعلقة بالفعالية على أساس الموارد من أجل التنمية، كفاءتهما وسرعتهم في وضع خرائط لتقييم مخاطر الحرائق في المناطق الحرجية بفضل التحليل المواضيعي الذي أجرته الصور الساتلية التي توفرها منصة لتحديد المناطق Google Engine المحترقة وتقدير شدة الحريق

لتحديد المناطق المحترقة وتقدير شدة الحريق (NBR) تم تصميم معدل الاحتراق القياسي وحللت الدراسة الحالية القدرة على اكتشاف آثار الحروق باستخدام المؤشرات الفرق NBR و NBR و EVI و Savi و NDVI (dNBR) الذي يختلف عن وتشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى ثمانية فئات من شدة الحرائق تشكل مدخلاً لتحسين الوقاية من حرائق الغابات والمساعدة على اتخاذ قرار معين.

الكلمات الأساسية؛

، حدة الحريق Google Engine؛ حريق الغابات، كاب لينده،

Abstract

The forest fire remains unquestionably one of the most devastating degradation factors in the Mediterranean basin, which is characterized by highly flammable vegetation and hot and dry climatic conditions. Algeria, a country around the Mediterranean, is not spared this scourge, with 3,900 ha of forest leaving annually in smoke; this situation is aggravated by the difficulties of regeneration and restoration of spaces, marked by a natural vulnerability such as that of Cape Lindès.

The conventional methods generally used in Algeria for fire prevention and fire-fighting require time and are not always reliable given the complexity and the diversity of forest ecosystems. Work in this area based on remote sensing and S.I.G has shown their efficiency and speed in the development of fire risk assessment maps in forest areas through thematic analysis of satellite images provided by the platform Google Engine. The rate of Standard Combustion (NBR) was designed to identify burned areas and estimate fire severity.

The present study analysed the ability to detect burn scars using the indices NDVI, SAVI, EVI, NBR and NBR difference (dNBR). Results obtained Indicated in eight fire severity classes which constitute an input for better prevention of forest fires and help with certain decisions.

Keywords; forest fire, Cap Lindès, Google Engine, fire severity.

Introduction générale

La forêt est une zone de diversité biologique exceptionnelle qui représente tous l'écosystème, c'est le poumon de la terre, permettant à l'être humain ainsi qu'au règne animale de subsister, il est donc primordiale d'en prendre soin et de la préserver coûte que coûte.

Le bassin méditerranéen est marqué par la prédominance des feux d'origine humaine, Selon la FAO (2007), au moins 80 % des incendies sont provoqués par l'homme, et dans certaines régions cette proportion atteint 99 %.

En Algérie ces décennie plusieurs incendies ont ravagé des milliers d'hectares ce qui a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs spécialisés afin d'étudier ce phénomène et le solutionner au mieux.

La forêt de « Cap Lindès » a été touchée par des incendies au cours des années 2017 -2018 ces derniers font l'objet de notre étude qui consiste à faire une analyse de l'évolution des surfaces incendiées à l'aide d'un Système d'Information Géographique « SIG » et de la télédétection, ainsi on pourra calculer et comparer les surfaces touchées par les incendies de forêt au fil du temps.

Ayant recours à ces systèmes d'information par télédétection de la gestion de l'aménagement forestier qui sera optimisée au mieux et ainsi l'archivage chiffré sera banni à tout jamais, permettant d'éliminer toutes les entraves rencontrées lors des différentes études (Bilan, recherche, statistiques)

Notre travail s'organise en deux parties, une exclusivement bibliographique comportant trois chapitres qui sont :

- Chapitre I : Risque d'incendie de forêts
- Chapitre II : Système d'information géographique
- Chapitre III: La Télédétection

Une deuxième expérimentale répartie en trois chapitres aussi :

Introduction générale

-Chapitre IV : l'Étude du milieu physique qui a pour but la présentation de la zone d'études sur tous les plans géographiques

-Chapitre IV : matériels et méthodes sur le quelle on présente la méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail

-Chapitre V: résultat et discussions l'interprétation des résultats et les discutés

CHAPITRE I :

Risque

D'incendie de forêts



I.1 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 hauts chênes verts et aussi de 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 Siguen (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.

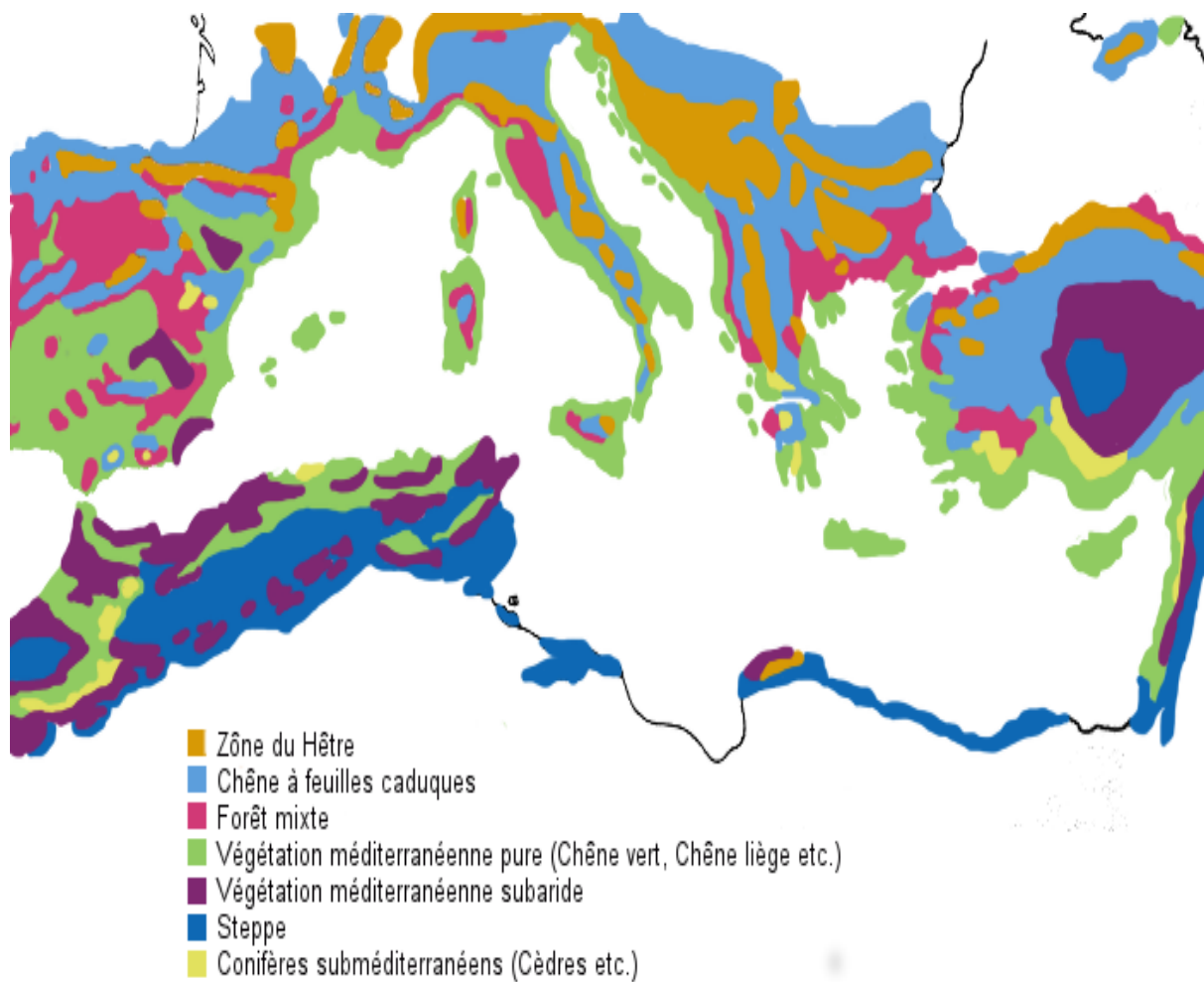


Figure I.1 : Carte de la végétation méditerranéenne 18 Décembre 2014

Source : (c'est un travail personnel a été réalisé lors d'un projet Education soutenu par Wikimedia CH.)

I.2 Présentation de la forêt Algérienne

C'est un milieu naturel, fragile et perturbé, la forêt ne pourra se développer que si les gestionnaires forestiers prennent conscience de sa conservation en tenant compte de son importance écologique et économique. En considérant les critères bioclimatiques, l'Algérie présente tous les bioclimats méditerranéens en allant de l'humide au saharien. Les zones semi-arides présentent des aspects bien particuliers tant par les espèces qui les constituent, conifères essentiellement, présents également en dehors de ces zones, mais aussi par la structure des formations végétales qu'elles déterminent et qui sont en fait presque toujours des formations arborées, souvent claires, à sous-bois de type matorral répondant plutôt à des structures pré-forestières, voire pré steppiques (ABI -SALEH, B ARBÉRO, NAHAL et QUÉZEL, 1 976) selon Djallil LOUNI

-On peut estimer, d'après ce tableau 1 suivant qui montrent les principales essences forestières en Algérie

Tableau I.1: Répartition générale des terres en Algérie Septentrionale

Essences	Superficie en Ha	Superficie en %
Pin d'Alep	792.000	34.8
Chêne liège	463.000	20.4
Chêne vert	354.000	15.6
Genévrier de Phénicie	227.000	10
Thuya	191.000	8.4
Chêne zeen + chêne afarès	65.000	2.9
Cèdre de l'Atlas	23.000	1.0
Pin maritime	12.000	0.5
Divers	143.000	6.4
Totale	2.270.000	100

Maquis	780.000	
Total (F+M)	3.050.000	
Broussailles	1.940.000	
Alfa	3.037.000	

Source ; (Service des forets, 1996 *IN KADIK* 1987)

1.3. Les incendies de forêts

On parle d'incendie de forêt lorsqu'un feu a menacé un massif de plus d'un hectare. Généralement la période la plus propice au feu de forêt est l'été, car aux effets conjugués de la sécheresse, l'augmentation des températures, et la faible teneur en eau des sols, viennent s'ajouter les travaux en forêt.

Un feu peut prendre différentes formes selon les caractéristiques de la végétation dans laquelle il se développe :

- **Les feux de sol brûlent**: la matière organique contenue dans le sol qui sert de combustible. Ils sont peu virulents, de propagation lente et difficile à éteindre complètement.
- **Les feux de surface** : ce sont les strates basses de la végétation qui servent de combustible. Leur propagation rapide est favorisée par le vent en relief.
- **Les feux de cimes** : localisés sur la partie supérieure des arbres, ils libèrent de grandes quantités d'énergie et se propagent très rapidement. Favorisés par le vent et la sécheresse, ils sont difficiles à contrôler. (Site Web 1)

3.1 Les incendies des forêts dans le bassin méditerranéen

Le feu est la cause principale de la destruction des forêts dans les pays du Bassin méditerranéen. Environ 50000 incendies ravagent chaque année de 700000 ha à 1 million d'ha de forêt méditerranéenne, causant des dommages écologiques et économiques énormes, ainsi que des pertes de vies humaines. Les données présentées dans les tableaux sont incomplètes et ne sont pas facilement comparables car les systèmes utilisés pour évaluer les dégâts ne sont pas toujours semblables, mais ils donnent toutefois une idée de l'ampleur du problème. (FAO)

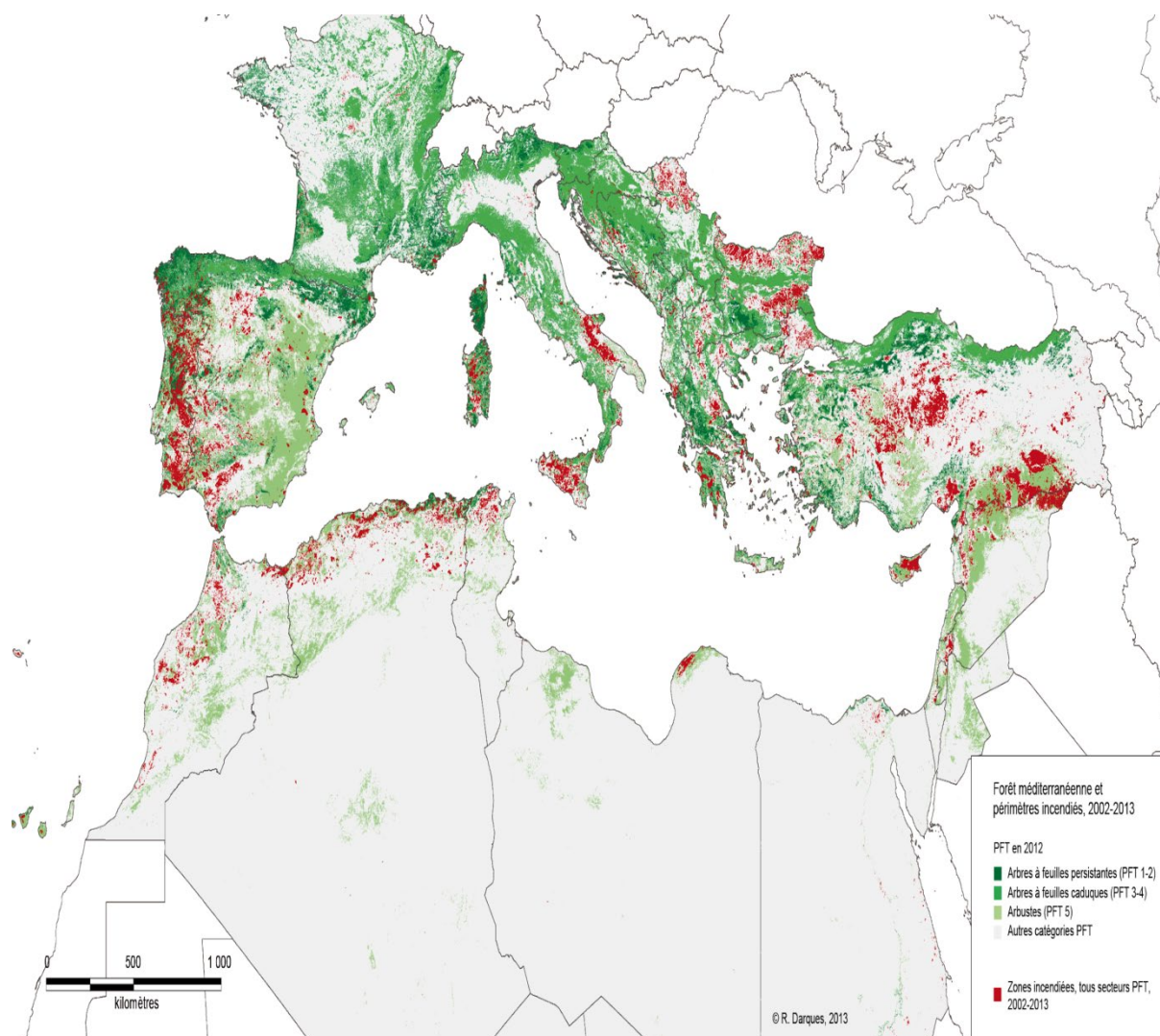


Figure I.2 : Forêt méditerranéenne et zones incendiées, 2002-2013

Source: (Données MODIS, NASA EOSDIS)

Tableau : les zones des incendies dans le bassin méditerranéen entre 2002 et 2013, par pays

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

*Andorre, Gibraltar, Monaco, Saint-Marin, Vatican

Source : (Données MODIS, NASA EOSDIS, computation de l'auteur.)

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.

3.2. Les incendies des forêts 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. (**MEDDOUR-SAHAR O** 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 4 représente une série chronologique de 137 ans des surfaces parcourues (Marc, 1916 ; Boudy, 1948 ; Grim, 1989 ; Meddour-Sahar, 2008).

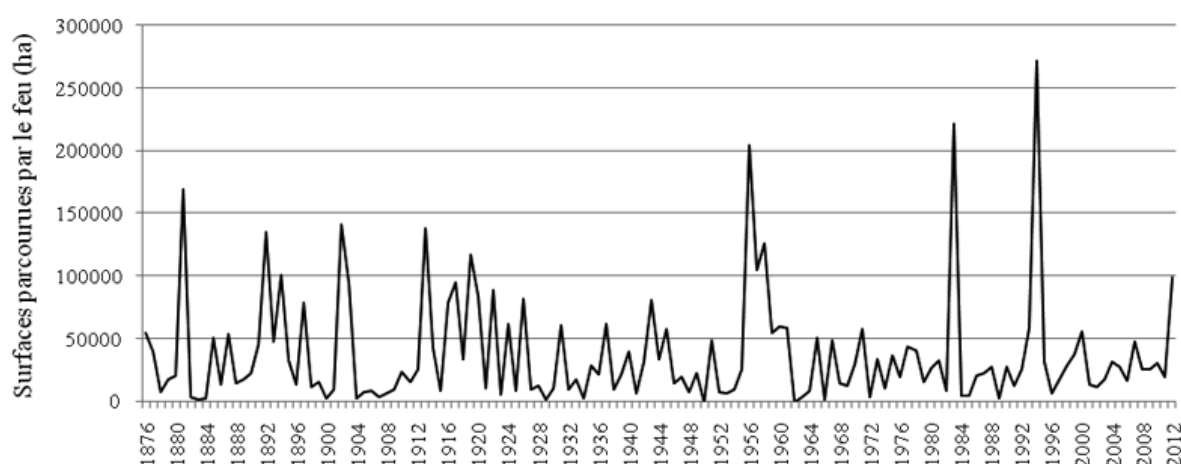


Figure I.4: Évolution annuelle des superficies parcourues par le feu en Algérie 1876-2012

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)

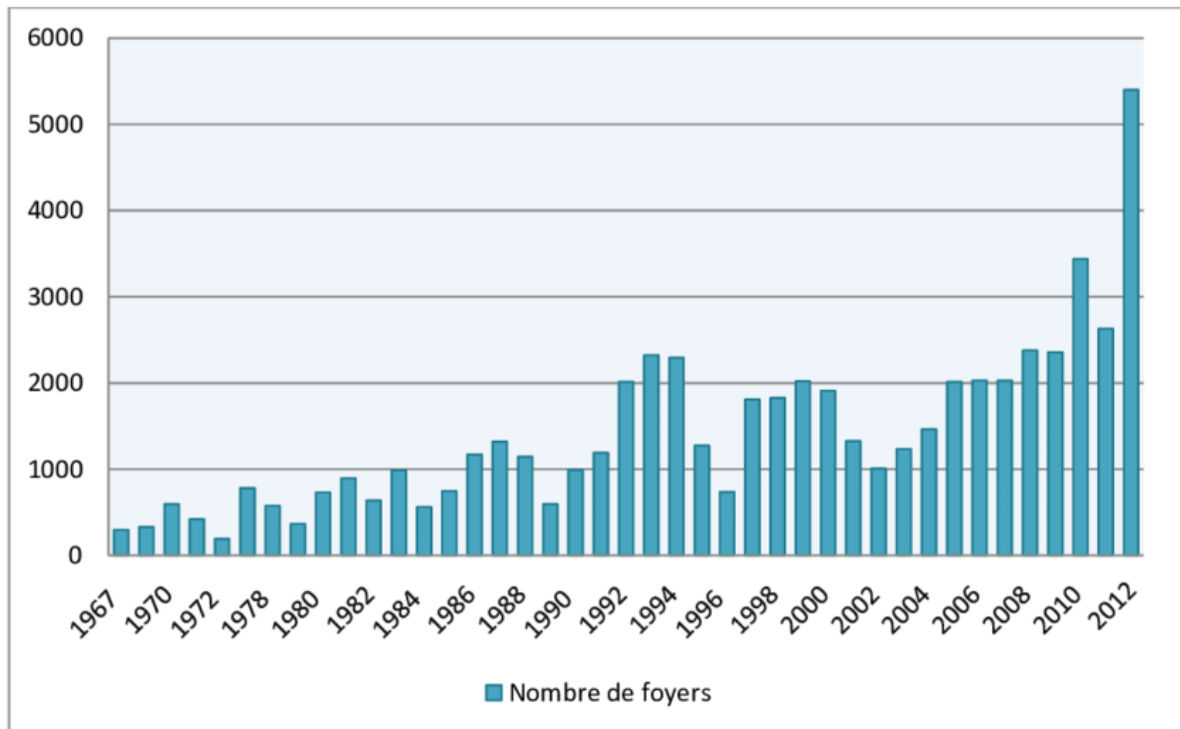


Figure I.5 : Superficie des forêts brûlée annuellement par incendie en Algérie ha
Source: (Berrichi, Mohamed; Benabdeli, Kheloufi, Letreuch-Belarouci, Noureddine & Haddouche, Idriss)

D'après la figure 5 on remarque que le taux des incendies a augmenté durant les années (1967-2012) avec des superficies qui dépassent 6000 HA

D'ailleurs dans les derniers mois juillet août 2020 plusieurs régions du pays sont la proie d'incendies qui ravagent le couvert végétal dans les massifs forestiers de plusieurs wilayas du centre, de l'Est et de l'Ouest ont été en feu des dizaines de départements de feux sont signalés quotidiennement à Bejaïa, Tizi-Ouzou, Sétif et Tiaret. Des photos et vidéos partagées sur les réseaux sociaux témoignent de l'ampleur des dégâts causés par ces incendies sur la nature de ces régions du pays.

Des hectares entiers de couvert végétal ont été calcinés par les incendies et les internautes crient à la catastrophe écologique

Voici quelques photos qui sont prises par un photographe témoin de ces incendies dans la forêt de la wilaya de Tiaret



Figure I.6: Photo de l'incendie de la forêt de Tiaret juillet 2020

Source : (Le photographe Khalifa Mohamed)



Figure I.7: Photo de l'incendie de la forêt de Tiaret juillet 2020

Source : (Le photographe Khalifa Mohamed)



Figure I.8: Photo de l'incendie de la forêt de Tiaret juillet 2020

Source : (Le photographe Khalifa Mohamed)

3.3. Les incendies de forêt dans la wilaya d'Oran

Sept hectares de maquis et de brosses ont été détruits par 45 foyers d'incendies depuis le début de la campagne de lutte contre les feux de forêts à travers la wilaya d'Oran. La localité forestière de Boulélis située au sud d'Oran, a été la zone la plus touchée par les incendies qui n'ont pas été déterminés en attendant les résultats de l'enquête. Dans le même sillage, la wilaya enregistre durant cette période une importante baisse dans les surfaces endommagées par rapport à l'année précédente qui était de l'ordre de 73 hectares, cette baisse a eu lieu grâce à l'établissement d'un dispositif efficace durant la campagne de lutte contre les feux de forêts qui a débuté le 21 juin 2010 (**N.Bentefour** Dimanche 5 Septembre 2010 - 12:18 dans le quotidien national Réflexion)

De grands titres de presse sont apparus En septembre 2018 révélant le ravage de : 21 hectares de végétation ravagés par les flammes dans la wilaya d'Oran depuis le début de l'été.



Figure I.9: Une photo de d'incendies de la forêt de M'sila la wilaya d'Oran 05
SEPTEMBRE 2018 prise par Nayla Hammoud

Source : (El Watan)

La superficie ravagée par les flammes cet été a connu une hausse par rapport à la même période de l'année 2017. En effet, près de 14,5 hectares de massif forestier, maquis et broussailles ont été détruits par les flammes, selon un bilan des services de la Conservation des forêts.

Le bilan communiqué par la direction de la Protection civile de la wilaya d'Oran fait état de 22 feux de forêt depuis le début de la saison estivale (1er juin). Ces sinistres ont ravagé quelque 15 hectares de massif forestier et de maquis. Pour ce qui est des feux de broussailles, les mêmes services ont fait état de 160 incendies ayant détruit une superficie globale de 6 hectares. Soit un total de 21 hectares entre maquis et broussailles. Un pic d'incendie a été enregistré durant le mois d'août avec près de 13 hectares entre maquis et broussailles détruits par les flammes. (Elwatan)

I.4. Généralité sur l'incendie de forêt

On parle d'incendie de forêt lorsque le feu concerne une surface minimale de 0,5 hectare d'un seul tenant, et qu'une partie au moins des étages arbustifs et/ou arborés (parties hautes) est détruite. La dénomination vaut aussi pour les incendies qui touchent le maquis, la garrigue ou encore les lindes.

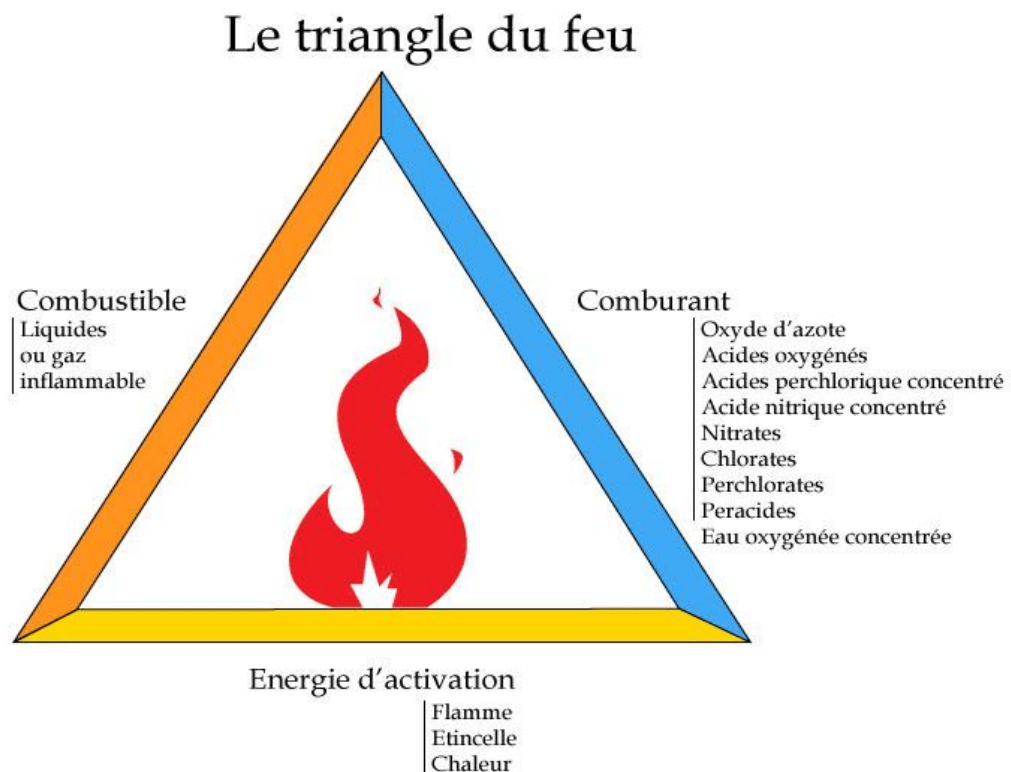
4.1 Définitions

L'incendie de forêt a nombreuses définitions dont celle :

D'après (TRABAUD, 1992): l'incendie est « une combustion qui se développe sans contrôle dans l'espace et dans le temps. L'incendie de forêt s'alimente de tous les combustibles possibles et ainsi se propage jusqu'à l'épuisement de ceux-ci ».

L'incendie est une réaction de combustion non maîtrisée dans le temps et dans l'espace (Khalid et al, 2008 ; Cemagref et al, 1994 ; Jappiot 2002)

Pour apparaître une inflammation ou un feu de forêt a besoin de trois éléments qui doivent être réunis: un combustible, un comburant : l'oxygène de l'air, une source externe d'énergie elles sont présentées d'après un Triangle appelé Triangle du feu (figure 10)



Resecum - 2011

Figure I. 10: Triangle du feu

Source: (researchgate.net Houria Rezala 2011)

A chaque apparition d'un feu les trois éléments suivants sont indispensables :

→ **Un combustible** : la végétation forestière et sub-forestière. La forêt sera d'autant plus combustible que les constituants du milieu (litière, strate herbacée, strate arbustive, strate des ligneux hauts) auront une teneur en eau faible (variable avec le niveau de sécheresse, le stade végétatif, la présence d'arbres secs suite à des chablis ou à des maladies, etc.), que ses strates seront riches en essences volatiles ou en résines

→ **Un comburant** : l'oxygène de l'air. L'évolution du feu (intensité et direction) dépend très largement des caractéristiques locales du vent, elles-mêmes modifiées par le relief, voire par le feu lui-même (qui crée son propre vent) ;

→ **Une source externe d'énergie** : une flamme, une étincelle, un brandon. Le combustible, pour s'enflammer, doit être porté à une température suffisante pour activer la réaction chimique de combustion : il y a d'abord évaporation de l'eau contenue dans le combustible (au-delà de 100°), puis émission de gaz inflammable par pyrolyse et enfin inflammation (vers 225-275°).(Site web 2)

4.1.1 Les différents types de feu :

➤ **Les feux de sol** : ils brûlent la couche d'humus de la forêt. C'est un feu à incandescence ce qui fait qu'ils se propagent à une vitesse réduite.

➤ **Les feux de surface** : ils brûlent les strates (litière) et les broussailles des forêts. Leur propagation se fait par rayonnement uniquement.

➤ **Les feux de cimes** : ils brûlent le sommet des arbres libérant de l'énergie cinétique ; le vent et la sécheresse aidant, leur vitesse de propagation est alors très élevée, ce qui rend le travail des pompiers très difficile. (Site Web 3)



Figure I. 11: Les différents types de feu

Source : (Site web 3)

1 : Feux de sol	2 et 3 : les feux de surface	4: les feux de cimes
-----------------	------------------------------	----------------------

4.2. Causes des incendies

Les causes d'incendie de forêt sont diverses et leur répartition varie selon les zones géographiques mais aussi en fonction du temps (Long et al, 2008). Contrairement aux autres parties du monde, où un pourcentage élevé de feux est d'origine naturelle (essentiellement la foudre). Le bassin méditerranéen se caractérise par la prévalence de feux provoqués par l'homme. Les causes naturelles ne représentent qu'un faible pourcentage (de 1 à 5 % en fonction des pays), probablement à cause de l'absence de phénomènes climatiques comme les tempêtes sèches (Alexandrian et al, 1998).

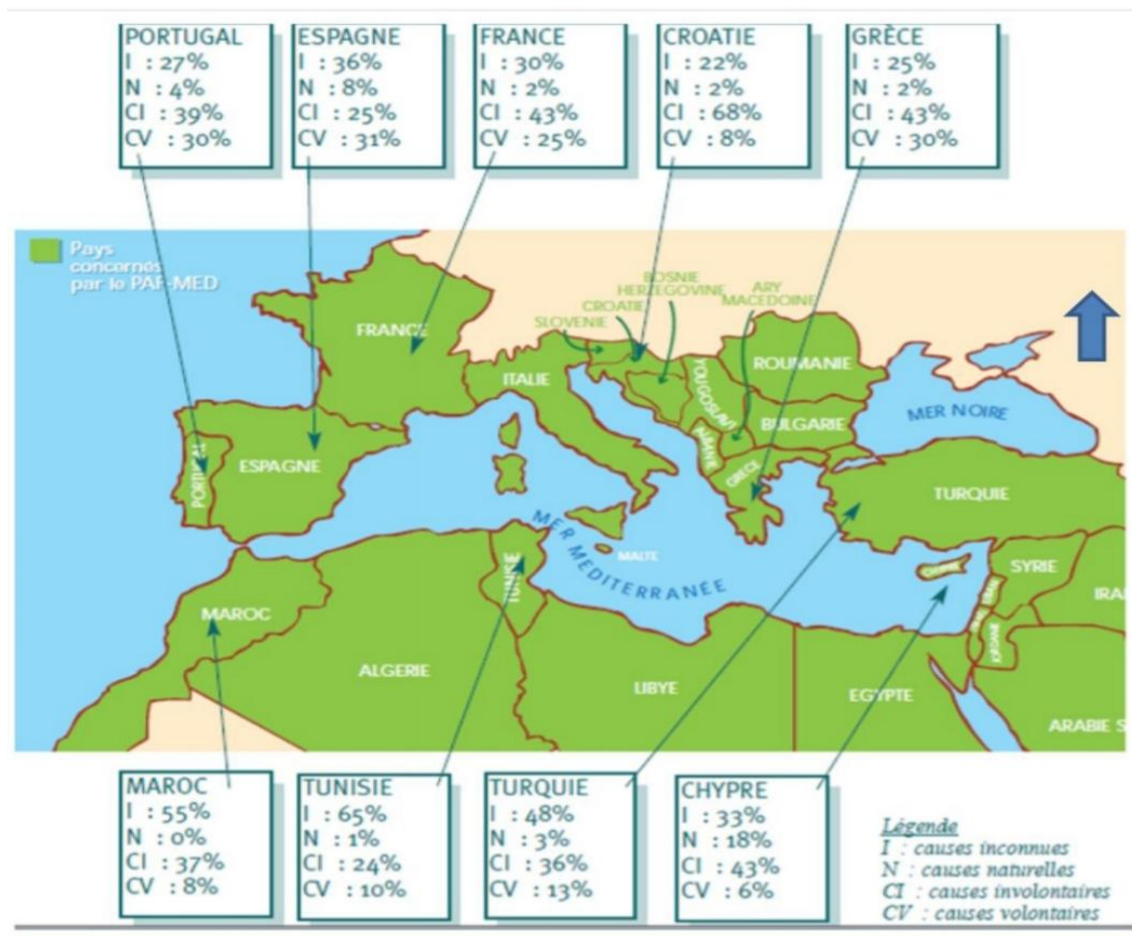


Figure I. 12: Répartition des causes par pays

Source : (Colin et al. 2001)

Dans le Bassin Méditerranéen, les incendies sont en grande majorité d'origine humaine, que ce soit par accident, par négligence ou intentionnellement. Cependant, la part des feux dont l'origine reste inconnue est encore importante. Parmi les origines connues, ce sont les causes involontaires (négligence ou accident) qui sont les plus fréquentes dans l'ensemble des pays, hormis la Turquie, où les incendies criminels semblent être la majorité (Long et al, 2008).

4.2.1. Causes naturelles

La végétation ne s'enflammant pas seule, même par forte sécheresse ; l'unique cause naturelle connue dans le Bassin Méditerranéen est la foudre. Ce phénomène, très répandu en forêt boréale (orages secs), est relativement rare en région méditerranéenne où il ne concerne que 1 à 5 % des cas d'incendies. Des exceptions peuvent toutefois être observées, notamment en Espagne, où, dans certaines régions, la foudre représente 30 % des départs de Les éruptions volcaniques peuvent également être à l'origine d'incendies de forêt. Ce phénomène est cependant exceptionnel dans le bassin Méditerranéen. (Colin et al, 2001).

4.2.2. Causes humaines

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

4.2.3. Causes volontaires

La malveillance joue incontestablement un rôle dans les incendies des forêts. Elle se manifeste habituellement pour exprimer le mécontentement des riverains vis-à-vis des procès-verbaux dressés à leur rencontre par l'administration forestière.

Il faut ajouter les déséquilibres ou pyromanes, qui incendient uniquement par plaisir de détruire ou pour jouir de l'effet causé dans la population ou dans la presse, on doit faire rentrer dans la malveillance les incendies allumés par intérêt, notamment ceux provoqué par les bergers pour procurer des pâturages.

4.2.4. Causes involontaires

L'accident ou l'imprudence sont à coup sûr les plus fréquentes, elles se répartissent comme suit :

- Imprudence des fumeurs.
- Négligence des paysans durant leurs activités agricoles et forestières (incinération des chaumes)

Imprudence des promoteurs, chasseurs et ouvriers de la forêt qui négligent d'éteindre entièrement les feux allumés pour la cuisson de leurs aliments, charbonneries rustique, établis généralement en délit par les riverains qui en toute saison fabriquent du charbon en forêt, la maladresse des chercheurs de miel qui, suivant la coutume des riverains, avaient employé le feu pour chasser les abeilles dont ils récoltent le miel., notamment ceux provoqués par les bergers pour procurer des pâturages.

4.3. Propagation des incendies

À l'exception des feux de sol, un incendie de végétation se propage principalement par convection et par rayonnement. Les sautes de feu peuvent accélérer la propagation. On distingue différents types de feu, en fonction des strates où ils se propagent (**Colin et al, 2001**).

4.3.1- La propagation par transmission de chaleur

L'incendie de forêt peut être décomposé en trois phases : évaporation de l'eau contenue dans le combustible, émission des gaz inflammables par pyrolyse et l'inflammation (**Ghalem, 2006**).

La chaleur se propage par trois processus distincts : la conduction, la convection et le rayonnement (**Carbonell et al, 2004**)

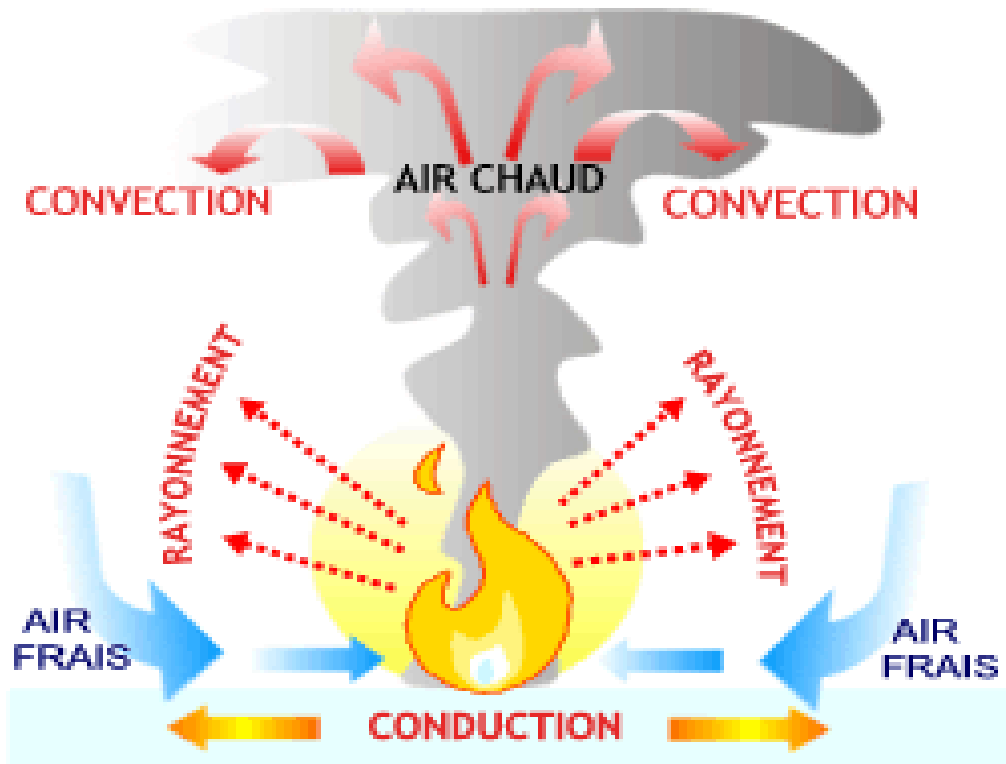


Figure I.13: Mécanisme de propagation d'un feu de forêt

Source : (Google image)

a-Transmission par conduction

La conduction est issue de l'agitation moléculaire, qui est liée à la constitution et à la température du milieu, se produisant seulement dans un support matériel qu'il soit solide, liquide ou gazeux. La chaleur se diffuse du corps chaud vers le corps froid. En pratique, la conduction est négligeable au cours de la propagation des incendies de végétation, puisqu'elle ne représente environ que 5 % des transferts de chaleur, à l'exception des feux de sol ou de tourbières, pour lesquels elle est le processus de chaleur prépondérant (Colin et al, 2001)

b- Transmission par rayonnement thermique

Le rayonnement est un mode de transfert de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques, se propageant avec ou sans support matériel. La quantité d'énergie transférée d'un corps à un autre par rayonnement augmente avec l'accroissement de la différence de température entre ces deux corps C'est le principal mode de propagation des incendies de forêt (Colin et al, 2001).

c- Transmission par convection

Liée aux mouvements d'air chaud, voit son importance augmenter avec le vent et la pente. Ce processus peut contribuer au transport de particules incandescentes en avant du front de flamme et au déclenchement de foyers secondaires (sautes de feu) (Merdas, 2007).

4.3.2-La propagation par déplacement des substances en combustion

Le déplacement des matériaux en combustion peut s'effectuer de différentes manières selon la nature du matériel ou de la substance.

4.3.3-Par les gaz, liquides et solides

Dans un feu où la combustion est souvent incomplète, il subsiste des nappes de gaz non brûlées. La combustion de ces nappes peut se poursuivre sur une distance notable avec parfois une rupture de flammes, puis ré-inflammation à une distance variable par un nouvel appel d'air tandis que le transfert par liquide est le transfert le plus direct est de plus en plus limité (Arfa, 2003).

4.3.4 Les facteurs favorisant le risque de feux de forêt

➤**La structure et la composition de la végétation** :c'est la continuité du couvert végétal, horizontal et vertical, qui va majoritairement jouer sur la sensibilité au feu du peuplement, en favorisant ou non la propagation de l'incendie.

➤**Les conditions météorologiques et le relief** : Les conditions météorologiques telles que la température, le degré d'humidité de l'air, l'historique des précipitations et le vent influencent fortement la sensibilité de la végétation au feu. Les conditions situationnelles telles que la topographie (pente, cuvette...), l'orientation des versants (ubac/adret) doivent également être prises en compte dans l'appréciation de l'aléa.

➤ **Les facteurs humains** : Les nombreuses activités humaines telles que les travaux agricoles ou forestiers, les transports, les loisirs, en contact avec ces espaces naturels, contribuent au déclenchement des incendies de forêt.

4.4. 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. (Site web 4)



Figure I.14 : Photo qui montre les l'une des conséquences d'incendie de forêt Près de Bormes-les-Mimosas (Var), où 1 500 hectares ont été ravagés par le feu

Source : (Photo **Franck Bessière. Hans Lucas** pour Libération)

4.5 Facteurs favorables aux incendies de forêts en région méditerranéen

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 (**O MEDDOUR-SAHAR, R MEDDOUR, A Derridj**)

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).

4.5.1-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 % (1994 ; **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(3) suivant explique l'effet des facteurs climatiques sur les conditions du feu :

Tableau I.2 : Influence des facteurs climatiques sur les conditions du feu

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

Source : (ALEXANDER & *al.* 1996)

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).

4.5.2-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).

4.5.3- Les combustibles végétaux

-Les combustibles végétaux désignent 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.15 : Une photo de bois mort et quelques herbes

Source : (Jean-Marc Péchart / ONF)

4.5.4 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 sensibilisation du public sur les risques qu'ils peuvent créer à cause de leur 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 matière premières, sont actuellement axées sur la conservation la nature, la conservation du paysage et les activités de loisirs, la diminution de la récolte de bois et de l'exploitation forestière dans certain 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.5.Risque d'incendie

La notion de risque résulte de confrontation d'un aléa et d'un enjeu. L'aléa correspond à la probabilité qu'un phénomène naturel se produise, et l'enjeu aux vies humaines et aux patrimoines potentiellement menacés par le sinistre (Choquet et al, 1995).

L'existence des risques naturels est liée à la présence des hommes dans un territoire ou sont susceptibles de se produire des phénomènes naturels dangereux (Jappiot .1999).

Pendant toute la durée de la saison des feux, la prévision des périodes à risque permet de mobiliser complètement les moyens de lutte les jours à risque élevé, en donnant une estimation du niveau de ce risque (colin et al.2001).

5.1. Risque lié à l'homme

Le risque d'incendie est d'autant plus élevé que l'on se trouve en présence de facteurs favorisant l'éclosion et la propagation d'un feu. Il s'agit alors de déterminer les facteurs qui interviennent dans le risque et d'évaluer comment, quand et où ces facteurs se combinent.

Un indice de risque peut correspondre simplement à la présence d'activités (ruchers, pastoralisme par exemple) ou d'équipements tels que les routes, les voies de chemin de fer, les lignes électriques, les habitations... ou bien prendre en compte l'éloignement par rapport à ces installations. Ces facteurs peuvent être cartographiés par exemple à partir de l'interprétation de photographies aériennes, ou par recensement sur le terrain (colin et al.2001).

Les principales causes en Algérie sont :

- Les bergers
- Les charbonniers

- Les chercheurs de miel
- Le renouvellement de parcours, incinération des chaumes
- Échappements de véhicules
- Volontaires
- Pyromanie
- Inconnus

5.2. Risque lié à la météorologie

Le déclenchement et la propagation d'un feu sont conditionnés par l'état (température et humidité) des strates contiguës au sol (litière ou tapis herbacé), ainsi que par l'état hydrique de la végétation arbustive et par la vitesse du vent (colin et *al.*2001).

a. Le vent

Le vent est le facteur atmosphérique le plus affectant d'un incendie de forêt. Il augmente la combustion et la propagation.

Le vent renouvelle l'oxygène de l'air, réduit l'angle entre les flammes et la végétation au sol et favorise le transport des particules en avant du front de flammes. La vitesse du vent influence celle de la propagation d'un feu. La direction du vent détermine la forme finale du feu par rapport au point d'éclosion.



Figure I.16: Effet du vent sur la vitesse de propagation du feu

Source : (colin et *al.*2001).

Le vent local au sol dépend du vent en altitude, du relief et de la rugosité de la végétation (colin et *al.*2001).

Par ailleurs, il est important de connaître les caractéristiques des vents dominant d'une région forestière, car le vent peut dans certaines circonstances être un auxiliaire précieux en dirigeant le feu vers une barrière naturelle ou artificielle qui peut arrêter leur propagation (Zouaidia, 2006).

b. La température

La température s'accompagne souvent d'une baisse notable de l'humidité de l'air ambiant en période estivale (Frederic 1992). La principale source de chaleur est le soleil, les combustibles exposés au soleil se réchauffent plus rapidement que ceux sous couvert forestier. 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.

c. L'humidité relative

D'après (Jean-Charles DROUET et Bernard SOL, 1993) Représente donc le teneur en eau des végétaux morts qui sont en équilibre avec la tension de vapeur d'eau dans l'air cet équilibre dépend de leur température. Ce coefficient représente donc le risque d'éclosion de l'incendie.

Les modifications que connaît la teneur en humidité relative, exercent des effets importants sur les matériaux combustibles. Si le contenu de l'air en humidité est élevé, les combustibles s'humidifient et deviennent difficilement inflammables. Par contre, si l'air est sec, le taux d'évaporation de l'humidité des combustibles sera plus élevé, ce qui augmentera l'inflammabilité de la forêt (Zouaidia, 2006).

D. Précipitations

La pluie est le facteur climatique le plus important qui influe le phénomène d'occurrence des feux (ANRH.2010).

Les précipitations exercent un effet direct sur la teneur en humidité des combustibles. Leur effet dépend de la lame d'eau précipitée et de sa répartition dans le temps (Bekdouche, 2010).

E. Stabilité de l'air

La stabilité de l'air peut être définie comme la résistance de l'atmosphère au mouvement vertical, l'air instable amplifie le comportement du feu en favorisant le mouvement vertical.

L'air est dit froid car on le compare à la température du sol qui est plus chaude. Dans cette première situation, le sol chaud va réchauffer la partie inférieure de la masse d'air froide. Par la chaleur, cette partie va devenir moins dense, donc plus légère. Elle va s'élever à travers la masse froide. On dit que la masse d'air froide est instable (**site web 5**).

5.3. Risque lié à la topographie

La topographie influence le comportement d'un feu, dont sa direction et sa vitesse de propagation. De plus, elle peut même avoir une influence sur la direction des vents météorologiques qui modifient également le comportement du feu. Le degré d'inclinaison de la pente affecte la vitesse de propagation d'un feu de forêt. Ainsi, plus la pente est abrupte, plus le feu monte rapidement. Trois paramètres topographiques influencent les incendies à savoir : l'inclinaison du terrain, l'exposition des pentes au soleil et au vent, l'élévation des terrains. Contrairement aux agents atmosphériques, la topographie est un facteur constant dont il est possible de déterminer son influence (**Guendoul, 2011**).

5.4. Risque lié à la végétation ou au combustible

Plusieurs caractéristiques des combustibles agissent sur l'allumage et la propagation d'un feu. La plus importante caractéristique est leur teneur en humidité. En effet, des combustibles secs s'allument plus facilement et brûlent plus rapidement que des combustibles humides. Le type de combustibles, sa grosseur, sa forme, sa disposition, sa compacité, ses propriétés chimiques et sa charge (quantité par unité de surface) influent également sur le comportement du feu.

II.6 Méthodes d'évaluation du risque incendie

Le danger d'incendie de forêt est un terme général employé pour exprimer une diversité de facteurs dans les conditions de brûlage tels que la facilité d'allumage et la difficulté de contrôle. Les méthodes d'évaluation du danger d'incendie génèrent des indices qualitatifs ou numériques du potentiel d'incendie qui sont utilisés comme guides dans une grande variété d'activités de gestion des incendies de forêt (**Groot W.J, 2006**).

6.1. Méthode Française = méthode de détermination du risque de feu de forêt grâce au SIG

Elle vise à donner une valeur objective au risque de feux de forêt en prenant compte les caractères propre de la végétation, à l'espace-support et à l'occupation humaine du sol. Le modèle fait intervenir les trois principaux facteurs pour l'évaluation du risque de feu de forêt à savoir : le topo morphologie, le combustible et les activités humaines (**Andrée Dagherne et al, 1994**).

La formule finale s'écrit ainsi :

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

IR: indice de risque feux de forêts.

IC : L'indice Végétation (focaliser la recherche sur la combustibilité).

IH : indice d'occupation humaine.

IM : indice topo morphologique.

6.2. Méthode Espagnole = Système intégré pour la détermination du danger d'incendie de forêt

Elle a comme nom Système intégré pour la détermination du danger d'incendie de forêt réalisé par **Velez-Munoz** elle est constituée de 6 incendies

Quartres incendies partiels et 2 indices intermédiaires 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 (Guendoul, 2011).

6.3. Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt

La Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt (MCEDIF) est une méthode nationale pour classer le risque d'incendie de forêt au Canada. La MCEDIF est en cours d'élaboration depuis 1968. En ce moment, deux sous-systèmes - la Méthode canadienne

de l'indice forêt météo (IFM) et la Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt (PCI) – sont couramment utilisés au Canada et sur la scène internationale.

Structure de la MCEDIF

Le diagramme suivant illustre les composantes de la MCEDIF. Le risque, la météo, les combustibles et la topographie fournissent les intrants nécessaires pour prédire les conditions météorologiques propices aux incendies forestiers, la fréquence des incendies ainsi que le comportement

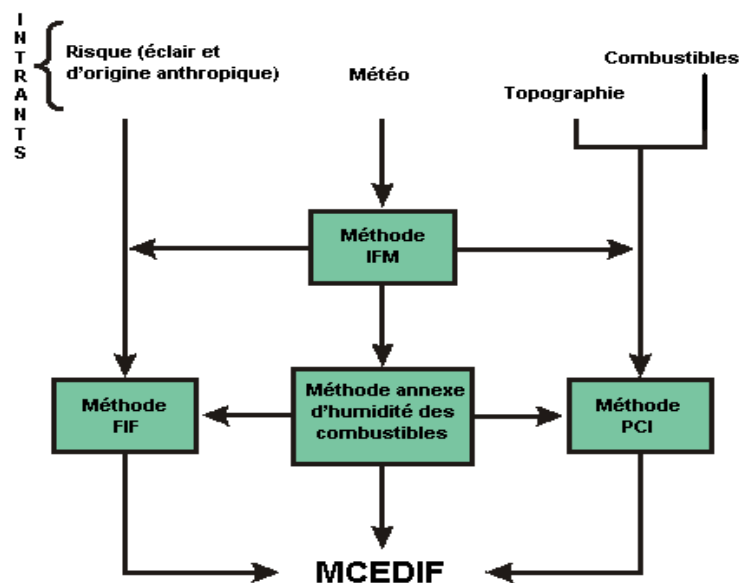


Figure I.17 : structure de la MCEDIF

Source : (Google image)

6.3.1. Méthode canadienne de l'indice Forêt-Météo (IFM)

La Méthode canadienne de l'indice forêt météo (IFM) est formée de six composantes qui tiennent compte des effets de la teneur en eau des combustibles et du vent sur le comportement des incendies.

Les trois premières composantes sont des indices d'humidité des combustibles; ce sont des valeurs numériques de la teneur en eau de la litière et d'autres combustibles légers, de la

teneur moyenne en eau de couches organiques peu tassées de moyenne épaisseur et de la teneur moyenne en eau d'épaisses couches organiques compactes.

Les trois autres composantes sont des indices de comportement du feu qui représentent la vitesse de propagation du feu, les quantités de combustibles disponibles et l'intensité du feu sur le front de l'incendie; la valeur de ces indices est directement proportionnelle au danger d'incendie (Groot W.J,2006).

6.3.2 Structure de la méthode de l'indice forêt météo

Le diagramme ci-dessous présente les composantes de la Méthode canadienne de l'indice forêt météo.

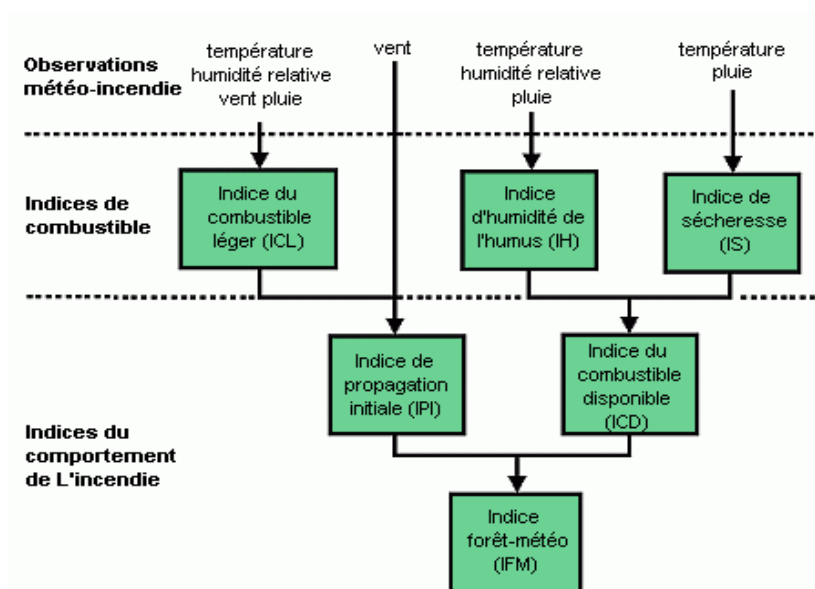


Figure I.18 : structure de l'IFM

Source : (Google image)

6.3.3 Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt (PCI)

La Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt (PCI) fournit des estimations quantitatives de la vitesse de propagation de la tête des incendies, de la consommation de combustible et de l'intensité des incendies ainsi qu'une

description des incendies. Au moyen d'un modèle elliptique de la propagation du feu, on produit des estimations de la superficie et du périmètre des zones touchées et de la vitesse d'extension du périmètre ainsi qu'une indication du comportement du feu sur les flancs et l'arrière (Groot W.J, 2006).

Structure de la méthode de PCI

Le diagramme suivant illustre les composantes de la méthode PCI, incluant les intrants nécessaires et les données de sortie produits par la méthode.

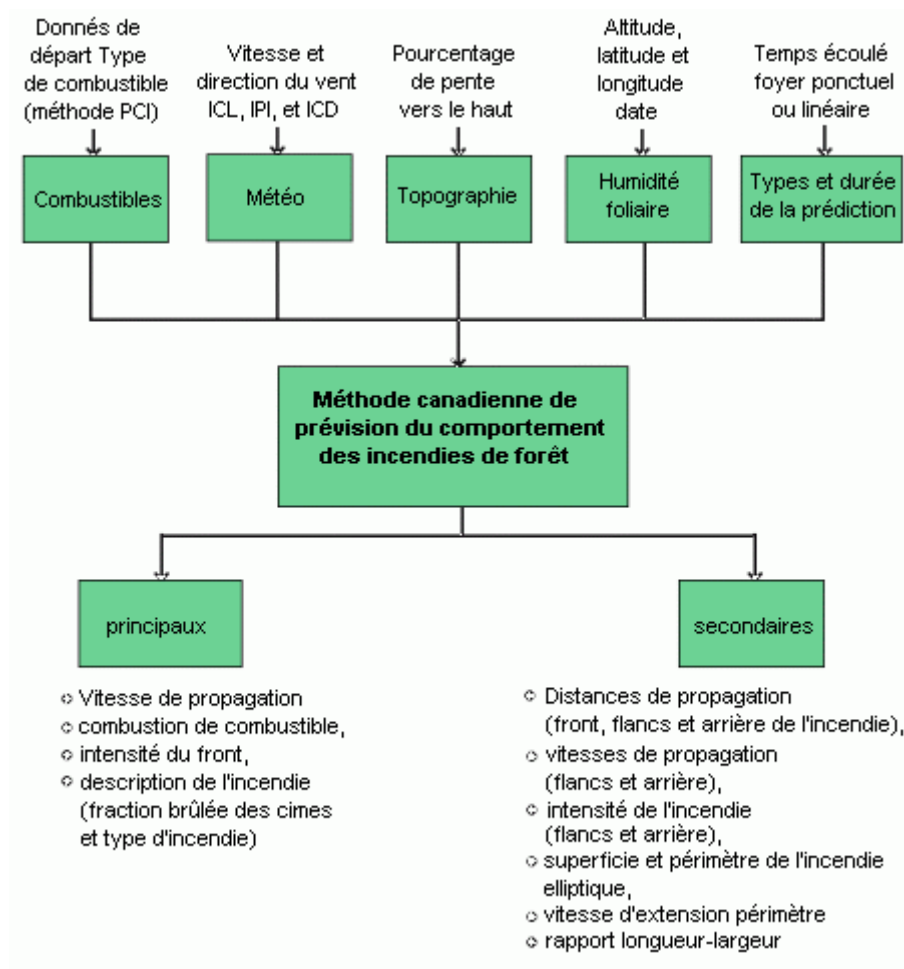


Figure I.19 : Structure de la méthode de PCI

Source : (Google image)

6.4. La Méthode turque

Baser sur un modèle de cartographie du risque d'incendie qui a été développé par des universitaires Turques (Erten et al, 2004). Pour l'évaluation de risque d'incendies, le modèle fait intervenir 5 facteurs : le type de végétation(Tveg), la pente(P), l'exposition(E), la distance à partir les routes(Dr) et la distance à partir les agglomérations(De)(Guendoul, 2011).

Le modèle repose sur la formule suivante :

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

L'homme la végétation et le climat sont les 3 composantes de bases des systèmes d'évaluation Pour les 4 méthodes étudiées d'une autre part l'importance donnée à chaque composant n'est pas la même pour les quatre méthodes ce que apparaît dans le tableau suivant :

Tableau I.3 : Les différentes importances pour chaque méthode

Composante Méthode	Méthode Française	Méthode Canadienne	Méthode Espagnole	Méthode Turque
Météo ou espace-support	12.5%	33%	56%	33,33%
Végétation	62.5%	33%	22%	46,66%
Homme	25%	33%	22%	20%

Source : (Guendoul 2011)

CHAPITRE II

Systeme d'information

Géographique

SIG



II .Système d'information géographique :

II.1-Définition de SIG :

Système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace (**Société française de photogrammétrie et télédétection, 1989**).

Le contexte de l'information géographique s'est largement développé depuis la fin du XXe siècle grâce à l'évolution des outils informatiques . L'apparition conjointe des technologies de l'information et de la communication et la circulation accrue des données, notamment suite à l'avènement de l'internet , font ainsi de la géomatique (**Florent Occelli ; 2014**) une discipline nouvelle et indispensable, utilisée pour répondre à des problématiques très variées à travers une approche multidisciplinaire et multithématique (**Bergeron, 1992 ; Clarke, 2001 ; Gadal, 2008**). Elle fait appel à un vocabulaire spécifique et emploie des technologies singulières : les systèmes d'information géographique.

celle de **Françoise De Blomac** illustre bien ce concept : un SIG est « un ensemble organisé de matériels informatiques, de logiciels, de données géographiques et de personnels capables de saisir, stocker, mettre à jour, manipuler, analyser et présenter toutes formes d'informations géographiquement référencées » (**Blomac et al., 1994**).

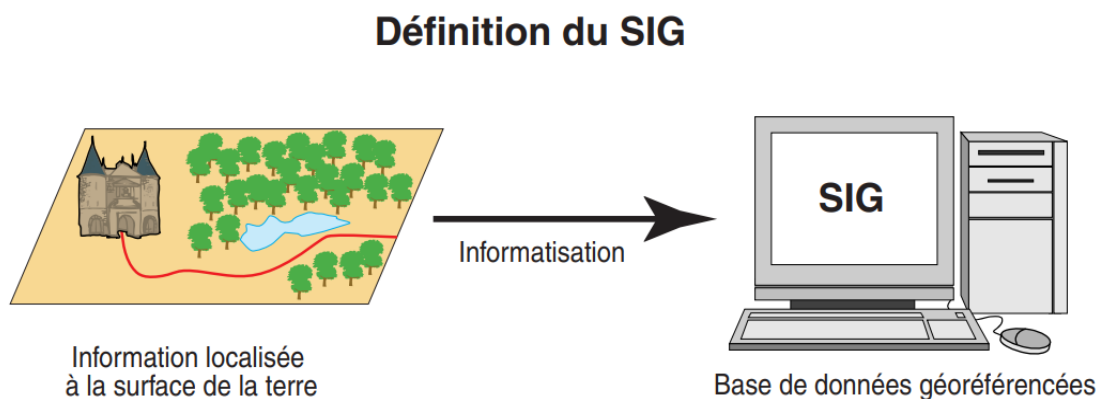


Figure II.20 : définition du sig

Source : (HABERT-IRD-2000).

II.2. Mode de représentation de l'information géographique dans une SIG

Données raster :

La réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille de cette grille ayant une intensité de gris ou une couleur. La juxtaposition des points recrée l'apparence visuelle du plan et de chaque information. Une forêt sera représentée par un ensemble de points d'intensité identique.

Données vectorielles :

Les limites des objets spatiaux sont décrites à travers leurs constituants élémentaires, à savoir les points, les arcs, et les arcs des polygones. Chaque objet spatial est doté d'un identifiant qui permet de le relier à une table attributaire.

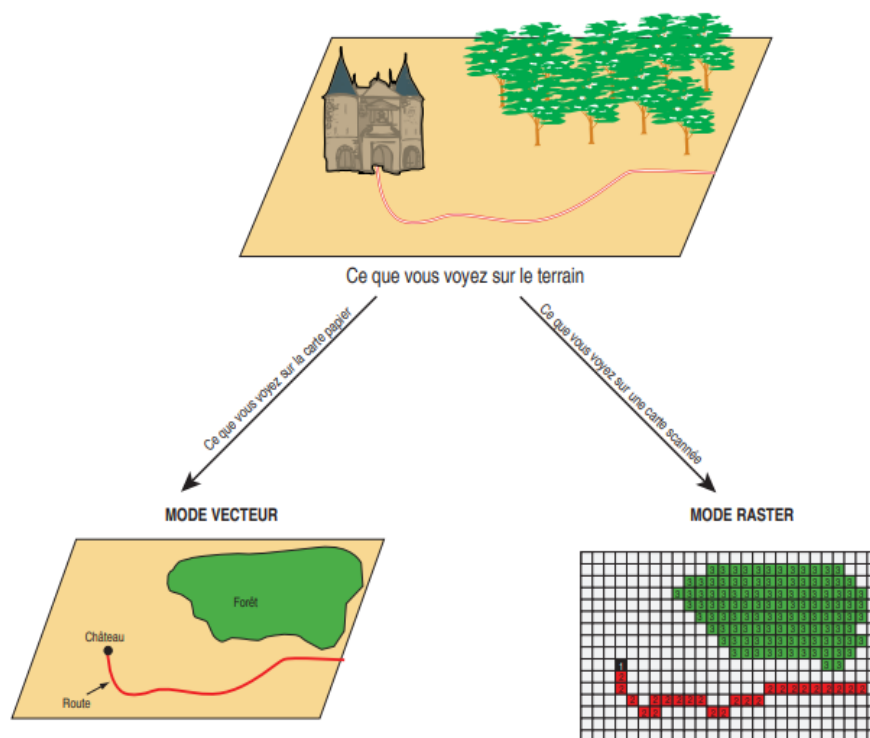


Figure II.21 : Modes de représentation de l'information géographique dans un SIG

Source : Source : (Google image)

LES POINTS : Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces qui n'ont pas de surface réelle comme les points cotés.

LES LIGNES : Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface comme les courbes de niveau.

LES POLYGONES : Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols..... (Élisabeth HABERT - IRD – 2000).

II.3. Les principaux rôles d'un SIG :

-Cartographie et Visualisation : Comprendre les localisations et les relations spatiales avec des cartes et des représentations visuelles.

-Gérer : Recueillir, organiser et maintenir une description précise et géographique des biens et ressources.

-Permettre la Mobilité : Gérer et équiper des collaborateurs nomades pour recueillir et accéder à de l'information sur le terrain.

-Superviser : Suivre, gérer et superviser des biens et ressources en temps réel.

-Analyser : Découvrir, mesurer et prévoir les tendances et évolutions pour améliorer et optimiser.

-Décider : Obtenir une parfaite connaissance de la situation et prendre des décisions basées sur l'information.

-Partager et collaborer : Donner les moyens à chacun de facilement découvrir, utiliser, créer et partager de l'information géographique.

II.4. Les domaines d'application :

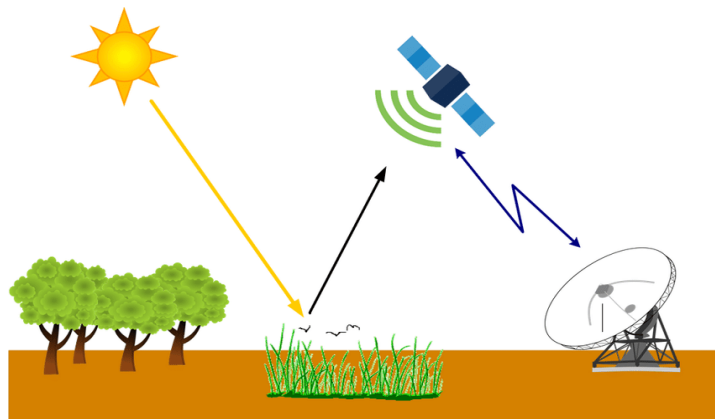
Selon (Élisabeth HABERT ; 2000) les domaines d'application des SIG sont :

- ❖ Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques)
- ❖ Marketing (localisation des clients, analyse du site)
- ❖ Planification urbaine (cadastre, POS, voirie, réseaux assainissement)
- ❖ Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires)
- ❖ Hydrologie
- ❖ Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture)

- ❖ Géologie (prospection minière)
- ❖ Protection civile (gestion et prévention des catastrophes)
- ❖ Biologie (études du déplacement des populations animales)
- ❖ Télécoms (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles)

CHAPITRE III

Télédétection



III. Télédétection

III.1 Définition

La télédétection est la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes.

Comme son nom l'indique, elle suppose l'acquisition d'information à distances, sans contact direct avec l'objet détecté. La définition officielle de la télédétection est « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (COMITAAS, 1988).

Elle apporte aussi une information nouvelle, différente et spatialement localisée. En particulier, la télédétection est la source principale d'information pour les études de la transformation du globe dans le cadre de programmes internationaux de recherche sur les changements planétaires et, à ce titre, elle intervient directement dans le développement de la conscience écologique de nos sociétés. (Bonn, F., Rochon, G., Précis de télédétection vol.1, 1993)

III.2 Processus de télédétection

Il existe sept étapes du processus de télédétection selon [Bul 2008] comme le montre ce schéma

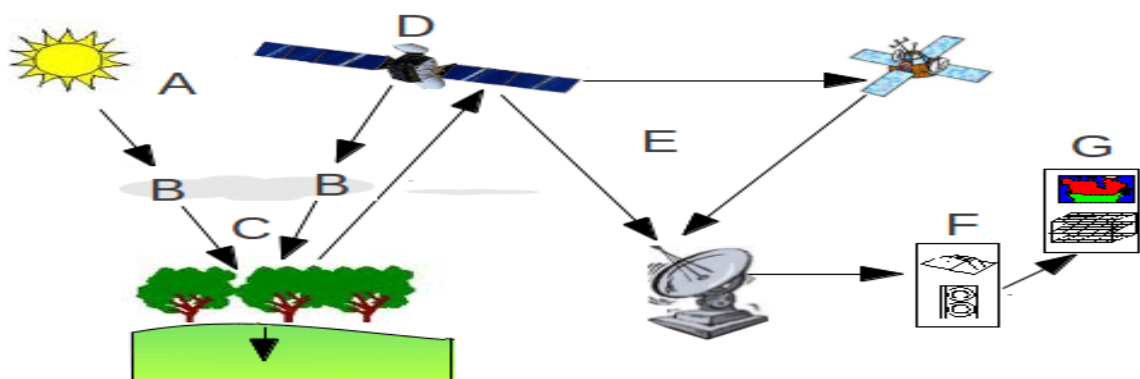


Figure III.22: Processus de télédétection (A) source d'énergie ; (B) atmosphère ; (C) cible ; (D) capteur ; (E) transmission, réception et traitement ; (F) interprétation et analyse ; (G) Application.

Source : (Centre Canadien de télédétection, 1999)

- 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.
- 2. Rayonnement et atmosphère (B)** → Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur
- 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.
- 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) pour être enfin enregistrée.
- 5. Transmission, réception et traitement (E)** → L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
- 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.
- 7. Application (G)** → La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier. (Centre Canadien de télédétection, 1999)

III.3 Les domaines d'application de la télédétection

Le premier grand domaine d'application de la télédétection a été l'étude de l'atmosphère (météorologie et climatologie). (Claude Kergomard Professeur Ecole Normale Supérieure Paris)

Le tableau suivant montre les différents domaines d'application de la télédétection :

Tableau 4 : Application de la télédétection

	Vecteurs	Capteurs	Domaines d'applications
	Vecteurs	Capteurs	Domaines d'applications
Télédétection de l'ATMOSPHERE (Météorologie, Climatologie):	Satellites géostationnaires (Météosat). Satellites à défilement (NOAA).	Basse et moyenne résolution (on privilégie la répétitivité et la couverture spatiale). Capteurs passifs: visible, infrarouge, micro ondes. Sondeurs atmosphériques. Dans le futur : radars pluviométriques, lidars (capteurs à laser).	Etude de la nébulosité Mesure des températures Vapeur d'eau et précipitations Eléments du bilan radiatif
OCÉANOGRAPHIE et études LITTORALES	Avions. Satellites météorologiques ou de télédétection terrestre, Satellites spécialisés (Nimbus, Seasat, ERS-1).	Toutes résolutions selon les espaces considérés (de l'océanographie côtière à l'océanographie globale). Capteurs passifs : visible, infrarouge, micro ondes. Radars imageurs, radar-altimètre, diffusiomètre	Analyse de la couleur de l'océan (production biologique, turbidité). Mesures des températures de surface de la mer. Vagues et vents. Altitude de la surface (dynamique de l'océan). Glaces de mer.

APPLICATIONS TERRESTRES	Avions. Satellites à défilement en orbite polaire (Landsat, SPOT).	Surtout haute et très haute résolution spatiale : Photographie aérienne. Capteurs passifs : radiomètres à balayage (domaine optique). Capteurs actifs : radars imageurs	Cartographie régulière et thématique Géologie, prospection minière, géomorphologie. Hydrologie, neige, risques naturels. Agriculture, sylviculture. Urbanisme. Aménagement, génie civil. etc...
----------------------------	---	---	--

Source : (Claude Kergomard Professeur Ecole Normale
Supérieure Paris)

3.1 Exemples d'application de la télédétection

1. Météorologie et sciences de l'atmosphère

Les images et animations des satellites météorologiques sur orbite géostationnaire sont les documents de télédétection les plus diffusés auprès du grand public. L'imagerie des satellites européens de la série Météosat en est un exemple.

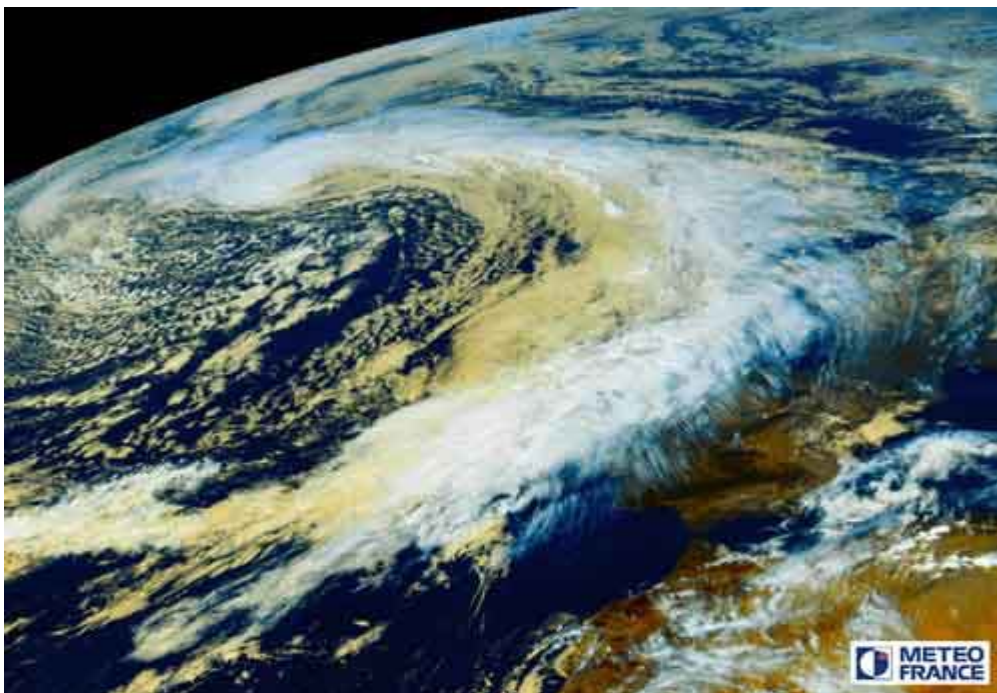


Figure III.23 : Une tempête sur le proche Atlantique le 18 octobre 2002. Image Météosat

Source : (météo en ligne)

Ce type d'imagerie a plusieurs types d'applications : - Le suivi en temps réel des masses nuageuses et des phénomènes météorologiques (les satellites Météosat fournissent une image toutes les demi-heures. - L'extraction automatique de paramètres géophysiques qui sont assimilés dans les modèles numériques de prévision météorologique. - Le traitement en série des images archivées pour l'obtention de séries climatologiques sur la nébulosité et les pluies, la température de surface de la terre ou de la mer, etc.

Des satellites géostationnaires similaires à Météosat couvrent l'ensemble de la planète à l'exception des très hautes latitudes (régions polaires) et permettent une surveillance météorologique globale.

III.4. Bases physique de la télédétection

4.1. Le rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique correspond à l'ensemble des radiations émises par une source qui peut être soit le soleil, soit la surface terrestre ou océanique ou l'atmosphère, ou bien encore le capteur satellitaire lui-même, sous forme d'ondes électromagnétiques ou de particules.

D'après **Imessaouden 2012**, 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 23) Elle se caractérise par :

→ Une période nommée T : le temps au le champ électrique ou magnétique effectue un cycle;

→ Une fréquence ν : (en Hz, 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;

→ Une longueur d'onde ou amplitude λ (m, μ m) la distance entre deux crêtes consécutives;

→ Une vitesse de propagation dans le vide (vitesse de la lumière) de l'ordre de 300000km/s.

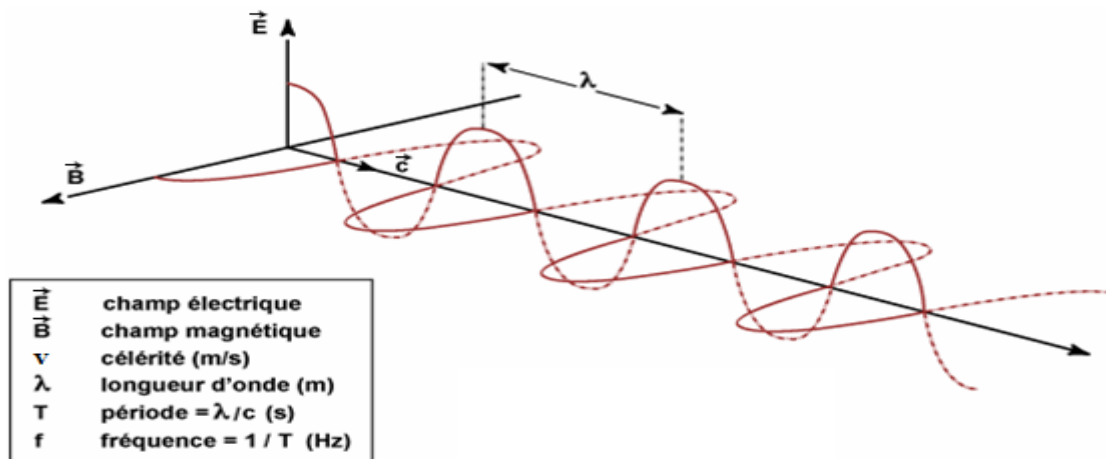


Figure III.24 : illustration d'une onde électromagnétique monochromatique, plane

Source: (F. Bonn and G. Rochon. Précis de télédétection. Volume 1 Principes et méthodes. Presses Universitaires du Québec, Montréal., 1992.)

-Cette onde est caractérisée par sa période (T), sa fréquence (f), sa célérité (v) et sa longueur d'onde (λ).

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).

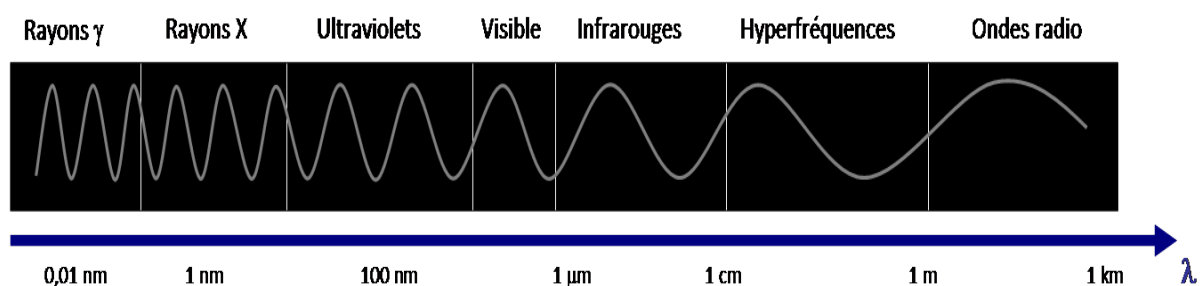


Figure III. 25 : Le spectre électromagnétique

Source : (Université paris 1 Uved)

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 micros ondes ou hyperfréquences (pas abordé ici, même si elles ont une importance considérable en télédétection RADAR notamment)

Certains capteurs, peu nombreux, permettent de mesurer l'énergie du rayonnement ultraviolet. Ils sont utilisés principalement en astronomie pour l'étude des atmosphères planétaires ou pour mesurer la quantité d'UV atteignant la surface terrestre. En télédétection aérienne, le rayonnement proche UV 250 - 350 nm est utilisé pour des applications en océanographie, notamment pour l'identification et la cartographie des nappes d'hydrocarbures. (Université paris 1 Uved)

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

➤ **Les rayons gamma (γ)** : 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 millième (10^{-8} m) à quatre dixièmes de millième ($4 \cdot 10^{-7}$ m) de millimètre.

➤ **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 dixièmes de millième ($4 \cdot 10^{-7}$ m) - *lumière bleue* - à huit dixièmes de millième ($8 \cdot 10^{-7}$ m) de millimètre - *lumière rouge*.

➤ **L'infrarouge** : rayonnement émis par tous les corps dont la température est supérieure au zéro absolu (-273°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 dixièmes de millième de millimètre ($8 \cdot 10^{-7}$ m) à un millimètre (10^{-3} m). (**Université paris 1 Uved**)

➤ **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.. (Gilles Boisclair, Physique de la lumière)

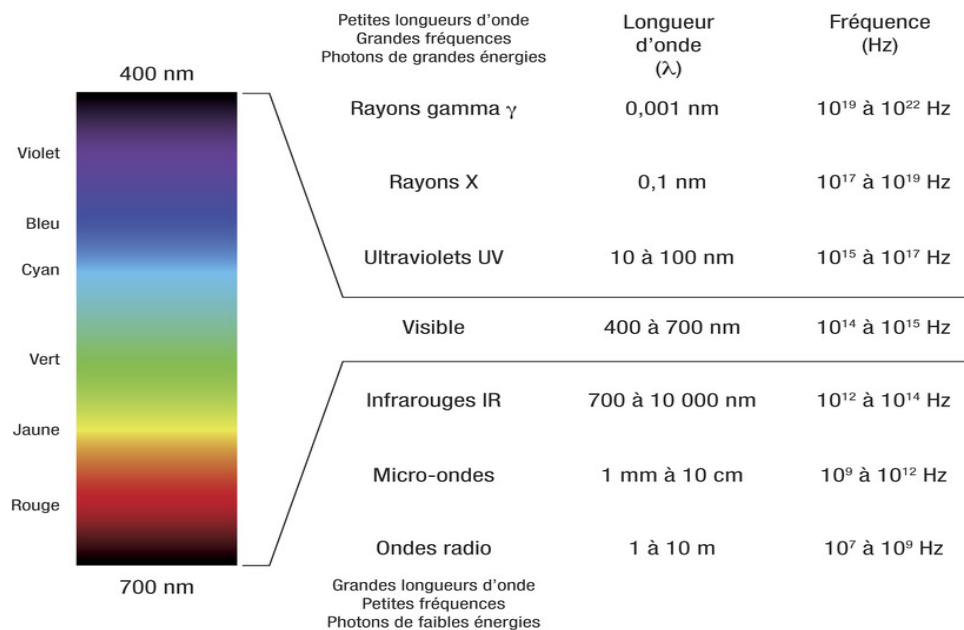


Figure III.26 : Principales parties du spectre électromagnétique

Source : (Gilles Boisclair, Physique de la lumière)

III.5. Réponses spectrales des objets de surface

En fonction de la nature et des caractéristiques intrinsèques des objets et des surfaces, le rayonnement incident interagit 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.

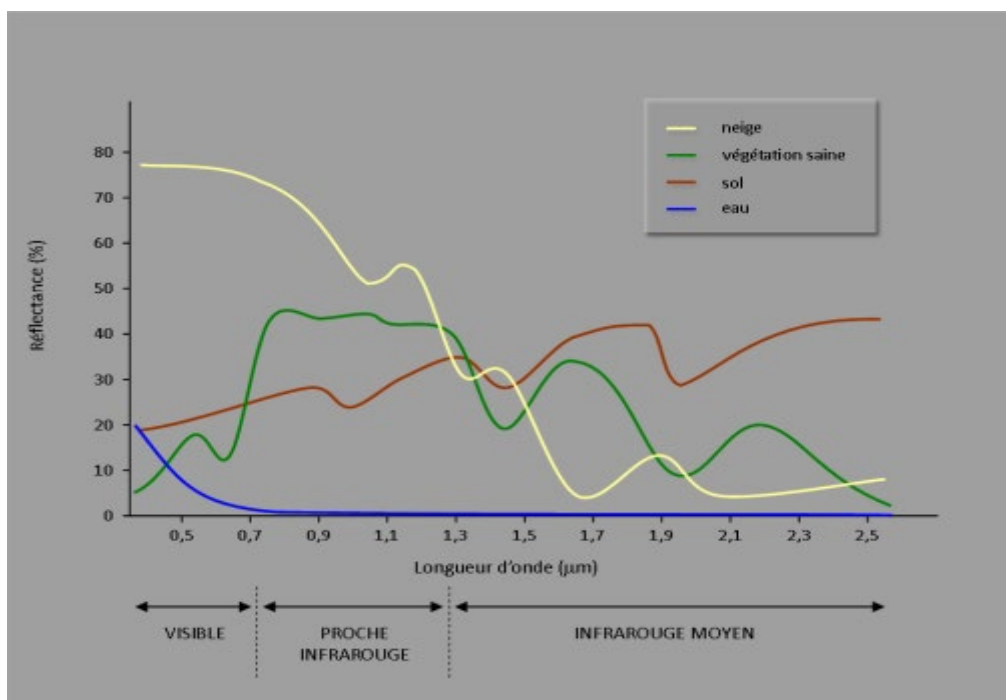


Figure III. 27 : Réponse spectrale des surfaces naturelles

Source : (université Paris 1 Uved)

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 dont 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. Plus l'eau est turbide, plus elle contient de matériaux sédimentaires, plus sa réflectance augmente dans toutes les longueurs d'onde et notamment pour les ondes les plus longues - rouge (figure 28 suivante).

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. (Ziani 2013)

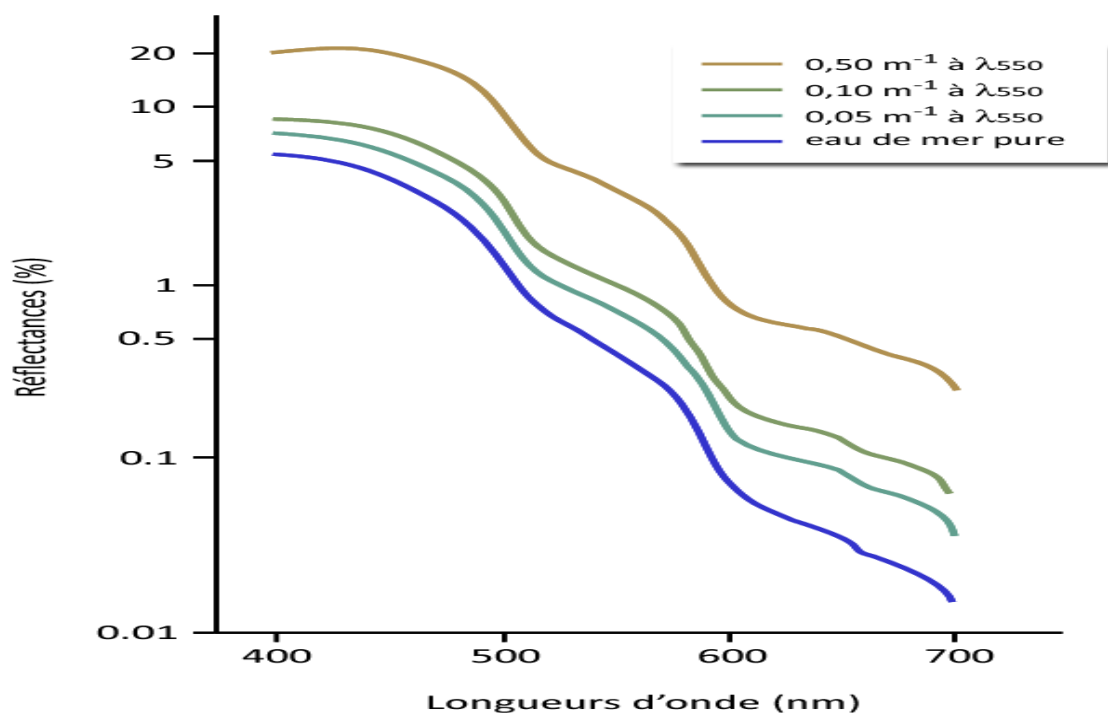


Figure III. 28 : Réflectance de l'eau de mer pour divers valeurs du coefficient d'atténuation à 550 nm : (D'après **Thomas**, 1978)

III.6. Classification d'image

C'est une classification des données d'image numérique, selon un traitement informatique basé juste sur les statistiques d'image sans recours à des échantillons d'entraînement.

D'après les trois chercheurs, la classification d'une image satellitaire est une transformation quantitative en image thématique. Elle consiste à découper les pixels de l'image en polygones pour les regrouper dans les mêmes classes correspondantes. Le principe de la classification se fait selon une règle de discrimination basée sur la différence statistique entre les valeurs numériques des pixels dans le but de réaliser le découpage optimal (**Deshayes et Maurel, 1990 ; Zafane, 2014**).

6.1. Classification non supervisée

C'est une classification des données d'image numérique, selon un traitement informatique basé juste sur les statistiques d'image sans recours à des échantillons d'entraînement.

Cette classification produit un regroupement naturel des pixels de l'image que l'on nomme "regroupement spectral" ou "classe", (les régions de l'image ayant une même signature spectrale ont un type d'utilisation du sol similaire). L'analyste doit ensuite déterminer l'identité de ces regroupements spectraux. Les principaux algorithmes de classification non dirigée sont :

Le regroupement par moyenne-K (K - means), le regroupement par ISODATA (**Girard, 1989 in Abdelbaki, 2012**).

6.2. Classification supervisée

C'est une procédure utilisée pour l'identification de zones «spectralement similaires» d'une image.

Identifie d'abord des sites d'entraînement dont on extrait la signature spectrale et à partir desquels on extrapole pour le reste de l'image (**Abdelbaki, 2012**).

Aussi dans une étude de l'occupation du sol, la végétation est étudiée par l'ensemble des indices de végétation. Il existe de nombreux indices de végétation déduits à partir des mesures de réflectance ou de comptes numériques pour estimer le taux de recouvrement et identifier les types de couvert végétal (**Girard, 1995**) in (**Yahiaoui, 2011**).

Parmi les indices utilisés dans l'étude de la végétation et de l'occupation du Sol, le tableau suivant tri les plus réponsus

Tableau III. 5 : Indices de végétation définis à partir de données de télédétection

Les indices simples	
$DVI = \rho_{PIR} - \rho_R$	Bacour <i>et al.</i> (2006)
$RVI = \frac{\rho_{PIR}}{\rho_R}$	Krieger <i>et al.</i> (1969) ; Jordan (1969)
$NDVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R}$	Rouse and Haas (1973) ; Tucker (1979)
Les indices de stress hydrique	
$MSI = \frac{\rho_{MIR}}{\rho_{PIR}}$	Hunt and Rock (1989)
$NDWI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{PIR} + \rho_{MIR}}$	Gao (1996)
Les indices prenant en compte l'influence des sols	
$PVI = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}}(\rho_{PIR} - a\rho_R - b)$	Richardson and Wiegand (1977)
$SAVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R + L} (1 + L)$	Huete (1988)
$TSAVI = \frac{a(\rho_{PIR} - a\rho_R - b)}{\rho_R + \rho_{PIR} - ab + 0,08(1 + a^2)}$	Baret <i>et al.</i> (1989)
$MSAVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R + L} (1 + L)$	Qi <i>et al.</i> (1994)
Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère	
$ARVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_{rb}}{\rho_{PIR} + \rho_{rb}}$	Kaufman and Tanré (1992)
$GEMI = \eta(1 - 0,25\eta) - \frac{\rho_{rouge} - 0,25}{1 - \rho_{rouge}}$	Pinty et Verstraete (1992)
Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère	
$EVI = G \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + C_1\rho_R - C_2\rho_B + L}$	Huete <i>et al.</i> (1999)
Les indices prenant en compte les températures de surface	
$TDVI = \frac{T_S - T_{S(min)}}{a + b NDVI - T_{S(min)}}$	Sandholt <i>et al.</i> (2002)

Source (Caloz et Puech, 1996 ; Gilabert *et al.* 2002
Girard et Girard, 1996 *in* Abdelbaki 2012)

III.7-Courbes de réflectance spectrale de la végétation

La végétation a une signature spectrale unique, mais différents types de végétation diffèrent dans leur réflectance. Les plantes stressées ou malades peuvent également être identifiées par leurs signatures spectrales distinctes. 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.

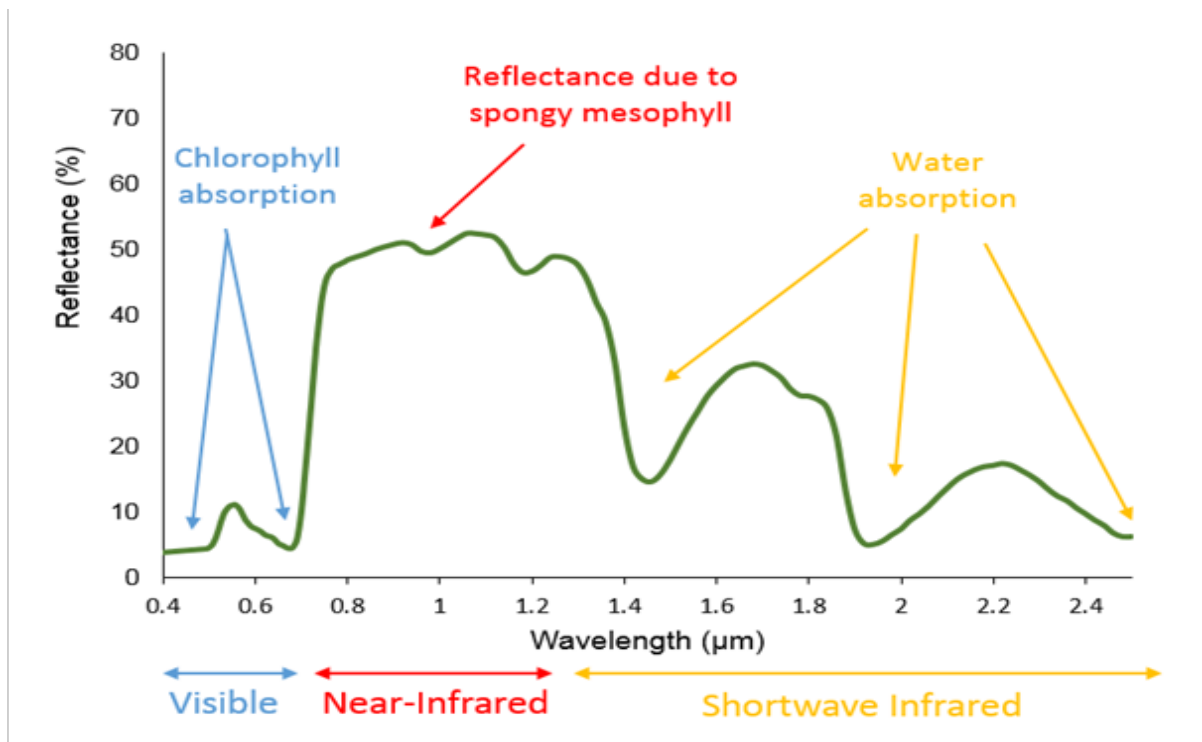


Figure III. 29 : Courbes de réflectance spectrale de la végétation

Source : (Girard 1996)

7.1 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 bleue et rouge et réfléchit plus de longueurs d'onde vertes. C'est pourquoi une végétation saine apparaît verte.

7.2 Proche infrarouge

Pour une végétation saine, la réflectance est beaucoup plus élevée dans la région du proche infrarouge (NIR) que dans la région visible en raison de la structure cellulaire des feuilles, en particulier la mésophyle spongieuse. Par conséquent, une végétation saine peut être facilement identifiée par la réflectance NIR élevée et la réflectance visible généralement faible.

7.3 Infrarouge à ondes courtes

La réflectance dans les longueurs d'onde infrarouges 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 μm . En dehors de ces bandes d'absorption dans la région SWIR, la réflectance des feuilles augmente généralement lorsque la teneur en eau des feuilles diminue.

III.8-Sévérité des incendies

De la nécessité de fournir une description de la façon dont l'intensité du feu affecte les écosystèmes forestiers est née 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 souterraines. 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 6 : Classe de sévérité en fonction des valeurs dNBR

TABLEAU VII
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]

Source : (Firemon ,2004)

Les indices de végétation se basant sur les données satellitaires multi-spectrales 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 p) bande rouge

III.9-Taux de combustion normalisée (NBR)

Cet indice met en évidence les zones brûlées dans les grandes zones d'incendie de plus de 500 acres. La formule est similaire au NDVI, sauf qu'elle utilise des longueurs d'onde proche infrarouge (NIR) et ondes courtes-infrarouge (SWIR).

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 multi-spectral avec une bande NIR entre 0,76-0,9 μm et une bande SWIR entre 2,08-2,35 μm .

Vous pouvez créer des images NBR pré-incendie et post-incendie, puis soustraire l'image post-incendie de l'image pré-incendie pour créer une image NBR différenciée (ou delta) qui indique la gravité de la brûlure.

Les pixels plus sombres indiquent les zones brûlées.

Lopez Garcia, M., and V. Caselles. "Mapping Burns and Natural Reforestation using Thematic Mapper Data. *Geocarto International* 6 (1991): 31-37.

Key, C. and N. Benson, N. "Landscape Assessment: Remote Sensing of Severity, the Normalized Burn Ratio; and Ground Measure of Severity, the Composite Burn Index." In *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System*, RMRS-GTR, Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station (2005).

III.10 Index de la zone de brûlure

L'indice de la zone brûlée (BAI) a été développé par Chuvieco et al. (2002) pour aider à délimiter les cicatrices de brûlure et à évaluer la gravité des brûlures. Il est basé sur la distance spectrale à la réflectance du charbon de bois.

L'indice de zone de brûlure (BAI) met en évidence les terres brûlées dans le spectre rouge à proche infrarouge (NIR), 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. BAI est calculé comme suit (Martín, 1998):

$$BAI = \frac{1}{(0.1 - Red)^2 + (0.06 - NIR)^2}$$

III.11 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 multi-spectral (y compris Landsat 8) avec une bande NIR entre 0,76-0,9 µm et une bande SWIR entre 2,08-2,35 µm.

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 multi-spectral (y compris Landsat 8) avec des bandes comprises dans les plages suivantes:

NIR: 0,76 à 0,9 µm

SWIR: 2,08 à 2,35 µm

Thermique: 10,4 à 12,5 µm

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. Implémentez le NBRT avec une expression:

: Indice de brûlage normalisé ; PIR : bande 4 (Proche Infrarouge) du capteur Landsat ; MIR : bande 7 (Moyen Infrarouge) du capteur Landsat. Les effets du feu sur la végétation provoquent l'augmentation de réflectance dans la bande MIR et la diminution de réflectance dans la bande PIR (Key, 2006).

Pour cette raison, la différenciation d'image bi-temporelle est souvent appliquée sur le NBR avant et après le feu générant ainsi le dNBR (indice de brûlure de différence normalisée) (Key & Benson, 2005).

Les valeurs de dNBR permettent de déterminer le degré de sévérité pour chaque incendie.

Huit classes de sévérité ont été retenues (Faible, Moyenne et Élevée)

La bande thermique dans cette équation doit être étalonnée aux températures de luminosité (en Kelvins). Les bandes NIR et SWIR doivent être étalonnées en fonction de la réflectance du haut de l'atmosphère.

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 multi-spectral avec des bandes dans les plages suivantes:

NIR: 0,76 à 0,9 μm

SWIR: 2,08 à 2,35 μm

Thermique: 10, 4 à 12, 5 μm

CHAPITRE IV

Etude du milieu

Physique



IV-1 Présentation de la zone d'étude

1-1 Position géographique

La forêt de « Cap Lindès » se trouve au nord ouest de la wilaya d'Oran sur le littoral à 30 km d'Oran et à 4.31 km la plage les Andalouses et a 8 km d'Ancor et 12 km de BOUSFER et 9 km de CAP BLANC et 11 km d'AIN KERMA.

-Ces coordonnées géographiques sont les suivant 35.72646° N 0.93445° W.

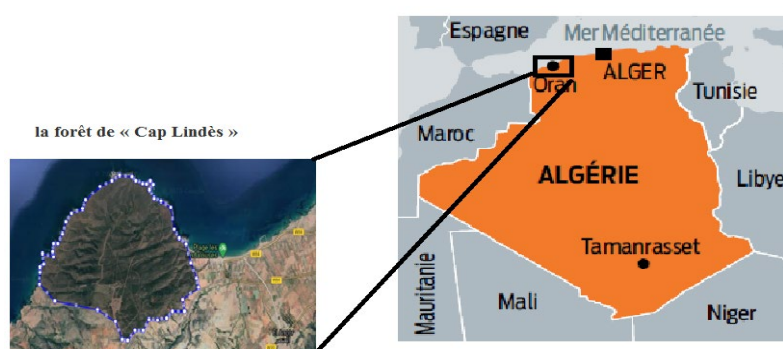


Figure IV.30 : carte de localisation géographique du foret Cap Lindès Oran.

1.2-Altitude

Le point culminant de notre site d'étude se trouve au niveau de Djebel Lindès, à 280 mètres d'altitude et à 1 km au sud du cap Lindès.

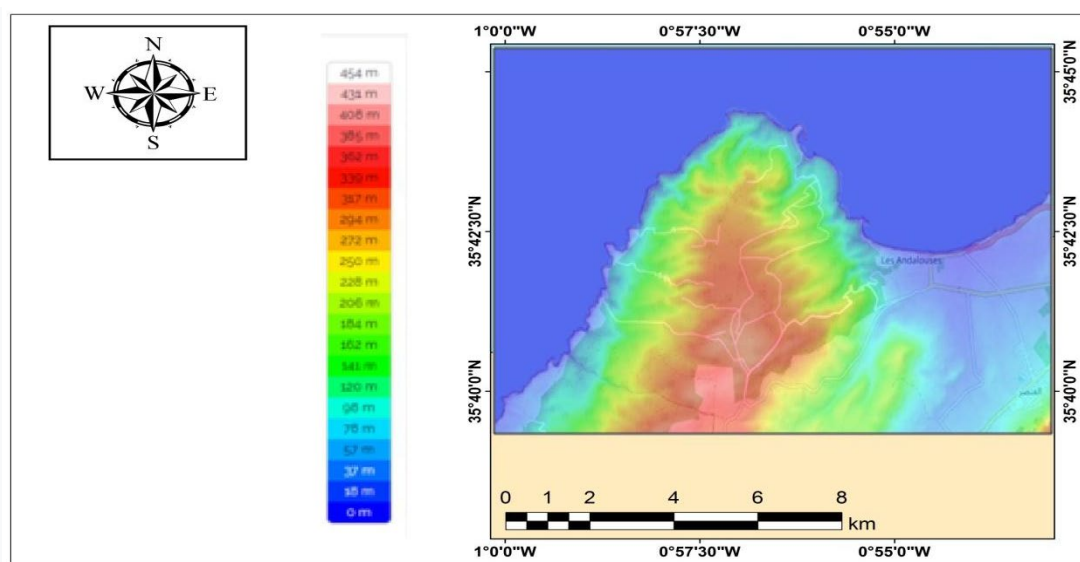


Figure IV.31 : carte d'altitude du site djebel lindès

1.3-Climat :

Le climat de la région est tempéré. La température moyenne annuelle dans la région est de 19 ° C. Le mois le plus chaud est août, lorsque la température moyenne est de 28 ° C, et le plus froid est janvier, avec 10 ° C.

La pluviométrie annuelle moyenne est de 548 millimètres. Le mois le plus humide est novembre, avec une moyenne de 106 mm de précipitations, et le plus sec est août, avec 2 mm de précipitations.

L'histogramme ci-dessous montre le total de précipitations au niveau de notre zone d'étude allons de 1980 au 2020.

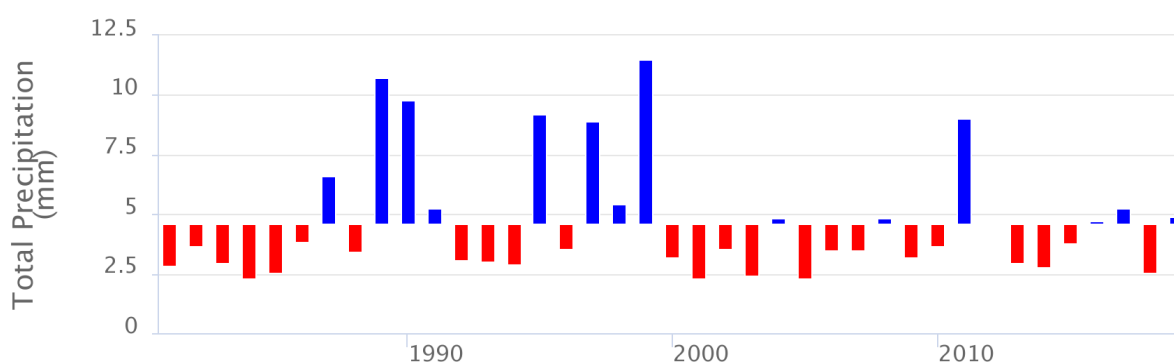


Figure IV. 32 : polygone de précipitation (mm) Oran (CHIRPS).

A-précipitation (mm) :

La figure suivante montre boursière de distribution de précipitation durant l'intervalle d'années (1989-2018).

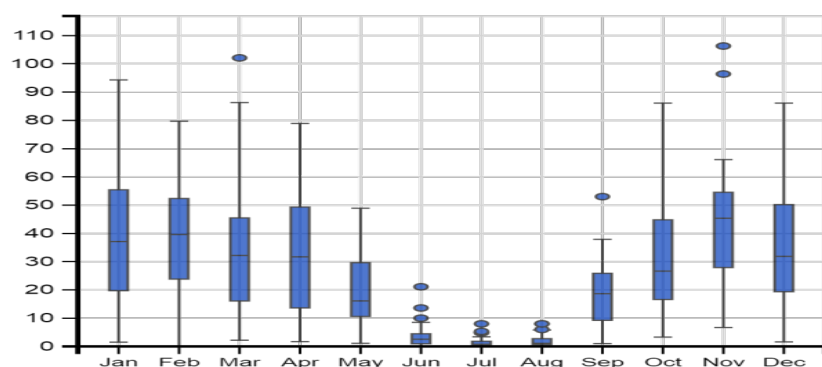


Figure 33 : boursier de distribution de précipitation (Oran).

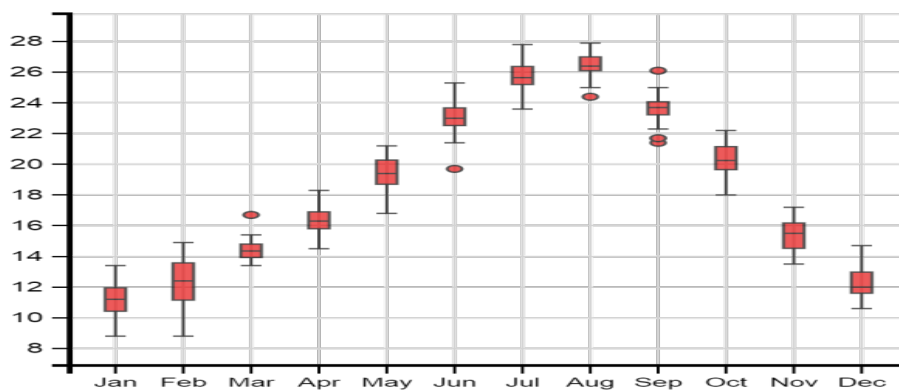
B-température (°C) :

Figure IV.34 : boursier de distribution de température (°C) Oran

-D'après histogramme ci-dessous la température moyenne annuelle est de 18,4(°C), est-la précipitation 300,8 (mm) dans année. (Figure n°)

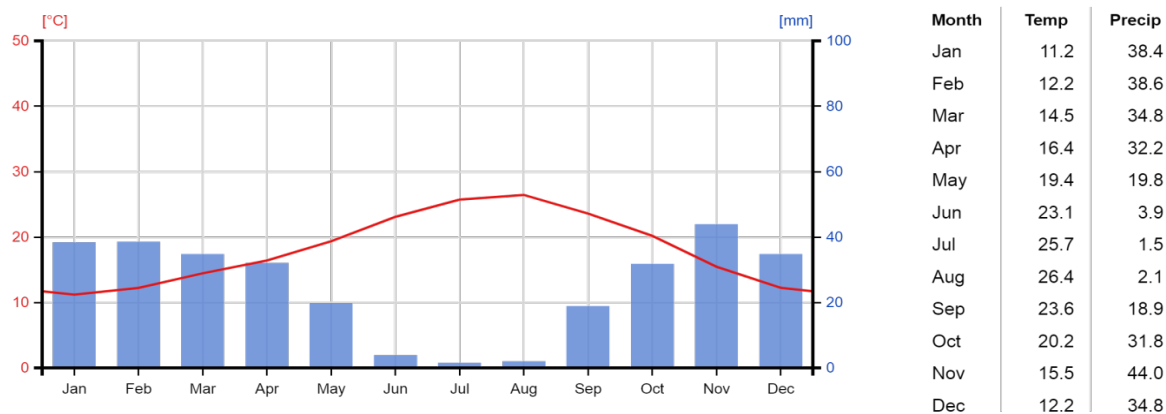


Figure IV.35 : histogramme de la précipitation et la température (1989-2018) Oran.

1.4-Géologie de la région :

-D'après lecture de la carte ci-dessous, on remarque que notre site se situe à la période géologique jurassique et crétacé.

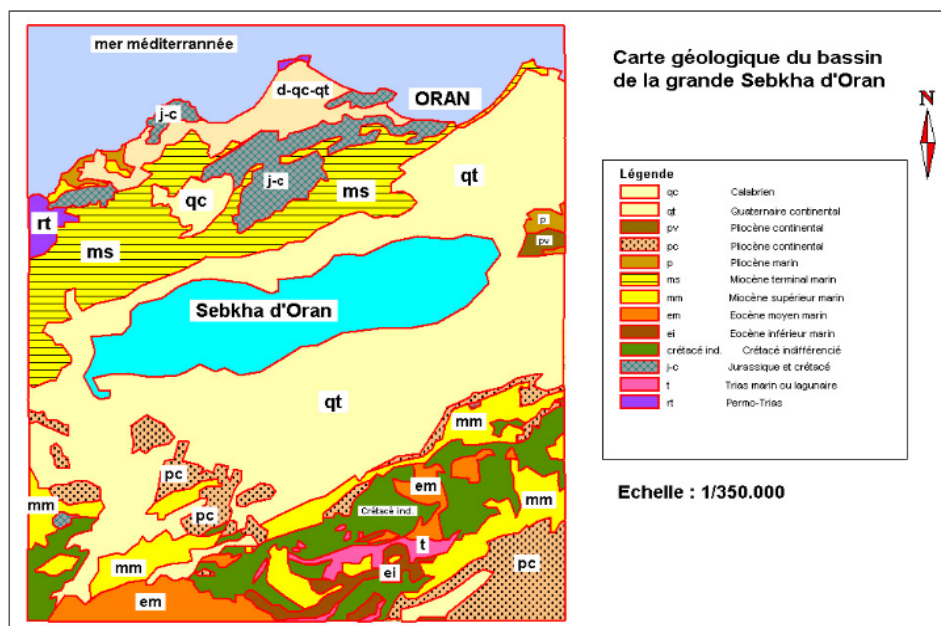


Figure IV.36 : carte géologique du bassin de la sebkha d'Oran.

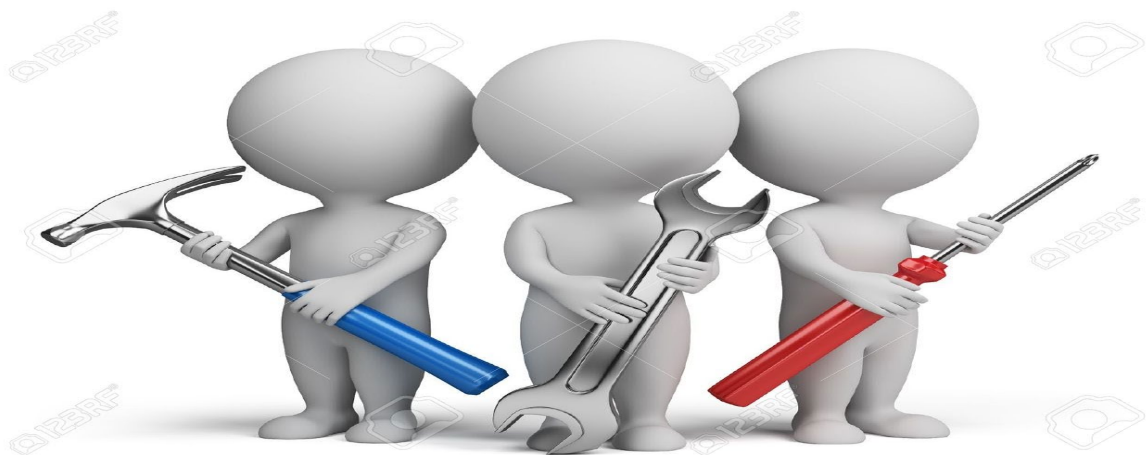
1.5-populations :

Il est densément peuplé, avec 636 habitants au kilomètre carré

CHAPITRE V :

Matériels

Et méthodes



V.1. Objectif de l'étude :

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

V.2. Matériel utilisé :**2.1. Logiciels****1.1 Google Earth Engine:**

Earth Engine est une plate-forme d'analyse et de visualisation scientifique d'ensembles de données géospatiales, destinée aux utilisateurs universitaires, à but non lucratif, professionnels et gouvernementaux.

Earth Engine héberge des images satellite et les stocke dans des archives de données publiques qui incluent des images historiques de la Terre remontant à plus de quarante ans. Les images, ingérées quotidiennement, sont ensuite mises à disposition pour l'exploration de données à l'échelle mondiale.

Earth Engine fournit également des API et d'autres outils pour permettre l'analyse de grands ensembles de données.

L'Utilisation des observations de Landsat (1988-2017) et de Google Earth Engine pour détecter les changements de couverture végétale dans les parcours - Une première étape vers l'identification des terres dégradées à des fins de conservation

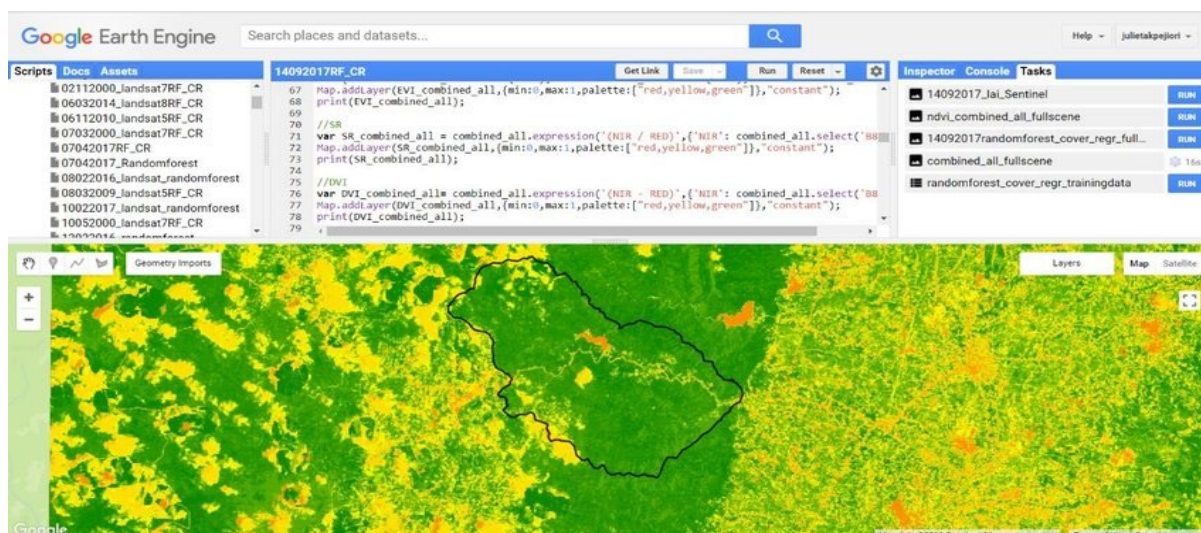


Figure V.37 : Exemple d'une création d'une image avec Google Engine

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.

1.3 Excel 2016

Permet de créer facilement des tableaux de toutes sortes, et d'y intégrer des calculs. Les valeurs du tableau se mettent 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 palace

V.3.Collecte et traitement des données

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 d'Oran, 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' années (2016-2019) pour déterminer les superficies brûlées durant cette période.

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

3.2. Donnée de terrain

On a dû limiter le nombre de sorties a une seule en raison des circonstances actuelles particulières au mois d'Avril 2020 nous avons pris la direction nord ouest d'Oran 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.

Les indices de végétation le NDVI permettent un bon suivi de la végétation. Dans le cas de la détection des surfaces brûlées, il permet de distinguer une végétation saine d'une végétation brûlée. En analyse multi-temporelle, la soustraction des images avant et après incendie met en exergue la surface brûlée (**Viedma & Chuvieco, 1993**). (**Chafer et al. 2004**) utilisent cette soustraction d'images, le NDVI, pour observer l'intensité et la sévérité du feu dans une végétation de type savane en Australie à l'aide d'images SPOT. Ils obtiennent grâce à cette méthode une grande précision dans sa classification (88%) en 6 niveaux de sévérité.

(Fernandez et al. 1997) ont travaillé sur des images NOAA en les combinant à l'indice NDVI à l'aide d'un algorithme dans le but d'automatiser la cartographie des surfaces brûlées.

Ce couplage se révèle d'une grande efficacité car il peut être utilisé sur des feux à surface variable, et le protocole peut être appliqué à des images à haute voire très haute résolution.

-le NDVI est sensible à la réflectance du sol ce qui prouve ses limites dans son usage, notamment dans les zones méditerranéennes où le sol calcaire est très présent. Dans leur étude, (Escafadal et Huette, 1991) précisent que « les propriétés spectrales des sols peuvent modifier le contraste réflectance R/ réflectance IR dans le cas très fréquent où ils ne sont que partiellement recouverts par la végétation ». (Garcia et Chuvieco, 2004) montrent une amélioration dans la discrimination des zones brûlées par l'utilisation de l'indice BAI en comparaison avec les indices NDVI, EVI, NDWI et SAVI. Cela dit, des confusions persistent notamment sur la différenciation des surfaces en eau et des ombres de nuage. Il préconise pour une amélioration future des analyses l'intégration du moyen infrarouge par l'emploi de l'indice NBR. (Heredia et al. 2003) confirment ces résultats concernant les confusions du BAI et l'amélioration de la discrimination en multitemporel de l'indice NBR, le mono temporel créant des confusions dans les zones intérieures au feu.

V.4 Méthodologie :

Pour estimer le degré de changement écologique induit par le feu. Ici, nous introduisons des méthodes pour produire des mesures de gravité des incendies basées sur les satellites Landsat et MODIS à l'aide de la plate-forme Google Earth Engine (GEE).

Dans cette étude, quatorze indices spectraux (NDVI, NDWI, SAVI, EVI, NBR, D'NBRT, DSR, vitesse du vent, LST, précipitation, PSDI, CWD et BAI) ont été calculés à l'aide des équations suivantes, pour faire la distinction entre les surfaces brûlées et non brûlées pour l'image Landsat ETM + et MODIS. Les indices ont été calculés en utilisant les bandes de longueurs d'onde: NIR (0,75 à 0,90 μm), R (0,63 à 0,69 μm) et SWIR (1,55 à 1,75 μm) pour chaque région spectrale.

4.1 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 est 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 fine. 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.

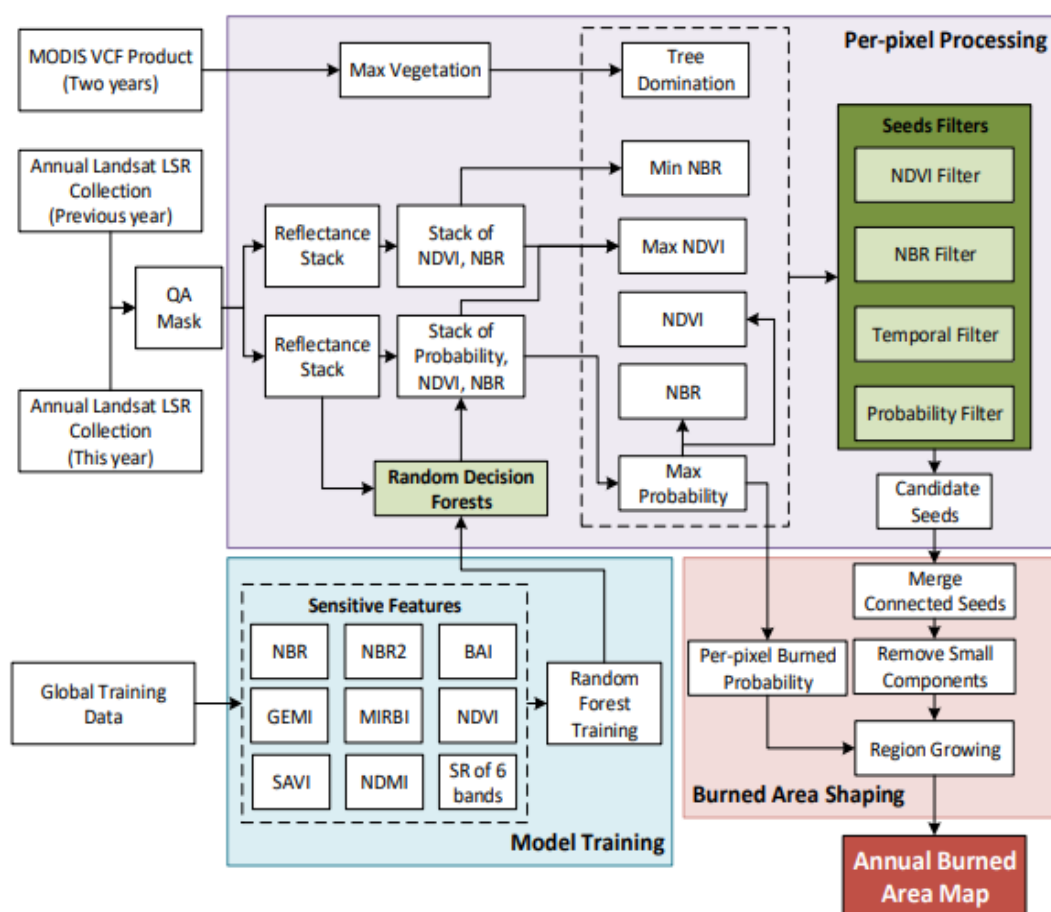


Figure V.38 : diagramme de méthodologie de travail via GEE

Comme le montre la figure n°, le pipeline se composait 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.

4.2 Indice spectral

2.1 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).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

2.2 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 réfléchi par les particules dans l'air ainsi que les signaux de la couverture du sol au-dessous de la végétation.

2.3 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)

2.4 Rapport de combustion normalisé (NBR)

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

2.5 Indice de surface brûlée (BAI) :

$$BAI = 1 (0,1 - R) 2 + (0,06 - NIR)$$

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).

2.6 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 utilisé pour produire les ensembles de données de gravité d'incendie résultants.

Les ensembles de données de gravité peuvent être produit 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.

CHAPITRE VI

Résultats

Et discussion



VI. Résultats et discussions

VI.1 Calcul de l'NDVI (indice de Tucker)

L'indice de végétation est un outil utilisé dans les domaines environnementaux et pour l'agriculture en particulier, 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 différentes dates, sont représenté par les cartes 2, 3, 4 et 5. Les valeurs d'NDVI les plus élevées sont représentées par des tons foncés, alors que les tons les plus clairs concernant les valeurs les plus faibles. Les valeurs de l'NDVI pour la période 1984-2016 sont comprises entre -0,08 et + 0,88.

La carte ci-dessous, réalisée via la plate forme Google engine, présente le résultat obtenu de traitement de l'image fournie par LANDSAT, Cette carte générée à la fin d'avril 2020 :

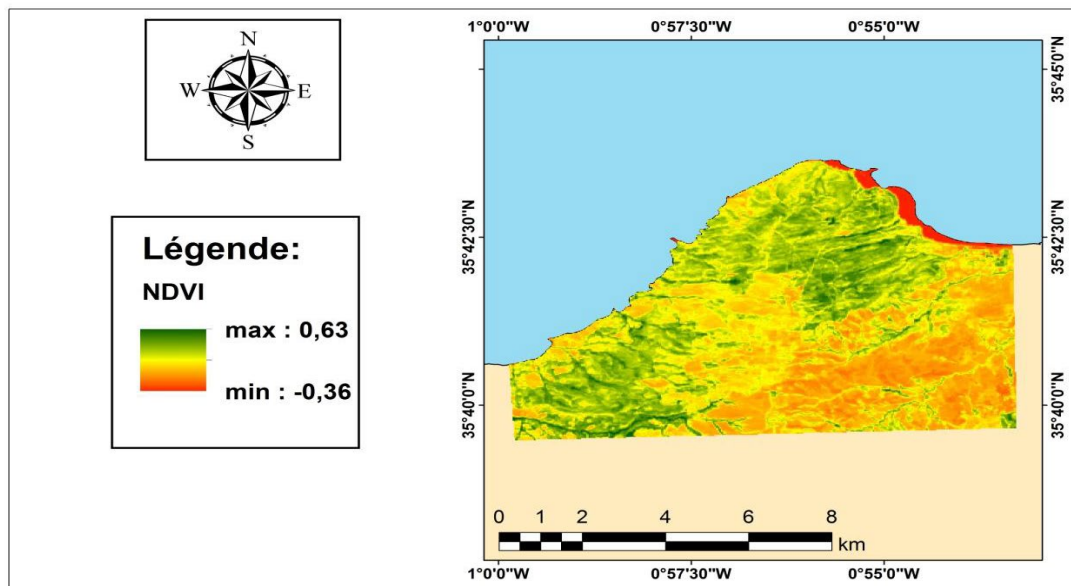


Figure VI.39 : carte d'indicateur NDVI (Oran-2020)

L'interprétation visuelle des matrices de carte d'NDVI montre les particularités suivantes :

- Les valeurs de NDVI, généralement comprises entre -0,36 et 0,63 ;
- Les valeurs de l'activité photosynthétique les plus élevées (entre 0,48 et 0,63) se localisent au Nord-est.
- On a dégagé sur la carte les valeurs les plus négatives correspondent au recouvrement végétal faible ou bien en mauvaise santé.

-la figure ci-dessous Beaucoup plus explicites et claires qui montre les fluctuations de NDVI durant 1980 au 2020 :

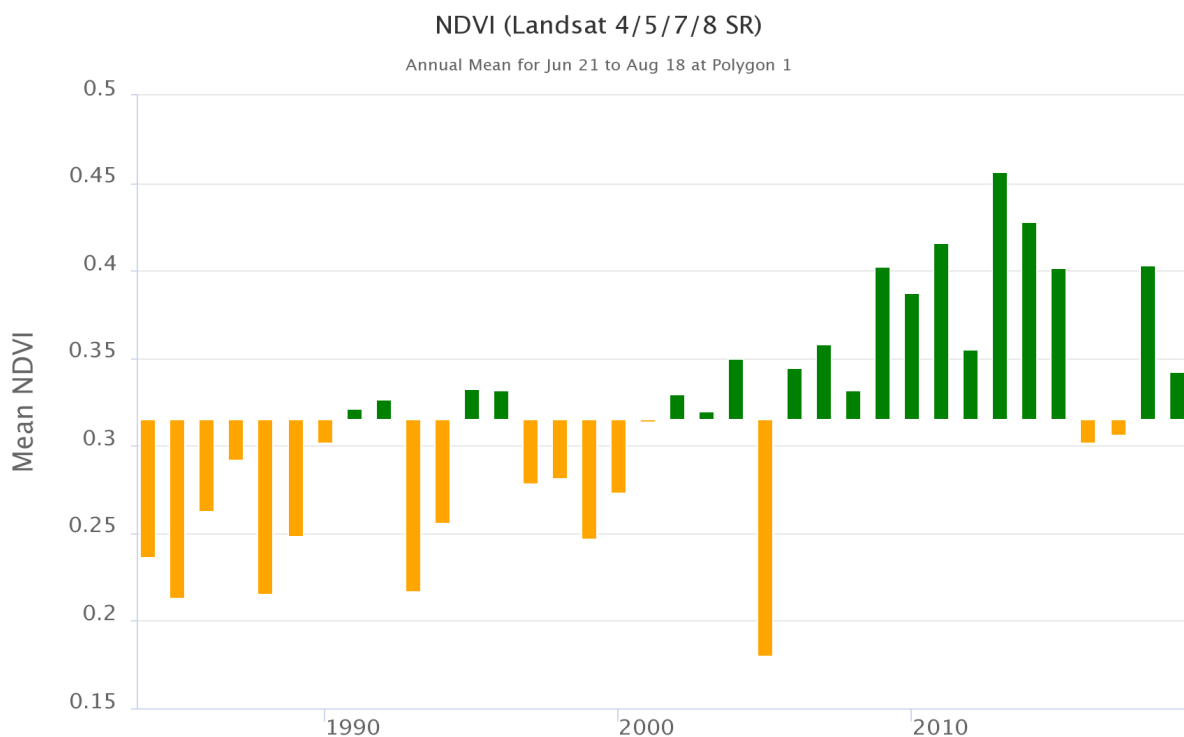


Figure VI.40 : histogramme d'indicateur NDVI capturer par le satellite LANDSAT 4/5/7/8 SR.

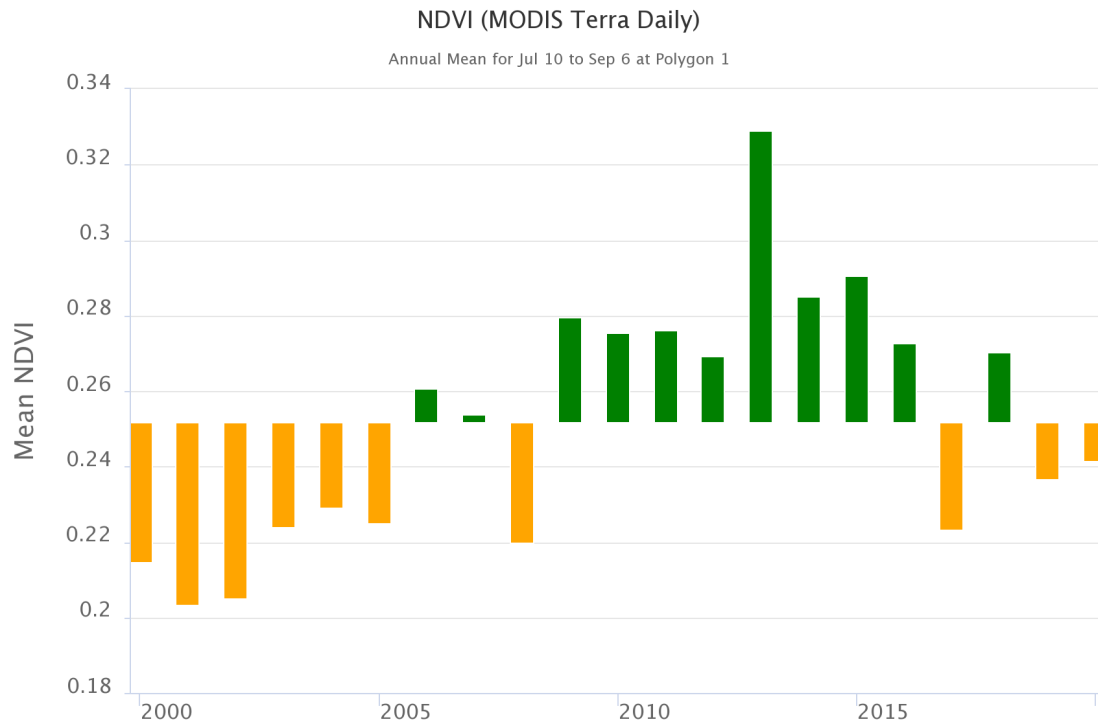


Figure VI.41 : histogramme d'indicateur NDVI capturer par le satellite MODIS

-Les moyennes de l'indice NDVI des quatre dernières années sont les suivants :

- **2017 0,2233**
- **2018 0,2704**
- **2019 0,2368**
- **2020 0,2413**

Montre qu'il ya une petite régénération des espèces végétales dans l'année suivante (2018)

VI.2- Calcule de l'EVI

L'interprétation visuelle de la carte de haute résolution du satellite LANDSAT fournis par le Google Engine a permis de des valeurs l'EVI, généralement comprises entre **0,58 et -0,19**.

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, qui confirme les résultats obtenus précédemment sur l'NDVI.

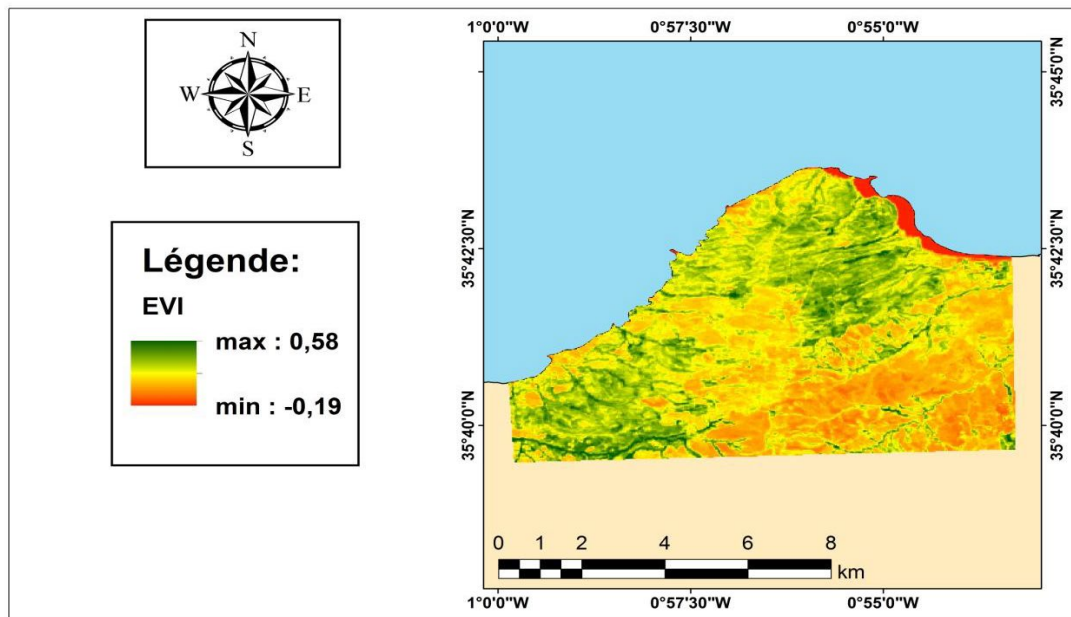


Figure VI.42 : carte d'indicateur EVI (avril 2020).

Pour corroborer les résultats obtenus dans la figure, nous avons juger important de faire appel au donnes de modis les résultats de l'EVI sont représenter dans la figure ci-dessous

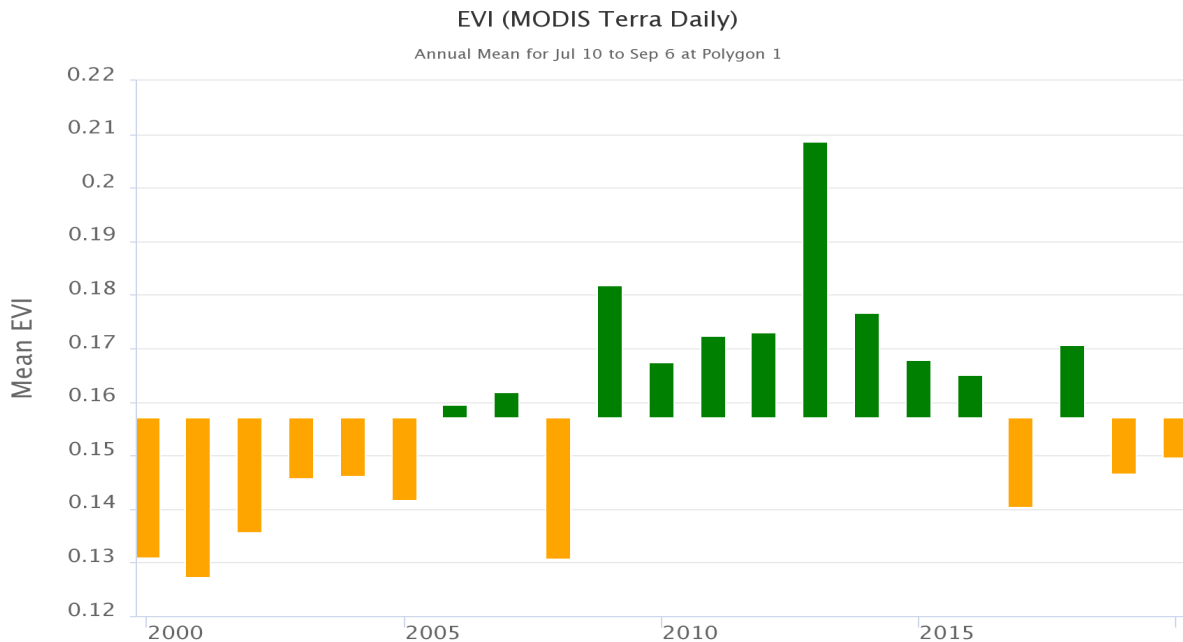


Figure VI.43 : histogramme d'indicateur EVI capturer par le satellite MODIS.

-La moyenne de L'indice EVI des quatre dernières années sont les suivant:

- **2017 0,1404**
- **2018 0,1707**
- **2019 0,1466**
- **2020 0,1497**

VI.3 Calcule du SAVI :

SAVI : Soil Adjusted Vegetation Index $SAVI = (NIR - R) / (NIR + R + L) \times (1 + L)$ Le facteur correctif L dépend en réalité de la densité du feuillage (LAI = Leaf Area Index) et le meilleur ajustement dépendra du fait que l'utilisateur veuille analyser des faibles densités de végétation (L=1), des végétations intermédiaires (L=0,5) ou des végétations denses (L=0,25)

Néanmoins, Huette affirme dans son étude que pour un L=0,5, le SAVI réduit de manière conséquente les variations induites par le sol et améliore la linéarité entre index et LAI en comparaison aux NDVI et EVI. Dans la littérature, l'indice SAVI est défini avec un facteur correctif L est égal à 0,5.

D'après la lecture de la carte de SAVI, on remarque que cet indice, se situe dans la fourchette de **-0.16 et 0.46**.

L'analyse de l'image du SAVI utilisée dans cette étude a permis de montrer une bonne concordance entre cet indice et l'NDVI et l'EVI et corrobore les résultats obtenus auparavant.

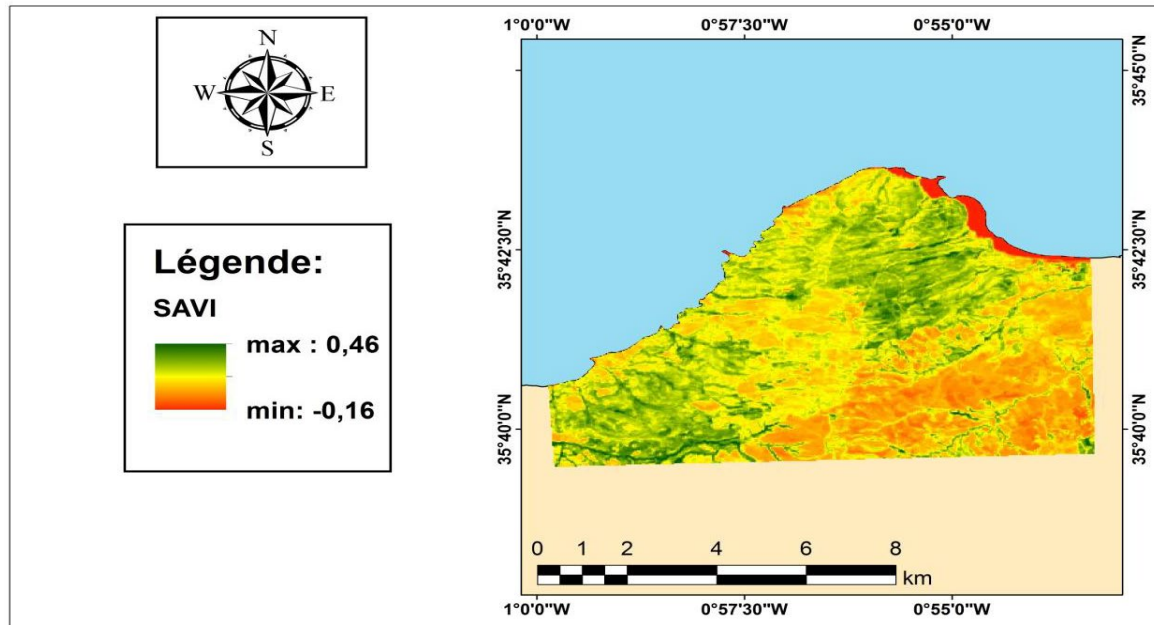


Figure VI.44 : carte d'indicateur SAVI (Oran-2020).

VI.4 Calcule de l'NDWI :

Basées sur LANDSAT à l'aide de la plate-forme Google Earth Engine (GEE)

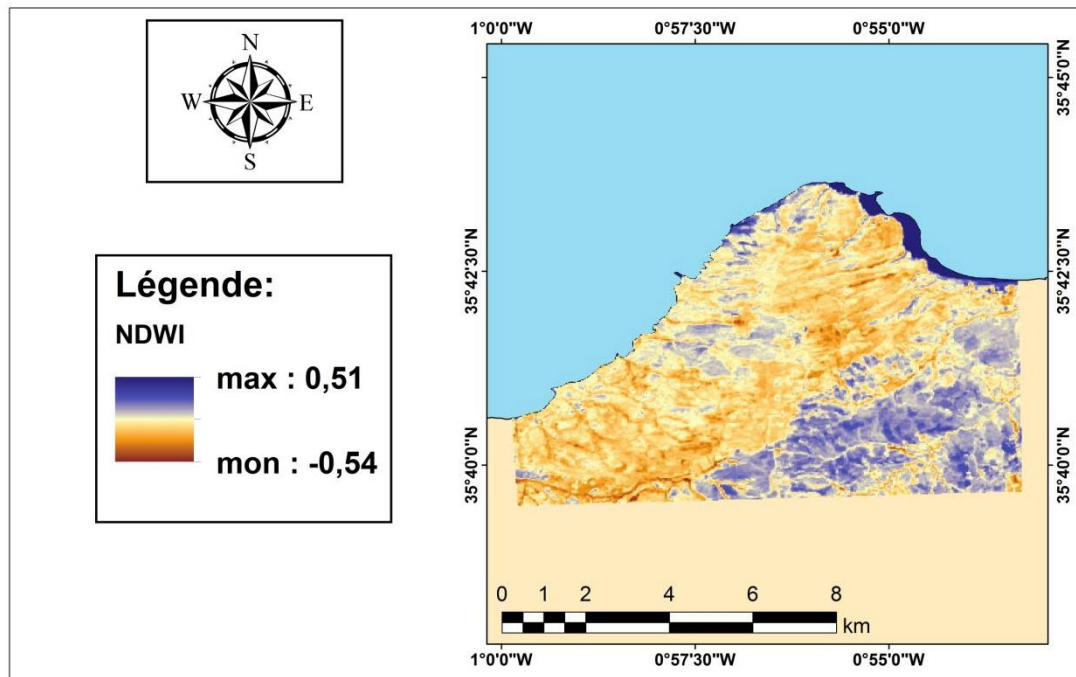


Figure VI.45 : Carte d'indicateur NDWI (Oran-2020).

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.

VI.5- Calcule 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 multi-spectral (y compris Landsat 8) avec une bande NIR entre 0,76-0,9 µm et une bande SWIR entre 2,08-2,35 µm.

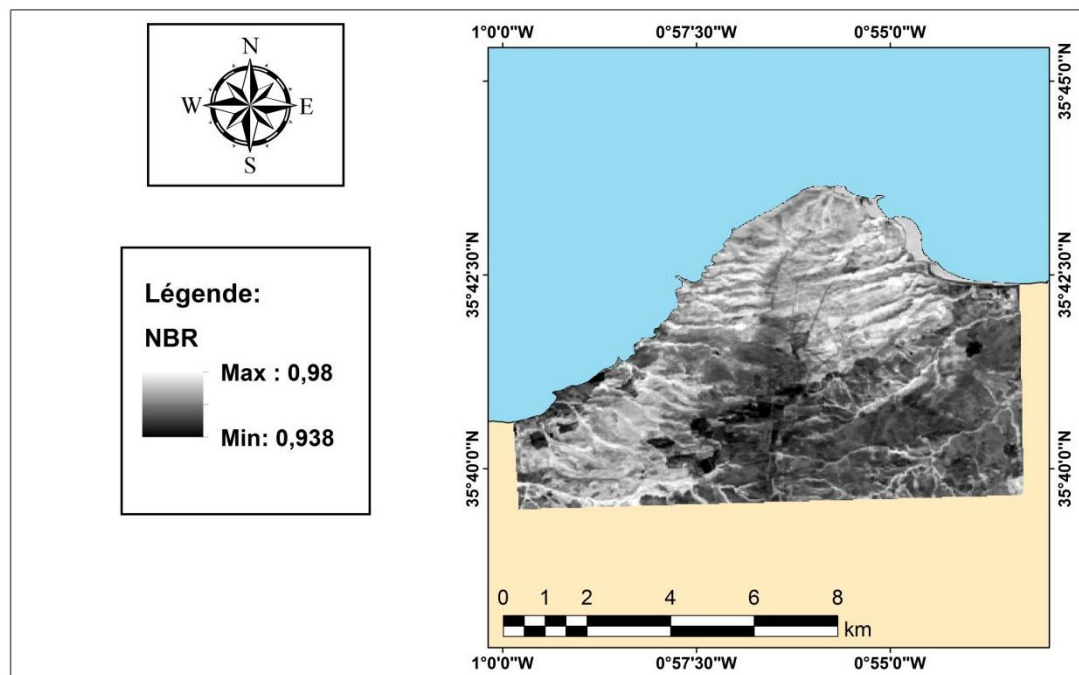


Figure VI.46 : carte d'indicateur NBR (Oran-2020).

L'image générée par Google Engine est révélatrice de l'effet du feu sur la végétation qui provoque l'augmentation de réflectance dans la bande MIR et la diminution de réflectance dans la bande PIR (Key, 2006).

- ☐ Ainsi, nous ne constatons que la valeur NBR est entre **0,98 et 0,938**.
- ☐ On distingue Par ailleurs, que le NBR touche presque la zone Nord-est donc cette zone il a été touché par un incendie.

VI.6- 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 multi-spectral (y compris LANDSAT 8) avec des bandes comprises dans les plages suivantes:

- NIR: 0,76 à 0,9 µm
- SWIR: 2,08 à 2,35 µm
- Thermique: 10,4 à 12,5 µm

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.

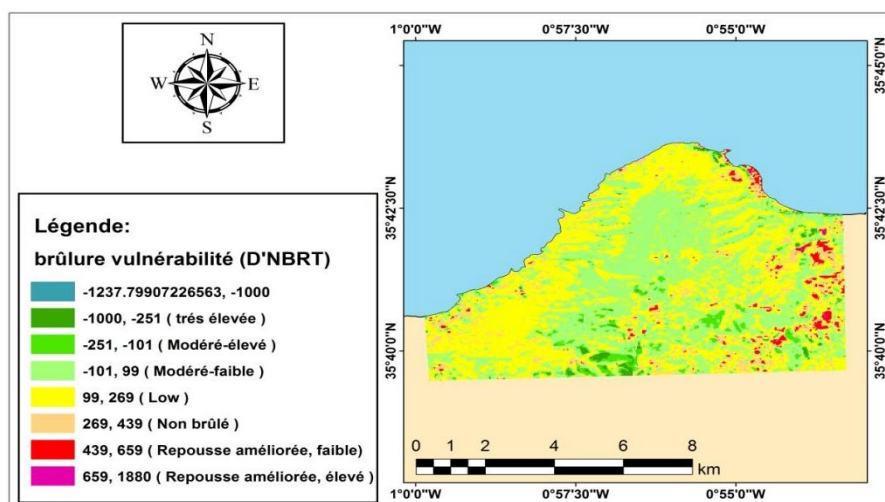


Figure VI.47: carte d'indice de D' NBRT

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)

VI.7-Indice de zone de brûlure (BAI) Burn Area Index :

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.

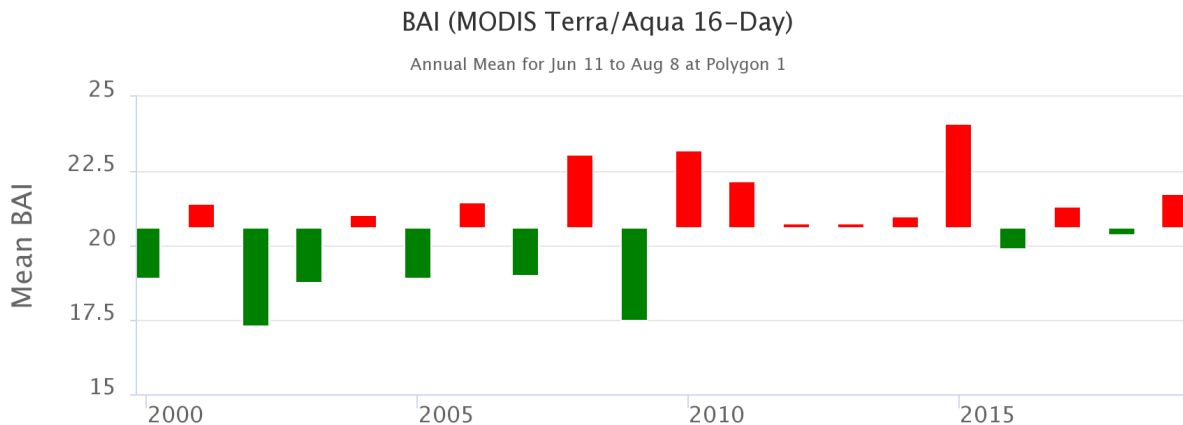


Figure VI.48 : histogramme d’indicateur BAI capturer par le satellite MODIS.

-La moyenne de L’indice BAI des trois dernières années :

- **2017 21,30**
- **2018 20,40**
- **2019 21,72**

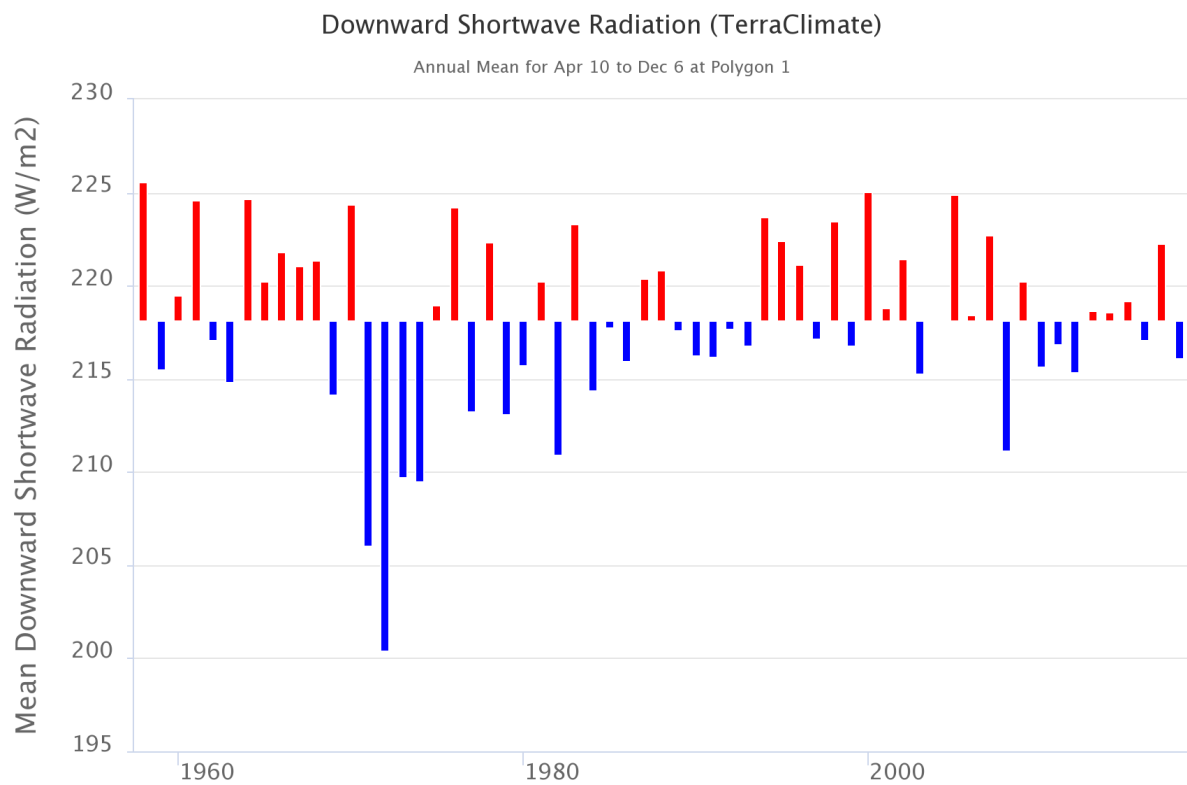


Figure VI..49 : histogramme de rayonnement à ondes courtes vers le bas

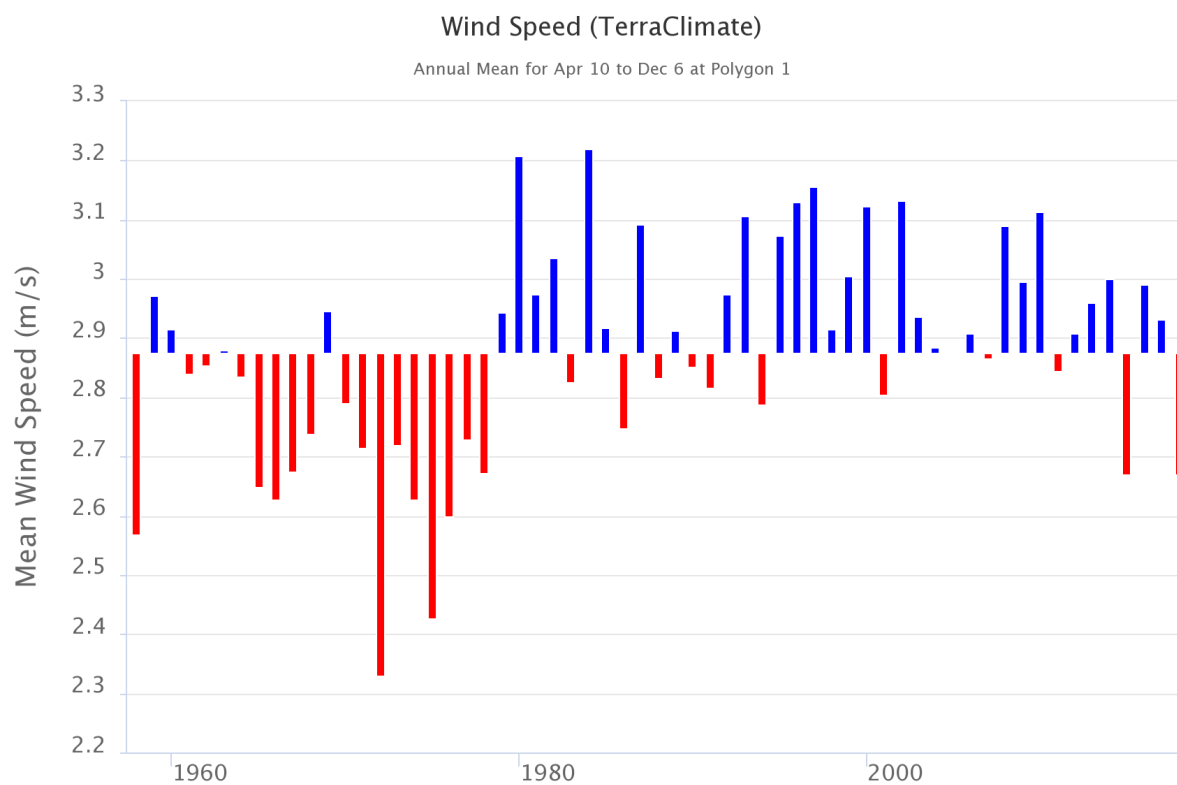


Figure VI.50 : histogramme de vitesse du vent

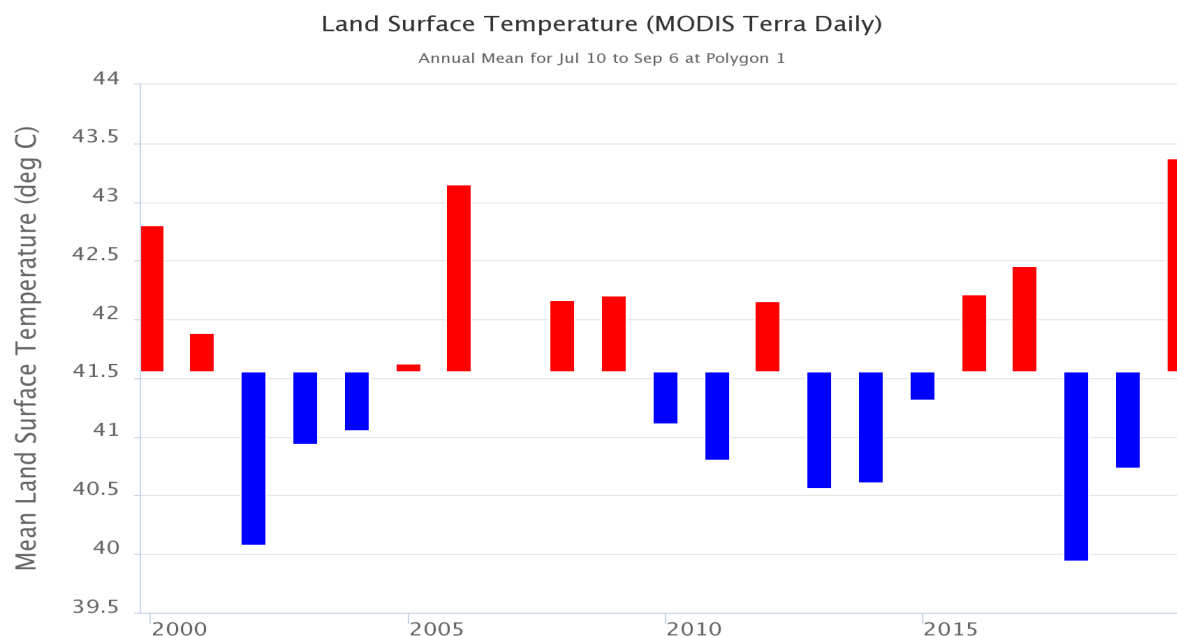


Figure VI.51 : histogramme de la température de surface du sol

LCI dans des deux années 2016-2017: (2016-42,21152017°C) (2017-42,4558°C)

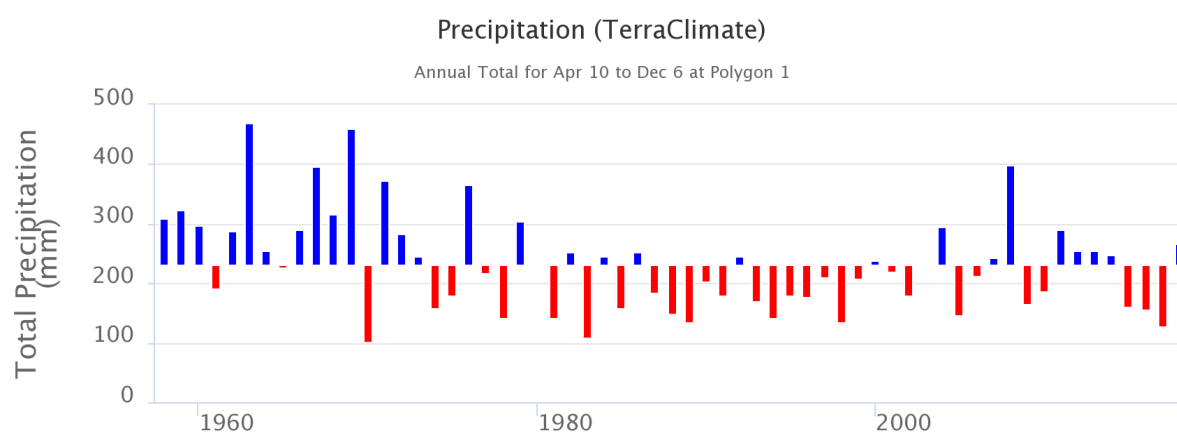


Figure VI.52 : histogramme de précipitation (mm)

L'indice de Précipitation dans les deux années (2016-2017) :

- ☐ 2016 155,2281(mm)
- ☐ 2017 127,8004(mm)

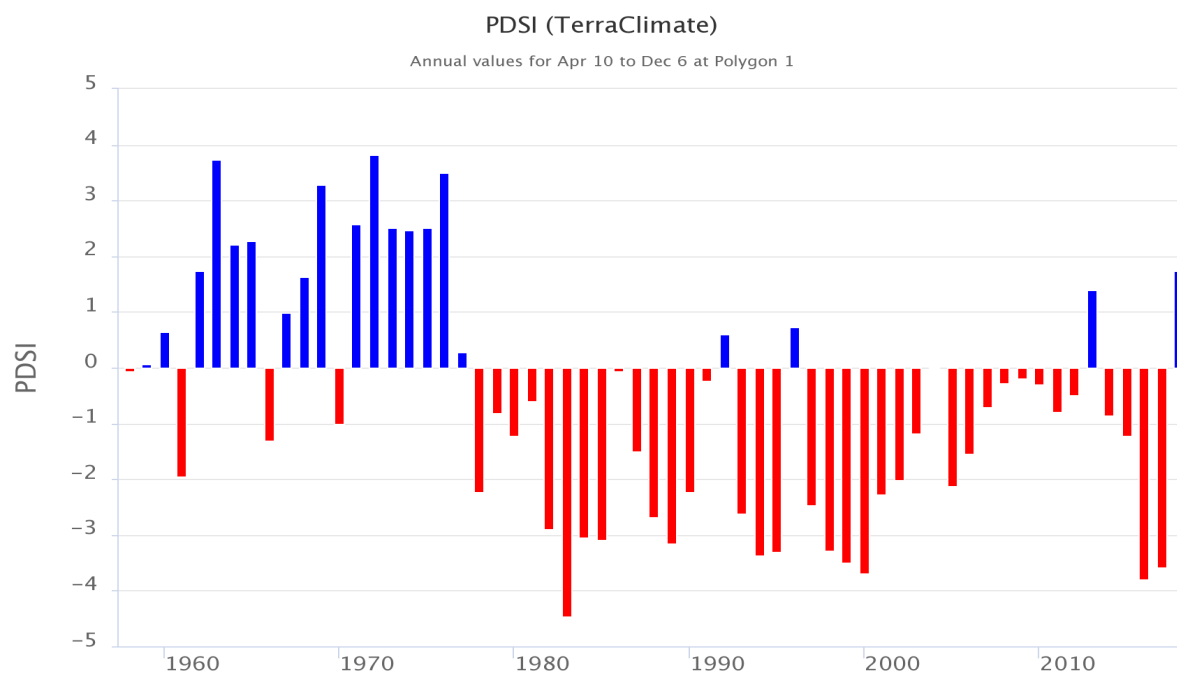


Figure VI.53 : histogramme de PSDI

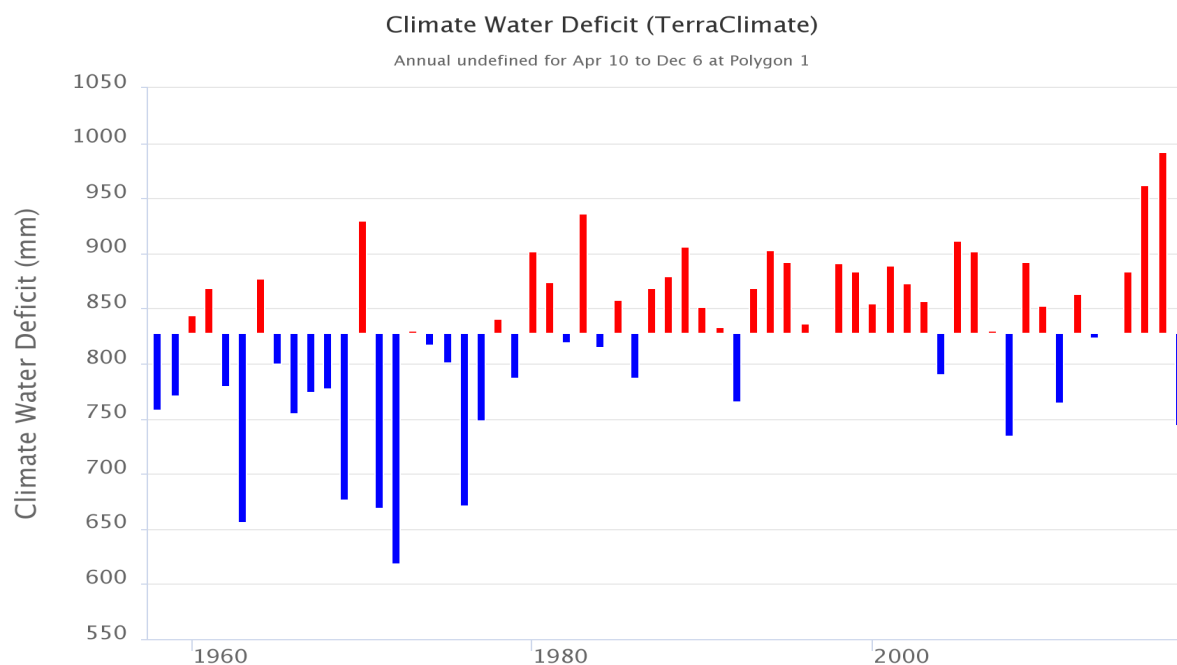


Figure VI.54 : histogramme du climat eau déficit (mm)

Conclusion générale

Les feux de forêt sont le facteur majeur de perturbation du paysage et de déclenchement des processus de désertification dans le bassin de la Méditerranée.

La destruction des forêts, des infrastructures et le coût 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 brûlés 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'atténuation de cette situation dans le long terme nécessite à la fois la prévention des incendies et aussi des mesures de restauration des espaces touchés par le feu. L'impact des incendies de forêt est particulièrement aigu dans les régions semi-arides et sèches où le climat et le combustible sec favorisent la propagation du feu et la pénurie d'eau accentue les problèmes de régénération post-incendie.

L'utilisation des images satellitaires pour la détection de feu est un avancé majeure dans la gestion des incendies de végétation en termes de coût, et minimise l'intervalle de temps pour l'acquisition des informations (Zammit, 2008).

Les images collectées avant un incendie auront des valeurs de bande proche infrarouge très élevées et des valeurs de bande infrarouge moyenne très faibles et une image collectée sur une forêt après un incendie aura des valeurs de bande proche infrarouge très faibles et des valeurs de bande infrarouge moyenne très élevées.

Le d'NBR de notre zone est plus élevé indique des dommages plus graves et un taux de régénération faible.

C'est pourquoi il est même indispensable de disposer de modèles sophistiqués capable de prédire l'évolution probable des parcelles incendiées.

Hommage , au chef de la conservation des forets d'Oran Mr **BAKKAR** qui a été victime d'un incendie causé par un barbecue 16/09/2016

- **Alexandrian D, Esnault F. et Calabri G., 1998** : Feux de forêt dans la région méditerranéenne Cet article s'inspire d'une étude préparée en vue de la réunion de la FAO sur les politiques publiques concernant les feux de forêt, tenue à Rome (Italie) du 28 au 30 octobre 1998, 8p.
- **Andrée Dagorne, Yvon Duché, Jean-Marie Castex, Jean-Yves Ottavi** avec la participation de **Christophe Dallier et Anne de Coster (1994)** : forêt méditerranéenne ; Protection des forêts contre l'incendie & Système d'information géographique ; 416-418P
- **Arfa A., 2003.** : Les incendies de forêts dans l'extrême Nord-est algérien : cas des wilayas de Skikda, Annaba et Tarf, période 1990-2000. Mém ing d'Etat. Univ Constantine. 82p.
- **BEKDOUCHE F., 2010**: Evolution après feu de l'écosystème subéraie de Kabylie (Nord Algérien). Thèse. Doctorat, Univ ; Mouloud MAMMERI, Tizi-Ouzou p16
- **Bergeron M.** 1992 : Vocabulaire de la géomatique. Office de la langue française, Québec. 41p.
- **Carbonell G., Dusserre G & Sauvagnargues S., 2004.** : Embrasement généralisé éclair en feu de forêt. Le sage Lieutenant-colonel J.P. Monet
- **Choquet m, Ledoux s, Galland o.** enquête nationale. .In: Revue française de sociologie, 1995, 36-3pp.
- **Clarke KC.** 2001: Getting Started with Geographic Information Systems (3rd). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 352p.
- **Colin P, jappiot M, Mariel A, Carbaret C, Veillon S, Brocchiero F, 2001**: Protection des forêts contre incendie (fiche technique bassin méditerrané) 4. 7p

- **De Blomac F, Gal R, Hubert M, Richard D, Tourret C.** 1994. **Arc/Info :** concepts et applications en géomatique. Paris, Hermès, 256 p.
- **Élisabeth HABERT - IRD – 2000 :** Qu'est-ce qu'un système d'information géographique?., Laboratoire de cartographie appliquée. Institut de recherche pour le développement. France., 13p.
- Florent Occelli 2014 :** Systèmes d'Information Géographique et Lien Environnement – Santé (SIGLES) : contribution au développement d'outils cartographiques d'aide à la décision face aux risques sanitaires liés à l'environnement ; 24p.
- FREDERIC J., 1992:** Modélisation du comportement du feu, influence de la pente et de la charge d'une litière d'aiguille de pin maritime. Document PIF 9205, Avignon, 29p
- Gadal S.** 2008 : Les systèmes d'informations géographiques libres. Agence universitaire de la francophonie. Ouvrage numérique.
- Ghalem A., 2006:** étude typologique, stratégie de réhabilitation et réaction du milieu après incendie: cas de la subéraie de Hafir et Zarifet (Wilaya de Tlemcen) mémo.Ing.Fac.scien.Dép.Forest.Univ. Tlemcen.94p
- **Groot, W.J.; Goldammer, J.G.; Keenan, T.; Brady, M.; Lynham, T.J.; Justice, C.O.; Csiszar, I.A.; O'Loughlin, K.** Page unnumbered in **D.X. Viegas**, editor: Proceedings of the 5th International Conference on Forest Fire Research, November 27-30, 2006, Figueira da Foz, Portugal. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands. 12p.
- Jappiot M., 1999:**Analyse du risque et cartographie « les bases de données sur les feux de forêts en région méditerranéenne, utilisations et enseignement », Tétouan, Maroc.143p

-Jean-Charles DROUET et Bernard SOL, 1993 : (foret méditerranéenne). Mise au point d'un indice numérique de risque météorologique d'incendies de forêts .158p

- Long M. Rupert C. Piana C. Japiot M. Lampin C. Ganteaume A., 2008 : Amélioration de la connaissance des causes de départ de feu de forêt Convention DGFAR Forest Focus n° FF 2004-06 Juillet 2008 100p

-Zouaidia H., 2006: Bilan de l'incendie de forêts dans l'Est Algérien : cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk-Ahras. Thèse. Magister., Univ. Mentouri, Constantine, Algérie, 36 ,40p

Holden, Z., et al. "Evaluation of Novel Thermally Enhanced Spectral Indices for Mapping Fire Perimeters and Comparisons with Fire Atlas Data." International Journal of Remote Sensing 26 (2005): 4801-4808.

For Landsat 7 ETM+ and Landsat-8 imagery, you must follow some additional steps because the multispectral and thermal bands are in separate band groups. See the Burn Indices Tutorial for détails.

-Le Centre National de Télédétection Spatiale (C.N.T.S) d'Arzew (Wilaya d'Oran)

-La direction de conservation des forêts de la Wilaya d'Oran

-Université Paris 1 Uved

-La plateforme de Google Earth Engine : <https://earthengine.google.com/>

-Site web 1 : « Feu de forêt », consulté le 21 décembre 2019, <http://risquesenvironnementaux-collectivites.oree.org/le-guide/risques-mon-territoire/risques-majeurs/feu-de-foret.html>.

-Site Web2: <https://doi.org/10.4000/mediterranee.6796>. (19 décembre 2013)

-Site Web 3 : <http://pompier-de-demain.e-monsite.com/pages/cours/incendie/feux-de-foret-1.html>

-Site web 4 : <https://www.ecologie.gouv.fr/prevention-des-feux-foret> consulté le 23 décembre 2019

Annexes

Tableau : de calcule de DNBRT

code	from	to	surface km2	%
1	-1000	-251	0,573628774	1,10313226
2	-251	-101	1,891068062	3,63666935
3	-101	99	21,84834417	42,0160465
4	99	269	22,79276115	43,832233
5	269	439	4,331028065	8,32890012
6	439	659	1,025288021	1,97170773
7	659	1880	0,082514477	0,15868169

Tableau : Climat eau déficit (mm) (1999-2018)

Date	Climat eau déficit (mm)
1999	883
2000	854
2001	889
2002	873
2003	857
2004	791
2005	911
2006	902
2007	830
2008	734
2009	893
2010	852
2011	765
2012	863
2013	824
2014	829
2015	884
2016	962
2017	992
2018	744

Tableau : PSDI (1999-2018)

Date	PSDI
1999	-003
2000	-004
2001	-002
2002	-002
2003	-001
2004	000
2005	-002
2006	-002
2007	-001
2008	000
2009	000
2010	000
2011	-001
2012	000
2013	001
2014	-001
2015	-001
2016	-004
2017	-004
2018	002

Annexes

Tableau : rayonnement à ondes courtes vers le bas

Date	rayonnement à ondes courtes vers le bas (DSR) (W/m2)
1999	217
2000	225
2001	219
2002	221
2003	215
2004	218
2005	225
2006	218
2007	223
2008	211
2009	220
2010	216
2011	217
2012	215
2013	219
2014	219
2015	219
2016	217
2017	222
2018	216

Tableau : Précipitation (mm)

Date	Précipitation (mm)
1999	207
2000	239
2001	219
2002	178
2003	233
2004	296
2005	145
2006	211
2007	243
2008	399
2009	166
2010	187
2011	289
2012	254
2013	255
2014	247
2015	159
2016	155
2017	128
2018	266

Annexes

Oran, Oran, Algeria

35.744N, 0.809W | Elevation: 83 m | Climate Class: BSh | Years: 1989-2018

Availability of Climate Data

	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec	
	Temp	Prec	Temp	Prec	Temp	Prec	Temp	Prec	Temp	Prec	Temp	Prec	Temp	Prec	Temp	Prec	Temp	Prec	Temp	Prec	Temp	Prec	Temp	Prec
1989	10.6	19.0	12.6	29.2	14.8	65.3	15.3	27.7	18.9	9.7	22.8	3.7	26.3	0.7	27.2	6.0	23.2	13.2	20.1	18.5	17.1	18.9	14.7	27.5
1990	11.3	78.2	14.9	0.1	15.4	21.7	15.4	68.2	19.0	16.9	22.7	2.6	25.6	4.8	26.4	0.7	26.1	19.3	19.9	28.0	14.9	47.8	10.6	35.0
1991	10.0	29.7	10.7	52.8	14.0	102.1	14.5	5.9	16.8	16.9	22.3	2.1	25.6	0.9	27.0	1.3	24.7	21.3	18.0	36.8	14.5	30.6	11.4	17.8
1992	10.1	17.8	11.6	17.1	13.4	61.7	16.0	31.9	19.2	44.9	19.7	21.1	24.4	4.9	26.4	2.2	23.7	1.0	18.3	15.2	15.2	27.6	12.5	16.5
1993	10.4	1.6	11.1	61.4	13.7	23.9	15.4	39.0	18.7	21.4	22.4	1.8	24.8	0.7	26.1	1.3	21.7	13.8	18.1	30.0	16.2	48.4	11.7	9.1
1994	10.7	40.6	12.2	43.8	15.2	2.6	15.4	17.3	20.0	9.5	23.0	0.1	26.6	0.7	27.6	1.1	22.3	33.6	19.8	39.7	16.6	24.6	12.4	10.4
1995	11.1	42.1	13.9	47.4	14.2	60.1	15.8	13.6	20.4	1.1	22.1	8.5	25.2	1.6	25.9	3.0	21.7	12.8	21.0	19.6	17.1	21.3	14.0	51.9
1996	13.3	59.1	11.8	79.7	13.9	43.3	16.3	33.4	18.3	16.0	22.7	6.1	24.7	5.3	25.0	2.1	21.4	33.7	18.1	16.9	15.5	6.7	12.9	45.3
1997	12.8	35.7	13.6	2.1	14.8	2.2	17.3	61.0	19.5	12.3	22.9	0.9	23.6	1.3	25.2	8.0	24.1	37.7	21.3	25.3	16.1	41.1	12.6	50.4
1998	12.0	21.9	13.5	30.7	14.7	14.2	16.3	17.0	18.1	32.2	23.0	0.6	25.7	0.5	26.3	4.5	24.0	9.9	18.3	5.2	15.3	28.8	10.8	29.3
1999	11.1	52.2	10.7	66.3	14.3	36.9	16.8	1.7	20.7	1.3	23.2	0.6	25.5	0.0	26.7	2.8	23.7	20.1	21.2	30.9	14.0	55.1	11.6	49.5
2000	9.8	5.8	13.2	0.0	15.2	7.3	16.4	13.7	20.2	32.6	23.8	0.1	25.6	0.0	26.4	0.0	23.7	12.2	18.4	65.0	14.9	63.3	13.2	35.7
2001	12.3	37.3	12.7	51.0	16.7	3.2	16.9	25.5	18.8	15.5	24.3	0.3	25.2	0.0	26.6	0.0	23.4	18.6	22.1	19.6	14.1	96.4	11.0	28.8
2002	11.4	1.5	12.8	3.1	14.7	49.7	16.1	52.7	19.1	30.5	23.6	3.3	24.8	0.3	24.4	5.8	23.2	1.1	20.3	16.5	15.7	56.6	13.7	9.3
2003	10.5	62.3	11.4	72.1	14.9	12.8	16.4	32.5	19.4	12.6	25.3	1.0	26.4	0.5	27.8	0.9	24.1	5.6	20.2	38.0	15.6	52.9	11.8	52.6
2004	11.8	22.5	12.8	25.1	13.8	40.6	15.8	62.1	17.2	48.9	23.5	4.3	25.7	0.8	27.0	1.4	24.4	6.3	21.3	35.5	14.1	47.9	11.7	64.4
2005	8.8	10.4	9.3	67.5	13.7	29.4	16.3	10.1	20.7	1.4	23.9	1.7	26.2	1.0	25.3	0.7	22.6	13.1	20.5	16.4	14.3	50.0	11.2	19.1
2006	10.1	76.7	10.9	50.1	15.1	10.5	18.0	22.6	21.0	47.1	23.1	4.4	26.7	3.4	25.5	0.2	23.5	20.5	21.6	10.2	17.2	19.8	12.1	68.1
2007	11.3	23.8	13.9	25.6	13.8	38.2	15.9	67.0	19.6	10.4	22.5	0.8	25.6	1.2	26.1	0.5	23.4	27.2	19.6	86.1	14.4	65.0	11.6	20.1
2008	11.7	19.0	13.6	22.4	14.4	10.4	17.4	5.6	18.5	27.0	22.6	3.5	26.1	8.0	26.7	0.0	23.7	33.3	19.9	76.3	13.5	61.0	10.6	86.1
2009	10.8	62.6	11.3	23.4	14.3	28.9	15.2	34.5	20.4	16.2	24.1	2.7	26.9	0.7	26.4	0.6	22.6	53.0	20.7	3.3	17.1	21.0	13.4	29.4
2010	12.0	71.8	13.6	68.9	14.4	57.6	16.9	41.9	18.7	11.2	22.4	4.8	26.5	0.5	26.5	8.0	23.7	7.2	19.2	51.2	14.6	36.6	12.5	34.4
2011	11.5	40.1	11.5	29.5	14.3	35.9	18.3	51.8	20.3	43.2	23.1	8.0	25.6	1.9	26.9	1.1	24.0	9.0	20.3	47.5	15.9	66.1	11.9	25.7
2012	10.1	23.5	8.8	38.5	13.7	23.3	15.6	34.7	20.1	13.9	24.8	2.0	26.0	2.2	27.9	0.6	23.8	18.7	20.2	46.5	16.0	106.3	12.4	22.5
2013	11.5	46.2	11.0	46.6	14.8	37.2	16.1	78.9	17.8	32.5	21.4	0.4	25.1	2.5	26.1	3.7	23.5	21.9	22.2	7.0	14.5	49.9	11.6	67.5
2014	12.3	47.7	13.0	31.4	14.0	29.6	18.3	5.2	19.6	9.9	23.0	10.0	25.1	0.0	26.2	0.8	24.9	37.9	21.8	18.1	17.0	46.2	11.9	41.0
2015	11.1	56.5	11.5	71.3	14.3	46.2	17.6	13.5	21.2	15.4	23.7	4.5	27.8	1.6	27.1	1.0	23.3	20.2	20.6	47.0	16.3	15.6	13.8	1.6
2016	13.4	16.5	13.9	40.7	13.7	34.8	16.9	31.5	19.4	17.1	23.4	2.5	26.4	0.3	26.2	1.1	24.5	5.7	21.9	11.0	15.7	44.5	13.1	54.3
2017	10.3	94.3	14.3	12.7	15.3	26.6	17.2	8.3	21.0	5.4	25.0	2.4	26.5	0.1	27.1	2.6	23.9	6.1	21.0	23.2	15.2	29.9	11.6	34.3
2018	12.0	36.9	10.9	48.4	14.4	86.3	16.8	56.4	18.4	20.6	22.5	13.6	25.7	0.0	27.3	1.0	25.0	33.1	19.8	69.2	15.5	38.8	13.0	7.2

Temperature data available

Precipitation data available

No data available

Figure : disponibilité du climat d'Oran (1989-2018)