

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université Mentouri de Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

N° de série :

N° d'ordre :

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Magistère en Ecologie et Environnement
Option : Ecologie végétale

Thème



Présenté par : **Megrerouche Radia**

Devant la commission d'examen :

Président : RAHMOUNE C
Rapporteur : ALATOU D
Examineurs : TAHAR A
: BENDERRADJI M H

Prof. Univ. Mentouri de Constantine
Prof. Univ. Mentouri de Constantine
Prof. Univ. Badji Mokhtar d'Annaba
Prof. Univ. Mentouri de Constantine

Année 2005-2006

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*A ma mère et mon père qui m'ont tout donné,
que Dieu les gardes.*

*A ma sœur et mes frères qui m'ont tout partagé,
que Dieu veuille guider leur pas vers le mieux.*

*A mon oncle Mourad et sa petite famille qui
m'ont chaleureusement accueilli au cours de toutes
mes années d'études, je vous serai reconnaissante
toute ma vie.*

*A celui qui a su transformer mes angoisses et
interrogation en assurance, courage et espoir; à toi
A mor et à toute ta famille.*

A toute ma famille.

*Très sincèrement et du plus profond du cœur je vous dédie mon mémoire,
et j'espère vous avoir honoré.*

RADIA

Remerciements

Au terme de ce travail, je remercie avant tout Dieu le tout puissant qui a éclairé mon chemin tout au long de mes études.

Avant d'aborder mon sujet, qu'il me soit permis de remercier toutes les personnes qui, à des degrés divers, ont contribué à la mise à jour de ce mémoire:

Monsieur ALATOU D, professeur à l'Université Mentouri de Constantine, Qui malgré ces lourdes tâches a bien accepté de diriger ce travail.

Depuis mon mémoire d'ingénieur vous m'avez suivi et constamment conseillé avantagement, vous avez mis à ma disposition tous les moyens nécessaires. Votre aptitude et riche expérience m'ont été très profitables aussi bien au bureau que sur le terrain.

Je vous remercie Monsieur pour avoir bien voulu m'encadrer une deuxième fois, et d'avoir eu confiance en moi. Veuillez trouver ici l'expression de ma parfaite reconnaissance et sincère gratitude.

Monsieur RAHMOUN C, professeur à l'Université Mentouri de Constantine. Je tiens à vous remercier pour l'honneur que vous me faites en bien acceptant de présider le jury de mon mémoire de magistère bien que vous ayez énormément d'obligations.

Monsieur TAHAR A, professeur à l'Université Badji Mokhtar d'Annaba. Vous avez déployé beaucoup d'effort en vous déplaçant chaque fois pour nous faire inculquer de vos vastes connaissances à travers les cours de qualité dont nous avons profité. Vous m'avez particulièrement aidé dans le traitement statistique de mes données et avez montré beaucoup d'intérêt à mon thème de travail. Trouvez ici l'expression de ma sincère gratitude pour avoir accepté de juger mon travail.

Monsieur BENDERRADJI M H, professeur à l'Université Mentouri de Constantine. Avec vous, j'ai trouvé toute la rigueur possible pour l'accomplissement de ma tâche, votre riche expérience aussi bien théorique que pratique notamment dans le domaine cartographique m'ont été profitables.

Vous avez fait preuve de simplicité en acceptant d'être l'un des juges de mon mémoire. Pour tout ceci, je tiens à vous exprimer mes sincères remerciements et ma parfaite reconnaissance.

Mes vifs remerciements s'adressent aussi à tous mes enseignants qui se sont donnés à fond, afin de nous assurer une bonne formation.

Je ne peux oublier de remercier également

Mon très cher papa et mon adorable petit frère qui m'ont beaucoup soutenus, aidé et qui m'ont accompagné toute au long de mes sorties sur terrain.

Ma tante DAHMANI M, professeur à l'U.S.T.H.B D'Alger pour les précieux conseils qu'elle m'a donné tout le long de mes études et surtout pour toute la documentation qu'elle a mis à ma disposition pour la réalisation de ce document.

Je réserve une mention particulière à mon fiancé qui a montré une grande compréhension à ma situation et m'a beaucoup aidé, encouragé et soutenu durant toutes ces années afin de mener à bien ce travail.

Madame KANOUNI M, maître assistante à l'Université Mentouri de Constantine, qui a consacré beaucoup de son temps pour m'initier et m'apprendre les techniques relatives au traitement de texte.

Il m'est aussi agréable de remercier

Monsieur KHOUDIR de l'ONM de Constantine, qui m'a toujours reçu à bras ouverts et m'a donné toutes les données dont j'ai eu besoin sans aucune réticence.

Monsieur MEGOURA R, chef de la circonscription des forêts d'El Khroub, qui a bien voulu mettre à ma disposition tous les moyens matériels disponibles au niveau de l'administration, notamment le véhicule de service pour mes déplacements sur terrain.

Monsieur AMINE KHOUDJA M, inspecteur divisionnaire, chef du district d'Ain Smara, qui m'a fourni toute la documentation concernant la forêt domaniale de Chettabah et qui a aussi mobilisé tous le personnel du district : Youssef, Hafidh, Kaïss, Chakib, Fouzi, qui ont été toujours disponibles malgré leurs occupations et obligations professionnelles pour m'accompagner à chaque fois sur terrain afin d'effectuer mes prélèvements tous le long de l'année.

Un grand grand merci aussi à toute ma promotion de post-graduation, mes ami(e)s et les post-gradués du département SNV.

En fin je remercie toute personne ayant laissé ces traces dans ce modeste travail.

Sommaire

Introduction	1
Première partie : Généralités : incendie et pyrologie	
I. Les incendies de forêt en régions méditerranéennes.....	2
I.1 La forêt méditerranéenne.....	2
I.2 Le climat méditerranéen.....	2
I.3 La végétation méditerranéenne.....	2
I.4 Les feux en forêt méditerranéenne.....	3
II. Etat des incendies de végétation en Algérie.....	4
II.1 Présentation de la forêt Algérienne	4
II.2 Répartition de la forêt Algérienne par essence	5
II.3 Bilan des incendies de forêts depuis 1830	5
II.3.1 Analyse des incendies	8
II.4 Causes des incendies	10
II.4.1 Causes involontaires	10
II.4.2 Causes volontaires	11
III. Concepts généraux et notions relatives à la pyrologie forestière.....	11
III.1 Définitions	11
III.1.1 La combustion.....	11
III.1.2 La pyrolyse	12
III.1.3 La flamme	12
III.1.4 Feux de forêts	14
III.2 La propagation d'un feu de végétation.....	17
III.2.1 La conduction	17
III.2.2 La convection.....	17
III.2.3 Le rayonnement.....	18
III.3 Les facteurs du milieu favorisant l'occurrence et le développement des feux de végétation	18
III.3.1 Les facteurs climatiques	18
III.3.2 Les conditions édaphiques	20
III.3.3 Les facteurs topographiques	20

III.3.4 Les facteurs biologiques.....	21
III.4 le risque feu de forêts	24
III.4.1 Evaluation du risque d'incendie	25

Deuxième partie : Etude de milieu

I. Caractères physiques de la forêt domaniale du chettabah.....	32
I.1 Présentation et situation de la forêt de Chettabah	32
I.2 Relief et hydrographie.....	32
I.3 Formation géologique	34
I.4 Pédologie.....	34
I.5 Climatologie.....	36
I.5.1 Etude climatique de la forêt domaniale de Chettabah	36
I.5.2 Les autres facteurs du climat	40
I.5.3 Synthèse climatique.....	42
II. Méthodologie de travail.....	46
II.1 Objectifs de l'étude.....	46
II.2 Choix des stations.....	48
II.3 Matériel et méthode de travail	48
II.3.1 Matériel végétal	48
II.3.2 Matériel utilisé	48
II.3.3 Méthode de travail.....	50
II.3.4 La méthodologie statistique.....	52

Troisième partie : Résultats et discussion

I Présentation de la zone d'étude.....	58
I.1 Description des stations:.....	58
II Données thermiques de la période 2001-2004.....	64
II.1 Analyse des paramètres statistiques de base.....	64
II.1.1 Températures de l'air.....	64
II.1.2 Températures au sol.....	65
II.1.3 Températures dans le sol.....	67
II.2 Analyse des résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification	69
II.2.1 Comparaison des moyennes de chaque variable et de chaque mois entre les Quatre années.....	69

II.2.2 Comparaison des moyennes mensuelles entre elles pour chaque variable et pour chaque année.....	73
II.2.3 Comparaison des températures séparées, des 4 saisons, pour les 4 années.....	74
II.2.4 Comparaison des températures des 4 saisons, pour les 4 années	74
II.3 Comparaison des températures moyennes dans le sol entre (T50 et T100) pour chaque mois et pour chaque année à l'aide du test t de STUDENT pour échantillon associés par paires.....	75
II.4 Interprétation des résultats de l'analyse de la variance multi variée(MANOVA).....	76
III Résultats de l'inflammabilité, de combustibilité et la teneur en eau.....	77
des espèces.....	77
III.1 Variation du temps d'inflammabilité et du temps de combustibilité en fonction de la teneur en eau	77
VI Analyse statistique des données : Inflammabilité, combustibilité et la teneur en eau.....	86
VI.1 Les paramètres statistiques de base	86
VI.1.1 Temps d'inflammabilité.....	86
VI.1.2 Temps de combustibilité.....	87
VI.1.3 Teneur en eau.....	87
VI.2 Comparaison des moyennes de chacune des variables, des 12 dates de sorties pour toutes les espèces une par une.....	88
VI.2.1 Temps d'inflammabilité et de combustibilité.....	89
VI.2.2 Teneur en eau.....	90
VI.3 Comparaison des moyennes de chacune des variables pour l'ensemble des espèces et pour les 12 dates.....	91
VI.4 Interprétation des résultats de l'AV2.....	92
VI.4.1 Comparaison des moyennes ente <i>Pinus halepensis</i> et <i>Quercus ilex</i> pour chacune des trois variables.....	92
VI.4.2 Comparaison des moyennes entre écorce <i>Pinus halepensis</i> et écorce <i>Quercus ilex</i> pour chacune des trois variables.....	93
VI.4.3 Comparaison des moyennes entre litière <i>Pinus halepensis</i> et litière <i>Quercus ilex</i> pour chacune des trois variables	93
VI.5 Recherche de groupes d'espèces homogènes, pour chaque variable.....	94
VI.5.1 Liste des espèces et leurs symboles.....	94

VI.5.2 Comparaisons multiples de moyennes.....	94
VI.6 Analyse des corrélations entre les trois variables.....	97
VI.7 Interprétation des résultats de la MANOVA.....	97
VI.7.1 Comparaison des vecteurs de moyennes des trois variables des 12 dates pour chacune des espèces	99
VI.7.2 Comparaison des vecteurs de moyennes des trois variables, Pour les 15 espèces et pour les 12 dates.....	100
V Le risque feu de forêt.....	101
V.I Evaluation du risque d'incendie.....	101
V.I.I Stations incendiées.....	101
V.I.2 Stations non incendiées.....	102
V.I.3 Evaluation du risque pour les cinq stations ensemble.....	103
V.I.4 Evaluation du risque pour l'ensemble de la forêt.....	104
Conclusion.....	106
Références bibliographiques	
Liste générale des symboles et illustrations	
Annexes	

Introduction

Introduction

La forêt est l'écosystème, qui après les océans, présente la plus grande diversité biologique, bien avant les terres cultivées et terrains de parcours.

La forêt algérienne, à l'instar des autres forêts du pourtour méditerranéen est chaque année, ravagée par les incendies.

Vu ces aspects négatifs, le feu est considéré comme un fléau dont on doit faire face. Pour estimer correctement son comportement et son extension probable, il faut observer préalablement, les particularités des divers combustibles végétaux, donc en priorité la végétation elle-même. En effet, la détermination des risques d'incendies doit être faite, non seulement en fonction des prévisions météorologiques au moment du sinistre, mais encore en tenant compte des différentes sensibilités au feu des formations végétales. Or, la prévention des incendies de végétation et la lutte contre les incendies nécessitent non seulement la connaissance des facteurs qui conditionnent la nature même de ces formations.

Toutes ces données qui relèvent des études sur la végétation, peuvent être intégrées dans une «carte des formations végétales», outil fondamentale et indispensable à ceux dont le rôle est de prévenir ou de combattre les incendies de végétation.

Pour cela, le modèle de la forêt domaniale de Chettabah a été pris en exemple. Pour mener cette étude le plan de travail suivant a été adopté :

La première partie est consacrée aux généralités : incendies et pyrologie, elle traite des incendies de forêt en région méditerranéenne et plus particulièrement en Algérie, avec un bilan des incendies détaillé ; depuis 1853 à 2001 ainsi que des concepts généraux et des notions relatives à la pyrologie forestière.

La deuxième partie concerne l'étude du milieu. Après les caractères physiques de la forêt avec une analyse détaillé du climat et ces paramètres, nous avons terminé cette partie par une description des méthodes et le matériel qui a servi à cette étude.

La troisième partie est réservée aux « résultats et discussions » dont les résultats sont représentés graphiquement et traités statistiquement. La discussion de ces résultats est suivie par une évaluation du risque d'incendie au sein de la forêt, et en fin par une conclusion.

Première partie

Généralités : incendies et pyrologie

I Les incendies de forêts en région méditerranéenne

I.1 La forêt méditerranéenne :

La forêt méditerranéenne est l'une des plus importantes du globe, elle occupe environ 65 millions d'hectares de forêts arborées et 19 millions d'hectares de formation Sub-forestières (Seigue ,1985 in Lopez et al., 1996).

Actuellement, on distingue quatre formations végétales dominantes :

- La Yeuseraie (Chêne vert)
- La subéraie (Chêne liège)
- La chênaie (Chêne blanc ou pubescent)
- Les résineux (Pins, Sapins)

La faible densité de leur feuillage profite ainsi au développement d'un sous bois arbustif et herbacé, dense et sec, siège de la majorité des départs des feux.

I.2 Le climat méditerranéen :

Le climat méditerranéen est typiquement caractérisé par :

- La concentration des pluies pendant la période froide, au moment du repos végétatif.
- La coïncidence de la sécheresse avec la chaleur pendant presque six mois, c'est un climat xérothermique.
- Les pluies sont soudaines, violentes et torrentielles, le plus souvent irrégulières et mal réparties.

Les déficits par rapport à la normale se répercutent largement sur l'évolution de la végétation entraînant des chocs physiologiques, et un effet indirect sur l'accentuation des risques d'incendies. (Laouroux ,1971).

Le bassin méditerranéen ne serait ce qu'il est sans son Mistral (vent fort et saccadé de direction Nord, Nord-ouest à fort pouvoir évaporant) et sa Tramontane notamment (vent froid soufflant dans le Languedoc et le Roussillon).

I.3 La végétation méditerranéenne :

La végétation de la région méditerranéenne est particulière, et présente des caractères xérophiles et pyrophytes au même temps, la végétation est constituée dans sa majorité d'arbres à feuilles persistantes tel le Chêne vert (*Quercus ilex*), le Chêne liège (*Quercus suber*), les Cistes ainsi que divers Pins.

La forêt méditerranéenne est riche en espèces pyrophytiques qui sont les plantes dont la propagation, la multiplication ou la reproduction sont stimulés par le feu (Lopez et al ,1996), selon Trabaud, 1974" Un vrai pyrophyte devrait être à la fois une plante qui résiste au feu et qui est favorisé par le feu».

Il existe plusieurs types de pyrophytes :

- **Les passives** : Ce sont les plantes qui résistent au feu, c'est le cas du Chêne liège grâce à son écorce épaisse ou du Chêne zeen grâce à la dureté de son bois.
- **Les actives** : Pour les uns c'est la croissance végétative qui est stimulée par le feu, c'est le cas du Genévrier, de l'Arbousier, de la Filaire et du Chêne kermès, pour les autres, c'est la propagation des graines qui est stimulée par l'incendie, cas du Pin d'Alep.

I.4 Les feux en forêt méditerranéenne :

Chaque année, 35.000 à 40.000 ha du paysage méditerranéen sont réduits en cendres, ce qui correspond à 3000 voire 4000 départs de feux par an, du fait d'un climat particulièrement favorable (longue sécheresse), elle est dans son ensemble peu productive, peu équipée et peu entretenue donc peu protégée (Lopez et al .1996).

Les incendies en forêts méditerranéennes sont des "perturbations" historiquement ancrées dans la dynamique naturelle de nos écosystèmes.

D'un point de vue écologique , une perturbation n'exprime pas toujours une notion désastreuse et catastrophique, au sens où elle éradiquerait définitivement les espèces touchées ; au contraire en éliminant une partie des formations en présence , elle contribue grandement à établir une mosaïque de milieu hétérogène , particulièrement très riche .La majorité des espèces végétales de la région sont douées de stratégies adaptatives ingénieuses afin de recoloniser les zones ravagées par les flammes .Certaines d'entre elle, comme l'Inule visqueuse (*Inula viscosa*) ou le Pin d'Alep, sont dites anémogames, c'est - à -dire quelles bénéficient d'une très bonne dispersion de leurs graines par le vent.

D'autres nécessitent pour se développer des conditions thermiques favorables, c'est le cas du Ciste à feuilles de Sauge (*Cistus salvifolius*) dont la croissance des spores, enfouies dans le sol, est spontanément générée après le passage d'un incendie.

Quant aux Bruyères (*Erica arborea*, *Erica scoparia*), et au Chêne liège, la capacité de reprise des souches favorise la régénération des tissus calcinés. La cicatrisation des espèces arbustives et herbacées peut se faire rapidement.

II Etat des incendies de végétation en Algérie

II.1 Présentation de la forêt Algérienne :

De part sa situation géographique, sa végétation et son climat ,la forêt algérienne a connu au cours des siècles diverses dégradations, suite aux invasions qu'a connu l'Afrique du Nord , l'exploitation abusive, l'élevage incontrôlé, sont sans aucun doute à l'origine de l'état de dégradation actuelle des forêts Algériennes . Le domaine boisé en Algérie était en bon état et évalué à près de cinq millions d'hectares en 1830 (Boudy, 1950 in Lopez et al, 1996).

L'exploitation des forêts lors de la conquête coloniale associé à la sur exploitation du bois, principalement durant la seconde guerre mondiale, ainsi que les incendies répétés durant la guerre de libération nationale, ont entraîné la disparition de plus d'un million d'hectares .

En 1916, la superficie totale du domaine forestier est supérieure à trois millions d'hectares .En 1955 on en compte 3 289 000 ha et en 1962 : 3 200 000 ha dont une bonne partie à l'état de maquis et de taillis dégradés (Sari, 1972 in Lopez et al., 1996)

La dégradation de la forêt algérienne et la réduction des surfaces boisées ont persisté jusqu'à nos jours sous l'effet de l'action humaine et surtout de l'instabilité politique qu'a connu le pays.

En effet la superficie du domaine forestier algérien actuel, est inférieure à 2.500.000 ha dont 1.8 fortement dégradé. Cependant, grâce aux opérations de reboisement pratiquées depuis 1962, les formations forestières couvrent actuellement quatre millions d'hectares .Elle sont représentées par des forêts naturelles occupant 1.329.000 ha soit 32 %, les maquis et les broussailles 1.884.000 ha (0,1%) et enfin, les reboisements 972.800 ha avec 23,5% , est donc de 16,4 % pour le Nord de l'Algérie, alors qu'il atteint seulement 1,7% au sud, si on prend en compte le territoire national , ce taux du boisement est loin de l'équilibre naturel estimé à environ 25% (Bulletin de l'AIFM, 2003).

II.2 Répartition de la forêt Algérienne

En Algérie les forêts, les reboisements, les maquis et les garrigues occupent une superficie d'environ 4.000.000 ha, néanmoins chaque année environ 48000 ha sont parcourus par les incendies.

Tableau 01 : Principales essences des forêts Algériennes (Abd el guerfi 2002-2003).

Essences	Superficies	Taux (%)
Pin d'Alep	800.000	20
Reboisement P.A	800.000	20
Chêne liège	460.000	11,5
Chêne zeen et Afares	65.000	1,625
Chêne vert	360.000	9
Thuya	140.000	3,5
Genévrier	280.000	7
Cèdre	23.000	0,575
Pin maritime	12.000	0,3
Eucalyptus	60.000	1,5
Maquis et Garrigues	1.000.000	25
Total	4.000.000	100

II.3 Bilan des incendies de forêts depuis 1830 :

On a groupé dans les tableaux ci après les principaux chiffres concernant les surfaces de forêts parcourues par le feu en Algérie, les graphiques joints à ces relevés indiquent les variations des surfaces incendiées depuis 1853 jusqu'à 2001.

Tableau 02 : Relevé des incendies de forêts sur 48 ans pour la période 1853-1915.

Années	Superficies/ha	Années	Superficies/ha	Années	Superficies/ha
1853	Très important	1885	51.569	1901	9687
1860	10.000	1886	14.043	1902	141.141
1863	42.000	1887	53.714	1903	94.398
1865	163.954	1888	14.788	1904	2759
1871	Très important	1889	17.807	1905	7676
1873	75.313	1890	23.165	1906	9126
1874	2.777	1891	45.924	1907	4457
1876	55.172	1892	135.754	1908	6540
1877	40.538	1893	47.757	1909	9751
1878	8156	1894	100.890	1910	24.294
1879	17.663	1895	32.907	1911	16.309
1880	20.881	1896	14.091	1912	26.505
1881	169.056	1897	79.203	1913	138.191
1882	4018	1898	12.384	1914	43.305
1883	2464	1899	16.099	1915	19.350
1884	3232	1900	2937		

Source : Note sur les forêts de l'Algérie, (Marc, 1916).

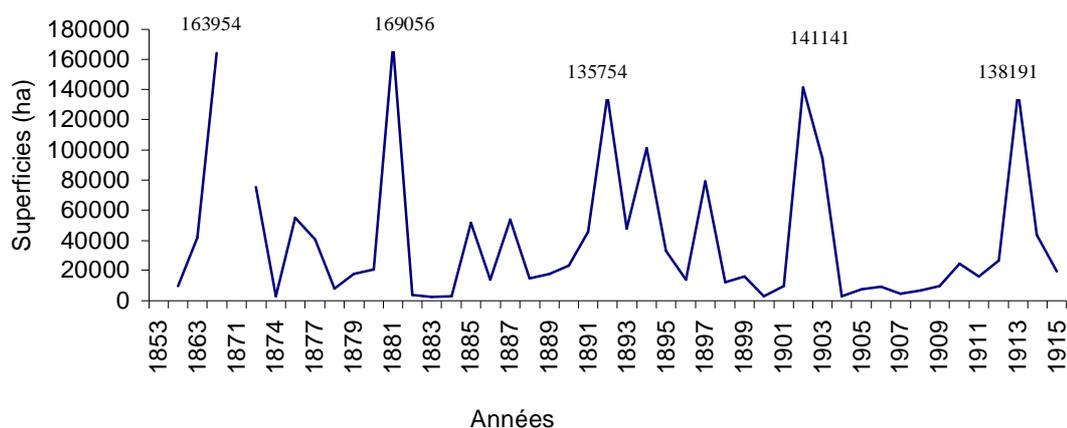


Figure 1 : Evolution des superficies brûlées durant la période 1853-1915.

Tableau 03 : Relevé des incendies de forêts sur 47 ans pour la période 1916-1962

Années	Superficies/ha	Années	Superficies/ha	Années	Superficies/ha
1916	78.863	1932	9734	1948	7617
1917	95.453	1933	17.640	1949	23.369
1918	33.720	1934	2517	1950	-2
1919	117	1935	28.691	1951	49.015
1920	83.986	1936	22.372	1952	7659
1921	11.200	1937	61.877	1953	7053
1922	89.473	1938	9571	1954	9809
1923	5997	1939	21.777	1955	25.573
1924	62.360	1940	39.850	1956	204.220
1925	9146	1941	7416	1957	105.604
1926	81.985	1942	31.740	1958	125.822
1927	10.504	1943	81.678	1959	55.038
1928	13.339	1944	34.548	1960	60.174
1929	1583	1945	57.708	1961	59.471
1930	10.675	1946	15.513	1962	-2
1931	61.067	1947	20.530		

Source : Grim, 1989 (-2 : deux mois manquants).

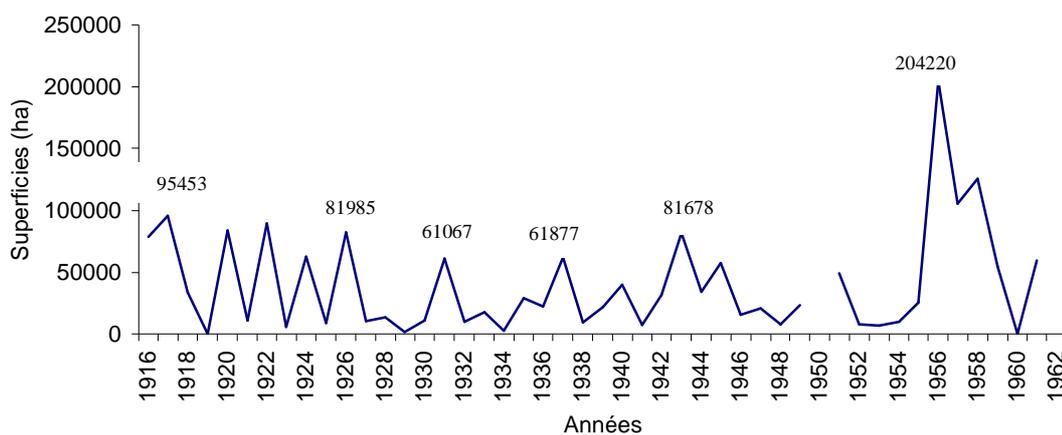


Figure 2 : Evolution des superficies brûlées durant la période 1916-1962

Tableau 04 : Relevé des incendies de forêts sur 38 ans pour la période 1963-2001

Années	Superficies/ha	Années	Superficies/ha	Années	Superficies/ha
1963	3924	1976	19.943	1989	3236
1964	9385	1977	50.152	1990	28.046
1965	52.732	1978	41.152	1991	13.176
1966	2503	1979	15.662	1992	25.621,02
1967	49.561	1980	26.944	1993	58.680,64
1968	14.549	1981	33.516	1994	271.597,79
1969	13.314	1982	9381	1995	32.157,44
1970	30.438	1983	22.1367	1996	7301,75
1971	57.835	1984	4731	1997	17.830,71
1972	4097	1985	4668	1998	28.629,65
1973	34.530	1986	21.537	1999	38.390,28
1974	11.002	1987	23.300	2000	55.782
1975	37.331	1988	27.757	2001	14.356

Sources : 1963-1984 (Grim, 1989).
 1985-1991 mémoire (Gherbah, 1992).
 1992-2001 DGF (Direction générale des forêts).

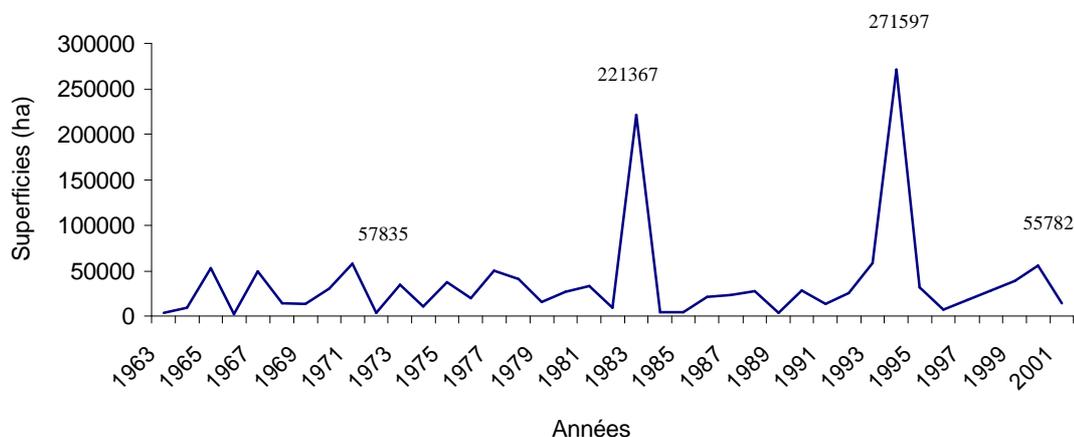
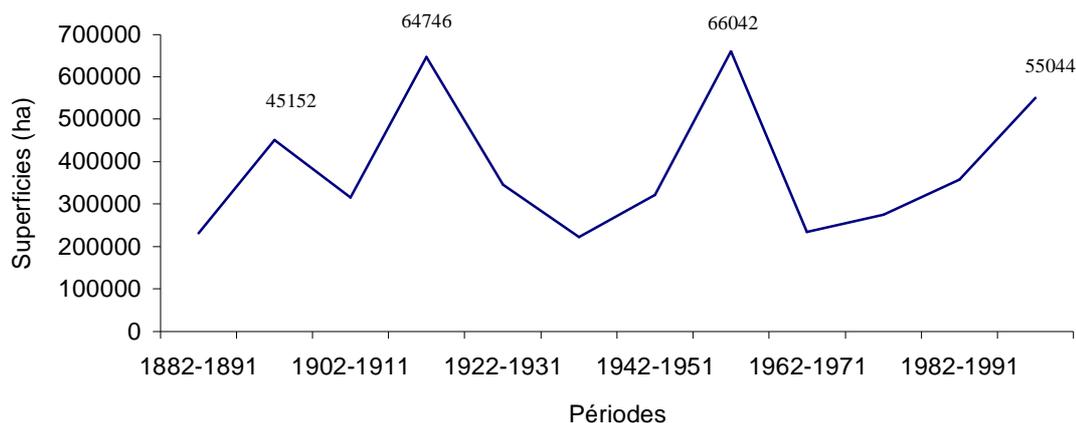


Figure 3 : Evolution des superficies brûlées durant la période 1963-2001

Tableau 05 : Périodicité décennale des superficies incendiées (1882-2001)

Périodes	Superficies brûlées	
	Total (ha)	Moyenne/année
1882-1891	230.724	23.072,4
1892-1901	451.529	45.152,9
1902-1911	316.451	31.645,1
1912-1921	647.462	64.746,2
1922-1931	346.129	34.612,9
1932-1941	221.445	22.144,5
1942-1951	321.718	32.171,8
1952-1961	660.423	66.042,3
1962-1971	234.241	23.424,1
1972-1981	274.302	27.430,2
1982-1991	357.199	35.719
1992-2001	550.440	55.044

**Figure 4** : Evolution des superficies brûlées par périodes décennales (1882-2001)

II.3.1 Analyse des incendies :

II.3.1.1 Période de 1853-1915

On remarque d'après la figure 01 que le total des superficies incendiées durant cette période est plus de 1.831.745 ha, avec en effet cinq maxima relatifs généralement brusques est très nets correspondant aux années :

- 1865 avec une superficie brûlée de 163.954 ha
- 1881 avec une superficie brûlée de 169.056 ha
- 1892 avec une superficie brûlée de 135.754 ha
- 1902 avec une superficie brûlée de 141.141 ha
- 1913 avec une superficie brûlée de 138.191 ha

Cela veut bien dire que l'espérance moyenne de vie des boisements n'excédait pas dix ans, surtout dans la région Est du pays (Marc ,1916).

II.3.1.2 Période de 1916-1962

La superficie totale incendiée durant la période 1916-1962 s'élève à 1.872.054 ha répartie par ordre décroissant comme suit : 204.220 ha soit 10,9% brûlées en 1956 en pleine guerre de libération où les forêts payèrent un tribut important. L'année 1917 avec 95.453 ha soit 6.24 % vient en seconde position, en suite les années 1962 et 1943 avec 81.985 ha soit 4.37 %, et enfin 1943 avec 81.678 ha soit 4.36 %.

II.3.2.3 Période de 1963-2001

Durant cette période, on remarque une diminution dans les superficies brûlées avec toute fois une périodicité quinquennale des grands incendies .La superficie totale brûlée s'élève à 1.345.978 ha, l'année qui a marqué un pic dans la superficie brûlée correspond à 1994 avec 271.597,79 ha soit 20 %, et 1983 avec 221.367 ha soit 16 % (Qui est une année particulièrement très sèche) (Abdel guerfi, 2002-2003).

Pour les superficies brûlées de moindre importance que la précédente, correspondent aux années 1965 avec 52.732 ha soit 3,9 %, 1971 avec 57.835 ha soit 4,3 %, 1977 avec 50.152 ha soit 3,7 %, 1993 avec 58680 ha soit 4,3 % et enfin 2000 avec 55782 ha soit 4,1 %.

II.4.1.4 Période de 1882-2001

La superficie totale brûlée durant 12 décennies (1882-2001) s'élève à 4.612.063 ha.La décennie qui se place en première position en matière d'importance des superficies incendiées est 1952-1962 avec 660.423 ha brûlées soit 14,31 % à cause des années de guerre de l'indépendance .La décennie 1912-1921 vient en seconde position avec 647.462 ha soit 14,03 % et qui coïncide avec la première guerre mondiale.

En troisième position vient la décennie 1991-2001 avec 550.440 ha soit 11,93 % à cause des événements liés au terrorisme qu'à connu notre pays durant cette période .Et enfin, vient en dernière position la période coloniale 1892-1901 avec 451.529 ha soit 9,79 %.

II.4 Causes des incendies

Les incendies sont attribuables aux causes les plus diverses .Le feu se déclare presque toujours dans le sous bois constitué par une végétation spontanée composée d'arbustes, de plantes diverses et d'herbes.

Il ne présente pas les mêmes dangers dans toutes les forêts, et à cet égard, la nature des essences (résineuses ou feuillues),le climat (humide ou sec) , la constitution géologique du sol, la densité plus ou moins grande du sous bois, la présence d'un tapis épais d'aiguilles ou de mousse ont une influence considérable .Les risques d'incendies varient encore selon la saison, la chaleur, la sécheresse plus ou moins persistante et la violence des vents ; les causes déterminantes des incendies sont nombreuses.

II.4.1 Causes involontaires

L'accident ou l'imprudence sont à coup sûr les causes les plus fréquentes, elle 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.
- Par exemple, la plus part des incendies allumées dans les boisements de Chêne vert des environs de Tlemcen ont pris naissance accidentellement sur l'emplacement aux abords des charbonneries rustiques, établis généralement en délit par les riverains qui en toute saison fabriquent du charbon en forêt.
- On a trouvé aussi, à l'origine de certains sinistres, la maladresse des chercheurs de miel qui, suivant la coutume des riverains, avaient employé le feu pour chasser les abeilles dont ils récoltaient le miel .Et dans la région de Tizi-Ouzou, des imprudences ont provoqué l'incendie en incinérant le cœur de certains arbres tarés pour obtenir des cendres destinées à la fabrication du savon.

II.4.2 Causes volontaires

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

A ces criminels, il faut ajouter les déséquilibrés 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 provoqués par les berges pour se procurer des pâturages. Ainsi les lignes de chemin de fer qui traversent les régions boisées créent des dangers, le feu est allumé en général par des flammèches sortant des cheminées.

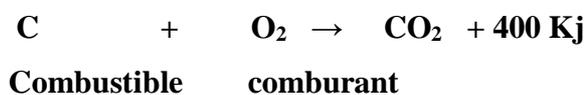
Au nombre de ses causes on peut citer enfin, la présence en forêt de débris de verres formant lentilles, la foudre, la chute des lignes électriques à hautes tensions, ...etc. Toute fois ces causes sont discutables et très rares.

III Concepts généraux et notions relatives à la pyrologie forestière

III.1 Définitions

III.1.1 La combustion

C'est l'oxydation vive, fortement exothermique, d'un corps solide ou gazeux appelé combustible, en présence du carburant, souvent l'oxygène de l'air. A titre d'exemple, la combustion du carbone, élément très abondant dans la matière végétale, suit la loi suivante :



La combustion de la matière végétale s'effectue en deux étapes, non rigoureusement distinctes :

- La combustion avec flammes, réaction chimique entre gaz de décomposition thermique et oxygène de l'air, est appelée combustion vive
- La combustion sans flammes ; réaction chimique entre les résidus de la décomposition thermique et l'oxygène de l'air, est dite la combustion lente.

La durée de la combustion vive croit avec la quantité d'air et avec le rapport surface -volume du combustible.

Durant les incendies de forêts, même en absence de vent, l'air est toujours suffisamment abondant pour que la majeure partie de la combustion s'effectue avec flamme. La combustion lente a toute fois lieu au niveau de la litière dont la compacité ne permet pas toujours une ventilation interne suffisante. De même, le feu peut couvrir de longues heures dans les troncs ou les racines (Delaveaud, 1981).

III.1.2 La pyrolyse

C'est la décomposition chimique de la matière en vase clos et sous l'effet de la chaleur seule. Ce phénomène se produit rarement au cours d'un incendie de forêt, mais la gazéification observée s'apparente à la pyrolyse.

En vase clos, l'échauffement progressif du bois entraîne selon Delaveaud, 1981:

- Au dessous de 100 ° C une vaporisation de l'eau ; tant que toute l'eau n'est pas vaporisée, la température interne du bois reste voisine de ce seuil. C'est une période fortement endothermique.
- De 100 °C à 275 °C, un dégagement de gaz (70 % de CO₂ incombustible et 30% de CO combustible) et d'acides pyroligneux (Distillat contenant des fractions acides et alcooliques). C'est une période endothermique.
- Vers 275 °C, un abondant dégagement gazeux riche en CO et l'apparition d'hydrocarbures combustibles. C'est une phase exothermique.
- Au dessus de 350 °C, un ralentissement des dégagements gazeux, en majorité combustibles ; une diminution de proportion de CO₂. Les hydrocarbures dominant ; l'apparition de l'hydrogène. C'est une phase exothermique.
- Au dessus de 450 °C, l'hydrogène et les hydrocarbures constituent la majeure partie des gaz dégagés. Du charbon de bois, susceptible lui même de brûler, se forme au fond de vase.

III.1.3 La flamme

III. 1.3.1 Définition de la flamme

A de rares exceptions près, la flamme se caractérise par quatre propriétés particulières :

- Toujours associée à une oxydation.
- Accompagne une réaction fortement exothermique entre des gaz
- Sa température est très élevée
- Emet de la lumière

La flamme contient les réactifs et les produits de l'oxydation et se trouve à l'intérieur de l'enveloppe la plus externe qui émet de la lumière. Un combustible solide brûle avec des flammes de "diffusion", l'oxygène de l'air doit diffuser dans la flamme pour qu'ait lieu l'oxydation, souvent très incomplète. Les particules de carbone formées sont portées à l'incandescence et rendent la flamme brillante et éclairante.

III.1.3.2 Conditions d'inflammation

A l'air libre, l'accumulation des gaz combustibles et la présence d'un point chaud sont indispensables pour que la flamme apparaisse.

Le point chaud est une température supérieure à celle du milieu ambiant ; il peut être une étincelle, une flamme ou une particule de combustible incandescente, cette dernière provoque ce qu'on appelle l'auto inflammation. Quelle que soit la nature du point chaud, l'inflammation ne se produit qu'au-delà d'un seuil -la température d'inflammation- dont la valeur varie avec les combustibles. En raison de l'hétérogénéité du combustible forestier, ce seuil ne peut être qu'estimé.

En présence d'une flamme, l'inflammation a lieu entre 275 °C et 360°C (Delaveaud, 1981) ; de nombreux auteurs retiennent 300°C. L'auto inflammation ne survient qu'à des températures nettement plus élevées, entre 500 °C et 550 °C.

III.1.3.3 Températures et énergies

La température réelle d'une flamme de diffusion qui se situe entre 500 °C et 900 °C, est liée à la quantité de combustible consommée par unité de temps ainsi qu'au niveau de l'oxydation réalisée.

Les combustibles forestiers donnent par gazéification des composés complexes dans lesquels dominent les hydrocarbures lourds qui demandent, pour brûler, une oxygénation importante.

Les essais de combustion au laboratoire montrent que lorsque l'oxygénation est faible, la température de la flamme ne dépasse pas 500°C (Delaveaud, 1981). Une meilleure oxygénation améliore le rendement de la combustion et accroît la température de la flamme (900 °C). L'énergie libérée par la flamme, sous forme d'énergie lumineuse et d'énergie calorifique, se dégage par rayonnement et convection.

III.1.4 Feux de forêts

On parle d'incendie de forêt lorsque le feu concerne une superficie minimale d'un hectare d'un seul tenant et qu'une partie au moins des étages arbustifs et, ou arborés (parties hautes) est détruite.

Un incendie est un phénomène qui échappe au contrôle de l'homme, tant en durée qu'en étendue, il naît de la rencontre d'une source de chaleur dont la température dépasse 600°C et d'une végétation inflammable. Une fois le feu allumé, un front de flamme se forme, qui se déplace d'autant plus vite que la végétation est desséchée. Ce front forme un rideau plus haut que les arbres, qui balaye la forêt en passant devant lui une "Vague de chaleur", c'est-à-dire un mélange de gaz et d'air brûlant.

III.1.4.1 Le front de feu

C'est la zone d'un incendie de forêt où brûlent les gaz libérés par la pyrolyse de la matière végétale. Il n'existe cependant à ce jour aucune méthode fiable de détermination de la puissance d'un feu (Moreno, 1989 in Alexandrian, 1997).

La puissance du feu **P**, s'exprime en kilowatt par mètre de front (KW/m), elle est égale au produit de l'énergie du combustible disponible par la vitesse de propagation du front de feu.

Proposée en 1982, la formule d'Alexander est tirée de la formule de (Byram, 1959).

$$P = 18700 WR$$

P : puissance du front de feu (kw/m)

W : quantité de combustible consommée lors de la combustion (kg/m²).

R : vitesse de propagation du feu sur le front (m/s).

D'après cette formule, un incendie se propage à 1,8 km/h et brûlent 1kg/m² de combustible et développe une puissance de 9350 kw/m.

Les Canadiens considèrent qu'un front de feu de puissance inférieure à 2000 kw /m peut être maîtrisé par les moyens de lutte au sol .Au delà et jusqu'à 4000 KW/m, l'intervention de moyens aériens permet seule de maîtriser directement la terre du feu .Au delà de 4000 kw/m, il est souvent impossible de contenir la tête du feu.

Au-delà de 10000 kw/m, la maîtrise du feu est impossible .Et on doit attendre un affaiblissement du vent, passage du feu dans une zone de végétation moins dense (fraîcheur du soir) ou encore les effets des interventions retardatrices (Attaques latérales, largage de produits moussants ou retardant).

III.1.4.2 Les différents types de feux

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

- **Les feux de sol :** Qui brûlent la matière organique contenue dans la litière, l'humus ou les tourbières .Alimentés par incandescence avec combustion, leur vitesse de propagation est faible.



Photo 01 : feux de sol

- **Les feux de surface** : Qui brûlent les strates basses de la végétation, c'est-à-dire la partie supérieure de la litière, la strate herbacée et les ligneux bas. Ils se propagent en général par rayonnement.



Photo 02 : feux de surfaces

- **Les feux de cimes** : Qui brûlent la partie supérieure des arbres (Ligneux hauts) et forment une couronne de feu .Ils libèrent en général de grandes quantités d'énergie et leur vitesse de propagation est très élevée .Ils sont d'autant plus intenses et difficiles à contrôler que le vent est fort et le combustible sec.



Photo 03 : feux de cimes

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

III.2 La propagation d'un feu de végétation

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

III.2.1 La conduction

Echange d'énergie entre une région de température élevée et une région de basse température. Ce phénomène physique se traduit par un transfert de la chaleur proche en proche par des chocs élastiques ou les molécules de plus haute énergie.

L'efficacité de la conduction dépend du degré de liberté des particules constituant le corps : Elle est définie par le coefficient de conductivité thermique λ (Loi de Fourier ,1822). Les valeurs courantes de λ sont en **w /m / c°** de :

Cuivre	350
Fer	47 à 53
Eau immobile	0,56
Bois	0,36
Liège	0,038
Air immobile	0,025

Les constituants du combustible forestier ont des coefficients de conductivité thermique très faible. Ce mode de transmission de la chaleur peut donc être négligé, sauf peut être au sein de la litière ou le tassement des éléments multiplie les points de contact entre eux.

III .2.2 La convection

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

Le flux calorique transporté par convection dépend d'un coefficient **Kc** et de la différence de température existant entre la source de chaleur et le milieu ambiant :

$$g = Kc \times \Delta T$$

g : Flux calorifique en $W \times cm^{-2}$

Kc : Coefficient de convection en $W \times cm^{-2} \times C^{\circ-1}$

ΔT : Différence de température entre la flamme et le milieu ambiant en C°

III.2.3 Le rayonnement

D'après l'hypothèse de Maxwell, tout corps présentant une température absolument non nulle (0° Kelvin) émet une énergie rayonnante sous la forme d'une onde électromagnétique, les rayonnements sont formés à l'intérieur du corps chaud et sont émis dans toutes les directions à travers la surface du corps. Dans ce processus d'échange, la quantité d'énergie rayonnante augmente rapidement avec la température de l'objet en combustion. Contrairement aux deux autres modes de transmission de la chaleur, la propagation s'effectue à une vitesse voisine de celle de la lumière.

La quantité d'énergie émise par un corps est proportionnelle à la quatrième puissance de la température thermodynamique de ce corps (Lois de Stephan-Boltzmann), elle s'exprime en $W.m^{-2}$.

$$E = \varepsilon \sigma T^4$$

ε : Coefficient d'émissivité du corps, compris entre 0 et 1 ; ε du radiateur intégral est égal à 1

σ : Constante de Stephan- Boltzmann : $5,67.10^{-8} W.m^{-2} .^{\circ}K^{-4}$

T : Température thermodynamique du corps en degrés kelvin.

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

III.3 Facteurs du milieu favorisant l'occurrence et le développement des feux de végétation

3.3.1 Les facteurs climatiques

Les conditions climatiques de l'année et de celle qui précède sont très importantes, aussi bien les précipitations, les températures, les vents et aussi l'humidité relative.

III.3.1.1 Les précipitations

La pluie est le facteur climatique le plus important qui influe sur le phénomène d'occurrence des feux. Ce ne sont pas les quantités d'eau tombées qui inhibent le phénomène d'occurrence des feux, mais plus particulièrement leur rythme d'apparition (Trabaud, 1970 a, 1980, 1983 b).

Si les pluies sont régulièrement réparties au cours de l'année, il y aura peu d'incendies et les superficies brûlées seront de faibles étendues ; par contre, lors d'une saison sèche, présentant plusieurs périodes sans pluies, les feux seront nombreux (Trabaud, 1970 a, 1980).

De même, il faut savoir qu'il suffit de 2 à 3 mm de pluie, quantité suffisante pour saturer la litière en eau, pour empêcher l'apparition des feux, et les fortes averses sont souvent moins bénéfiques que les effets d'une petite quantité de pluie bien distribuée pendant une période plus longue (Trabaud, 1970 a, 1980).

III.3.1.2 Les vents

D'après (Trabaud, 1970 a et Blin, 1974), le vent par ses multiples actions, joue un rôle particulièrement important dans le déclenchement et la propagation des incendies de forêts, il agit par son intensité, sa vitesse et sa direction :

- Favorise et accélère le dessèchement des végétaux et des sols.
 - Courbe et avive les flammes, apporte la chaleur aux combustibles adjacents, augmente la vitesse de propagation et peut produire des feux de cimes difficilement contrôlables.
 - Transporte parfois fort loin des particules incandescentes (Trabaud, 1970 b).
- Donc, on peut dire que plus la vitesse du vent est forte, plus la vitesse de propagation des feux sera grande (Trabaud, 1970 a, 1980 ; Drouet, 1982). De même, selon ces mêmes auteurs, l'effet de la vitesse du vent est plus grand quand l'humidité du combustible est très basse.

III.3.1.3 L'humidité relative

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

Car selon Trabaud, 1970 a, le risque de danger d'incendie n'est pas toujours le résultat d'une faible humidité relative de l'air ; mais, fréquemment, quand l'humidité relative est élevée les vents sont faibles.

III.3.1.4 La température

Les températures vont régler l'activité végétale, la production de biomasse, l'évapotranspiration et notamment lorsque la sécheresse s'installe, rend le végétal plus au moins inflammable et combustible (Barbero et al., 1988).

III.3.2 Les conditions édaphiques

Les conditions édaphiques sont essentielles, car la texture des sols, leur structure, la qualité de leur complexe argilo humique, conditionnent leur aptitude à conserver une réserve hydrique plus ou moins importante, et donc à rendre une espèce végétale moins inflammable alors que la sécheresse climatique sévit .

III.3.3 Les facteurs topographiques

Jouent un rôle important en favorisant suivant les situations la progression du feu ou son ralentissement.

Il faut noter que la topographie, contrairement aux agents atmosphériques, est un facteur constant dont il est possible de déterminer ou de prévoir son influence.

III.3.3.1 Le relief

D'après Drouet, 1982, la pente du terrain produit le même effet que le vent. En général, comme la pente s'accroît, la vitesse de propagation s'accroît, et les feux brûlent plus rapidement sur les pentes accidentées. Selon (Mac Arthur, 1967 in Trabaud, 1970a), la pente exerce une influence considérable sur la vitesse de propagation, surtout dans les premiers stades d'un feu, ainsi la vitesse de propagation d'un feu doublera sur une pente de 10% et quadruplera en gravissant une pente 20%, par contre elle est considérablement réduite quand un feu descend une pente.

Quand il s'agit de feux de faible intensité, la pente influence leur comportement pendant toute leur durée, mais dans le cas des feux de grande intensité (feu de cimes), la pente ne joue un rôle important que pendant les premières minutes du feu.

L'exposition a également un rôle indirect sur la progression du feu, car elle conditionne le type de végétation, l'influence des vents et l'ensoleillement. Généralement, les versants Sud –Ouest présentent les conditions les plus favorables pour une inflammation rapide et pour la propagation des flammes (Boudy, 1952).

III.3.4 Les facteurs biologiques

Il s'agit surtout des formations végétales. La couverture morte, la présence dans la forêt de rémanents, de litières non décomposées, est un facteur important de déclenchement des feux.

III.3.4.1 Les combustibles végétaux

Les combustibles végétaux peuvent être définis comme des assemblages de parties de plantes qui ont une forme et une composition définie, dépendant des qualités de la plante et des conditions du milieu.

Ces diverses parties, vivantes ou mortes, constituent des éléments combustibles de différentes tailles et formes. Un ensemble d'éléments combustibles peut être appelé un complexe combustible (Brown, 1970 in Trabaud, 1983 b).

Cependant, il existe de grandes différences dans les caractéristiques du matériel inflammable. Un humus épais, des feuilles mortes à terre, des touffes d'herbes, une litière de brindilles et de branches sèches, des troncs, des broussailles, le feuillage des arbres, des chicots d'arbres morts, sont autant de matériaux organiques dont chacun possède des caractéristiques distinctes d'inflammabilité (Trabaud, 1971).

III.3.4.2 La distribution des combustibles

La distribution du combustible est un facteur primordial agissant sur le comportement du feu. Si le combustible est distribué de façon homogène le feu se propagera facilement et régulièrement, s'il est distribué de façon hétérogène le feu se propagera plus difficilement et pourra même s'éteindre rapidement (Trabaud, 1974).

La répartition spatiale des éléments du combustible joue un rôle déterminant sur la combustion. Celle-ci est d'autant plus intense que le combustible présente une surface importante au rayonnement émis par le feu et en contact avec l'oxygène de l'air.

Ainsi, pour apprécier les risques d'inflammabilité il est primordiale de connaître la structure de la végétation c'est-à-dire la densité respective des différentes espèces dans les formations végétales est capitale .Plus l'architecture du tapis végétal et sa stratification est complexe et plus les risques de montée en puissance des feux sont aggravés (Barbero et al, 1988).

III.3.4.3 La quantité du combustible :

Un accroissement de la quantité de matériel inflammable entraîne un accroissement de la quantité d'énergie émise par le feu (Byram, 1959 in Trabaud, 1974). Les feux les plus violents, et par conséquent les plus difficiles à combattre, apparaissent dans les zones contenant de grandes accumulations de combustibles (Trabaud, 1974).

Trabaud, (1970 a) a trouvé que la vitesse de propagation d'un feu dans un type de combustible homogène est directement proportionnelle à la quantité de combustible disponible pour la combustion, et tout facteur restant constant, quand la quantité de combustible double, la vitesse de propagation en fait autant.

III.3.4.4 La compacité d'un combustible :

C'est la quantité de combustible par unité de volume, elle varie beaucoup selon les types du combustible. Les feux brûlent plus rapidement des combustibles peu tassés parce qu'il y a une plus grande circulation d'oxygène (Trabaud, 1974), donc elle varie selon les espèces.

Par exemple, dans les pinèdes de Pin d'Alep, la propagation du feu est facile en surface car les aiguilles ne sont pas fortement tassées donc il y a une libre circulation de l'air ; par contre pour de nombreux feuillus (les chênes) la litière dense et compacte sur le sol réduit la circulation de l'air, et par conséquent la propagation du feu sera difficile (Trabaud, 1980,1983 b in Madoui, 1994).

● La masse volumique

Exprimée en g.cm^{-3} , elle se mesure par pesée d'un volume d'encombrement connu du combustible.

Le volume d'encombrement d'un végétal est difficile à déterminer sauf lorsqu'il peut être assimilé à des volumes simples : Sphère ou ellipsoïde (Cime des feuillus), tronc de cône (Cime de résineux) et cylindre (Végétaux fastigiés).

Ce paramètre est un bon indicateur de la compacité de la couverture morte ; il fournit plus d'informations que la seule mesure de l'épaisseur, il se détermine par la formule :

$$\mu = me/es$$

Où :

μ : Masse volumique du lit de combustible, en g.cm^{-3}

me : Masse de combustible à la teneur en eau E, en g.

e : Epaisseur de la couverture morte, en cm.

s : Surface du lit de combustible, en cm^2

III.3.4.5 Forme du matériel végétal

La taille et l'épaisseur d'un matériel combustible constituent sa forme. (Mac Arthur, 1997; Brown, 1970; Mont Gomery et Cheo, 1971 et Trabaud 1980, 1983 b in Madoui, 1994) ont prouvé expérimentalement que, plus le matériel combustible est épais, plus les temps d'inflammation sont longs.

En général, les feuilles brûlent plus rapidement que les rameaux ou les brindilles et les feuilles fines (Aciculaire) brûlent plus rapidement que les feuilles épaisses (Trabaud, 1980, 1983 b, 1985 in Madoui 1994).

III.3.3.6 La teneur en eau des végétaux

La teneur en eau des tissus végétaux, est un autre facteur qui influence le comportement du feu. Plus les végétaux sont gorgés d'eau moins la vitesse de propagation et la quantité d'énergie calorifique dégagée par le feu sont élevées. L'inflammabilité des végétaux est, elle aussi, réduite. La teneur en eau du combustible forestier varie :

- Au sein d'un même individu selon les parties du végétal, les pousses nouvelles étant plus hydratées que les pousses anciennes, les ramilles et les branches
- Suivant le stade végétatif, surtout pour les sommités dont l'hydratation décroît du débourrement à la lignification.
- Selon que la matière végétale est vivante ou morte ; dans ce dernier cas, les mécanismes naturels de régulation ne fonctionnent plus.

III.3.3.7 La composition chimique

La composition chimique joue aussi un rôle important dans l'inflammabilité et la combustibilité des espèces. Les végétaux lignifiés contiennent environ 30 % de lignine, 50 % de celluloses et une faible proportion de substances volatiles parfois très combustibles (huiles essentielles, résines, terpènes).

Les éléments minéraux représentent 1 à 4 % du poids sec ; certaines espèces en contiennent beaucoup plus ; les fortes teneurs influencent la combustion (Mutch et Philpot, 1970).

III.3.3.8 Inflammabilité et Combustibilité des formations végétales

Les notions d'inflammabilité et de combustibilité sont généralement utilisées par les forestiers pour caractériser le risque que présente la végétation vis-à-vis du feu.

Selon (Trabaud, 1974), **l'inflammabilité** est la propriété à s'enflammer que possède un végétal dès qu'une source de chaleur entre en contact avec lui, elle permet d'évaluer le risque d'éclosion d'incendie, mais aussi la vitesse de propagation potentielle, tant que **la combustibilité** est la manière dont brûlent les végétaux une fois qu'ils sont enflammés, elle permet d'évaluer la part du risque lié à la puissance qu'atteindra un feu.

Donc chaque peuplement possède, en fonction de ses constituants et des conditions écologiques locales, sa propre inflammabilité et sa propre combustibilité (Trabaud, 1974).

III.4 le risque feu de forêts

Selon (Trabaud, 1980), l'occurrence d'un feu est régit par des facteurs constants (Topographie, végétation) et variables (Climat). La résultante de l'effet de ces facteurs constitue le risque d'incendie. Autrement dit les facteurs d'aggravation du risque sont :

- La sensibilité de la végétation au feu qui est définie par l'inflammabilité et la combustibilité
- Les contraintes liées au relief
- Les facteurs météorologiques.

Trois types fondamentaux de risques ont été pris en compte : Risque bioclimatique, structural et risque éolien.

A / Risque bioclimatique :

Il est basé sur les informations croisées de la climatologie locale et des séries dynamiques de végétation présentes.

Celles-ci réalisent à la fois une synthèse des composantes climatiques et édaphiques perceptibles par les végétaux. Les séries de végétation donnent des indications sur :

- les conditions hygrométriques du milieu
- Les teneurs en eau des végétaux.
- L'inflammabilité et la combustibilité, selon la composition floristique de ces séries.

B / Risque structural :

Le risque structural est fondé sur les catégories de végétation (pelouse, garrigues, maquis, forêts) leur mode d'exploitation actuel et passé "sylvicole et agricole", ainsi que l'abondance dominante des différentes structures et de leur composition.

Ces catégories et leurs composants intègrent les caractères d'inflammabilité et de biomasse combustible du tapis végétal.

C / Le risque éolien

C'est un élément majeur dans la phénoménologie des incendies méditerranéens. La conjonction des trois types de risques précédents donne le risque global de l'incendie.

III.4.1 Evaluation du risque d'incendie

Depuis longtemps, les auteurs ont cherché des méthodes qui rendent compte du risque d'incendie des différentes régions. Plusieurs systèmes d'évaluation du danger d'incendie ont été mis au point dans certains pays.

- Le système Australien, selon Trabaud, 1980; il tient en compte les petits et lourds combustibles.
- Le système Canadien, utilise un indice " Forêt - Météo " qui dépend des conditions météorologiques (Anon, 1970 ; Van Wagner ; in Trabaud, 1980).

- Le système Américain, intègre successivement une série de sommes des différents facteurs correspondant aux conditions météorologiques, aux combustibles vivants et morts aux risques liées aux activités de l'homme et à la foudre (Trabaud, 1980).
- Le système Français repose sur l'estimation de la saison estivale, il est calculé à partir du bilan hydrique du sol qui sert à l'estimation de la sécheresse.
- On ne peut pas laisser passer inaperçu le système ou la méthode mise au point par le CEMAGREF, avec le service départemental d'incendie et de secours (SDIS) de l'Hérault et l'appui scientifique du Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologique Louis Emberger (CNRS CEPE), (Alexandrian, 1982).

Elle a été appliquée par l'agence MTDA au plan de PFCI des Alpes- Maritimes. Elle comporte deux étapes :

A / Evaluation de l'indice de combustibilité (IC) de la formation végétale

$$\mathbf{IC = 39 + 2,3 \times BV (E_1 + E_2 - 7,18)}$$

BV est le biovolume de la formation végétale, il est obtenu par addition des taux de recouvrement de chacune des quatre strates de végétation (Ligneux haut ligneux bas, herbacées et litières) auxquels on ajoute le taux de recouvrement des chicots et bois morts s'il y a lieu .

E₁ et **E₂** sont les notes d'intensité calorifique « comprise entre 1 et 9 » des deux espèces dominantes ; **E₁** pour les ligneux hauts, **E₂** pour les ligneux bas ou les herbacées (tableau 06).

B / Evaluation du risque moyen annuel (RMA) pour un massif donné.

*L'indice de combustibilité pondéré du massif est

$$\mathbf{ICM = 1 / ST (S_1 \times IC_1 + S_2 \times IC_2 + S_3 \times IC_3 + \dots)}$$

ST : Surface totale du massif formée de plusieurs formations végétales, chacune occupant respectivement une surface **S₁**, **S₂**, **S₃**, , et ayant un indice de combustibilité propre **IC₁**, **IC₂**, **IC₃**,.....

* Le risque moyen annuel relatif au massif peut être évalué par la formule suivante :

$$\mathbf{RMA = 0,1 \times ICM - 3}$$

• (Dagorne ,1993), a mis au point un autre système plus synthétique d'évaluation des risques d'incendie, il est adapté au type de risque en Algérie

$$\mathbf{IR = 5 IC + IM + 2 IH}$$

IC : Représente l'indice de combustibilité

IM : L'indice topomorphologique

IH : L'indice d'occupation humaine.

IR : Indice de risque

Ainsi nous avons retenu, pour ce système, les éléments les plus pertinents, le couvert végétal dont les paramètres descriptifs interviennent dans le calcul de l'indice de combustibilité, le relief représenté par les paramètres topographiques qui interviennent dans le calcul de l'indice topomorphologique, les infrastructures routières et le paramètre anthropique qui sont utilisés pour évaluer l'indice d'occupation humaine.

A /L'indice de combustibilité (IC)

Pour évaluer l'indice **IC** nous utilisons une méthode proposée par Mariel (Mariel, 1995) pour estimer la gravité potentielle d'un feu démarrant dans un peuplement forestier déterminé, il est exprimé par la relation suivante :

$$\mathbf{IC = 39 + 2,3 BV(E - 7,18)}$$

BV est calculé à partir du biovolume combustible par addition des pourcentages de recouvrement de chacune des strates biologiques à partir des relevés terrains.

E représente la combustibilité moyenne de chaque type de peuplement. Elle est égale à la somme de la note de combustibilité de l'essence prédominante du relevé **E₁** et la moyenne des notes de combustibilité des espèces abondantes du relevé **E₂**. (tableau 06).

Il est important de noter, d'une part ; que ce potentiel calorifique n'est qu'un "risque" biologique " indépendant de toute action humaine négative (mise à feu) ou positive (lutte) et, d'autre part, que la combustibilité végétale apparaît ci clairement comme dépendante avant tout des espèces qui la composent .

Le biovolume intervient de façon différente suivant la valeur de **E**. Si cette valeur est inférieure à 7,18 (Espèces peu combustibles ou à pouvoir calorifique par unité de biovolume faible), l'indice reste inférieur à 40. Dans le cas contraire, il sera d'autant plus élevé que le biovolume sera important.

Tableau 06 : Note de combustibilité des principales espèces dominantes de la végétation méditerranéenne (Source CEMAGREF)

LIGNEUX HAUT			
Arbousier <i>Arbutus unedo</i> 5	Châtaignier <i>Castanea sativa</i> 5	Cèdre <i>Cedrus atlantica</i> 6	Cyprès <i>Cupressus macrocarpa</i> 6
Chêne vert <i>Quercus ilex</i> 7	Erable <i>Acer palmatum</i> 5	Epicéa <i>Picea abies</i> 6	Noisetier <i>Corylus avellana</i> 2
Hêtre <i>Fagus sylvatica</i> 2	Peuplier <i>Populus nigra</i> , poplar 2	Chêne pubescent <i>Quercus pubescens</i> 5	Pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> 7
Ome 2	Pin noir <i>Pinus nigra arn</i> 7	Douglas <i>Pseudotsuga menziesii</i> 6	Pin pignon <i>Pinus pinca</i> 7
Pin maritime <i>Pinus pinaster</i> 7	Pin de salzman <i>Pinus salzmanni</i> 7	Frêne <i>Fraxinus spp</i> 2	Robinier <i>Robinia pseudoacacia</i> 2
Pin sylvestre <i>Pinus sylvestris</i> 7	Saule <i>Salix alba</i> , willow 2	Olivier <i>Olea europea</i> 5	Sapin <i>Epicea</i> 6
LIGNEUX BAS			
Ajonc épineux <i>Ulex europaeus</i> 8	Amélanchier <i>Amelanchier laevis</i> 3	Bruyère arborescente <i>Erica arborea</i> 8	Bruyère multiflore <i>Erica multiflora .L</i> 6
Bruyère cendrée <i>Erica cinerea L</i> 6	Bruyère à balais <i>Erica scopria</i> 7	Buis <i>Buxus sempervirens</i> 5	Canne de provence <i>Arundo donax</i> 5
Callune <i>Calluna vulgaris</i> 6	Ciste blanc <i>Cistus albidus</i> 6	Ciste à f. de sauge <i>Cistus salvifolius</i> 3	Epine de christ <i>Paliurus spina-christi</i> 3
Eglantine <i>Rosa canina L</i> 5	Genet à balais <i>Cytisus scorius L</i> 5	Genet d'Espagne <i>Spartium junceum</i> 5	Genet purgatif <i>Cytisus purgans</i> 7
Genet scorpion <i>Genista scorpius</i> 8	Genévrier commun <i>Juniperus communis</i> 7	Genévrier oxycèdre <i>Juniperus oxycedrus</i> 7	Lavande stéchine <i>Lavandula stoechas</i> 5
Lavande à large f <i>Lavandula latifolia</i> 5	Chêne kermès <i>Quercus coccifera</i> 8	Pistachier lentisque <i>Pistacia lentiscus</i> 4	Prunellier <i>Eriogaster catax</i> 4
Romarin <i>Rosmarinus officinalis</i> 5	Ciste de Montpellier <i>Cistus monspeeliensis</i> 3	Ronces <i>Rubus fruticosus</i> 6	Stacheline <i>Stachelina dubia</i> 3
Térébinthe <i>Pistacia terebinthus</i> 4	Filaria <i>Phillyrea latifolia</i> 5	Thym <i>Thymus vulgaris</i> 4	
HERBACEES			
Agrotis 1	Anthyllide <i>Anthyllis vulneraria</i> 1	Aphyllanthe <i>Aphyllanthes</i> 1	Avoine <i>Avena sativa</i> 1
Brachypode des bois <i>Brachypodium sylvaticum</i> 1	Brachypode penné <i>Brachypodium pinnatum</i> 1	Brachypode rameux <i>Brachypodium ramosum</i> 1	Brome érigé <i>Bromus crectus</i> 1
Canche flexueuse <i>Deschampsia flexuosa</i> 1	Dactyle <i>Dactylis glomerata</i> 1	Fétuques <i>Festuca</i> 1	Fougère aigle <i>Pteridium aquilinum</i> 2
Fromental <i>Archenatherum elatius</i> 1	Inule visqueuse <i>Inula viscosa</i> 1		

Classification (CEMAGREF)

3 : Facilement combustible

4 : Moyennement combustible

5 : Difficilement combustible

5 (200 °C) : Difficilement combustible à 200 °C

6 Q : Quasi incombustible

6 : incombustible

B / L'indice topo morphologique (IM)

Trois paramètres topographiques interviennent ; la pente, l'exposition et l'altitude. Cet indice est exprimé par la relation suivante :

$$IM = 3 p + (m \times e)$$

Où : **p** représente la pente

m le paramètre de topo morphologie

e l'exposition.

Certaines informations comme celles de la pente, de l'exposition, et de la topo morphologie, nécessitent un codage pour être exploitables dans notre application. Quatre classes de pente sont à envisager pour la couche des pentes :

Codes	Classes des pentes	Critères
1	moins de 15%	Zones où les machines agricoles peuvent intervenir.
2	Entre 15 et 30%	Zone où les engins chenillés peuvent travailler.
3	Entre 30 et 60%	Zone qui convient aux engins spécialisés.
4	Plus de 60%	Zone où uniquement l'intervention manuelle est possible.

L'**exposition** est déterminée par rapport aux quatre points cardinaux.

Codes	Orientations
1	NE-E-SE
2	SE-S-SO
3	SO-O-NO
4	NO-N-NE

La **topo morphologie** est en relation direct avec la pente, Suivant le degré d'inclinaison on détermine les différentes classes morphologiques.

C / L'indice d'occupation humaine (IH)

L'indice d'occupation humaine est exprimé par la combinaison linéaire des deux indices IV et ID, soit :

$$IH = IV + ID$$

Où **IV** : Indice de voisinage ; basé sur l'impacte anthropique sur le proche voisinage forestier sur une profondeur de 100m.

Nous supposons que l'être humain exerce une pression sur le proche voisinage forestier, cette pression nous l'exprimons par une densité (%). La surface forestière que nous considérons est égale à l'intersection entre la zone d'influence de l'espace urbain et la zone forestière.

ID : exprimé par la densité de l'intersection de la zone d'influence de la forêt et des zones urbaines voisines. Il exprime le degré de présence humaine à l'intérieur ou à proximité de la forêt.

Le processus de calcul de l'indice de risque de feu de forêt est donné par le diagramme de la (figure 05).

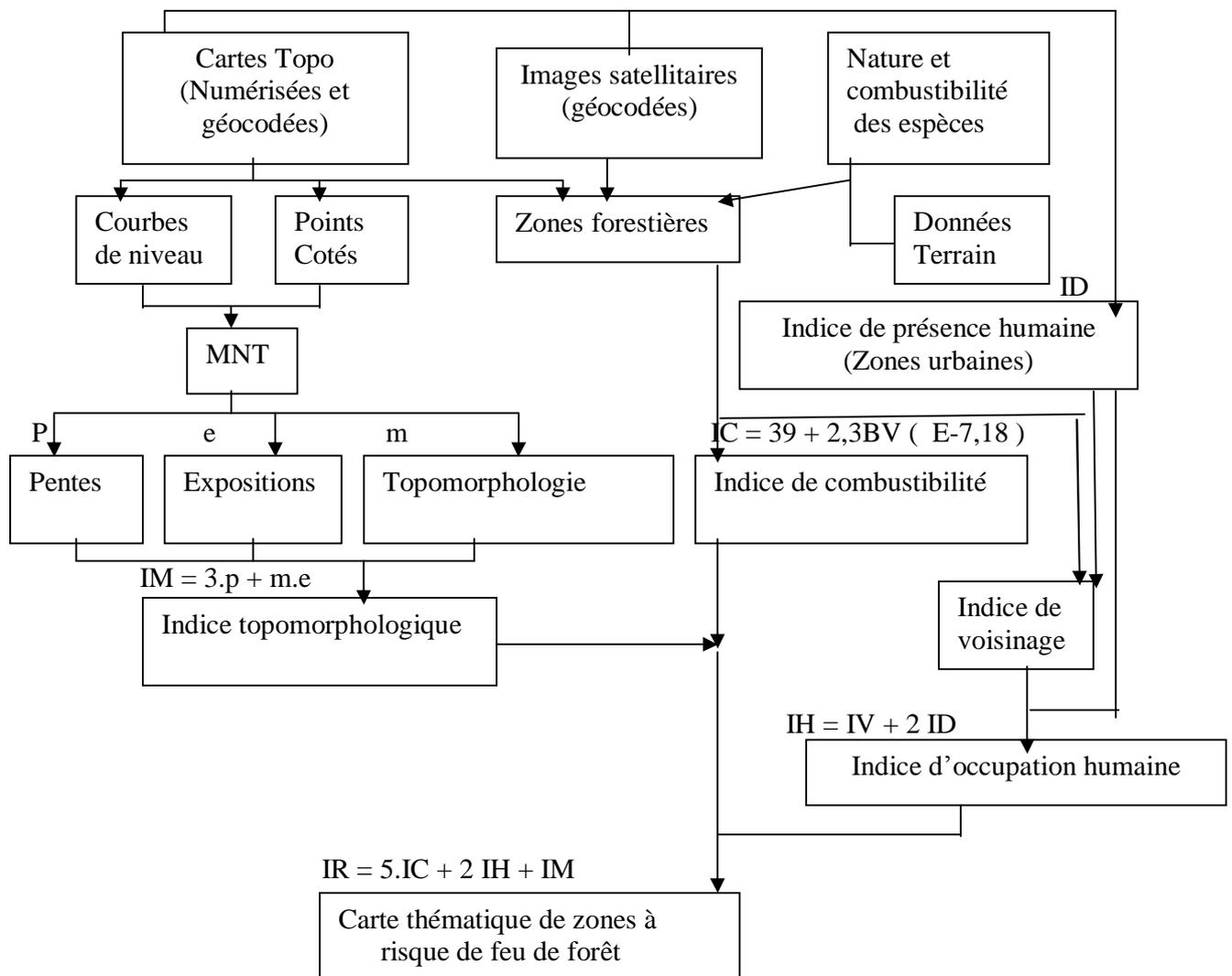


Figure 5 : Diagramme de procédure de calcul de l'indice de risque de feu de forêt

Tableau 07 : Barème de risque (Carrega, 1987)

Indice	Risque
Supérieur à 450	Nul
Entre 300 et 450	Faible
Entre 150 et 300	Moyen
Entre 50 et 150	Sévère
Inférieur à 50	Très sévère

Deuxième partie

Etude du milieu

I Caractères physiques de la forêt domaniale du Chettabah

I.1 Présentation et situation de la forêt de Chettabah

La forêt domaniale de Chettabah appartient au bassin versant Kebir Rhumel, elle est située au Sud- Ouest de Constantine, au Sud d'Ibn Ziad, au Nord d'Ain Smara et à l'Est de Oued Athmania (figure 06). La zone d'étude se trouve sur la carte topographique de Constantine Echelle 1/ 200.000 feuille N° 17 et plus ou moins localisée entre les coordonnées 36° 18', 36° 21' latitude Nord et 6° 26', 6° 30' longitude Est.

La forêt domaniale de Chettabah s'étale sur une superficie de 2398 ha 94a et 30ca, et est parfaitement limitée et divisée en six cantons.

Tableau 08 : Division de la forêt en cantons (Source : Fascicule de propriété de la forêt domaniale de Chettabah, 1919)

Parcelles	Partie	Superficies (ha)
Canton Saguïet El Roum	A	257,12
Canton Saguïet El Roum	B	81,215
Canton Chaàbet Saïd	C	858,06
Canton Bled Bénaziz	D	405,15
Canton Férhat Hadjini	E	571,50
Canton Guébar El Azéri	F	225,86
Total		2398 ha 94 a 30 ca

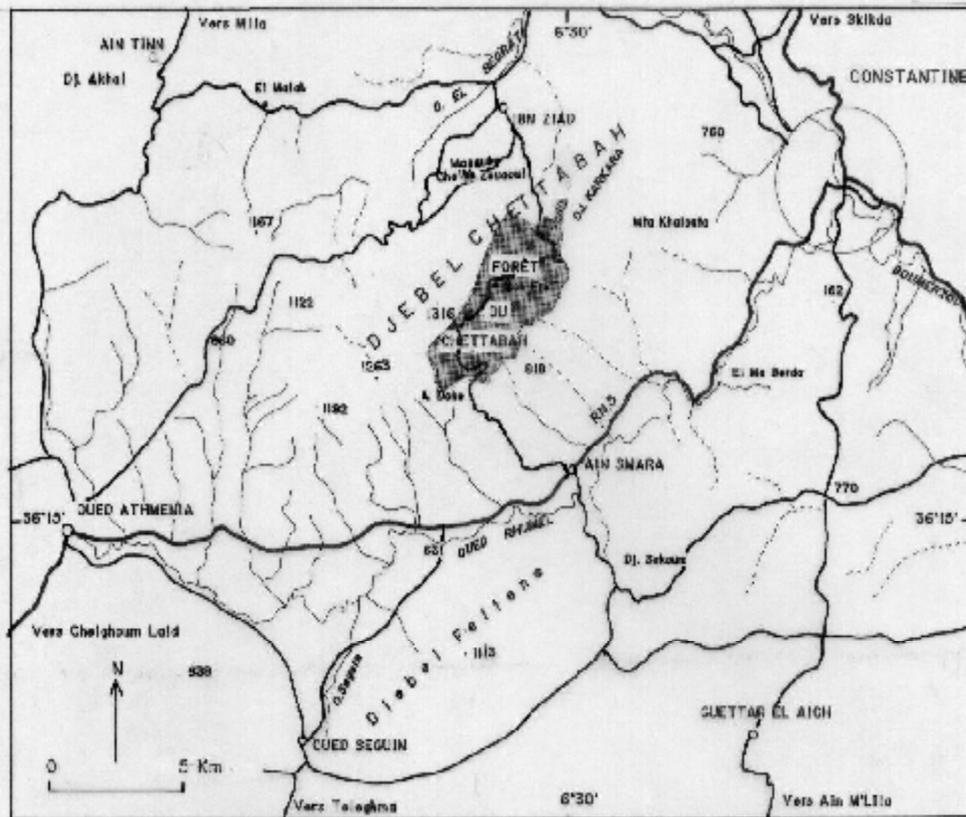
I.2 Relief et hydrographie

D'une manière générale, la zone d'étude est caractérisée par un relief très accidenté sillonné par plusieurs thalwegs à régime saisonnier et répartis sur l'ensemble de la forêt, avec la présence de nombreuses lignes de crêtes. Ceci a permis l'abondance de fortes pentes, réparties en trois classes variant de 3 % à 50 % (figure 07).

Les altitudes extrêmes de la forêt sont d'environ 1104 m (altitude maximale) et 652 m (altitude minimale), correspondant chacune d'elle respectivement aux coordonnées cartographiques suivantes : (x = 839, y = 344), (x' = 839,9, y' = 340,3).

Quant aux expositions, et d'après le tableau 09, on peut dire que l'exposition la plus dominante est celle de l'est avec une superficie de 390 ha soit 27,85 %.

FIG. 06 : CARTE DE SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA FORET DOMANIALE DE CHETTABAH



-  Forêt de Chettabah
-  Route nationale
-  Route
-  Oued
-  Point coté

SOURCE : Extrait de la carte topographique au 1/200.000 de Constantine

Tableau 09 : Tableau des expositions (Source : Mansouria et al., 1981)

Expositions	N	S	W	E	N-E	N-W	S-E	S-W	Total
Surfaces (ha)	230	134	338	390	49	35	73	111	1410
Pourcentages (%)	16.32	13.05	23.97	27.89	3.33	2.48	5.17	7.87	100

- **Le réseau hydrographique**

Malgré l'importance du réseau hydrographique qui caractérise la forêt domaniale de Chettabah, les sources d'eau permanentes restent toujours insuffisantes voire même inexistantes, avec une seule permanente.

($x_1 = 838,7$, $y_1 = 343,1$) et deux autres temporaires ($x_2 = 837,4$, $y_2 = 341,25$)

($x_3 = 839,7$, $y_3 = 344,3$), en plus de plusieurs thalwegs (Chaâbats) à régime temporaire.

I.3 Formation géologique

Pour l'étude géologique du massif forestier, nous nous sommes basés sur une série de documents, de cartes d'état major et d'inspection effectuée sur les lieux.

Dans le lieu d'étude, on rencontre trois substrats :

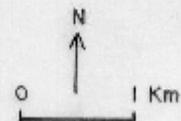
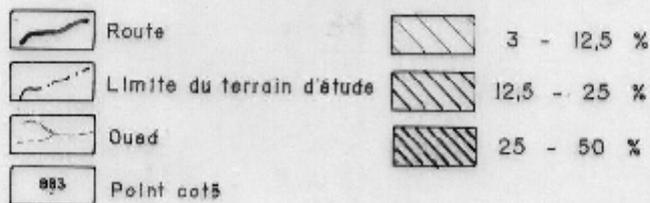
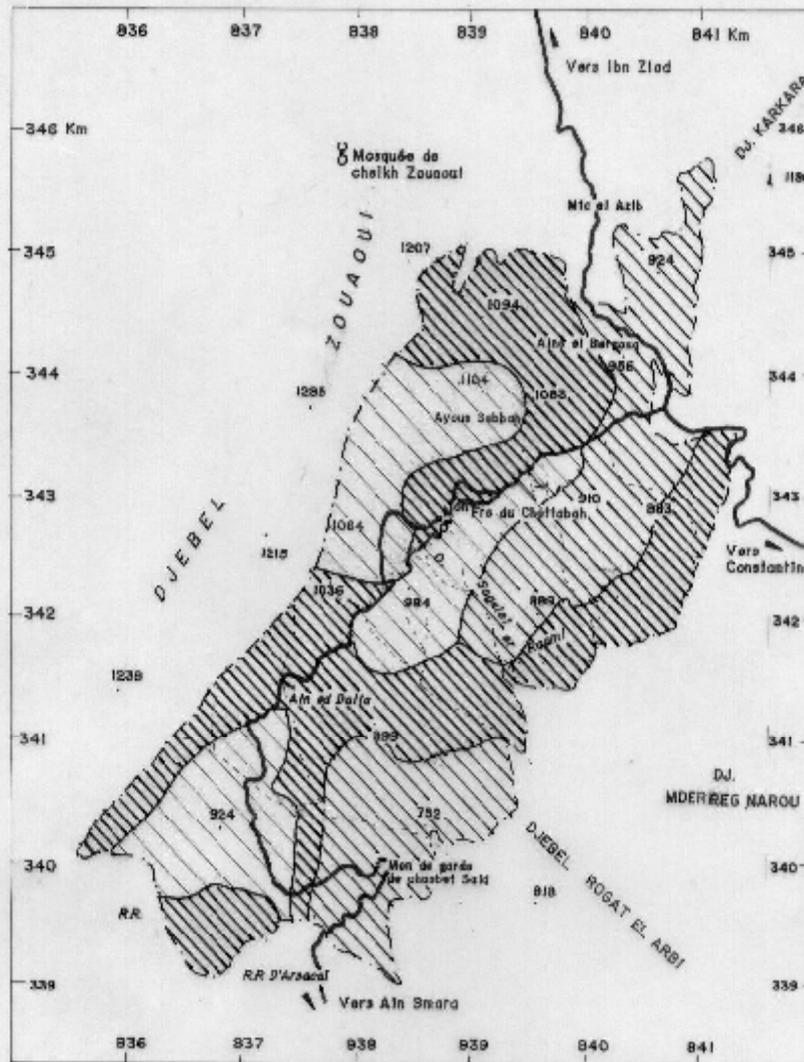
- Calcaire siliceux à inocerames
- Marnes noires à débit en plaquettes
- Argile et calcaire à myophorie parfois gypseuse

On peut dire que la zone est formée essentiellement, de roches sédimentaires composées surtout de sédiments tendres (schistes et marnes) et de sédiments rigoureux (calcaire et grés).

I.4 Pédologie

L'étude pédologique ou étude de la genèse, de la structure et de l'évolution des sols de la forêt de Chettabah qui a été établie par (Megrerouche et Korichi, 2003), a données à travers les cinq profils pédologiques échantillonnées au niveau de cinq stations d'étude, différentes les unes des autres, suivant le type de végétation et son état (incendiées ou non incendiées) ; des sols bruns calcaires modal, généralement pauvres en matière organique.

FIG. 07 : FORET DOMANIALE DU CHETTABAÏH : PENTES



I.5 Climatologie

L'étude du climat nécessite des données climatiques, mais compte tenu de l'absence de stations météorologiques à Chettabah, nous avons été amenés à faire des extrapolations par rapport à une station de référence qui est celle de Constantine (Ain El Bey).

Le choix de la station, prise comme référence aux corrections des paramètres climatiques de notre région d'étude, est établi en fonction de la distance de celle-ci par rapport au massif (08 Km), de son altitude (694 m), de l'absence d'une barrière climatique, et en fin et c'est le plus important, de la disponibilité des données et leur fiabilité.

Les données climatiques ont été recueillies auprès des services de météorologie (Station de Ain El Bey) pour une période allant de 1995 à 2004 et sont données dans le tableau 10.

Tableau 10 : Données climatiques recueillies auprès du service de météorologie (Station de Ain El Bey 1995-2004).

Paramètre Mois	P (mm)	m (°C)	M (°C)	$\frac{m+M}{2}$	EVP (%)	Hum (%)	Neige	Vent m/s	Gelée
Janvier	93	2,89	12,29	7,59	39,7	79,1	2,2	2,73	8,7
Février	51,14	2,91	13,63	8,27	41,4	76,8	2	2,82	7,8
Mars	44,1	5,07	16,83	10,95	61,6	71,6	3	2,58	4,6
Avril	52,79	7,02	19,4	13,21	69,4	70	0	2,85	1,6
Mai	41,09	11,57	25,38	18,47	96,4	65,4	0	2,54	0
Juin	24,53	15,88	31,14	23,51	136,4	55,1	0	2,44	0
Juillet	4,81	18,49	34,5	26,49	179,4	48,2	0	2,45	0
Août	12,41	19,18	34,38	26,78	170,8	50,7	0	2,4	0
Septembre	44,12	16,09	28,57	22,33	101,6	64,9	0	2,12	0
Octobre	32,66	11,44	24,15	17,79	83,9	67,6	0	2,13	0
Novembre	75,06	7,26	16,76	12,01	54,6	67	3	2,76	4
Décembre	80,43	4,48	13,17	8,825	42	70,6	1,3	3,03	5,4

I.5.1 Etude climatique de la forêt domaniale de Chettabah

I.5.1.1 Corrections pluviométriques

Plusieurs auteurs, comme (Seltzer, 1946 ; Chaumont et Paquin, 1971 ; Lucido, 1972 et le Houerou, 1989) ont noté l'existence d'une relation linéaire entre les précipitations et l'altitude (Les précipitations augmentent avec l'altitude).

Selon (Seltzer, 1946), pour une élévation de 100 mètres, les précipitations augmentent de 40 mm, pour le continental, et de 80 mm pour le littoral. Les résultats des précipitations estimés pour les points extrêmes de la forêt à partir de la station de référence, sont récapitulés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Précipitations aux points extrêmes de la forêt de Chettabah

Stations Mois	Station de référence (Ain El Bey) Altitude : 694 m	Pluviométrie du Point haut (mm) Altitude : 1104 m	Pluviométrie du Point bas (mm) Altitude : 652 m
Janvier	93	119,97	89,28
Février	51,14	65,97	49,09
Mars	44,1	56,88	42,33
Avril	52,79	68,09	50,67
Mai	41,09	53	39,44
Juin	24,53	31,64	23,54
Juillet	4,81	6,20	4,61
Août	12,41	16	11,91
Septembre	44,12	56,91	42,35
Octobre	32,66	42,13	31,35
Novembre	75,06	96,82	72,05
Décembre	80,43	103,75	77,21
Année	556,14	717,36	533,83

I.5.1.2 Variabilité des précipitations mensuelles dans le temps

Tableau 12 : Répartition mensuelle des précipitations (Chttabah).

Mois Périodes	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
1995- 2004	104,62	57,53	49,60	59,38	46,22	27,59	5,40	13,95	49,63	36,74	84,43	90,48

La pluviométrie moyenne annuelle pendant la période 1995-2004 est de 625,57 mm. Nous avons portés les données pluviométriques sous forme d'histogrammes (figure 08).

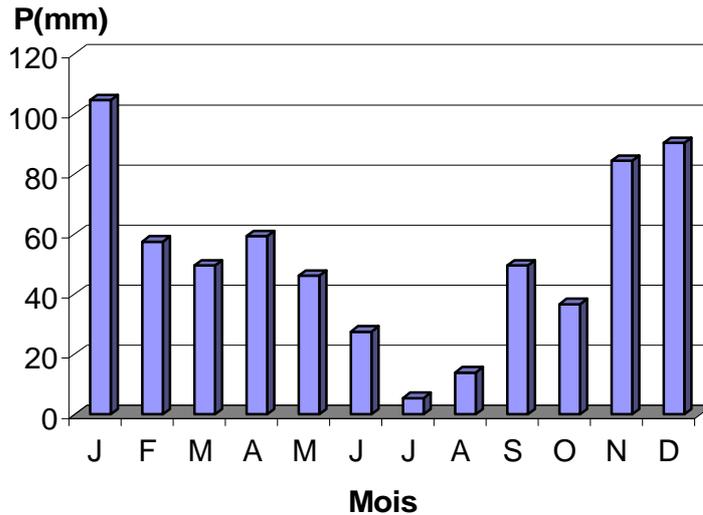


Figure 08 : Répartition mensuelle des précipitations (1995-2004)

Nous constatons que la répartition mensuelle des pluies au cours de cette décennie (1995-2004) est irrégulière. Le maximum de pluies est atteint au mois de Janvier et Décembre (104,62 mm et 90,48 mm). Tandis que les deux mois d'été Juillet et Août ne reçoivent que de faibles quantités (5,40 et 13,95 mm).

I.5.1.3 Détermination du régime pluviométrique

Tableau 13 : Régime saisonnier pour Chettabah (1995-2004).

Mois	P (mm)	Saisons	Précipitations saisonnières (mm)	Précipitations saisonnières (%)	Régime saisonnier
Septembre	49,63	Automne	170,8	27,30	A
Octobre	36,74				
Novembre	84,43				
Décembre	90,48	Hiver	252,63	40,38	H
Janvier	104,62				
Février	57,53				
Mars	49,60	Printemps	155,2	24,80	P
Avril	59,38				
Mai	46,22				
Juin	27,59	Eté	46,94	7,50	E
Juillet	5,40				
Août	13,95				
Total	625,57	-	625,57	100	-

A partir du (tableau 13), nous remarquons que la forêt domaniale de chettabah présente un régime saisonnier de type HAPE.

I.5.1.4 Corrections thermiques

La vie végétale est coincée entre deux pôles thermiques, la moyenne des minima du mois le plus froid (m) et la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) (Emberger, 1942 ; Daget, 1977 a in Madoui, 1994).

Tout comme pour la pluviométrie, les températures sont en relation étroite avec l'altitude. De façon générale, plus on monte an altitude, plus la température diminue. (Seltzer, 1946), dans son étude sur le climat d'Algérie, préconise les gradients suivants : "M" diminue de 0,7°C tous les 100 m d'élévation, et "m" diminue de 0,4°C pour 100m de dénivelé. Les données thermiques après correction pour notre région sont représentées dans le tableau 14.

Tableau 14 : Données thermiques de la forêt de Chettabah.

Stations T°C	Constantine (694 m)			Haute altitude (1104)			Basse altitude (652)		
	M	m	$\frac{M+m}{2}$	M	m	$\frac{M+m}{2}$	M	m	$\frac{M+m}{2}$
Janvier	12,29	2,89	7,59	9,42	1,25	5,34	12,58	3,05	7,81
Février	13,63	2,91	8,27	10,76	1,27	6,02	13,92	3,07	8,49
Mars	16,83	5,07	10,95	13,96	3,43	8,7	17,12	5,23	11,17
Avril	19,4	7,02	13,21	16,53	5,38	10,96	19,69	7,18	13,43
Mai	25,38	11,57	18,47	22,51	9,93	16,22	25,67	11,73	18,69
Juin	31,14	15,88	23,51	28,27	14,24	21,26	31,43	16,04	23,73
Juillet	34,5	18,49	26,49	31,63	16,85	24,24	34,79	18,65	26,71
Août	34,38	19,18	26,78	31,51	17,54	24,53	34,67	19,34	27
Septembre	28,57	16,09	22,33	25,7	14,45	20,08	28,86	16,25	22,55
Octobre	24,15	11,44	17,79	21,28	9,8	15,54	24,44	11,6	18,01
Novembre	16,76	7,26	12,01	13,89	5,62	9,76	17,05	7,42	12,23
Décembre	13,17	4,48	8,82	10,3	2,84	6,57	13,46	4,64	9,04

I.5.1.4 Variabilité des températures maximales (Tx) et minimales (Tn) dans le temps

Tableau 15 : Variation des températures mensuelles (Chettabah)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
T°C												
Tn	2,15	2,17	4,33	6,28	10,83	15,14	17,75	18,44	15,35	10,7	6,52	3,74
Tx	11	12,34	15,54	18,11	24,09	29,85	33,21	33,09	27,28	22,86	15,47	11,8

La représentation graphique de ces températures est portée sur le graphe de la figure 09. En examinant ces deux courbes, nous constatons que les valeurs des températures minimales au cours de cette décennie (1995- 2004), varient entre 2,15°C et 2,17°C respectivement pour le mois de Janvier et le mois de Février.

Par contre les valeurs des températures maximales varient de 33,21 pour le mois de Juillet et 33,09 pour le mois d'août.

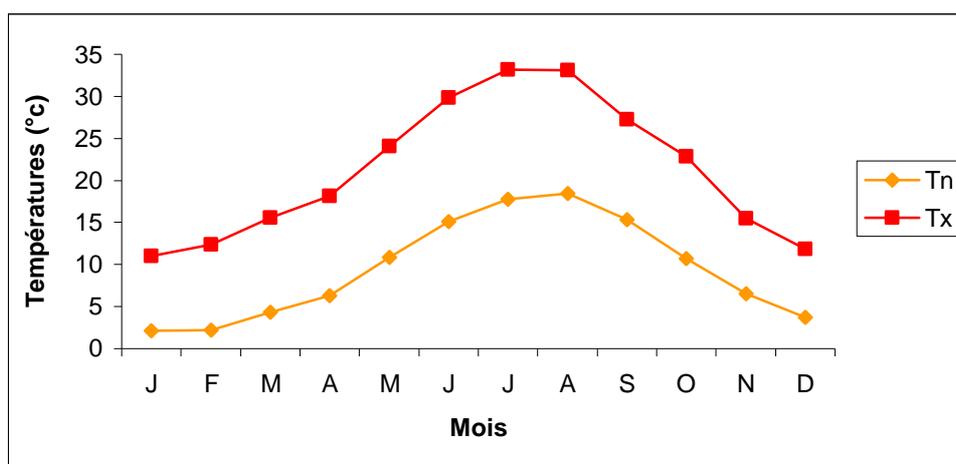


Figure 09 : Variation mensuelle des températures minimales et maximales (1995-2004)

I.5.2 Les autres facteurs du climat

I.5.2.1 Le vent

Le vent est l'un des paramètres les plus importants régissant la propagation des incendies. De ce fait, son étude revêt une importance capitale nécessitant la connaissance de ses directions, de sa fréquence et son intensité.

Tableau 16 : La vitesse des vents moyens (1994-2004)

Source : Station de Ain El Bey

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	sep	Oct	Nov	Dec
Vitesse du vent moyen en (m/s)	2,73	2,83	2,58	2,85	2,54	2,44	2,45	2,40	2,12	2,15	2,76	3,03

La vitesse des vents constitue une caractéristique importante à connaître en matière de pyrologie. Elle accélère la propagation du feu en augmentant l'apport du comburant et en favorisant la dessiccation et le préchauffage des combustibles adjacents par l'inclinaison des flammes et le déplacement d'un flux d'air chaud.

Dans notre cas et d'après le tableau 16 nous constatons que le vent n'est pas un facteur de propagation des feux, la moyenne la plus importante enregistrée ne dépasse pas les 10,8 Km / h.

I.5.2.2 L'humidité

C'est la quantité d'eau qu'absorbe l'atmosphère sous forme de vapeur et qui dépend de sa température (Pagey, 1973, in Nouari, 2002), elle constitue un facteur climatique conséquent.

L'humidité réduit l'évapotranspiration et contribue à conserver l'eau dans le sol, l'humidité relative (ou état hydrique) joue un rôle essentiel surtout en période estivale durant laquelle les espèces végétales commencent à lutter contre la sécheresse et s'adaptent au déficit hydrique, elle est de 48,2 % en Juillet, 50,7 % en Août et de 79,1 % en Janvier, 76,8 % en Février.

Tableau 17 : Humidité moyenne de l'air en pourcentage (1995 -2004)

Source : Station de Ain El Bey

Mois Période	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	sep	Oct	Nov	Dec
1995 -2004	79,1	76,8	71,6	70	65,4	55,1	48,2	50,7	64,9	67,6	67	70,6

I.5.2.3 La gelée

Le nombre de jours moyen de gelée blanche est de 28,5 jours par an durant la période (1995 - 2004), (tableau 18). L'action d'une gelée prolongée est très néfaste à la végétation.

Tableau 18 : Moyenne des durées en jours de gelée (1995 – 2004)

Source : Station de Ain El Bey.

Mois Période	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	sep	Oct	Nov	Dec
1995 -2004	8,7	7,8	4,6	1,6	0	0	0	0	0	0	0,4	5,4

I.5.2.4 La neige

La neige a un effet bénéfique sur la végétation, elle permet une bonne infiltration de l'eau dans le sol. Le nombre de jours mensuel de neige est mentionné dans le tableau 19.

Tableau 19 : Nombre de jours mensuel de neige.

Mois Période	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	sep	Oct	Nov	Dec
1995 -2004	2,2	2	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1,3

I.5.3 Synthèse climatique

Le climat est caractérisé par deux principaux éléments à savoir la température et la pluviométrie, ils servent à élaborer les courbes ombrothermiques de Gaussen et Bagnouls, 1953, le diagramme d'Emberger, 1955 ou celui de Sauvage, 1963, à partir desquels seront dégagées les caractéristiques climatiques de la forêt.

On a établi les diagrammes ombrothermiques des stations (référence, haute altitude et basse altitude) sur cette base ($P=2T$), pour lesquelles on dispose des données de température et de pluviosité (figure 10). L'analyse de ces diagrammes fait ressortir les observations suivantes :

- La période sèche s'étend de Mai à Octobre pour toutes les stations soit environ 187, 175, et 192 jours pour respectivement ; la station de référence, station en haute altitude et station en basse altitude et des précipitations environ de : 159.62, 205.88 et 153.2 mm.

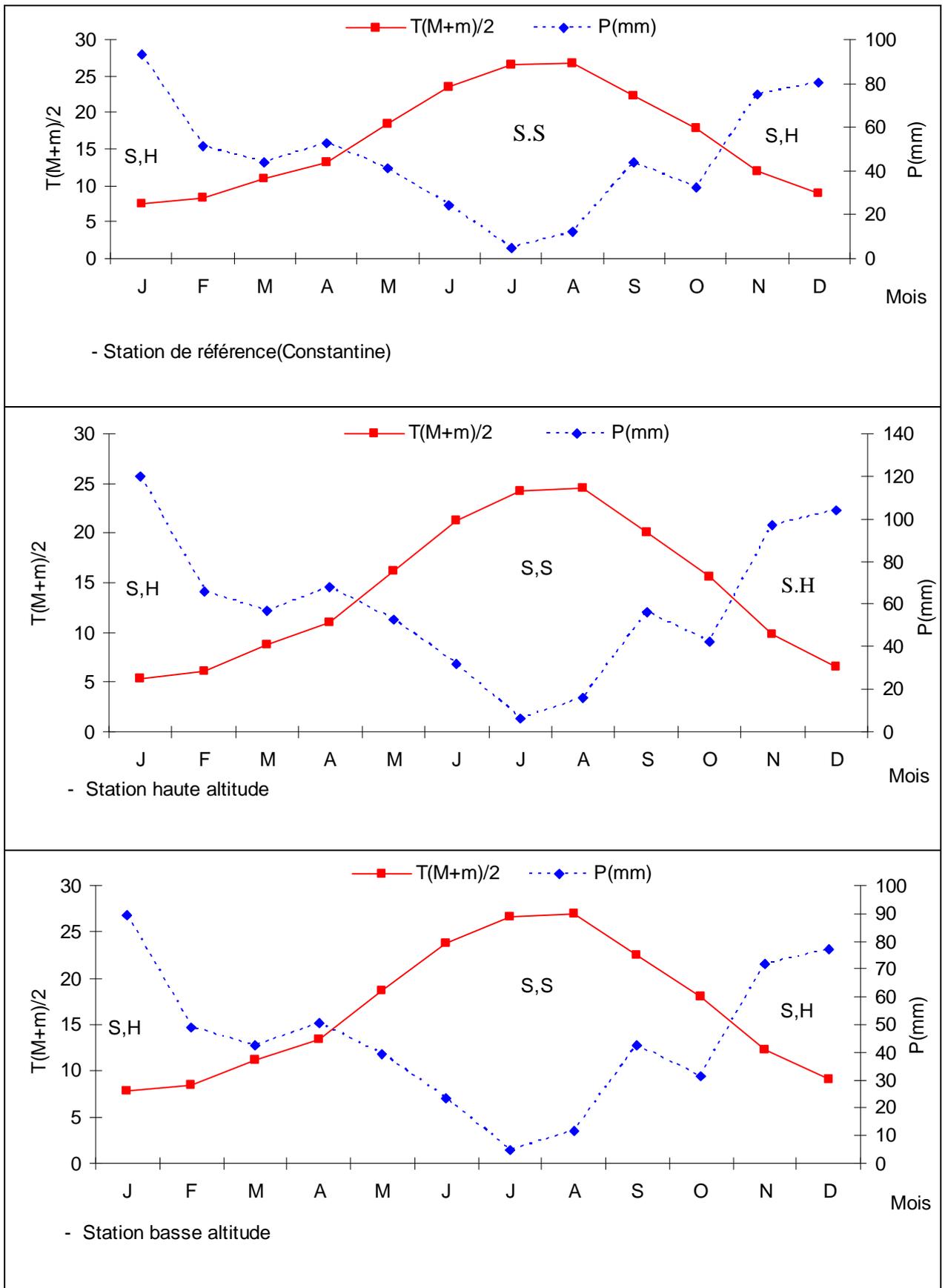


Figure 10 : Diagrammes ombrothermiques

- La période humide est estimée de : 173 jours pour la station de référence avec une quantité de pluie de 396,52 mm.
- 185 jours pour la station en haute altitude, avec 511, 48 mm de pluie.

Et enfin 168 jours pour la station en basse altitude, avec une précipitation de 380, 63 mm. Pour déterminer l'étage bioclimatique de notre région d'étude, nous avons utilisé le climagramme pluviothermique de Sauvage, 1963 qui combine deux paramètres climatiques : Quotient pluviothermique ; $Q_2 = 2000 P / M^2 \cdot m^2$ [Ce rapport est d'autant plus petit que le pays est plus sec (Emberger 1942)] et les températures minimales "m" du mois le plus froid. Sur ce climagramme nous avons cinq étages bioclimatiques (Daget et David, 1982 in Gharzouli, 1989), en introduisant le "m", ces zones bioclimatiques ont été subdivisées en variantes climatiques (tableau 20).

Tableau 20: Zones climatiques subdivisées en variantes climatiques

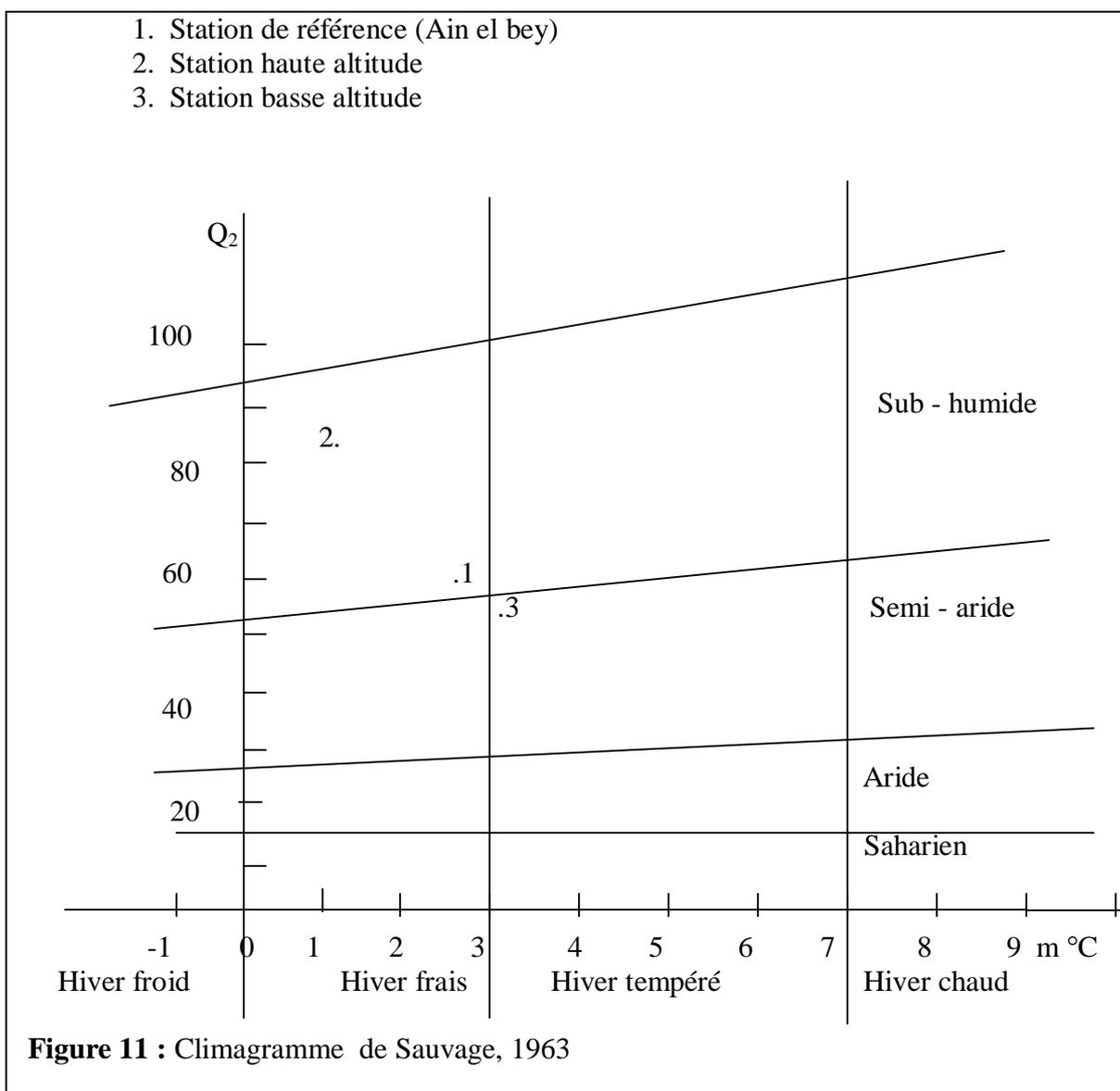
Zones bioclimatiques	Q_2	Variantes thermiques	Valeurs de m (°C)
Saharien	$Q < 10$	Hiver froid	$-3 < m < 0$
Aride	$10 < Q < 45$	Hiver frais	$0 < m < 3$
Semi - aride	$45 < Q < 70$	Hiver tempéré	$3 < m < 7$
Sub - humide	$70 < Q < 110$	Hiver chaud	$7 < m < 10$
Humide	$110 < Q < 150$		

Le tableau 21 regroupe les principales valeurs du Q_2 qui, placées dans le climagramme, nous permet de déterminer les zones bioclimatiques de la station de référence ainsi celles estimées au niveau des points extrêmes de la forêt.

La forêt domaniale de Chettabah chevauche sur deux ambiances bioclimatiques différentes : sub- humide et semi-aride (figure 11).

Tableau 21: Valeurs du quotient pluviothermique de la forêt domaniale de Chettabah dans ses points extrêmes.

Paramètres Stations	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q ₂	Ambiance bioclimatique
Constantine (694 m)	556,14	34,5	2,89	60,31	Sub-humide Inférieur à hiver frais
Station haute altitude (1104 m)	717,36	31,63	1,25	81,58	Sub-humide moyen à hiver frais
Station basse altitude (652 m)	533,83	34,79	3,05	57,61	Semi-aride supérieur à hiver tempéré



II Méthodologie de travail

II.1 Objectifs de l'étude:

L'objectif de notre étude s'articule autour de plusieurs points:

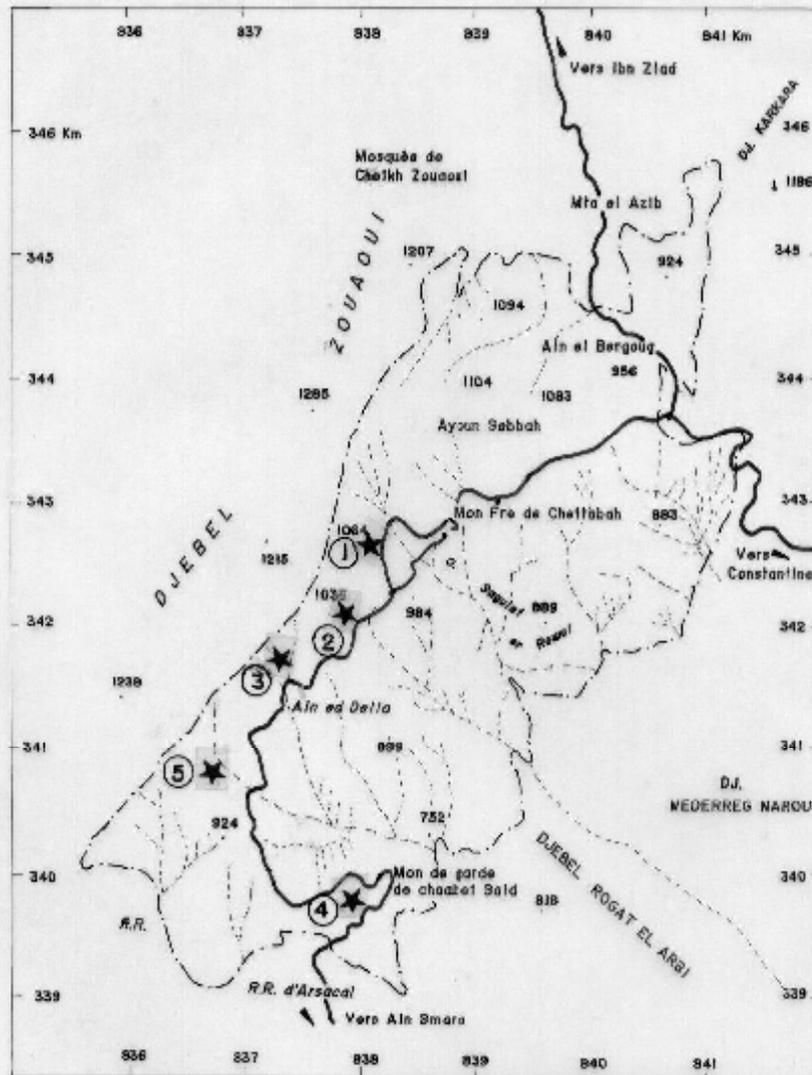
- Evaluation de la sensibilité de la végétation forestière aux incendies.
- Influence des températures maximales élevées d'été sur l'éclosion et
La propagation du feu.
- Evaluation du risque global d'incendie.
- Modélisation des résultats et leur traduction sous forme de
données statistiques.
- Etablissement d'une carte de risque de feux de forêts.

II.2 Choix des stations:

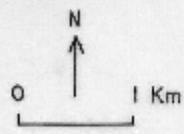
Un grand ensemble végétal tel que la forêt domaniale de Chettabah ne peut être étudié dans sa totalité, surtout qu'il s'agit de centaines d'hectares à traiter dans le détail. Pour cela et dans un esprit de continuité on a choisi de travailler sur les cinq stations (figure 12) déjà traités lors de l'étude qui a été effectuée par (Megrerouche et Korichi en 2003). Ce choix est réalisé selon les modalités suivantes :

- Essences dominantes : Chêne vert ou Pin d'Alep.
- Nature des parcelles : incendiées ou non incendiées.

FIG. 17 : CARTE DE SITUATION DES STATIONS D'ETUDE



- | | | | |
|---|---------------------------|---|---|
|  | Route |  | 1 Station de Pin d'Alep incendiée |
|  | Limite du terrain d'étude |  | 2 Station mixte (Pin d'Alep + Chêne-Vert) incendiée |
|  | Quad |  | 3 Station de Chêne-Vert incendiée |
|  | Point coté |  | 4 Station de Pin d'Alep non incendiée |
|  | Station d'étude |  | 5 Station de Chêne-Vert non incendiée |



SOURCE : Extrait de la carte topographique de Constantine au 1/50.000 (feuille n° 73).

II.3 Matériel et méthode de travail

Pour évaluer la sensibilité de la végétation forestière au feu, il est nécessaire de déterminer les durées d'inflammabilité et de combustibilité de chaque espèce.

II.3.1 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé au cours de notre expérimentation est composé de feuillage des :

- Espèces dominantes : - *Pinus halepensis*
- *Quercus ilex*
- Toutes les espèces de la strate arbustive et frutescente :
 - *Pistacia lentiscus*
 - *Arbutus unedo*
 - *Phillyrea angustifolia*
 - *Phillyrea media*
 - *Juniperus oxycedrus*
 - *Crataegus azarolus*
 - *Cistus villosus*
 - *Ampelodesma mauritanica*
 - *Astragalus armatus*
 - *Asparagus acutifolius*
 - *Calycotome spinosa*
- Ecorce et Litière des deux espèces dominantes :
 - *Pinus halepensis*
 - *Quercus ilex*

II.3.2 Matériel utilisé :

II.3.2.1 Pour estimer la teneur en eau :

- Balance de précision au 1/1.000 de gramme
- Etuve à 105 °C

II.3.2.2 Pour estimer le temps d'inflammabilité et le temps de combustibilité

- Un brûleur à infra rouge muni de 10 positions de Température (photo 04). Chaque position correspond à une température. [E.S = 5 °C +/-]

- Position 1 → 64 °C
- Position 2 → 68 °C
- Position 3 → 70 °C
- Position 4 → 100 °C
- Position 5 → 120 °C
- Position 6 → 400 °C
- Position 7 → 450 °C
- Position 8 → 500 °C
- Position 9 → 700 °C
- Position 10 → 850°C



Photo 04 : Brûleur à infrarouge.

- Une plaque en Aluminium dans laquelle se fait l'incinération des échantillons.
- Une balance de précision au 1/ 1.000 de gramme
- Deux chronomètres : Le premier pour mesurer le temps d'inflammabilité et le deuxième pour le temps de combustibilité.

II.3.3 Méthode de travail

La méthode adoptée est le prélèvement périodique d'échantillons d'espèces végétales sur lesquelles on effectue les différentes expérimentations. Les prélèvements sont effectués entre Décembre 2004 et Mai 2005 à raison d'un échantillonnage par mois, et de Juin 2005 à Octobre 2005 ; c'est-à-dire pendant la campagne des incendies, à raison d'un prélèvement tous les 15 jours. C'est ainsi qu'on a pu donc réaliser au total 12 sorties de terrain (tableau 22).

Tableau 22 : Programme des sorties

Dates des sorties	Températures (°C)	Conditions atmosphériques
23/12/2004	8	- Temps pluvieux, ciel entièrement couvert
17/03/2005	20	- Ciel partiellement couvert
12/04/2005	8	- Temps pluvieux, ciel couvert
11/05/2005	32	- Temps ensoleillé, ciel dégagé
15/06/2005	27	- Temps ensoleillé, ciel partiellement couvert
30/06/2005	37	- Temps ensoleillé, ciel dégagé
18/07/2005	43	- Temps ensoleillé, ciel dégagé
06/08/2005	32	- Temps ensoleillé, ciel dégagé
20/08/2005	36	- Ciel couvert
06/09/2005	36	- Temps ensoleillé, ciel partiellement couvert
24/09/2005	26	- Temps ensoleillé, ciel dégagé
08/10/2005	21	- Temps ensoleillé, ciel partiellement couvert

II.3.3.1 Protocole expérimental

Les échantillons récoltés sont immédiatement placés dans des sacs en plastique hermétiquement clos pour éviter toute dessiccation, et sont directement acheminés vers le laboratoire.

II.3.3.1.1 Mesure de la teneur en eau

- Trois échantillons (répétitions) de 10 g [poids frais (PF)] pour chaque espèce sont placés à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures.
- Une fois séchés, les échantillons sont pesés pour la deuxième fois [poids sec (PS)]
- La teneur en eau est calculée par la formule suivante :

$$E = \frac{PF - PS}{PF} \times 100$$

II.3.3.1.2 Estimation du temps d'inflammabilité et du temps de Combustibilité

Au laboratoire le matériel végétal de chaque espèce est préparé à raison de 10 g par échantillon.

L'échantillon, comme tout combustible, ne pourra s'enflammer que si la température de la plaque en Aluminium (Mise sur le brûleur à infra rouge) atteint la température d'inflammation. Dans notre cas et après plusieurs essais, on a pu déterminer la température d'inflammation qui est de 850 °C, température qu'on a mesuré à l'aide d'un Thermocouple, ce qui correspond à la position 10 de notre brûleur à infra rouge.

II.3.3.2 Déroulement d'un test

On prend notre échantillon de 10 g qu'on dépose sur la plaque du brûleur, le premier chronomètre est alors enclenché, il est arrêté dès l'apparition de la première flamme, le lecteur nous donne le temps d'inflammabilité.

A ce moment le deuxième chronomètre est lancé, il est arrêté à la fin du brûlage, c'est-à-dire à la fin de la combustion lente du végétal, c'est le temps de combustibilité qui est déterminé. L'opération est répétée trois fois pour chaque espèce. Tous les résultats sont récapitulés au sein de la partie suivante.

Remarque

Auparavant, le paramètre d'inflammabilité était mesuré à l'aide d'un épiradiateur dont (Delaveaud, 1981 ; Layec, 1989 et Rimet, 1990) présentent le montage expérimental (figure 13). L'épiradiateur émet un flux d'environ 7 Watts/Cm². La longueur d'onde correspondant à l'énergie infra rouge maximum est d'environ 3 microns. La veilleuse permet l'inflammation du mélange air – gaz de décomposition thermique de l'échantillon végétal, mais elle ne participe pas à la gazéification.

Quant au paramètre de combustibilité, il a été mesuré grâce au dispositif de Rothermel et Anderson, 1966.

Les observations sont effectuées sur un lit de combustible mono spécifique d'aiguilles de Pin laricio, de Pin maritime, de Pin d'Alep et de Cèdre, de feuilles de Chêne pubescent et l'arbousier.

L'enceinte de brûlage cubique (1,8 m de cotés) est surmontée d'une cheminée d'évacuation des fumées. Elle est fermée sur trois cotés par des panneaux vitrés dans leur partie supérieure et des plaques d'aluminium dans leur partie basse. Le quatrième coté est ouvert ; il permet l'accès et l'observation sans toute fois perturber la combustion.

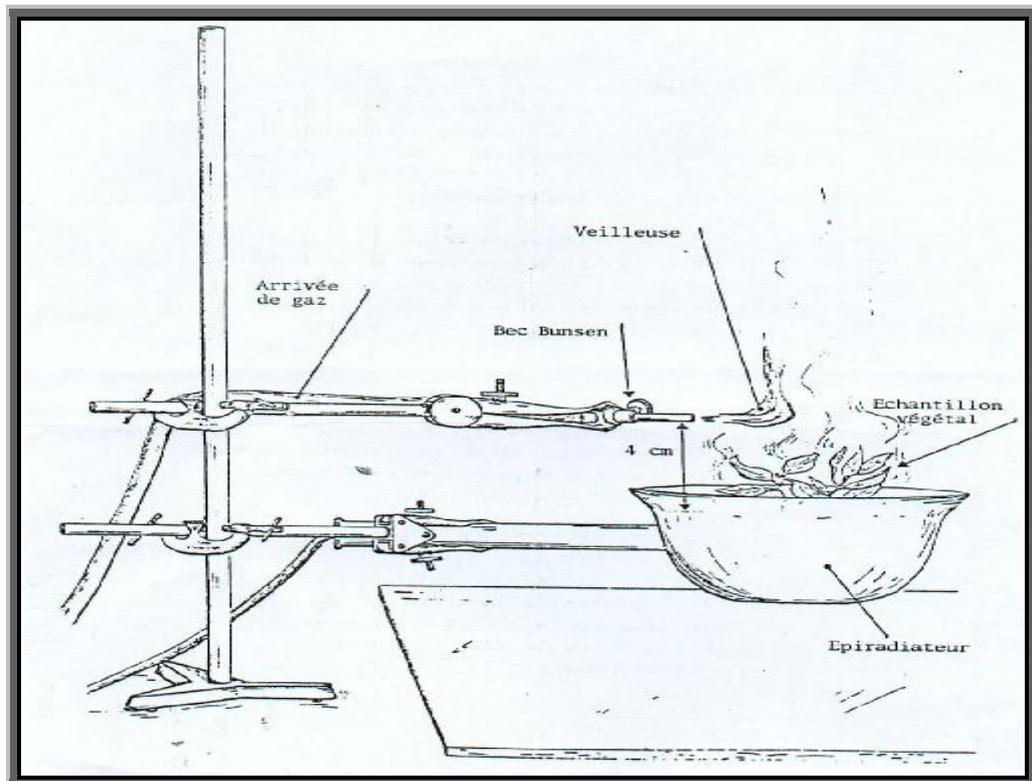


Figure 13 : Epiradiateur

Un bâti supporte les thermocouples, le flux mètre, le compteur de temps et le dispositif de mise à feu, une balance de précision supporte le lit de combustible et son bâti articulé. Les thermocouples, le fluxmètre et la balance sont reliés à des tables traçantes qui visualisent les variations des divers paramètres au cours de l'essai.

II.3.4 Méthodologie statistique

Pour évaluer la sensibilité de la végétation forestière aux incendies, les données obtenues des temps d'inflammabilité et de combustibilité ainsi que la teneur en eau ont été interprété statistiquement au moyen de l'analyse de la variance à un (AV1), à deux critères de classification (AV2), à l'analyse de la variance multi variée (MANOVA) et la comparaison multiples de moyennes (p.p.d.s).

Les données thermiques recueillies auprès de la station météorologique de Constantine (O.N.M), ont aussi été traitées statistiquement mais uniquement au moyen de l'analyse de la variance à un critère (AV1), multi variée (MANOVA) et au test t de STUDENT, en utilisant le logiciel (MINITAB). Cette méthode permet de comparer les moyennes des différents tests.

II.3.4.1 Analyse statistique des données thermiques de la période (2001-2004)

II.3.4.1.1 Analyse statistique univariée

A / Description des données

La description des données consiste à calculer certains paramètres statistiques usuels qui sont la moyenne arithmétique (\bar{x}), l'écart type (s), la plus petite valeur (Xmin) et la plus grande valeur (Xmax); ces paramètres correspondent à la température de l'air et du sol, par mois et par année.

B / Analyse de la variance à un critère de classification (AV1)

Le test d'analyse de la variance à un critère de classification a été utilisé pour comparer entre eux les moyennes de chaque variable (Tn air, Tx air, Tn sol, Tx sol, T50 et T100) et de chaque mois entre les quatre années, ainsi les moyennes mensuelles entre elles pour chaque variable et pour chaque année, et aussi pour comparer les températures des quatre saisons pour les quatre années. (Dagnelie, 1999).

C / Test t de STUDENT pour échantillons appariés

La comparaison des températures moyennes dans le sol entre (T50 et T100) pour chaque mois et pour chaque année a été effectuée à l'aide de test t de STUDENT pour échantillon associé par paires (Dagnelie, 1999).

II.3.4.1.2 Analyse statistique multivariée

A / Analyse de la variance multivariée (MANOVA)

L'analyse de la variance multivariée est une extension naturelle de l'analyse de la variance univariée au cas où plusieurs variables quantitatives ont été observées simultanément sur les mêmes objets. Par rapport à une série d'analyses univariées indépendantes, l'analyse multivariée prend en compte les corrélations qui existent très souvent entre les variables étudiées (Palm, 2000).

L'analyse de la variance multivariée (MANOVA) comprend plusieurs tests qui sont *wilks lamda*, *lawley-hotelling* et *fillai's trace*. Aucun de ces tests ne peut être considéré comme uniformément le plus puissant et aucun test ne peut être recommandé, de manière systématique, de préférence aux autres (Dagnelie, 1975). Rappelons simplement que le test de *wilks* est le plus populaire (Huberty, 1994).

II.3.4.2 Analyse statistique des résultats de l'inflammabilité, de la combustibilité et de la teneur en eau

II.3.4.2.1 Analyse statistique univariée

A / Description des données

La description des données consiste à calculer certains paramètres statistiques qui sont la moyenne arithmétique (\bar{x}) l'écart type (s), la plus petite valeur (Xmin) et la plus grande valeur (Xmax). Ces paramètres ont été déterminés sur trois variables ; temps d'inflammabilité, temps de combustibilité et la teneur en eau pour 17 espèces, y compris les écorces et litières des deux espèces dominantes : *Quercus ilex* et *Pinus halepensis*.

B / L'analyse de la variance à un critère de classification (AV1)

Le test d'analyse de la variance à un critère de classification a été utilisé pour comparer les moyennes de chacune des variables, des 12 dates de sorties pour toutes les espèces une par une et aussi pour comparer les moyennes de chacune des variables, pour l'ensemble des espèces et pour les 12 dates.

C / L'analyse de la variance à deux critères de classifications (AV2)

Pour comparer les moyennes entre elles des variables : temps d'inflammabilité, temps de combustibilité et la teneur en eau du feuillage, nous avons utilisé le test d'analyse de la variance à deux critères de classification, modèle croisé fixe.

D / Comparaison multiples de moyennes : méthode de la plus petite différence significative (p.p.d.s)

À l'issue d'un test d'analyse de la variance et pour des facteurs fixes, on est amené à rejeter l'hypothèse d'égalité de plusieurs moyennes alors la question de rechercher, et de localiser les inégalités se pose.

De nombreuses solutions ont été proposées pour répondre, ou tenter de répondre à cette question (Dagnelie, 1999). Ces solutions sont groupées sous l'appellation générale de méthodes de comparaisons particulières et multiples de moyennes. Le choix entre les différentes approches est très largement fonction de la nature qualitative, des facteurs considérés et de l'objectif qui a été fixé, ou qui aurait dû être fixé, au moment où la collecte des données a été décidée (Dagnelie, 1999).

En ce qui nous concerne, chaque fois que l'égalité de plusieurs moyennes a été rejetée par l'analyse de la variance pour un facteur fixe, nous avons alors utilisé la méthode de la plus petite différence significative (p.p.d.s) pour tenter de déterminer les groupes de moyennes qui sont identiques ou en d'autres termes les groupes de variantes, du facteur, qui sont aussi homogènes que possible (Dagnelie, 1999).

La méthode de la plus petite différence significative est une méthode qui s'applique en une seule étape, et qui est de ce fait, d'une utilisation très facile. Dans le cas le plus simple, son principe est de calculer la quantité :

$$t_{1-\alpha/2} \sqrt{2CM/n}$$

Appelée plus petite différence significative ou (p.p.d.s), de considérer tous les couples de moyennes $(\bar{x}_i - \bar{x}_j)$, et de conclure que les moyennes dont les différences $(\bar{x}_i - \bar{x}_j)$ atteignent ou dépassent cette limite, en valeur absolue, sont significativement inégales.

La valeur de $t_{1-\alpha/2}$ est relative à la distribution **t** de **STUDENT**, dont le nombre de degrés de liberté est celui du carré moyen (**CM**) qui a servi de base de comparaison lors de l'analyse de la variance, et **n** répercute le nombre de données qui ont servi à calculer chacune des moyennes (Dagnelie, 1999).

Les résultats obtenus sont généralement présentés sous la forme de tableaux et de moyennes soulignées, les soulignements correspondant à des moyennes ou des groupes de moyennes qui ne sont pas significativement différentes les uns des autres.

II.3.4.2.2 Analyse statistique bivariée

A / Calcul des corrélations

Pour mettre en évidence des relations linéaire entre, d'une part, le temps d'inflammabilité et de combustibilité, le temps d'inflammabilité et la teneur en eau, et d'autre part, entre le temps de combustibilité et la teneur en eau pour chaque espèce, nous avons calculé chaque fois le coefficient de corrélation de Bravais-pearson.

Ce coefficient, r mesure l'intensité du lien qui existe entre les deux caractéristiques (ou variables) quantitatives quelconques pour autant que cette liaison soit linéaire ou approximativement linéaire (Dagnelie, 1999).

Par exemple pour deux caractéristiques quelconques x et y le coefficient de corrélation est déterminé par la formule suivante :

$$r = \frac{Cov(x, y)}{S_x \cdot S_y}$$

Où $Cov(x, y)$ représente la covariance de x et de y , et S_x et S_y représentent les écarts types de x et de y . Ce coefficient est compris entre -1 et $+1$. Il est en valeur absolue, d'autant plus proche de 1 que la liaison entre les deux séries d'observations est nette pour autant que cette liaison soit linéaire ou approximativement linéaire. Au contraire si le coefficient de corrélation est nul, c'est que les deux caractéristiques ne sont pas corrélées entre elles.

D'autre part, le signe du coefficient de corrélation indique si la relation est croissante ou décroissante, en effet, lorsque le coefficient est positif, les valeurs élevées d'une caractéristique correspondent dans l'ensemble aux valeurs élevées de l'autre caractéristique, et les valeurs faibles d'une caractéristique correspondent aux valeurs faibles de l'autre caractéristique ; par contre, lorsque la corrélation est négative, les valeurs élevées d'une caractéristique correspondent dans l'ensemble aux valeurs faibles de l'autre caractéristique et vis versa (Dagnelie, 1999).

Pour chaque valeur de r calculée nous avons calculé également la valeur de la probabilité p , de mettre en évidence une différence significative entre la valeur de r et la valeur zéro.

Si la valeur de p est inférieure ou égale à la valeur critique $\alpha = 0.05$ ($P \leq \alpha = 0.05$), on dit qu'il existe des différences significatives entre la valeur de r et la valeur zéro et, par conséquent, il y a corrélation entre les deux caractéristiques étudiées en question. Dans le cas contraire ($P > \alpha = 0.05$), il n'y a pas de corrélation entre les deux caractéristiques (Dagnelie, 1999).

II.3.4.2.3 Analyse statistique multivariée (MANOVA)

Le test multivarié a été utilisé pour comparer les vecteurs de moyennes des trois variables des 12 dates de sorties pour chacune des espèces et également pour la comparaison des vecteurs de moyennes des trois variables pour les 17 espèces ensembles et pour les 12 dates.

Troisième partie

Résultats et discussions

I Présentation de la zone d'étude

I.1 Description des stations:

I.1.1 Première station:

- les limites naturelles:**
- Nord: Kef zouaoui
 - Sud: Route goudronnée
 - Ouest: Chaâbat Ain baroud
 - Est : Chênaie

- Coordonnées (G.P.S):**
- N : 36,32767
 - E : 006,46858
 - Altitude : 1018 m

-Superficie: 6,60 ha

-Géomorphologie: Relief en vallon relativement accidenté

-Exposition: est

-Etat de la végétation: incendiée en 1996

-Végétation:

- L'essence principale est *Pinus halepensis*, le recouvrement est de 73%.
- La strate arbustive constituée par *Crataegus azarolus* (0,53%), *Pistacia lentiscus* (1,03%), *Arbutus unedo* (4,48%), *Phillyrea angustifolia* (0,64%), *Phillyrea media* (5,88%), quelques sujets de *Quercus ilex* (1,01%), le recouvrement total est de (14%).
- La strate frutescente formé par: *Ampelodesma mauritanica* (0,31%), *cistus villosus* (0,42%), *Asphodelus sp*, *Asparagus acutifolius* (0,061%), *calycotome spinosa* (1,24%), le recouvrement total est de 2%.
- La strate herbacée couvre environ 80%.
- La litière est de (80%).



Photo 05 : Station 1 " Gaulis de *Pinus halepensis* "

I.1.2 Deuxième station:

- **les limites naturelles:**
 - Nord: Kef zouaoui
 - Sud: Route goudronnée
 - Ouest: subéraie
 - Est: peuplement de Pin d'Alep.

- **Coordonnées (G.P.S):**
 - N:36,32166
 - E: 006,46409
 - Altitude: 992m

-**Superficie:** 2,30 ha

-**Géomorphologie:** Versant à pente faible.

-**Exposition:** sud-est.

-**Etat de la végétation:** incendiée en 1996.

-Végétation

- L'essence principale est *Pinus halepensis*, (le recouvrement est de 35%) + *Quercus ilex* (le recouvrement est de 14%).
- La strate arbustive constituée par: *Arbutus unedo* (2,16%), *Phillyrea angustifolia* (9,05%), *Phillyrea media* (4,13%), *Crataegus azarolus* (1,25%), le recouvrement total est de 17%.

- La strate frutescente formé par: *Ampelodesma mauritanica* (2,56%), *Calycotome spinosa* (1,42%), *cistus villosus* (2,76%), le recouvrement total est de 7%.
- La strate herbacée couvre 35%.
- La litière recouvre environ 70%.



Photo 06 : Station 2 " Fourré mixte de *Pinus halepensis* et de *Quercus ilex*"

I.1.3 Troisième station:

- **Les limites naturelles:**
 - Nord: Kef zouaoui
 - Sud: Route goudronnée
 - Ouest: Chaâbat essaïd
 - Est: Etendu du peuplement du chêne vert.
- **Coordonnées (G.P.S)**
 - N:36,31510
 - E: 006,45745
 - Altitude: 989m
- **Superficie:** 6,72 ha
- **Géomorphologie:** basse montagne à versant accidenté.
- **Exposition:** sud-est.
- **Etat de la végétation:** incendiée en 1996.

-Végétation :

- L'essence principale est *Quercus ilex*, le recouvrement est de 17%.
- La strate arbustive constituée par: *phillyrea angustifolia* (10,37%) *pistacia lentiscus* (6,81%), *phillyrea media* (8%), quelques sujets de *Pinus halepensis* (1,38%), le recouvrement total est de 27%.
- La strate frutescente formé par: *Ampélodesma mauritanica* (2,64%), *cistus villosus* (1,78%), *Asphodelus sp*, *calycotome spinosa* (2,16%), le recouvrement total est de 7%.
- La strate herbacée couvre 75%.
- Le taux de recouvrement de la litière est d'environ 60%.



Photo 07 : Station 3 " Fourré de *Quercus ilex* "

I.1.4 Quatrième station :

- **Les limites naturelles :**
 - Nord : Piste
 - Sud : Thalweg
 - Ouest : Ligne de crête
 - Est : Thalweg
- **Coordonnées (G.P.S) :**
 - N : 36,29710
 - E : 006,46031
 - Altitude : 621m

- **Superficie:** 1,30 ha
- **Géomorphologie:** Versant à forme convexe, pente moyenne.
- **Exposition:** sud-ouest.
- **Etat de la végétation:** Non incendiée.
- **Végétation:**

- strate arborée formée par une jeune futaie de *Pinus halepensis*, le recouvrement est de 25%.
- La strate arbustive constituée seulement par *juniperus oxycedrus*, le recouvrement est de 8%.
- La strate frutescente formé par: *Ampelodesma mauritanica* (1,82%), *Astragalus armatus* (0,35%), le recouvrement total est de 2%.
- Le recouvrement de la strate herbacée est de 90%.
- 70% de la litière.



Photo 08 : Station 4 " Jeune futaie de *Pinus halepensis* "

- I.1.5 Cinquième station:**
- Nord: Kef zouaoui
 - Sud : Route goudronnée
 - Ouest: Route menant à Beni Aziz.
 - Est : Peuplement de chêne vert

- **Coordonnées (G.P.S) :** - N : 36,31031
- E: 006,44842
- Altitude : 966m

-**Superficie:** 15 ha

-**Géomorphologie:** Petite glacis.

-**Exposition:** est.

-**Etat de la végétation:** Non incendiée.

-**Végétation:**

- strate arborée formée par une garrigue de *Quercus ilex*, le recouvrement est de 54%.
- La strate arbustive constituée par: *Crataegus azarolus* (1,28%), *Phillyrea angustifolia* (16,78%), *Juniperus oxycedrus* (16,85%), le recouvrement total est de 35%.
- La strate frutescente formée par *Ampelodesma mauritanica* (5,99%), *Asphodelus sp*, *Calycotome spinosa* (1,62%), *Asparagus acutifolius* (1,7%), *Cistus villosus* (4,14%), le recouvrement total est de 13%.
- 90% de strate herbacée
- Et enfin 90% de la litière.



Photo 09 : Station 5 " Garrigue de *Quercus ilex* "

II Données thermiques de la période 2001-2004

II.1 Analyse des paramètres statistiques de base

Les paramètres statistiques de base, à savoir la moyenne (\bar{x}), l'écart type (s) et les valeurs extrêmes minimales (Xmin) et maximales (Xmax), calculés sur les températures de l'air et du sol par mois et pour les quatre années, sont donnée dans les tableaux ci après.

II.1.1 Températures de l'air

II.1.1.1 Températures minimales absolues

L'analyse des résultats du tableau 23, de la température de l'air montre que d'une façon générale, les valeurs les plus faibles sont enregistrées pendant le mois de Janvier pour les années 2001,2002 et 2004, avec respectivement (-8,0 , -5,0 et aussi -8,0°C).Par contre au cour de l'année 2003, la valeur des températures minimale absolues la plus faible a été enregistrée au mois de décembre (-5°C). Les élevées des températures minimales absolues sont observées au mois d'août pendant les quatre années : avec 25,40°C pour l'année 2001, 28,00°C pour 2002, 28,10°C pour 2003 et enfin 24,20°C pour 2004.

Tableau 23 : Températures minimales de l'air (n=30).

		Jan	Fev	Mar	Avr	mai	jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
2001	Moy	3.26	2.31	8.14	6.34	11.10	15.60	19.02	19.05	16.07	14.18	6.78	2.49
	S	3.67	2.72	3.25	2.37	3.20	3.56	3.03	2.54	1.82	2.83	2.53	3.15
	Xmin	-8.0	-4.0	2.00	2.10	6.50	9.50	13.40	13.50	13.60	8.80	2.30	-6.0
	Xmax	8.70	7.00	16.6	10.4	19.00	24.50	24.90	25.40	20.20	20.40	12.00	7.30
2002	Moy	1.46	3.43	5.61	8.14	11.20	16.55	18.78	19.15	15.41	11.63	8.34	5.28
	S	3.49	1.96	2.82	2.95	3.07	3.53	3.72	3.31	3.68	3.02	2.97	2.41
	Xmin	-5.0	0.00	-3.0	4.00	4.60	8.20	13.20	13.00	8.30	5.900	3.00	1.00
	Xmax	8.00	8.00	9.80	16.0	16.80	23.50	26.00	28.00	21.50	19.40	15.00	10.50
2003	Moy	4.31	3.55	5.45	8.56	11.44	16.80	20.27	19.63	15.64	14.22	7.16	2.43
	S	2.22	2.71	2.95	3.69	2.34	4.02	2.35	2.31	2.82	3.29	2.28	4.12
	Xmin	1.00	-1.5	-2.0	2.00	6.50	1.80	16.40	15.50	11.5	9.50	3.80	-5.0
	Xmax	10.0	8.00	11.0	16.5	15.0	25.0	24.5	28.10	22.30	23.00	12.80	8.80
2004	Moy	2.62	3.06	5.01	6.23	9.26	13.93	18.38	19.35	14.72	12.63	5.84	4.32
	S	3.55	4.09	3.68	3.28	3.02	2.78	2.95	2.44	3.58	2.51	3.26	3.44
	Xmin	-8.0	-4.0	-5.0	0.00	3.50	9.20	10.70	15.30	7.00	6.80	1.70	-4.0
	Xmax	9.00	16.0	12.2	12.0	13.8	19.4	24.00	24.20	20.20	17.50	12.00	9.00

II.1.1.2 les températures maximales absolues

Les quatre années analysées montrent que les maxima les plus bas sont enregistrés en Décembre, et les plus élevés au mois de Juillet, avec un maximum de 42°C pour l'année 2001, 42,80°C pour 2002 et 42,5°C pour 2003, par contre en 2004, le mois le plus chaud est Juin avec un maximum de 42°C (tableau 24).

Tableau 24 : Températures maximales de l'air (n=30).

		Jan	Fev	Mar	Avr	mai	jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
2001	Moy	13.68	13.39	21.76	19.03	23.75	31.99	35.86	34.83	29.10	27.77	16.07	11.66
	S	3.95	3.62	5.12	4.59	5.49	4.73	3.42	2.80	3.11	3.18	4.20	3.69
	Xmin	7.00	7.00	11.0	11.0	14.6	24.00	28.00	29.80	20.60	22.10	9.50	5.00
	Xmax	23.0	19.30	32.10	27.50	36.20	39.00	42.00	40.00	36.60	32.80	25.10	17.70
2002	Moy	12.30	15.55	17.41	20.97	26.83	33.32	33.56	33.21	28.41	25.46	16.80	14.13
	S	3.03	4.25	3.99	4.77	5.48	4.52	4.89	3.99	4.55	4.10	4.26	3.55
	Xmin	8.00	7.40	11.90	13.50	15.60	20.80	23.00	26.10	20.20	14.70	10.50	6.10
	Xmax	18.8	24.20	25.50	29.70	37.50	39.60	42.80	42.20	35.40	32.20	24.50	19.20
2003	Moy	11.32	10.90	16.59	19.83	24.52	33.4	37.08	35.67	27.62	24.28	17.83	11.84
	S	3.99	3.71	3.55	6.37	4.72	4.06	3.68	2.97	4.68	5.16	2.56	4.09
	Xmin	5.00	3.60	9.50	7.00	12.6	25.90	30.30	29.10	18.60	13.50	12.70	2.70
	Xmax	21.0	17.10	22.5	32.90	32.50	42.00	42.50	42.50	36.50	37.00	22.90	19.10
2004	Moy	12.30	15.38	17.05	17.38	21.39	30.21	34.06	35.55	28.75	27.68	14.69	12.06
	S	3.81	3.42	5.32	3.68	3.54	6.83	4.30	3.48	5.78	4.55	2.82	4.41
	Xmin	6.60	10.20	6.00	10.00	14.80	15.30	25.10	30.00	16.60	17.60	9.30	5.60
	Xmax	19.50	21.90	24.50	24.50	29.30	42.00	38.60	41.90	36.70	33.50	19.40	22.80

La température de l'air a une faible influence et ne joue qu'un rôle secondaire dans la probabilité d'occurrence des feux, mais son rôle vis-à-vis des incendies s'observe à partir de son influence sur l'humidité de l'air (Trabaud, 1970, 1980 in Madoui, 1994). En effet, un air chaud retient plus d'humidité qu'un air froid.

La température peut avoir deux actions sur les combustibles végétaux :

- Soit indirectement par l'action exercée sur le degré de siccité de l'air qui détermine en partie l'humidité des combustibles végétaux.
- Soit directement par le réchauffement ou le refroidissement des végétaux.

II.1.2 Températures au sol

II.1.2.1 Températures minimales absolues

Les résultats du tableau 25 montrent que les valeurs les plus basses sont enregistrées au mois de Février pour les années : 2001,2003 et 2004 avec respectivement des moyennes de -9,00°C et -6,00°C.

Par contre le mois de Janvier présente la valeur la plus faible $-7,40^{\circ}\text{C}$ au cours de l'année 2002. Tandis que, les valeurs les plus élevées des températures minimales absolues sont observées au mois d'août pour les quatre années.

Tableau 25 : Températures minimales au sol (n=30).

		Jan	Fev	Mar	Avr	mai	jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
2001	Moy	0.56	-0.04	4.82	3.55	8.43	11.36	15.02	15.58	13.24	11.60	4.01	-0.81
	S	8.82	3.99	3.56	3.14	3.13	3.72	3.45	3.06	2.21	3.17	2.63	3.76
	Xmin	-4.3	-9.00	-1.60	-2.10	3.10	5.00	9.10	9.50	9.70	5.60	-1.0	-8.0
	Xmax	9.00	8.00	14.4	10.0	14.0	20.0	20.10	23.50	19.00	19.10	9.50	5.00
2002	Moy	-1.80	-0.41	2.14	4.37	7.63	12.59	15.83	16.51	12.53	8.34	6.08	2.53
	S	3.52	3.11	3.60	3.31	3.07	3.90	3.74	3.68	3.77	3.57	2.49	3.33
	Xmin	-7.40	-5.5	-4.80	-4.0	1.60	5.00	10.0	9.70	5.00	1.60	2.20	-7.0
	Xmax	4.60	5.00	8.40	13.0	15.5	20.3	22.4	28.0	19.2	18.0	11.0	9.50
2003	Moy	1.27	-0.62	2.91	5.51	8.62	13.99	17.74	17.47	13.73	12.29	4.79	0.89
	S	2.96	3.98	3.59	3.40	2.52	2.96	2.42	2.33	3.12	3.41	2.29	4.95
	Xmin	-4.0	-9.0	-3.0	-1.50	4.00	9.00	13.00	14.2	9.00	6.60	1.50	-7.2
	Xmax	8.00	6.00	10.0	12.0	14.0	22.0	23.0	26.8	20.50	19.00	10.0	9.00
2004	Moy	0.83	0.30	2.11	3.45	5.88	10.64	14.35	16.73	11.58	8.84	2.99	2.33
	S	3.22	4.43	3.52	3.62	4.39	2.90	2.95	2.75	4.12	2.91	4.06	2.97
	Xmin	-5.50	-6.0	-5.0	-3.7	-7.0	5.8	7.00	12.6	4.00	3.20	-2.6	-3.0
	Xmax	6.00	14.4	10.5	10.0	12	16.2	19.0	22.0	19.30	15.00	10.0	7.50

II.1.2.2 Températures maximales absolues

L'analyse des températures maximales absolues (tableau 26) montre que les valeurs les plus basses sont enregistrées au mois de Décembre pour les quatre années, et les plus élevées au mois de Juillet pour l'année 2001 et 2003 avec respectivement $51,4^{\circ}\text{C}$ et $52,40^{\circ}\text{C}$. Pour l'année 2002 le mois le plus chaud est Juin avec un maximum de $51,50^{\circ}\text{C}$ et pour 2004 c'est Août avec $47,40^{\circ}\text{C}$.

Tableau 26 : Températures maximales au sol (n=30).

		Jan	Fev	Mar	Avr	mai	jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
2001	Moy	18.32	19.46	29.17	27.48	33.86	42.60	44.73	43.36	37.09	33.24	20.54	16.07
	S	4.74	4.19	5.09	5.51	6.08	4.99	3.24	3.12	3.55	3.46	5.14	4.35
	Xmin	8.5	12.1	18.50	13.50	19.80	33.50	37.3	37.0	26.0	26.2	10.10	5.00
	Xmax	26.0	28.6	43.50	36.70	46.0	49.50	51.4	48.40	43.6	39.5	29.50	23.2
2002	Moy	17.09	20.90	24.46	30.71	37.46	43.71	42.58	42.41	37.33	35.02	21.96	17.60
	S	4.23	5.08	4.30	5.28	5.26	5.24	4.66	3.86	4.78	4.87	5.63	4.71
	Xmin	9.50	10.0	16.10	19.90	29.60	30.20	32.70	35.70	28.10	18.50	10.40	5.60
	Xmax	28.50	30.50	31.00	40.60	49.00	51.50	51.20	50.00	46.00	42.20	30.80	23.9
2003	Moy	15.04	16.65	25.58	28.16	33.0	43.5	45.20	42.74	33.11	27.93	21.24	14.09
	S	4.33	4.72	4.64	7.87	5.70	4.33	4.25	3.64	4.81	5.52	2.86	4.66
	Xmin	6.90	8.40	14.40	10.0	14.40	35.10	37.20	33.70	22.60	16.50	16.00	3.20
	Xmax	24.60	24.00	33.50	41.60	43.40	51.20	52.40	48.00	41.40	39.00	28.50	21.60
2004	Moy	15.54	20.10	22.73	25.09	29.87	36.93	41.71	42.58	35.78	32.85	18.38	14.63
	S	3.83	2.95	6.33	5.04	4.74	6.07	4.00	3.11	6.70	5.02	3.96	5.28
	Xmin	8.50	14.00	10.0	10.5	15.60	16.50	33.40	37.00	19.00	23.00	9.90	6.30
	Xmax	24.20	25.10	31.9	33.90	35.60	45.00	47.10	47.40	44.60	39.60	25.60	25.10

D'une manière générale et d'après l'analyse des températures de l'air et du sol on peut dire que les températures au sol sont plus élevées que celles de l'air.

Le sol tire de petites quantités de chaleur des phénomènes internes biologiques et chimiques, de la radioactivité naturelle et de la conduction du noyau terrestre ; cependant, presque partout dans la couche supérieure de l'écorce terrestre de quelque dizaines de mètres d'épaisseur, la plus grande partie de la chaleur provient du rayonnement et de l'échange de chaleur à la surface terrestre ; c'est le rayonnement solaire qui représente la principale source d'énergie. Cet apport d'énergie peut varier considérablement selon l'emplacement, la saison, la nébulosité, la couverture végétale et la nature ou la couleur de la surface du sol.

II.1.3 Températures dans le sol

II.1.3.1 A 50 cm de profondeur

D'après le tableau 27 on peut dire que les températures à 50 cm de profondeur du sol sont pratiquement moins élevées que celles enregistrées à la surface, les valeurs les plus élevées sont enregistrées au mois de Juillet pour l'année 2001 et 2003 avec un maximum de 30°C.

Tandis que pour l'année 2002 la valeur la plus élevée est observée au mois d'août 29,50°C, alors qu'elle est au Juin pour l'année 2004 avec un maximum de 30,20°C, par contre les valeurs les plus faibles sont observées au mois de Décembre pour 2001, 2003 et 2004 et au mois de Janvier pour l'année 2002.

Tableau 27 : Températures dans le sol à 50 cm de profondeur (n=30).

		Jan	Fev	Mar	Avr	mai	jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
2001	Moy	9.33	8.11	11.71	14.42	20.20	24.75	28.90	28.46	23.90	20.37	14.26	9.45
	S	0.97	0.94	0.72	1.75	0.68	3.68	0.77	0.58	2.15	1.73	1.09	1.88
	Xmin	7.50	7.00	10.20	11.50	18.50	13.50	27.30	27.30	21.50	17.70	12.00	5.70
	Xmax	10.7	10.1	13.10	18.50	21.20	28.60	30.00	29.40	28.60	23.50	16.40	11.70
2002	Moy	8.36	9.64	12.50	15.45	19.99	26.44	28.47	28.18	26.08	21.02	15.32	11.04
	S	0.57	0.63	1.08	0.79	1.86	1.55	0.69	0.65	1.29	1.06	1.78	0.69
	Xmin	7.50	8.80	10.60	14.00	17.70	24.50	27.00	27.00	22.80	19.50	13.00	10.00
	Xmax	9.60	10.8	14.00	16.70	23.40	29.00	29.20	29.50	27.10	22.60	19.00	12.50
2003	Moy	9.33	8.11	11.71	14.42	20.20	25.42	28.90	28.46	23.90	20.37	14.26	9.45
	S	0.97	0.94	0.72	1.75	0.68	2.12	0.77	0.58	2.15	1.73	1.09	1.88
	Xmin	7.50	7.00	10.20	11.50	18.60	20.60	27.30	27.30	21.50	17.70	12.00	5.70
	Xmax	10.7	10.1	13.10	18.50	21.20	28.60	30.00	29.40	28.60	23.50	16.40	11.70
2004	Moy	7.54	8.87	10.92	13.31	16.47	22.02	27.58	28.69	24.91	20.72	13.51	10.11
	S	0.99	1.01	1.61	0.65	1.28	2.14	0.85	0.79	2.21	1.12	2.56	1.67
	Xmin	6.00	7.50	8.00	18.60	26.10	27.00	20.40	19.00	10.60	19.00	10.60	5.70
	Xmax	9.00	10.8	13.30	26.20	29.00	30.20	27.50	22.60	18.50	22.60	18.50	12.20

II.1.3.2 A 100 cm de profondeur

Si on les compare avec les températures dans le sol à 50 cm de profondeur, on peut dire quelle sont moins élevées, avec un écart de 1 ou 2°C seulement (tableau 28).

Tableau 28 : Températures dans le sol à 100 cm de profondeur (n=30).

		Jan	Fev	Mar	Avr	mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
2001	Moy	11.11	9.48	11.98	14.01	18.73	23.10	26.50	27.39	25.28	21.48	16.93	12.67
	S	0.88	0.43	0.66	1.00	0.98	1.88	0.70	0.17	1.50	0.99	1.10	1.63
	Xmin	9.50	8.90	10.60	12.70	16.30	19.50	25.40	27.00	23.10	19.90	15.00	9.20
	Xmax	12.6	10.6	13.00	16.20	19.70	25.80	27.80	27.60	27.50	23.00	19.10	14.90
2002	Moy	10.38	10.7	12.67	15.33	18.86	24.65	27.16	27.48	26.24	22.11	17.39	12.96
	S	0.57	0.63	1.08	0.79	1.86	1.55	0.69	0.65	1.29	1.06	1.78	0.69
	Xmin	9.80	10.0	10.30	14.00	16.60	22.30	26.50	26.70	24.30	21.00	15.00	12.30
	Xmax	11.5	11.5	14.00	16.10	21.40	28.50	27.60	28.00	27.00	24.00	20.50	14.60
2003	Moy	11.11	9.48	11.98	14.01	18.73	23.10	26.50	27.38	25.28	21.48	16.96	13.33
	S	0.88	0.43	0.66	1.00	0.98	1.88	0.70	0.17	1.50	0.99	1.13	2.41
	Xmin	9.50	8.90	10.60	12.70	16.30	19.50	25.40	27.00	23.10	19.90	15.00	9.20
	Xmax	12.6	10.6	13.00	16.20	19.70	25.80	27.80	27.60	27.50	23.00	19.10	20.30
2004	Moy	9.41	9.98	11.18	13.28	15.36	19.39	24.56	26.53	25.13	21.51	16.38	12.40
	S	0.38	0.44	0.94	0.36	0.89	1.30	1.04	0.55	1.18	0.66	2.21	1.05
	Xmin	8.80	8.90	14.00	17.00	22.20	25.80	22.60	20.30	13.40	20.30	13.40	9.50
	Xmax	10.0	11.0	16.80	22.10	25.90	28.00	26.90	22.30	20.00	22.30	20.00	13.70

Pour un sol donné, la température tend à augmenter en fonction de la profondeur, à cause de l'accroissement de la compacité du sol et de la diminution de la teneur en air. Cette affirmation est tout à fait correcte dès que l'on considère un intervalle de plusieurs centaines de mètres de profondeur, Mais peut être aussi trompeuse si l'on examine un grand nombre de profils thermiques dans la première centaine de mètres du sous-sol (Guillou-Frottier, 2004).

Dans le sol la transmission de la chaleur dépend des propriétés physiques des particules du sol, de leur degré de compacité et de la teneur en humidité. Le sol étant poreux et contenant des quantités variables d'air et d'eau, l'analyse du flux de chaleur dans le sol est beaucoup plus compliquée que dans un corps solide homogène dont la conductivité thermique et la capacité calorifique sont des paramètres établis, bien définis.

Le sol se compose de particules minérales, de matière organique et de pores qui peuvent contenir soit de l'eau, soit de l'air. Ces éléments ont tous des caractéristiques thermiques très différentes. Ainsi, la conductivité thermique des particules minérales est cinq fois plus élevée que celle de l'eau, dix fois plus élevée que celle des matières organiques et cent fois plus élevée que celle de l'air.

Par conséquent, la conductivité thermique du sol peut varier considérablement selon la proportion de ces éléments. Même si le sol présente une teneur uniforme en matières minérales et organiques et une porosité constante, sa conductivité dépend de façon marquée de la teneur en eau, à cause de la grande différence entre la conductivité thermique de l'eau et celle de l'air.

II.2 Analyse des résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification

II.2.1 Comparaison des moyennes de chaque variable et de chaque mois entre les quatre années

En plus de l'examen statistique, nous avons porté les données sous forme de courbes (figure 14) pour mieux comprendre la variation des températures minimales et maximales.

II.2.1.1 Température de l'air

L'examen des résultats du tableau 29 montre qu'il n'existe pas de différences significatives entre les quatre années pour le mois de Février, Juillet, Août et Septembre, autrement dit il n'y a pas une variation des températures minimales de l'air au cours des quatre années pour les mois cité précédemment, elle est comprise entre 2,5°C et 3°C pour le mois de Février, entre 17°C et 20°C pour le mois de Juillet et 19°C pour Août, alors qu'elle varie entre 15 et 16°C pour le mois de Septembre. Elle est significative au mois de Mai, très hautement significative pour Mars et Octobre et hautement significative pour les autre mois de l'année.

Les résultats obtenus pour l'analyse des températures maximales de l'air au cours des quatre années (tableau 30) montrent qu'il n'existe pas une différence significative entre les années pour le mois de Janvier, juin, Septembre et Décembre. Elle est significative pour Avril et Août, et hautement significative pour le mois de Juillet, Octobre et Novembre et très hautement significative au mois de Février, Mars et Mai, c'est-à-dire qu'il y a une très grande variation des températures maximales au cours des quatre années pour ces trois mois.

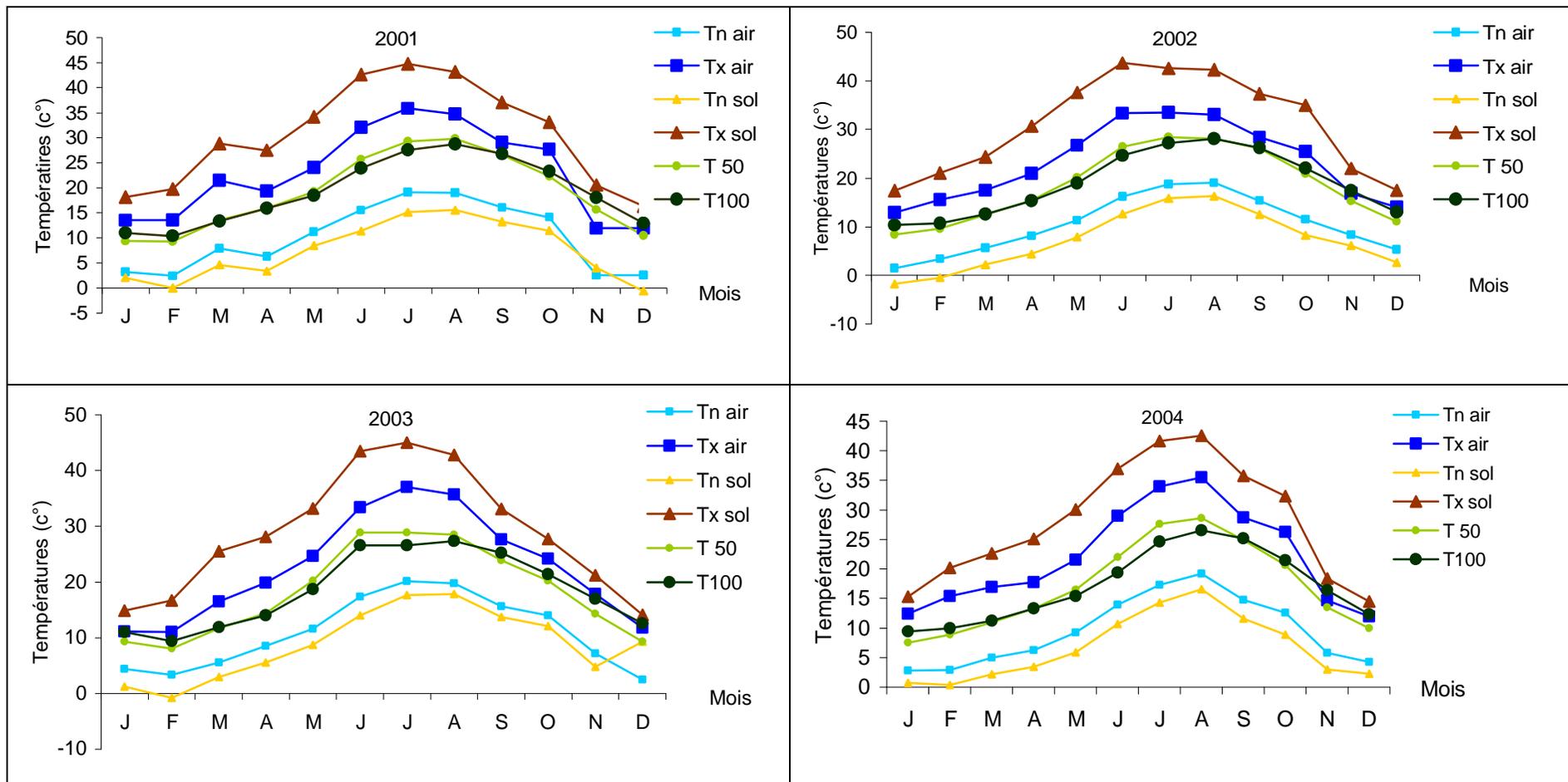


Figure 14 : Variation des températures moyennes mensuelles de 2001-2004.

Tableau 29 : Températures minimales de l'air

Mois	Fobs	P	
Jan	3.95	0.010	**
Fev	1.06	0.369	N.S
Mar	5.89	0.001	***
Avr	4.52	0.005	**
Mai	3.53	0.017	*
Jun	4.09	0.008	**
Jui	2.15	0.098	N.S
Aou	0.27	0.847	N.S
Sep	1.02	0.386	N.S
Oct	5.58	0.001	***
Nov	4.12	0.008	**
Dec	5.33	0.002	**

Tableau 30 : Températures maximales de l'air

Mois	Fobs	P	
Jan	2.05	0.111	N.S
Fev	9.96	0.000	***
Mar	8.28	0.000	***
Avr	2.79	0.043	*
Mai	6.35	0.001	***
Jun	2.54	0.060	N.S
Jui	4.68	0.004	**
Aou	3.42	0.020	*
Sep	0.56	0.641	N.S
Oct	4.75	0.004	**
Nov	4.13	0.008	**
Dec	2.52	0.061	N.S

En examinant les courbes de la figure 14 nous constatons que les moyennes mensuelles des températures de l'air change d'une année à l'autre.

Pour le mois de Février on a pu relevé 13,62°C pour l'année 2001, 15,60°C pour 2002, 10,99°C pour 2003 et 15,38°C pour l'année 2004, et pour Mars on a enregistré 21,44°C pour 2001, 17,50°C Pour 2002, 16,51°C pour 2003 et en fin 16,94°C pour l'année 2004, donc le climat change.

II.2.1.2 Températures au sol

Les résultats rassemblés dans le tableau 31 montrent qu'il n'existe pas de différences significatives entre les quatre années, et ceci pour les cinq mois ; Janvier, Février, Avril, Août et Septembre. Par ailleurs, nous constatons qu'il existe une différence significative au mois de Mars et hautement significative si on compare les quatre années entre elles pour les deux mois; Mai et Décembre, c'est-à-dire qu'il y a quand même une variation des températures minimales moyennes à la surface du sol, elles varient entre 6 et 8°C pour le mois de Mai et de -1 à 2°C pour le mois de Décembre.

On peut dire aussi qu'il existe des différences très hautement significatives entre les températures minimales au sol de ces années pour le mois de Juin, Juillet, Octobre et Novembre.

Tableau 31 : Températures minimales au sol

Mois	Fobs	P	
Jan	2.07	0.107	N.S
Fev	0.33	0.806	N.S
Mar	3.80	0.012	*
Avr	2.40	0.072	N.S
Mai	4.16	0.008	**
Jun	5.61	0.001	***
Jui	6.39	0.000	***
Aou	2.03	0.113	N.S
Sep	2.27	0.084	N.S
Oct	10.81	0.000	***
Nov	5.83	0.001	***
Dec	4.93	0.003	**

Tableau 32 : Températures maximales au sol

Mois	Fobs	P	
Jan	3.63	0.015	*
Fev	5.51	0.001	***
Mar	8.38	0.000	***
Avr	4.40	0.006	**
Mai	9.77	0.000	***
Jun	11.43	0.000	***
Jui	5.07	0.002	**
Aou	0.43	0.731	N.S
Sep	4.33	0.006	**
Oct	12.11	0.000	***
Nov	3.49	0.018	*
Dec	3.27	0.24	N.S

Quand aux résultats du tableau 32, l'analyse des températures maximales à la surface du sol montre qu'il n'existe pas de différences significatives entre ces quatre années pour le mois d'août et Décembre, elle est significatives pour le mois de Janvier et Novembre, hautement significatives pour le mois d'Avril, Juillet et Septembre.

Autrement dit, il existe une grande variation des températures entre ces années, prenant par exemple le mois d'Avril : les températures maximales moyennes à la surface du sol ont atteint 27,47°C en 2001, 30,71°C en 2002, 28,15°C en 2003 et 25,09°C en 2004. Et en fin elles sont très hautement significatives pour les autres mois de l'année.

II.2.1.3 Température dans le sol

L'examen des résultats des deux tableaux 33 et 34 montre qu'il existe généralement une différence de température très hautement significatives entre les quatre années ; pour la majorité des mois de l'année et pour les deux niveaux ; à 50 cm et à 100 cm de profondeur.

Tableau 33 : Températures dans le sol à 50 cm de profondeur

Mois	Fobs	P	
Jan	27.75	0.000	***
Fev	20.08	0.000	***
Mar	10.33	0.000	***
Avr	12.69	0.000	***
Mai	66.2 8	0.000	***
Jun	17.06	0.000	***
Jui	19.11	0.000	***
Aou	3.07	0.031	*
Sep	8.14	0.000	***
Oct	1.42	0.240	N.S
Nov	5.49	0.001	***
Dec	6.59	0.000	***

Tableau 34 : Températures dans le sol à 100 cm de profondeur

Mois	Fobs	P	
Jan	38.88	0.000	***
Fev	54.22	0.000	***
Mar	15.65	0.000	***
Avr	33.16	0.000	***
Mai	72.09	0.000	***
Jun	53.34	0.000	***
Jui	68.21	0.000	***
Aou	45.15	0.000	***
Sep	4.85	0.003	**
Oct	3.22	0.025	*
Nov	2.02	0.115	N.S
Dec	1.91	0.131	N.S

NB : N.S : différences non significatives ($P > \alpha = 0.05$)

* : différences significatives ($P \leq \alpha = 0.05$)

** : différences hautement significatives ($P \leq \alpha = 0.01$)

*** : différences très hautement significatives ($P \leq \alpha = 0.001$)

II.2.2 Comparaison des moyennes mensuelles entre elles pour chaque variable et pour chaque année

L'analyse des résultats des tableaux en question de (35 à 40) montre qu'il y a une très grande dispersion des données pour chaque variable et pour chaque année, ou bien on peut dire qu'il existe de différences très hautement significatives.

Tableau 35 : Températures minimales de l'air

Années	Fobs	P	
2001	137.24	0.000	***
2002	111.51	0.000	***
2003	136.20	0.000	***
2004	101.19	0.000	***

Tableau 36 : Températures maximales de l'air

Années	Fobs	P	
2001	134.45	0.000	***
2002	101.09	0.000	***
2003	147.61	0.000	***
2004	110.59	0.000	***

Tableau 37 : Températures minimales au sol

Années	Fobs	P	
Années	65.69	0.000	***
2002	113.81	0.000	***
2003	124.76	0.000	***
2004	74.67	0.000	***

Tableau 38 : Températures maximales au sol

	Fobs	P	
2001	153.35	0.000	***
2002	130.04	0.000	***
2003	150.51	0.000	***
2004	124.26	0.000	***

Tableau 39 : Températures dans le sol à 50 cm de profondeur

Années	Fobs	P
2001	628.20	0.000 ***
2002	1269.65	0.000 ***
2003	881.39	0.000 ***
2004	715.97	0.000 ***

Tableau 40 : Températures dans le sol à 100 cm de profondeur

Années	Fobs	P
2001	1015.12	0.000 ***
2002	1287.76	0.000 ***
2003	817.82	0.000 ***
2004	1044.85	0.000 ***

NB : *** différences très hautement significatives ($P \leq 0,001$).

II.2.3 Comparaison des températures séparées, des 4 saisons, pour les 4 années

Tableau 41 : Comparaison des températures séparées, des 4 saisons, pour les 4 années

	Hiver		Printemps		Été		Automne	
	Fobs	P	Fobs	P	Fobs	P	Fobs	P
Tn air	6.44	0.000 ***	4.27	0.006 **	3.51	0.016 *	1.53	0.207 N.S
Tx air	4.36	0.005 **	5.99	0.001 ***	4.24	0.006 **	0.39	0.759 N.S
Tn sol	3.89	0.009 **	4.34	0.005 **	8.74	0.000 ***	4.28	0.005 **
Tx sol	7.39	0.000 ***	9.93	0.000 ***	10.79	0.000 ***	3.97	0.008 **
T 50			8.77	0.000 ***	7.90	0.000 ***	1.62	0.184 N.S
T 100			12.30	0.000 ***	25.93	0.000 ***	0.98	0.402 N.S

NB : N.S : différences non significatives ($P > \alpha = 0.05$)

* : différences significatives ($P \leq \alpha = 0.05$)

** : différences hautement significatives ($P \leq \alpha = 0.01$)

*** : différences très hautement significatives ($P \leq \alpha = 0.001$)

II.2.4 Comparaison des températures des 4 saisons, pour les 4 années :

Tableau 42 : Comparaison des températures des 4 saisons, pour les 4 années

	Hiver	Printemps	Été	Automne
Fobs	291.04	291.02	635.17	140.35
P	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***

NB : *** différences très hautement significatives ($P \leq 0,001$).

En examinant les résultats des deux tableaux; 41 et 42 on peut dire que généralement il y a une grande variation des températures pour chaque variable et pour chaque saison.

II.3 Comparaison des températures moyennes dans le sol entre T50 et T100 pour chaque mois et pour chaque année à l'aide du test t de STUDENT pour échantillons associés par paires

Les résultats du test t de STUDENT pour échantillons associés par couples sont données pour l'ensemble des années dans le tableau 43, l'examen des résultats du tableau montre qu'il existe généralement des différences très hautement significatives entre la température des deux niveaux ; 50cm et 100 cm de profondeur et ceci pour la majorité des mois et pour l'ensembles des années, c'est-à-dire qu'il y a une variation de température suivant la profondeur du sol (figure 14).

En examinant les courbes de la figure en question on peut dire que la température diminue en profondeur, mais cela est valable seulement lorsqu'on parle des premiers mètres de profondeur (Guillou-Frottier, 2004).

Tableau 43 : Comparaison des températures moyennes dans le sol entre T50 et T100 pour chaque mois et pour chaque année à l'aide du test t de STUDENT pour échantillons associés par paires

2001												
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
t	23.08	7.48	10.15	2.51	9.64	3.44	29.51	11.48	7.49	6.54	38.88	25.49
P	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***	0.018 *	0.000 ***	0.002 **	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***
2002												
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
t	26.21	14.57	1.58	1.98	11.30	14.60	12.15	9.67	1.44	11.90	11.87	19.76
P	0.000 ***	0.000 ***	0.124 N.S	0.057 N.S	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***	0.161 N.S	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***
2003												
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
t	23.08	11.60	5.18	2.51	9.64	28.59	29.51	11.50	7.49	6.54	37.47	8.46
P	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***	0.018 *	0.000 ***							
2004												
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
t	13.75	7.19	1.37	0.36	8.28	10.70	19.96	14.81	1.04	5.63	26.55	18.47
P	0.000 ***	0.000 ***	0.182 N.S	0.720 N.S	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***	0.306 N.S	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***

- NB :** N.S : différences non significatives ($P > \alpha = 0.05$)
 * : différences significatives ($P \leq \alpha = 0.05$)
 ** : différences hautement significatives ($P \leq \alpha = 0.01$)
 *** : différences très hautement significatives ($P \leq \alpha = 0.001$)

II.4 Interprétation des résultats de l'analyse de la variance multi variée (MANOVA)

Les résultats de l'analyse de la variance multi variée sont donnés dans le tableau 44. Ce tableau donne les valeurs de Fobs avec les probabilités associées pour chacun des trois tests pour l'égalité des vecteurs des moyennes de l'ensemble des variables pour le même mois des quatre années.

L'analyse de ces résultats montre qu'il y a une très grande dispersion des données, c'est-à-dire qu'il existe de différences très hautement significatives pour l'ensemble des variables et pour toutes les années.

Tableau 44 : Comparaison des vecteurs de moyennes de l'ensemble des variables pour le même mois des quatre années

Tests	Jan		Fev		Mar		Avr		Mai		Jun	
	Fobs	P	Fobs	P	Fobs	P	Fobs	P	Fobs	P	Fobs	P
Wilk's	7.732	0.000	9.362	0.000	6.792	0.000	29.452	0.000	10.505	0.000	72.812	0.00
Lawley-hotelling	9.230	0.000	11.969	0.000	6.677	0.000	57.544	0.000	14.392	0.000	201.36	0.00
Fillai's	6.356	0.000	7.159	0.000	6.792	0.000	14.864	0.000	7.468	0.000	24.416	0.00

Suit tableau 44

Tests	Jui		Aou		Sep		Oct		Nov		Dec	
	Fobs	P	Fobs	P	Fobs	P	Fobs	P	Fobs	P	Fobs	P
Wilk's	22.227	0.000	14.728	0.000	55.355	0.000	12.719	0.000	3.956	0.000	4.913	0.00
Lawley-hotelling	32.954	0.000	18.365	0.000	146.58	0.000	15.039	0.000	4.162	0.000	5.012	0.00
Fillai's	14.640	0.000	11.507	0.000	23.006	0.000	10.431	0.000	3.715	0.000	4.743	0.00

NB : *** différences très hautement significatives ($P \leq 0,001$).

III Résultats de l'inflammabilité, de la combustibilité et la teneur en eau des espèces

Introduction

Inflammabilité et combustibilité : ces deux notions caractérisent le risque que présente la végétation vis-à-vis du feu.

III.1 Variation du temps d'inflammabilité et du temps de combustibilité en fonction de la teneur en eau

Pour mieux comprendre la variation du temps d'inflammabilité et du temps de combustibilité en fonction de la teneur en eau, pour chaque sortie et pour chaque espèce, nous avons porté les résultats sous forme de courbes. L'examen de ces courbes (figure 15) montre que pour la majorité des espèces, plus la teneur en eau est élevée plus les échantillons mettent du temps à s'enflammer.

Pour toutes les espèces on a pris comme exemple le mois d'avril. Le contenu en humidité pour *Crataegus azarolus* a été évalué de 62%, et pour qu'il prenne feu le végétal a mis 114 secondes et 337 secondes pour se consumer.

Asparagus acutifolius présente une teneur en eau de 74%, pour s'enflammer il a mis 112 secondes, et 327 secondes pour se consumer.

Avec une teneur en humidité de 53% *Pistacia lentiscus*, et pour le même mois a mis 125 secondes pour s'enflammer et 319 secondes se consumer. Alors que *Phillyrea media* et *Cistus villosus* ont mis respectivement 129 et 152 secondes pour s'enflammer et (382 et 357 secondes) pour se consumer, pour des teneurs en eau qui varient entre 57 et 69%.

La figure 15 montre aussi que la teneur en eau de certaines espèces n'est pas influencée par les précipitations, mais par les saisons donc de l'état de la végétation. Les teneurs en eau les plus faibles apparaissent en été, puis en hiver ; période qui correspond à l'état de vie ralentie de la plante. On prend comme exemple le mois de juillet : le pourcentage moyen de la teneur en eau est de 29% pour *Asparagus acutifolius*, 33% pour *Pistacia lentiscus* et *Quercus ilex*, 36 % pour *Phillyria angustifolia*, alors qu'il varie de 1 à 5% pour l'écorce de *Pinus halepensis*, l'écorce de *Quercus ilex* et la litière de *Pinus halepensis*, et celle de *Quercus ilex*.

Pour ce même mois, ces mêmes espèces présentent une sensibilité aux feux très remarquables qui est dû à la lignification des tissus des feuilles (figures 16 a et 16 b).

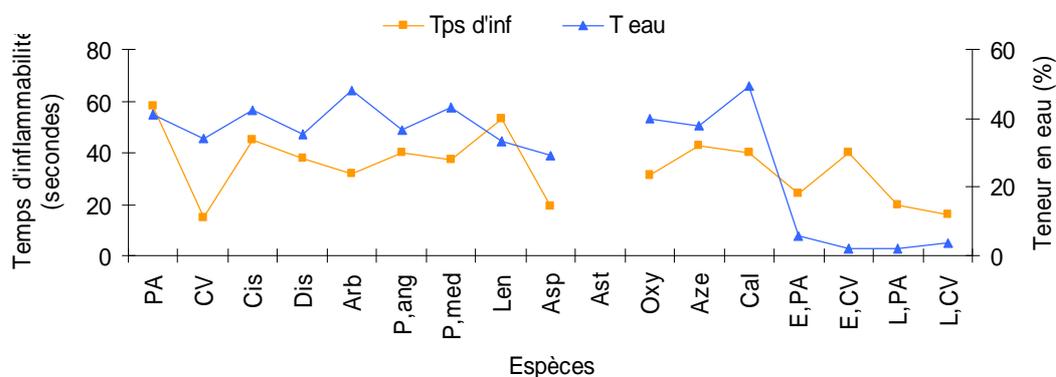


Figure 16 a : Variation du temps d'inflammabilité et de la teneur en eau des espèces végétales (Juillet).

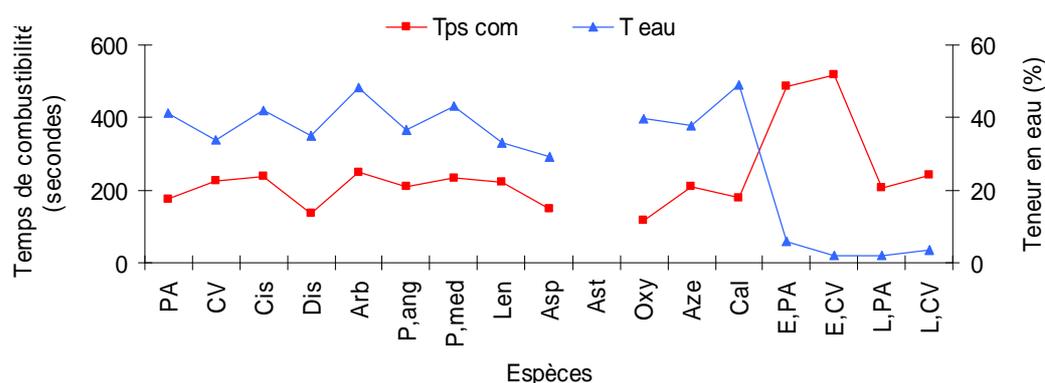


Figure 16 b : Variation du temps de combustibilité et de la teneur en eau des espèces végétales (Juillet).

L'inflammabilité du *Quercus ilex*, *Asparagus acutifolius*, l'écorce de *Pinus halepensis*, la litière de *Pinus halepensi* et celle du *Quercus ilex* est comprise seulement entre 15 et 20 secondes, quand à la combustibilité, elle oscille entre 150 et 300 secondes. Ces même résultats ont été obtenus pour les autre espèces, ce qui est dû aux fortes températures enregistrées durant ce mois (43°C). L'inflammabilité varie entre 37 et 40 secondes pour *Phillyrea media*, *Ampelodesma mauritanica*, *Phillyrea angustifolia*, *Calycotome spinosa*, l'écorce du *Quercus ilex*, et de 43 à 58 secondes pour *Crataegus azarolus*, *Cistus villosus*, *Pistacia lentiscus*, et *Pinus halepensis*.

Alors que le temps de combustibilité de ces espèces est compris entre 168 et 600 secondes.

Au printemps on a les valeurs les plus élevées de la teneur en eau au moment de la montée de la sève et de la production des feuilles

On a relevé 65% pour *Calycotome spinosa*, 63% pour *Cistus villosus*, 56% pour *Arbutus unedo* et de 52 à 53 % pour *Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, *Asparagus acutifolius* et *Astragalus armatus*. Cela est uniquement pour le mois de mars.

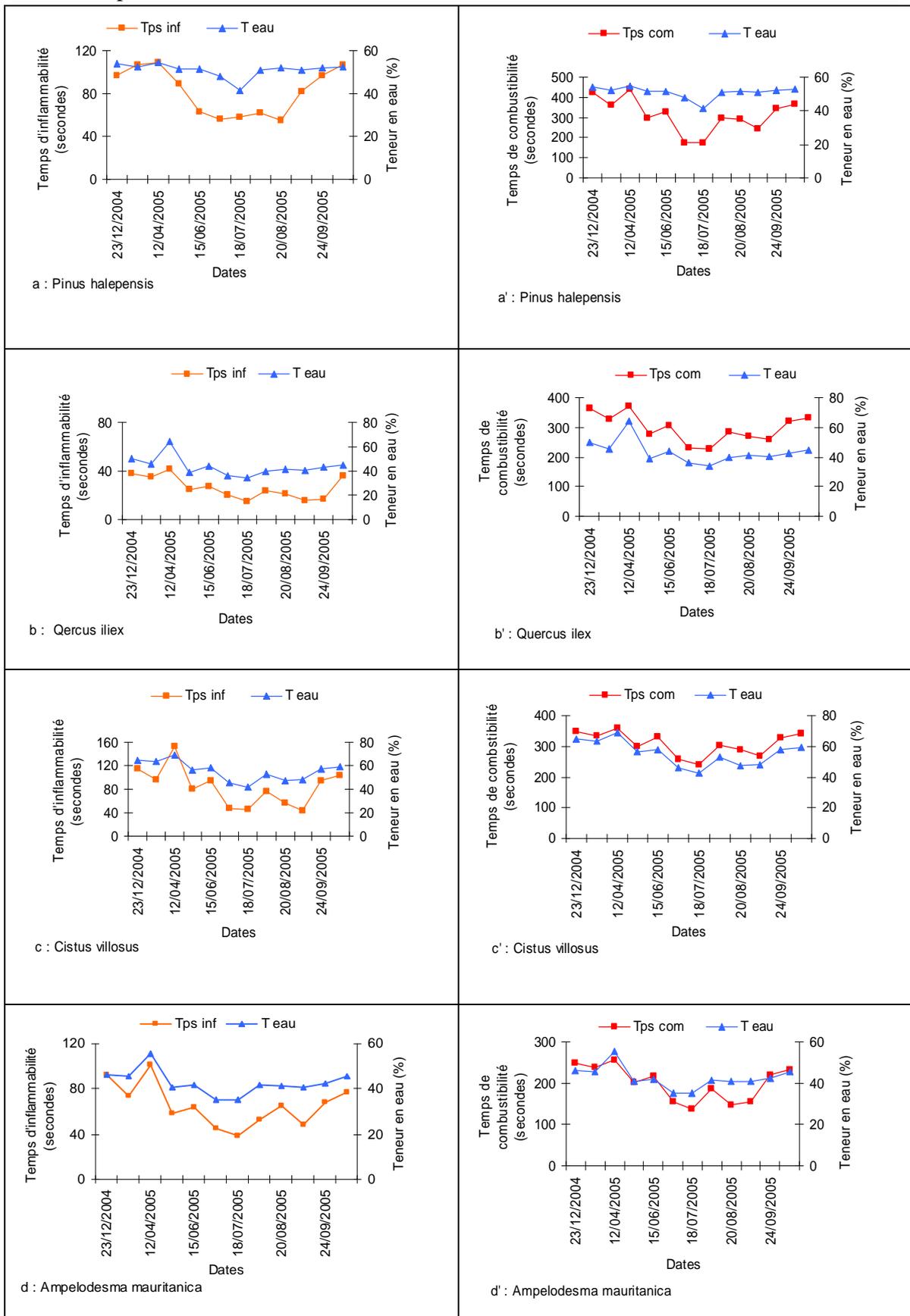
Pour se protéger de la chaleur, une partie de l'eau du sol est évaporée par les plantes (par les feuilles : évapotranspiration). En cas de sécheresse, cette évapotranspiration est complétée par la vaporisation de composés organiques dits volatils (c.o.v) essentiellement de l'isoprène pour le Chêne vert et kermès, terpène, α -Pinène pour les plantes aromatiques (Romarin, Thym) et les Pins. Ces composées sont inflammables, et à des teneurs suffisamment élevées (de l'ordre de 1% dans l'air), ils peuvent s'enflammer.

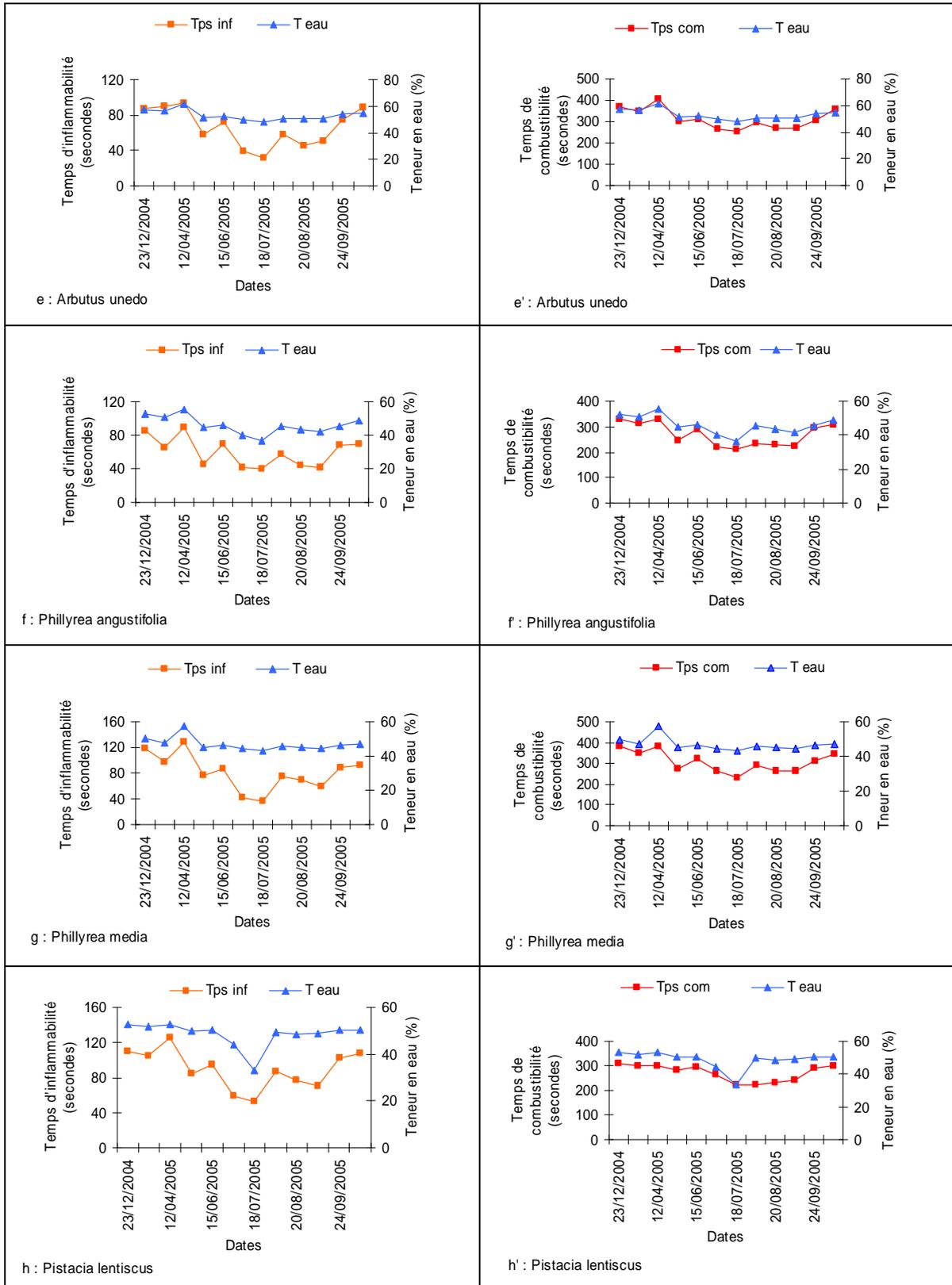
A l'approche d'un feu, la température s'élève et les plantes pour combattre cette élévation de température émettent encore plus de c.o.v : à 170°C, le Romarin émet 55 fois plus de terpène qu'à 50°C, cette température de 170°C est une température critique qui entraîne une élévation de la teneur en c.o.v suffisante pour permettre l'embrassement généralisé.

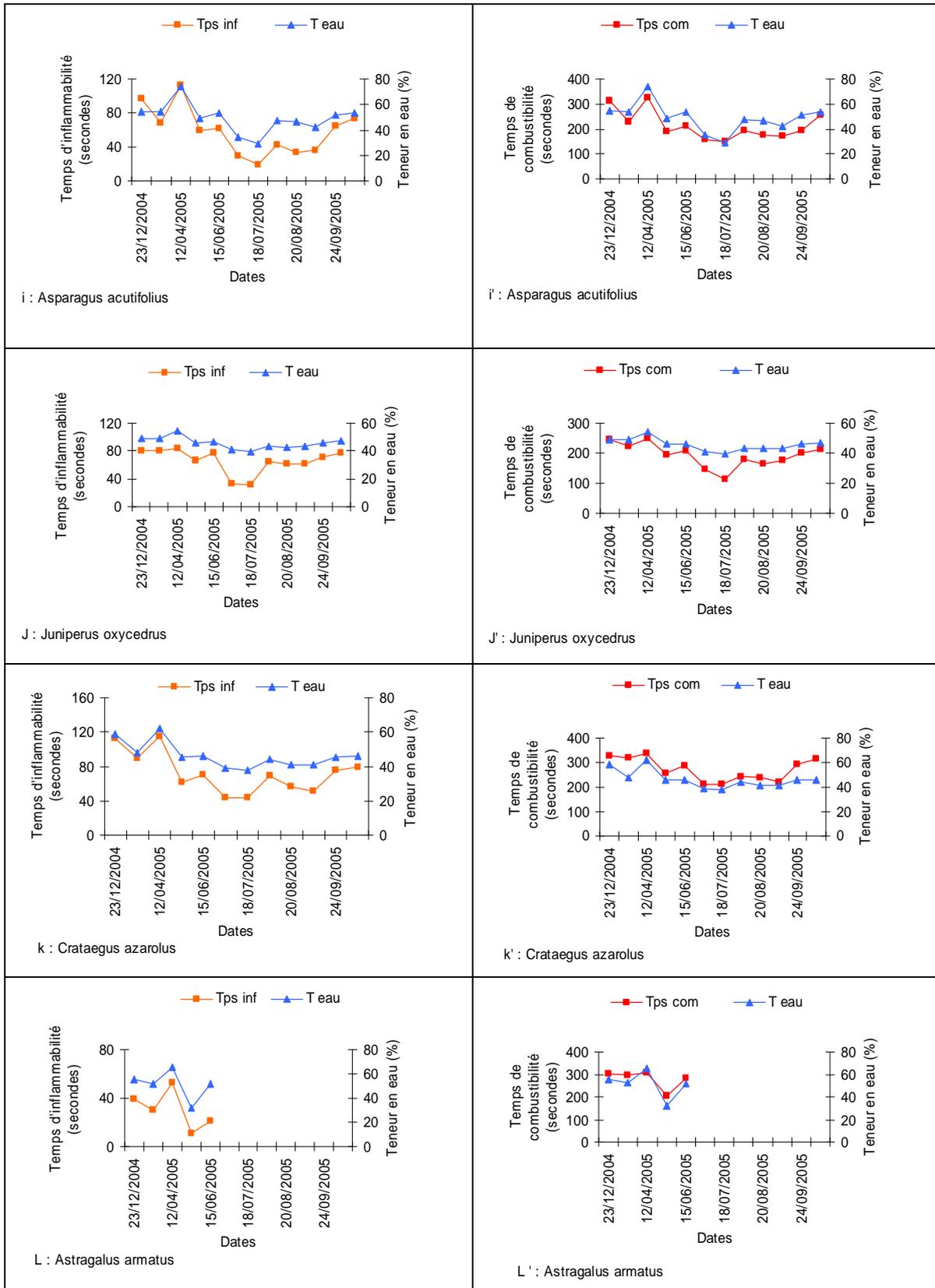
Le feu débute toujours au niveau de la litière et de la strate herbacée, puis gagne ensuite la broussaille. Si celle-ci est assez abondante, les flammes acquièrent une puissance suffisante pour échauffer la cime des arbres.

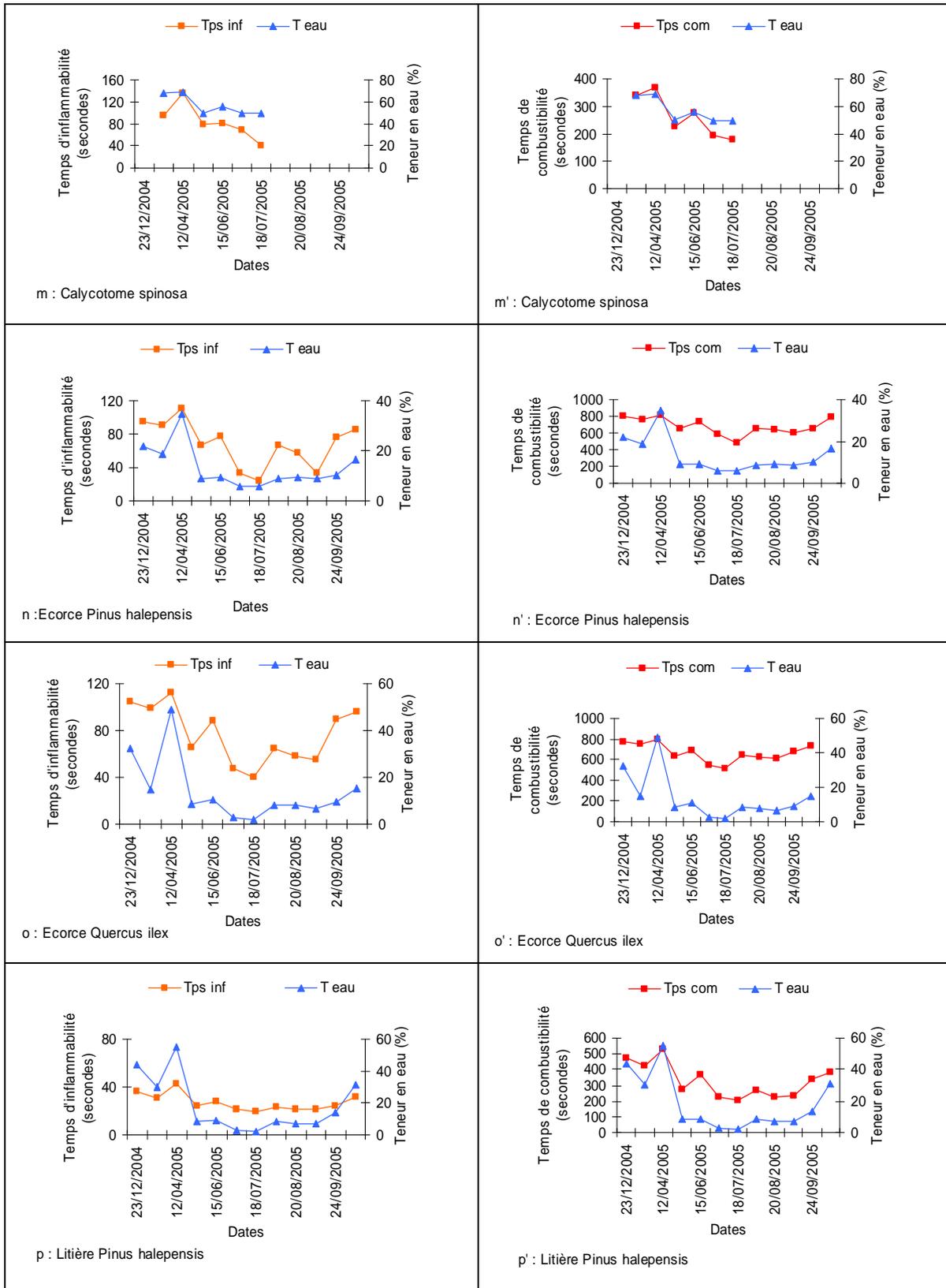
La teneur en eau du combustible végétal mort est en relation avec celle de l'air (Layec, 1989 in valette, 1990). Les feuilles mortes du *Pinus halepensis* et du *Quercus ilex* hautement inflammables surtout quand elles sont sèches (entre 1 et 3% pour le mois de Juillet), en particulier les aiguilles de *Pinus halepensis* qui prennent feu à 20 secondes. La litière du *Pinus halepensis* forme un tapis lâche propice à un embrassement rapide et même par fois instantané.

Claudot (1974), trouve aussi que le taux d'humidité des matériaux mort tend constamment vers un état d'équilibre avec l'humidité relative de l'air qui l'enveloppe.









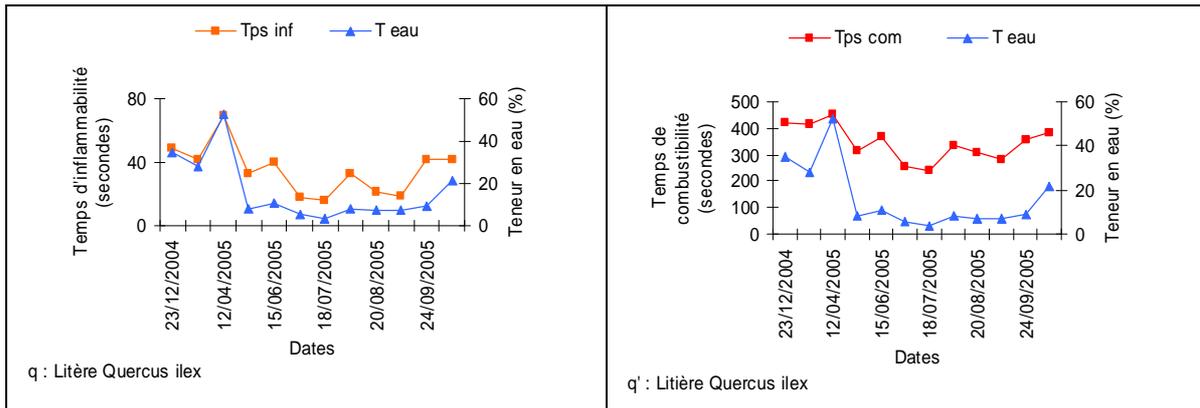


Figure 15 : Variation moyenne du temps d’inflammabilité et du temps de combustibilité en fonction de la teneur en eau pour les différentes espèces étudiées.

La litière au sol desséchée constitue le lieu de prédilection pour le départ de feux, tandis que l’étagement des diverses espèces facilite ensuite l’extension du feu à tous les niveaux. Le feu n’agit le plus souvent que sur la partie aérienne en brûlant les feuilles et les rameaux, en provoquant des lésions de l’écorce, des vaisseaux conducteurs de la sève et de l’assise cambiale. Lorsque seulement la probabilité de consommation réelle par un feu est prise en compte, les troncs et les branches étant trop gros pour être consommés, possèdent les quantités d’énergie consommables les plus faibles (Trabaud, 1985).

En examinant les courbes de la figure 17 a et 17 b on peut dire que l’écorce de *Quercus ilex* prend feu à 77 secondes alors qu’elle se consume à 665 secondes, et l’écorce de *Pinus halepensis* prend feu à 68 secondes alors qu’elle se consume à 681 secondes.

Dans les formations forestières très combustibles le risque d’éclosion dépend principalement de l’inflammabilité. Si on compare le temps d’inflammabilité des deux essences principales *Pinus halepensis* et *Quercus ilex* on peut dire que *Quercus ilex* s’enflamme toujours avant *Pinus halepensis*. *Pinus halepensis* prend feu à 80 secondes, par contre *Quercus ilex* à 60 secondes (figures 17 a et 17 b).

Le comportement au feu de ces deux essences forestières est très différent : alors que ce sont les feuilles du *Quercus ilex* qui s’enflamment très rapidement, les aiguilles du *Pinus halepensis* gorgés de résine résistent d’avantage à la flamme, mais produisent en suite un dégagement brutal de terpènes qui forme avec l’air ambiant un mélange gazeux très combustible qui s’embrase d’un seul coup, produisant des flammes immenses (plusieurs dizaines de mètres).

La composition chimique joue aussi un rôle important dans l'inflammabilité et la combustibilité d'une espèce. Selon (Trabaud, 1976, 1980, 1983 b), les huiles essentielles de certains végétaux influencent la combustion en activant la flamme, cas de *cistus* et *rosmarinus* qui sont des espèces sensibles à l'action du feu. D'après la figure 17 a et 17 b on peut dire que *Cistus villosus* a mis 83 secondes pour s'enflammer et 307 secondes pour se consumer.

Pinus halepensis et *juniperus oxycedrus* sont des résineux c'est-à-dire qu'ils contiennent de la résine qui est une composante chimique inflammable, donc ils sont très sensibles à l'action du feu. *Pistacia lentiscus* et *calycotome spinosa* forme un groupe d'espèces très combustibles.

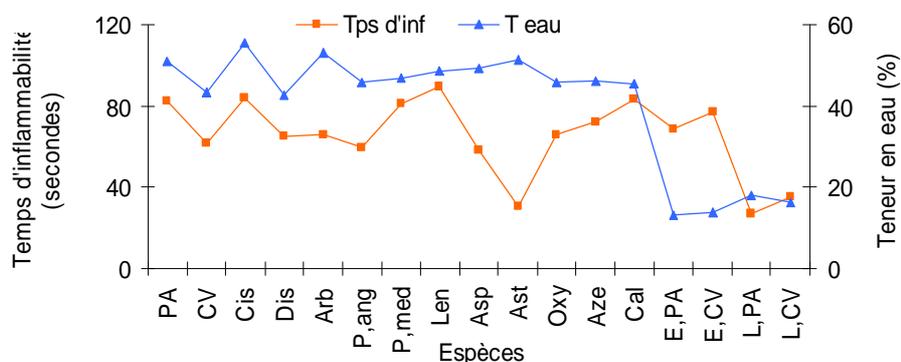


Figure 17 a : variation moyenne annuelle du temps d'inflammabilité et de la teneur en eau des espèces végétales.

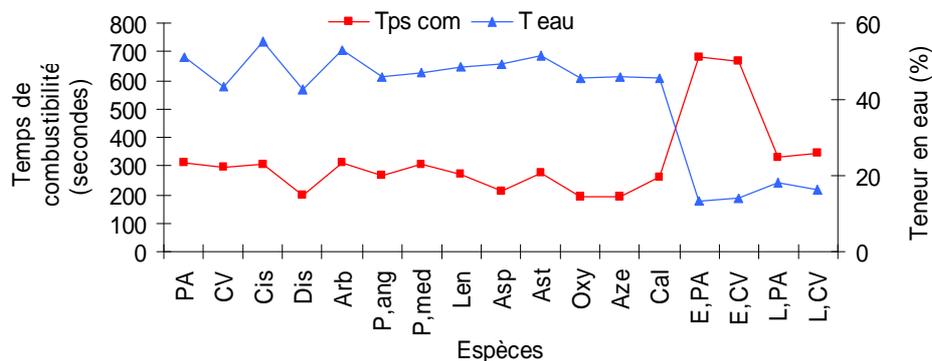


Figure 17 b : variation moyenne annuelle du temps de combustibilité et de la teneur en eau des espèces végétales.

VI Analyse statistique des données : Inflammabilité, combustibilité et la teneur en eau

VI.1 Les paramètres statistiques de base

VI.1.1 Temps d'inflammabilité

L'analyse des résultats du tableau 45 montre que d'une façon générale les temps d'inflammabilité enregistrés sont variables d'une espèce à une autre; la moyenne la plus faible est obtenue pour la litière du *Pinus halepensis* (25,44 secondes), elle constitue un combustible hautement inflammable. Les feuilles mortes ; en particulier les aiguilles des résineux là où elles se sont accumulées sur le tapis forestier, accroissent les chances de propagation du feu (Trabaud, 1974).

En dernière position on a relevé 86,38 secondes pour *Pistacia lentiscus* qui est une espèce légèrement sensible à l'action du feu (Trabaud, 1992) et 82,56 secondes pour *Calycotome spinosa*.

Tableau 45 : Temps d'inflammabilité (secondes).

Espèces	N	Moyennes	Ecart-types	Xmin-Xmax
<i>Pinus halepensis</i>	34	81.16	29.04	43.00-155.00
<i>Quercus ilex</i>	34	59.47	18.18	31.00-97.00
<i>Cistus villosus</i>	34	81.44	32.64	35.00-179.00
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	34	64.84	20.79	31.00-104.00
<i>Arbutus unedo</i>	34	66.66	30.45	23.00-143.00
<i>Phillyrea angustifolia</i>	34	59.19	20.73	27.00-100.00
<i>Phillyrea media</i>	34	79.28	29.68	23.00-153.00
<i>Pistacia lentiscus</i>	34	86.38	24.59	43.00-155.00
<i>Asparagus acutifolius</i>	34	56.66	29.14	14.00-142.00
<i>Juniperus oxycedrus</i>	34	66.81	19.31	22.00-94.00
<i>Crataegue azarolus</i>	34	70.78	25.86	34.00-132.00
<i>Astragalus armatus</i>	34	30.23	15.97	7.00-63.00
<i>Calycotome spinosa</i>	34	82.56	31.04	23.00-154.00
<i>Rosmarinus officinalis</i>	34	92.41	25.75	46.00-139.00
<i>Ecorce pinus halepensis</i>	34	68.63	28.24	15.00-124.00
<i>Ecorce quercus ilex</i>	34	77.00	24.72	36.00-118.00
<i>Litière pinus halepensis</i>	34	25.44	11.00	15.00-71.00
<i>Litière quercus ilex</i>	34	33.84	17.36	13.00-81.00

VI.1.2 Temps de combustibilité

C'est la capacité d'une espèce à propager un incendie, en examinant les résultats du tableau 46, on peut dire que l'espèce la plus combustible est *Juniperus oxycedrus* avec une moyenne de 186,31 secondes, c'est une espèce très sensible à l'action du feu (Trabaud, 1992), suivie par *Ampelodesma mauritanica* dont la moyenne arithmétique du temps de combustibilité est de 199,72 secondes, et en dernière position se place l'écorce de *Pinus halepensis* avec une moyenne de 684,3 secondes. Les pins ont une écorce pulpeuse qui se consume sans brûler (Abd el guerfi, 2003).

Tableau 46 : Temps de combustibilité (secondes)

Espèces	N	Moyennes	Ecart-types	Xmin-Xmax
<i>Pinus halepensis</i>	34	313.6	86.3	151.0-465.0
<i>Quercus ilex</i>	34	298.75	51.23	195.00-395.00
<i>Cistus villosus</i>	34	315.19	38.17	226.00-386.00
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	34	199.72	43.94	134.00-264.00
<i>Arbutus unedo</i>	34	307.94	45.67	246.00-401.00
<i>Phillyrea angustifolia</i>	34	268.72	46.14	192.00-335.00
<i>Phillyrea media</i>	34	306.72	50.34	205.00-390.00
<i>Pistacia lentiscus</i>	34	271.19	44.41	199.00-404.00
<i>Asparagus acutifolius</i>	34	210.28	58.09	141.00-333.00
<i>Juniperus oxycedrus</i>	34	186.31	54.03	119.00-256.00
<i>Crataegus azarolus</i>	34	271.22	47.46	195.00-345.00
<i>Astragalus armatus</i>	34	281.8	41.5	198.0-317.0
<i>Calycotome spinosa</i>	34	261.5	80.4	168.0-400.0
<i>Rosmarinus officinalis</i>	34	233.69	46.22	137.00-322.00
<i>Ecorce pinus halepensis</i>	34	684.3	102.8	456.0-853.0
<i>Ecorce quercus ilex</i>	34	655.7	97.2	493.0-1000.0
<i>Litière pinus halepensis</i>	34	324.2	103.5	194.0-548.0
<i>Litière quercus ilex</i>	34	345.3	72.1	215.0-528.0

VI.1.3 Teneur en eau

La teneur en eau des végétaux détermine aussi l'inflammabilité et la combustibilité des végétaux (Trabaud, 1980, 1983). Plus la teneur en eau est élevée, plus les échantillons mettent du temps à s'enflammer ; de même, une forte teneur en eau réduit la durée pendant laquelle persiste la flamme (Trabaud, 1976, 1980, 1983 b).

En examinant le tableau 47 on peut dire que les valeurs ou les moyennes de la teneur en eau les plus élevées ont été observées chez *Calycotome spinosa*, *Cistus villosus* et *Arbutus unedo*, avec un pourcentage compris entre 56,52 % et 52,84 %. Tandis que les moyennes les plu faibles ont été enregistrées pour l'écorce du *Pinus halepensis* et l'écorce du chêne vert (12%).

Tableau 47 : Teneur en eau (%)

Espèces	N	Moyennes	Ecart-types	Xmin-Xmax
<i>Pinus halepensis</i>	34	51.047	3.695	40.210-56.520
<i>Quercus ilex</i>	34	43.02	8.15	26.19-65.87
<i>Cistus villosus</i>	34	55.34	8.08	41.45-69.65
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	34	42.297	5.307	34.010-57.830
<i>Arbutus unedo</i>	34	52.844	4.015	47.030-64.410
<i>Phillyrea angustifolia</i>	34	46.048	5.569	32.080-57.540
<i>Phillyrea media</i>	34	46.512	3.688	41.610-58.310
<i>Pistacia lentiscus</i>	34	49.368	5.746	28.660-56.100
<i>Asparagus acutifolius</i>	34	48.74	11.09	28.81-76.61
<i>Juniperus oxycedrus</i>	34	45.700	4.461	33.080-56.570
<i>Crataegue azarolus</i>	34	45.89	8.04	27.93-64.11
<i>Astragalus armatus</i>	34	51.32	11.24	30.80-66.51
<i>Calycotome spinosa</i>	34	56.52	8.74	47.95-71.03
<i>Rosmarinus officinalis</i>	34	61.79	6.01	53.02-73.28
<i>Ecorce pinus halepensis</i>	34	12.28	8.29	4.46-41.24
<i>Ecorce quercus ilex</i>	34	12.42	13.32	1.92-53.64
<i>Litière pinus halepensis</i>	34	16.74	17.17	1.66-58.14
<i>Litière quercus ilex</i>	34	14.84	14.93	3.19-57.14

VI.2 Comparaison des moyennes de chacune des variables, des 12 dates de sorties pour toutes les espèces une par une

La Comparaison des moyennes de chacune des variables, des 12 sortirs pour toutes les espèces une par une a été faite à l'aide du test de l'analyse de la variance à un critère de classification.

La sensibilité de la végétation au feu est définie par l'inflammabilité (Faculté de la végétation à s'enflammer) et par la combustibilité (aptitude d'une formation végétale à propager l'incendie).

VI.2.1 Temps d'inflammabilité et de combustibilité

Les résultats obtenus pour ces deux paramètres (tableau 48 et 49) montrent qu'il existe chaque fois des différences très hautement significatives entre les deux variables ; temps d'inflammabilité et de combustibilité et les 12 dates de sorties pour la majorité des espèces. C'est-à-dire que le temps d'inflammabilité et le temps de combustibilité varient en fonction des sorties pour la plus part des espèces.

Tableau 48 : Temps d'inflammabilité (secondes)

Espèces	Fobs	P
<i>Pinus halepensis</i>	2.41	0.035 *
<i>Quercus ilex</i>	3.05	0.011 *
<i>Cistus villosus</i>	28.28	0.000 ***
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	8.05	0.000 ***
<i>Arbutus unedo</i>	3.31	0.007 **
<i>Phillyrea angustifolia</i>	4.25	0.001 ***
<i>Phillyrea media</i>	11.53	0.000 ***
<i>Pistacia lentiscus</i>	5.43	0.000 ***
<i>Asparagus acutifolius</i>	13.98	0.000 ***
<i>Juniperus oxycedrus</i>	7.93	0.000 ***
<i>Crataegue azarolus</i>	9.29	0.000 ***
<i>Astragalus armatus</i>	18.55	0.000 ***
<i>Calycotome spinosa</i>	20.27	0.000 ***
<i>Rosmarinus officinalis</i>	6.30	0.000 ***
<i>Ecorce pinus halepensis</i>	12.24	0.000 ***
<i>Ecorce quercus ilex</i>	22.13	0.000 ***
<i>Litière pinus halepensis</i>	1.41	0.230 N.S
<i>Litière quercus ilex</i>	6.32	0.000 ***

Tableau 49 : Temps de combustibilité (secondes)

Espèces	Fobs	P	
<i>Pinus halepensis</i>	26.87	0.000	***
<i>Quercus ilex</i>	9.11	0.000	***
<i>Cistus villosus</i>	4.14	0.002	**
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	14.22	0.000	***
<i>Arbutus unedo</i>	30.58	0.000	***
<i>Phillyrea angustifolia</i>	32.37	0.000	***
<i>Phillyrea media</i>	24.34	0.000	***
<i>Pistacia lentiscus</i>	3.12	0.010	**
<i>Asparagus acutifolius</i>	31.32	0.000	***
<i>Juniperus oxycedrus</i>	1.39	0.242	N.S
<i>Crataegue azarolus</i>	28.53	0.000	***
<i>Astragalus armatus</i>	38.29	0.000	***
<i>Calycotome spinosa</i>	12.81	0.000	***
<i>Rosmarinus officinalis</i>	4.99	0.000	***
<i>Ecorce pinus halepensis</i>	16.89	0.000	***
<i>Ecorce quercus ilex</i>	5.09	0.000	***
<i>Litière pinus halepensis</i>	84.54	0.000	***
<i>Litière quercus ilex</i>	11.78	0.000	***

VI.2.2 Teneur en eau

Les résultats du tableau 50 indiquent qu'ils existent des différences très hautement significatives entre la teneur en eau des végétaux et les 12 dates. Autrement dit ; la teneur en eau change d'une sortie à l'autre et cela pour toutes les espèces. Ce changement de la teneur en eau est déterminé par l'ensemble des facteurs climatiques : Une période relativement sèche (été) entraîne un abaissement sensible, tant que une période humide (précipitation ou humidité relative de l'air élevée) accroît la turgescence des feuilles (Trabaud, 1980, 1983).

Tableau 50 : Teneur en eau (%)

Espèces	Fobs	P
<i>Pinus halepensis</i>	7.38	0.000 ***
<i>Quercus ilex</i>	17.12	0.000 ***
<i>Cistus villosus</i>	190.38	0.000 ***
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	53.96	0.000 ***
<i>Arbutus unedo</i>	30.37	0.000 ***
<i>Phillyrea angustifolia</i>	12.44	0.000 ***
<i>Phillyrea media</i>	30.97	0.000 ***
<i>Pistacia lentiscus</i>	11.53	0.000 ***
<i>Asparagus acutifolius</i>	55.38	0.000 ***
<i>Juniperus oxycedrus</i>	6.74	0.000 ***
<i>Crataegue azarolus</i>	9.91	0.000 ***
<i>Astragalus armatus</i>	43.51	0.000 ***
<i>Calycotome spinosa</i>	92.44	0.000 ***
<i>Rosmarinus officinalis</i>	33.04	0.000 ***
<i>Ecorce pinus halepensis</i>	44.70	0.000 ***
<i>Ecorce quercus ilex</i>	189.5	0.000 ***
<i>Litière pinus halepensis</i>	120.35	0.000 ***
<i>Litière quercus ilex</i>	62.41	0.000 ***

NB : N.S : différences non significatives ($P > \alpha = 0.05$)

* : différences significatives ($P \leq \alpha = 0.05$)

** : différences hautement significatives ($P \leq \alpha = 0.01$)

*** : différences très hautement significatives ($P \leq \alpha = 0.001$)

VI.3 Comparaison des moyennes de chacune des variables pour l'ensemble des espèces et pour les 12 dates

Les résultats du test d'analyse de la variance à un critère de classification utilisé aussi pour comparer les moyennes de chacune des variables pour l'ensemble des espèces et pour les 12 dates, montrent qu'il existe à chaque fois des différences très hautement significatives (tableau 51), c'est-à-dire que les moyennes de ces trois variables change ou varie en fonction des sorties et cela pour l'ensemble des espèces.

Tableau 51 : Comparaison des moyennes de chacune des variables pour l'ensemble des espèces et pour les 12 dates, à l'aide de l'analyse de la variance a un critère de classification

Variables	Fobs	P
Temps d'inflammabilité	18.12	0.000 ***
Temps de combustibilité	172.28	0.000 ***
Teneur en eau	113.19	0.000 ***

NB : *** différences très hautement significatives ($P \leq 0,001$).

VI.4 Interprétation des résultats de l'AV2

VI.4.1 Comparaison des moyennes entre *Pinus halepensis* et *Quercus ilex* pour chacune des trois variables

L'examen des résultats du tableau 52 montres qu'il existe à chaque fois deux valeurs de Fobs et de P ; la première est donnée pour les dates et la deuxième valeur est affectée aux deux espèces comparées. Donc si on compare *Pinus halepensis* et *Quercus ilex* entre eux on trouve qu'il existe des différences très hautement significatives pour les trois variables. Et cela seulement pour la première valeur ; c'est-à-dire que ces trois variables changent au cours des 12 dates de sorties.

On peut dire aussi que pour les deux variables : temps d'inflammabilité et teneur en eau, il existe une différence très hautement significative entre *Pinus halepensis* et *Quercus ilex* alors qu'elle est non significative pour le temps de combustibilité.

Tableau 52 : Comparaison des moyennes entre *Pinus halepensis* et *Quercus ilex* pour chacune des trois variables, pour les 12 dates à l'aide de l'analyse de la variance à deux critères ; modèle croisé fixe :

Variables	Fobs	P
Temps d'inflammabilité	4.92	0.000 ***
	24.77	0.000 ***
Temps de combustibilité	24.82	0.000 ***
	3.59	0.063 N.S
Teneur en eau	9.38	0.000 ***
	54.88	0.000 ***

VI.4.2 Comparaison des moyennes entre écorce *Pinus halepensis* et écorce *Quercus ilex*

L'analyse des résultats du Tableau 53 montre que d'une façon générale il existe aussi des différences très hautement significatives entre l'écorce de *Pinus halepensis* et l'écorce de *Quercus ilex*, et cela c'est pour la première valeur (dates), des trois variables.

La comparaison entre écorce *Pinus halepensis* et écorce *Quercus ilex* montre aussi que pour la première variable

- Temps d'inflammabilité: il existe une différence hautement significative.
- Temps de combustibilité : il n'existe pas une différence significative.
- Teneur en eau : il n'existe pas de différences significatives.

Entre les deux écorces. Autrement dit ; ils ont pratiquement le même pourcentage en humidité.

Tableau 53 : Comparaison des moyennes entre écorce *Pinus halepensis* et écorce *Quercus ilex* pour chacune des trois variables, pour les 12 dates à l'aide de l'analyse de la variance à deux critères ; modèle croisé fixe :

Variables	Fobs	P	
Temps d'inflammabilité	31.33	0.000	***
	10.23	0.002	**
Temps de combustibilité	19.46	0.000	***
	3.10	0.083	N.S
Teneur en eau	56.01	0.000	***
	0.84	0.363	N.S

VI.4.3 Comparaison des moyennes entre litière *Pinus halepensis* et litière *Quercus ilex* pour chacune des trois variables

Les résultats obtenus pour la comparaison entre litière *Pinus halepensis* et litière *Quercus ilex* (tableau 54) montrent qu'ils existent toujours, des différences très hautement significatives pour la première valeur (dates de sorties) des trois variables.

Par contre si on analyse la deuxième valeur on peut dire que la différence est seulement significative pour le temps de combustibilité et la teneur en eau, et très hautement significative pour la variable temps d'inflammabilité.

Tableau 54 : Comparaison des moyennes entre litière *Pinus halepensis* et litière *Quercus ilex* pour chacune des trois variables, pour les 12 dates à l'aide de l'analyse de la variance à deux critères ; modèle croisé fixe.

Variables	Fobs	P	
Temps d'inflammabilité	6.55	0.000	***
	11.75	0.001	***
Temps de combustibilité	37.47	0.000	***
	4.26	0.043	*
Teneur en eau	129.33	0.000	***
	-4.25	0.044	*

NB : N.S : différences non significatives ($P > \alpha = 0.05$)

* : différences significatives ($P \leq \alpha = 0.05$)

** : différences hautement significatives ($P \leq \alpha = 0.01$)

*** : différences très hautement significatives ($P \leq \alpha = 0.001$)

VI.5 Recherche de groupes d'espèces homogènes, pour chaque variable

VI.5.1 Liste des espèces et leurs symboles

Espèces	Symboles	Espèces	Symboles
- <i>Pinus halepensis</i>	-PA	- <i>Astragalus armatus</i>	-Ast
- <i>Quercus ilex</i>	-CV	- <i>Juniperus oxycedrus</i>	-Oxy
- <i>Cistus villosus</i>	-Cis	- <i>Crataegus azarolus</i>	-Aze
- <i>Ampelodesma mauritanica</i>	-Dis	- <i>Calycotome spinosa</i>	-Cal
- <i>Arbutus unedo</i>	-Arb	-Ecorce <i>Pinus halepensis</i>	-E.PA
- <i>Phillyrea angustifolia</i>	-F.ang	-Ecorce <i>Quercus ilex</i>	-E.CV
- <i>Phillyrea media</i>	-F.med	-Litière <i>Pinus halepensis</i>	-L.PA
- <i>Pistacia lentiscus</i>	-Len	- Litière <i>Quercus ilex</i>	-L.CV
- <i>Asparagus acutifolius</i>	-Asp		

VI.5.2 Comparaisons multiples de moyennes

L'utilisation de la méthode de la plus petite différence significative (p.p.d.s) pour déterminer les groupes d'espèces homogènes entre eux a donné 07 groupes d'espèces homogènes pour les deux variables : temps d'inflammabilité et teneur en eau, et 06 groupes pour la variable temps de combustibilité. Pour chacune des trois variables les groupes sont classés de la manière suivante, par ordre décroissant (figures 18, 19 et 20).

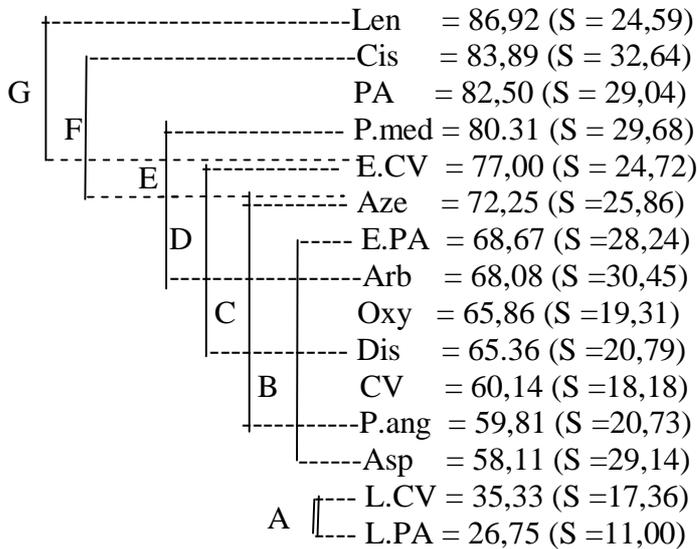


Figure 18 : Groupes d'espèces homogènes pour le paramètre temps d'inflammabilité

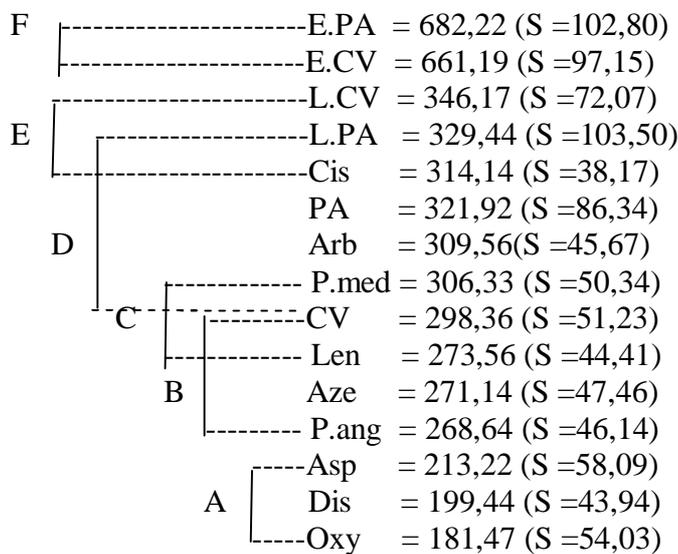


Figure 19 : Groupes d'espèces homogènes pour le paramètre temps de combustibilité

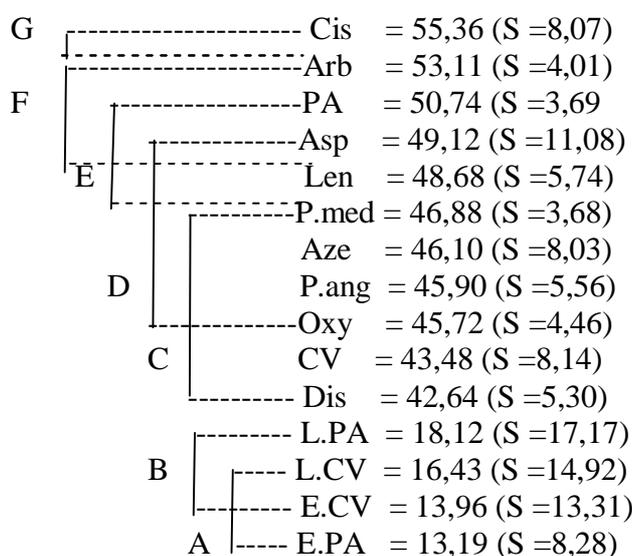


Figure 20 : Groupes d'espèces homogènes pour le paramètre teneur en eau

La distribution des groupes pour chacune des trois variables est donnée par le tableau 55.

Tableau 55 : Répartition des espèces par groupes homogènes selon la méthode de la p.p.d.s

Temps d'inflammabilité		Temps de combustibilité		Teneur en eau	
Groupes	Espèces	Groupes	Espèces	Groupes	Espèces
A	L.PA, L.CV	A	Oxy, Dis, Asp	A	E.PA, E.CV, L.CV
B	Asp, P.ang, CV, Dis, Oxy, Arb, E.PA	B	P.ang, Aze, Len, CV	B	E.CV, L.CV, L.PA
C	P.ang, CV, Dis, Oxy, Arb, E.PA, Aze	C	Len, CV, P.med	C	Dis, CV, Oxy, P.ang, Aze, P.med
D	Dis, Oxy, Arb, E.PA, E.CV, Aze	D	CV, P.med, Arb, PA, Cis, L.PA	D	Oxy, P.ang, Aze, P.med, Len, Asp
E	Arb, E.pa, Aze, E.CV, P.ang	E	Cis, L.PA, L.CV	E	P.med, Len, Asp, PA
F	Aze, E.cv, P.med, PA, Cis	F	E.CV, E.PA	F	Len, Asp, PA, Arb
G	E.CV, P.med, PA, Cis, Len			G	Arb,Cis

NB : La répartition des espèces par groupes a été effectuée seulement pour 15 espèces, excepté *Astragalus armatus* et *calycotome spinosa*, pour manque de données.

Les recherches poursuivies par Delabraze, 1985 et Trabaud, 1989, 1992 ont permis de classer les différentes espèces arbustives et arborescentes en fonction de leur inflammabilité.

- **Essences très inflammable toute l'année**

Quercus ilex, *Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia* et *Clycotome spinosa*.

- **Essences moins inflammables**

Phillyrea media, *Cistus villosus*, *Pistacia lentiscus*, *Juniperus oxycedrus*, *Abbutus unedo*.

VI.6 Analyse des corrélations entre les trois variables

Les calculs des corrélations ont été effectués, d'une part entre le temps d'inflammabilité et de combustibilité, le temps d'inflammabilité et la teneur en eau, et d'autre part, entre le temps de combustibilité et la teneur en eau pour toutes les espèces (tableau 56). Le tableau en question présente les corrélations et les valeurs de la probabilité «P» correspondante.

L'analyse des résultats du tableau 56 montre que globalement, il existe des corrélations très hautement significatives entre les trois variables, pour toutes les espèces excepté, *Pinus halepensis* et *Juniperus oxycedrus* qui ne montrent pas une nette variation de la teneur en eau tout au long de l'année, elle reste relativement constante. Donc, les espèces les plus sensibles à la variation de la teneur en eau sont ; les graminées et les petits ligneux bas (Trabaud, 1980, 1983).

VI.7 Interprétation des résultats de la MANOVA

Les résultats de l'analyse de la variance multi variée sont donnés dans les tableaux 57 et 58, ces tableaux donnent les valeurs de Fobs et les probabilités associées, pour chacun des trois tests.

Tableau 56 : Matrice des corrélations calculées entre les trois variables deux à deux pour les 17 espèces

PA			CV			Cis			Dis			Arb			P.ang				
	X1	X2	X3		X1	X2	X3		X1	X2	X3		X1	X2	X3		X1	X2	X3
X1	1			X1	1			X1	1			X1	1			X1	1		
X2	0.447 (0.006)**	1		X2	0.624 (0.000)***	1		X2	0.739 (0.000)***	1		X2	0.703 (0.000)***	1		X2	0.721 (0.000)***	1	
X3	0.401 (0.015)*	0.579 (0.000)***	1	X3	0.545 (0.001)***	0.758 (0.000)***	1	X3	0.918 (0.000)***	0.714 (0.000)***	1	X3	0.804 (0.000)***	0.756 (0.000)***	1	X3	0.660 (0.000)***	0.892 (0.000)***	1
P.med			Len			Asp			Oxy			Aze			Ast				
	X1	X2	X3		X1	X2	X3		X1	X2	X3		X1	X2	X3		X1	X2	X3
X1	1			X1	1			X1	1			X1	1			X1	1		
X2	0.835 (0.000)***	1		X2	0.551 (0.000)***	1		X2	0.852 (0.000)***	1		X2	0.429 (0.000)***	1		X2	0.788 (0.000)***	1	
X3	0.717 (0.000)***	0.751 (0.000)***	1	X3	0.580 (0.000)***	0.567 (0.000)***	1	X3	0.868 (0.000)***	0.818 (0.000)***	1	X3	0.612 (0.000)***	0.380 (0.022)*	1	X3	0.739 (0.000)***	0.752 (0.000)***	1
Cal			E.PA			E.CV			L.PA			L.CV							
	X1	X2	X3		X1	X2	X3		X1	X2	X3		X1	X2	X3				
X1	1			X1	1			X1	1			X1	1						
X2	0.768 (0.000)***	1		X2	0.799 (0.000)***	1		X2	0.751 (0.000)***	1		X2	0.552 (0.000)***	1					
X3	0.783 (0.000)***	0.845 (0.000)***	1	X3	0.744 (0.000)***	0.734 (0.000)***	1	X3	0.748 (0.000)***	0.686 (0.000)***	1	X3	0.587 (0.000)***	0.919 (0.000)***	1				

N.B : * : corrélation significative au niveau $\alpha = 0.05$ ($P \leq 0.05$)

** : corrélation hautement significative au niveau $\alpha = 0.01$ ($P \leq 0.01$)

*** : corrélation très hautement significative au niveau $\alpha = 0.001$ ($P \leq 0.001$)

- Les valeurs de P figure entre parenthèse.

X1 : Temps d'inflammabilité

X2 : Temps de combustibilité

X3 : Teneur en eau

VI.7.1 Comparaison des vecteurs de moyennes des trois variables des

12 dates pour chacune des espèces

Puisque le test de Wilks est le plus populaire (Hubety, 1994). Nous allons prendre en considération que les résultats du test en question. A ce propos on peut dire qu'il existe à chaque fois des différences très hautement significatives entre les trois variables et les 12 dates de sorties pour chaque espèce (tableau 57).

Tableau 57 : Comparaison des vecteurs de moyennes, des trois variables des 12 dates pour chacune des espèces à l'aide de l'analyse de la variance multi variée

Espèces	Tests	Fobs	P	
<i>Pinus halepensis</i>	Wilk's	7.049	0.000	***
	Lawley-hotelling	18.335	0.000	***
	Fillai's	3.196	0.000	***
<i>Quercus ilex</i>	Wilk's	4.405	0.000	***
	Lawley-hotelling	7.125	0.000	***
	Fillai's	2.929	0.000	***
<i>Cistus villosus</i>	Wilk's	11.197	0.000	***
	Lawley-hotelling	58.963	0.000	***
	Fillai's	3.073	0.000	***
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	Wilk's	8.386	0.000	***
	Lawley-hotelling	21.642	0.000	***
	Fillai's	3.673	0.000	***
<i>Arbutus unedo</i>	Wilk's	5.885	0.000	***
	Lawley-hotelling	17.484	0.000	***
	Fillai's	2.288	0.002	**
<i>Phillyrea angustifolia</i>	Wilk's	5.291	0.000	***
	Lawley-hotelling	13.831	0.000	***
	Fillai's	2.292	0.002	**
<i>Phillyrea media</i>	Wilk's	9.949	0.000	***
	Lawley-hotelling	36.376	0.000	***
	Fillai's	3.354	0.000	***
<i>Pistacia lentiscus</i>	Wilk's	3.696	0.000	***
	Lawley-hotelling	5.553	0.000	***
	Fillai's	2.421	0.001	**
<i>Asparagus acutifolius</i>	Wilk's	10.939	0.000	***
	Lawley-hotelling	24.452	0.000	***
	Fillai's	4.354	0.000	***
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Wilk's	3.122	0.000	***
	Lawley-hotelling	5.592	0.000	***
	Fillai's	1.844	0.016	*
<i>Crataegue azarolus</i>	Wilk's	6.240	0.000	***
	Lawley-hotelling	19.140	0.000	***
	Fillai's	2.303	0.002	**
<i>Astragalus armatus</i>	Wilk's	13.078	0.000	***
	Lawley-hotelling	25.922	0.000	***
	Fillai's	5.634	0.000	***

<i>Calycotome spinosa</i>	Wilk's	14.462	0.000	***
	Lawley-hotelling	71.578	0.000	***
	Fillai's	3.276	0.002	**
<i>Ecorce Pinus halepensis</i>	Wilk's	9.778	0.000	***
	Lawley-hotelling	25.447	0.000	***
	Fillai's	4.005	0.000	***
<i>Ecorce Quercus ilex</i>	Wilk's	15.566	0.000	***
	Lawley-hotelling	72.103	0.000	***
	Fillai's	3.644	0.000	***
<i>Litière Pinus halepensis</i>	Wilk's	14.299	0.000	***
	Lawley-hotelling	95.488	0.000	***
	Fillai's	2.857	0.000	***
<i>Litière Quercus ilex</i>	Wilk's	7.532	0.000	***
	Lawley-hotelling	20.400	0.000	***
	Fillai's	3.199	0.000	***

NB : N.S : différences non significatives ($P > \alpha = 0.05$)
* : différences significatives ($P \leq \alpha = 0.05$)
** : différences hautement significatives ($P \leq \alpha = 0.01$)
*** : différences très hautement significatives ($P \leq \alpha = 0.001$)

VI.7.2 Comparaison des vecteurs de moyennes des trois variables, Pour les 15 espèces et pour les 12 dates

Les résultats du tableau 58 montrent qu'il existe aussi des différences très hautement significatives si on compare la moyenne des trois variables pour les 12 dates de sorties et pour toutes les espèces excepté *Calycotome spinosa* et *Astragalus armatus*, par manque de données.

Tableau 58 : Comparaison des vecteurs de moyennes des trois variables, pour les 15 espèces et pour les 12 dates à l'aide de l'analyse de la variance multi variée.

Tests	Fobs	P	
Wilk's	96.981	0.000	***
Lawley-hotelling	3000.043	0.000	***
Fillai's	36.615	0.000	***

NB : *** différences très hautement significatives ($P \leq 0,001$).

Comme la sensibilité de la végétation aux incendies est définie par l'inflammabilité et la combustibilité, nous avons classé nos espèces selon ces deux critères, à l'aide des résultats obtenus par le traitement statistique.

1- L.PA	6- Dis	10- P.ang	14- Len
2- L.CV	7- PA	11- Aze	15- Cis
3- Asp	8- Oxy	12- P.med	16- E.PA
4- Ast	9- CV	13- Arb	17- E.CV
5- Cal			

V Le risque feu de forêt

La définition du risque d'incendie équivaut à la probabilité de déclenchement d'un feu selon les conditions de base de la forêt. Cette probabilité peut être obtenue à partir d'une distribution de fréquence comprenant le plus grand nombre possible de données.

V.1 Evaluation du risque d'incendie (la méthode du CEMAGREF)

V.1.1 Stations incendiées

- **Première station** (gaulis de Pin d'Alep, S = 6,60 ha)

73 % de PA + 16% d'arbuste (dominance de *Phillyrea angustifolia*)
+ 80% de strate herbacée + 80% de litière.

- * **Calcul de IC :** $IC = 39 + 2,3 \times BV (E_1 + E_2 - 7,18)$

$$BV = \frac{73+16+80+80}{100} = 2,94 \%$$

ü Les notes de combustibilité sont :

$E_1 = 8$ pour *Pinus halepensis*

$E_2 = 5$ pour *Phillyrea angustifolia*

$$IC_1 = 39 + 2,3 \times 2,49 \times (8 + 5 - 7,18) = 72,33$$

- **Deuxième station** (fourré mixte de Pin d'Alep + Chêne vert, S = 6,60 ha)

53 % de PA + 14% de CV + 23 % d'arbuste (dominance de *Phillyrea angustifolia*) + 35 % de strate herbacée + 70 % de litière.

$$BV = \frac{35+14+23+70}{100} = 1,77 \%$$

Ü Les notes de combustibilité sont :

$$E_1 = 8 \text{ pour } Pinus halepensis$$

$$E_2 = 7 \text{ pour } Quercus ilex$$

$$IC_2 = 39 + 2,3 \times 1,77 \times (8 + 5 - 7,18) = 70,83$$

- **Troisième station** (fourré de Chêne vert, $S = 6,72$ ha)

53% de CV + 33 % d'arbuste (dominance de *Phillyrea angustifolia*)

+ 75 % de strate herbacée + 60 % de litière.

$$BV = \frac{16 + 33 + 60 + 75}{100} = 1,84 \%$$

Ü Les notes de combustibilité sont :

$$E_1 = 7 \text{ pour } Quercus ilex$$

$$E_2 = 7 \text{ pour } Phillyrea angustifolia$$

$$IC_3 = 39 + 2,3 \times 1,84 \times (5 + 7 - 7,18) = 59,39$$

- * **Calcul de l'indice de combustibilité pondéré (ICM) :**

$$ICM = \frac{1}{ST} [(S_1 \times IC_1) + (S_2 \times IC_2) + \dots]$$

$$ICM = \frac{1}{15,62} [(6,60 \times 72,33) + (2,30 \times 70,83) + (6,72 \times 59,35)]$$

$$= 66,54$$

$$RMA = 0.1 \times ICM - 3$$

$$RMA = 6,35 \approx 6 \% \dots \dots \dots \text{Risque très sévère.}$$

V.1.2 Stations non incendiées

- **Première station** (jeune futaie de Pin d'Alep, $S = 1,3$ ha)

25 % de PA + 10% d'arbuste (dominance de *Juniperus oxycedrus*) +

90% de strate herbacée + 75 % de litière.

- * **Calcul de IC : $IC = 39 + 2,3 \times BV (E_1 + E_2 - 7,18)$**

$$BV = \frac{25 + 10 + 75 + 90}{100} = 2 \%$$

ü Les notes de combustibilité sont :

$$E_1 = 8 \text{ pour } Pinus halepensis$$

$$E_2 = 7 \text{ pour } Juniperus oxycedrus$$

$$IC_1 = 39 + 2,3 \times 2 \times (8 + 7 - 7,18) = 74,97$$

- **Deuxième station** (Garigue de Chêne vert, S = 15 ha)

54 % de CV + 48 % d'arbuste (dominance de *Juniperus oxycedrus*)

+ 90 % de strate herbacée + 90 % de litière.

$$BV = \frac{54 + 48 + 90 + 90}{100} = 2,82 \%$$

ü Les notes de combustibilité sont :

$$E_1 = 7 \text{ pour } Quercus ilex$$

$$E_2 = 7 \text{ pour } Juniperus oxycedrus$$

$$IC_2 = 39 + 2,3 \times 2,82 \times (7 + 7 - 7,18) = 83,23$$

- * **Calcul de l'indice de combustibilité pondéré (ICM) :**

$$ICM = \frac{1}{ST} [(S_1 \times IC_1) + (S_2 \times IC_2) + \dots]$$

$$ICM = \frac{1}{16,3} [(1,3 \times 74,97) + (15 \times 83,23)]$$

$$= 82,57$$

$$RMA = 0,1 \times ICM - 3$$

$$RMA = 7,95 \approx 8 \% \dots \text{Risque très sévère.}$$

V.1.3 L'évaluation du risque pour les cinq stations ensemble

$$IC_1 = 72,33 \text{ (6,60 ha)}$$

$$IC_2 = 70,83 \text{ (2,30 ha)}$$

$$IC_3 = 59,39 \text{ (6,72 ha)}$$

$$IC_4 = 74,97 \text{ (1,3 ha)}$$

$$IC_5 = 83,23 \text{ (15 ha)}$$

$$ICM = \frac{1}{32} [(6,60 \times 72,33) + (2,30 \times 70,83) + (6,72 \times 59,35) + (1,3 \times 74,97) +$$

$$(15 \times 83,23)]$$

$$= 74,54$$

$$RMA = 7,15 \approx 7 \% \dots \text{Risque très sévère.}$$

V.1.4 L'évaluation du risque pour l'ensemble de la forêt

La forêt domaniale de Chettabah est constituée de 410 ha futaie de Pin d'alep, 898 ha matorral de Chêne vert, 930 ha de jeune peuplement (figure 21).

Afin d'évaluer le risque global du massif forestier, nous avons procédé par extrapolation des biovolumes obtenus pour les stations d'études à ceux de l'ensemble de la forêt.

- **Futaie de Pin d'alep**

25 % de PA + 10% d'arbuste (dominance de *Juniperus oxycedrus*) +
90% de strate herbacée + 75 % de litière.

$$IC_1 = 74,97$$

- **Matorral de Chêne vert**

54 % de CV + 48 % d'arbuste (dominance de *Juniperus oxycedrus*)
+ 90 % de strate herbacée + 90 % de litière.

$$IC_2 = 83,23$$

- **Jeune régénération** (mixte composée de Pin d'Alep + Chêne vert)

53 % de PA + 14% de CV + 23 % d'arbuste (dominance de *Phillyrea angustifolia*) + 35 % de strate herbacée + 70 % de litière.

$$IC_3 = 70,83$$

- * **Calcul de l'indice de combustibilité pondéré du massif (ICM) :**

$$ICM = \frac{1}{ST} [(S_1 \times IC_1) + (S_2 \times IC_2) + \dots]$$

$$ICM = \frac{1}{2398} [(410 \times 74,97) + (898 \times 83,23) + (930 \times 70,83)]$$

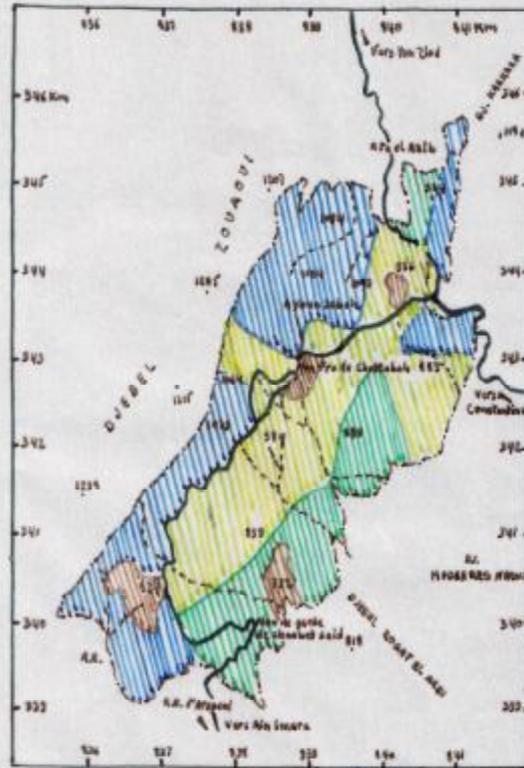
$$= 71,45$$

$$RMA = 0.1 \times ICM - 3$$

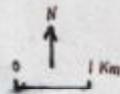
$$RMA = 6,84 \approx 7 \% \dots\dots\dots \text{Risque très sévère.}$$

Il faut rappeler que la connaissance du risque demeure le meilleur outil de gestion en matière de surveillance et d'intervention.

FIG. 31 : CARTE DE VEGETATION



-  Ruisseau
-  Matorral de chênes verts
-  Limite du terrain d'étude
-  Futaie de pin d'Alep
-  Oued
-  Jeune régénération.
-  Point coté
-  Enclave



Source : Extrait de la carte topographique de Constantine au 1/50.000 (feuille n°73).

Conclusion

Conclusion

Le feu est une force écologique ancienne et universelle qui a modelé la plus part des communautés végétales des paysages du bassin méditerranéen.

Associé à l'action du climat et aux formes topographiques, l'incendie a contribué à créer, de façon prépondérante, les types de végétation qui croissent autour de la méditerranée.

Nous avons tenté au cours de ce présent travail d'apporter une contribution nouvelle à la connaissance de la sensibilité de la végétation forestière aux incendies, au sein du massif forestier de Chettabah qui est constitué de 745 ha de *Pinus halepensis* et de 1127 ha de *Quercus ilex*.

Au terme de ce travail, nous pouvons conclure au vu des résultats obtenus que :

- L'analyse des données thermiques montre que : durant la période 2001-2004 on a enregistré de fortes températures de l'air comprise entre 39 à 43°C. Tandis que, celles de la surface du sol atteignaient 52 °C pendant la saison estivale, donc des températures très favorables aux éclosions des feux.

- La sensibilité du feuillage à la chaleur dépend de l'espèce. Les tests d'inflammabilité le montrent et ceux de la combustibilité le confirment.

La période la plus critique des incendies est la saison estivale (Juin, Juillet, Août), l'inflammabilité est de 60 secondes pour *Pinus halepensis* et 20 secondes pour *Quercus ilex*. Quant à la combustibilité elle oscille entre 200 et 400 secondes pour *Pinus halepensis* et 200 – 300 secondes pour *Quercus ilex*, le paramètre teneur en eau est environ de 50% pour *Pinus halepensis* et 39% pour *Quercus ilex*. Les litières présentent des temps d'inflammabilité inférieur à 30 secondes et des temps de combustibilité de 300 secondes (figures 22 a et 22 b).

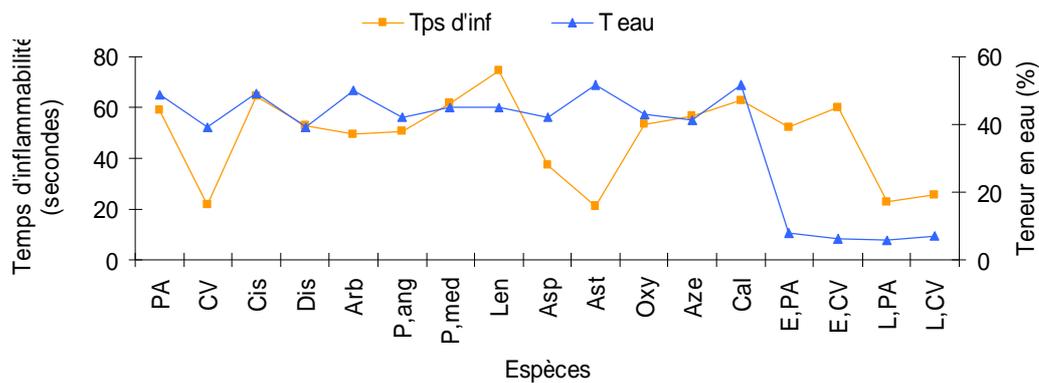


Figure 22 a : Variation moyenne estivale du temps d'inflammabilité et de la teneur en eau des espèces végétales.

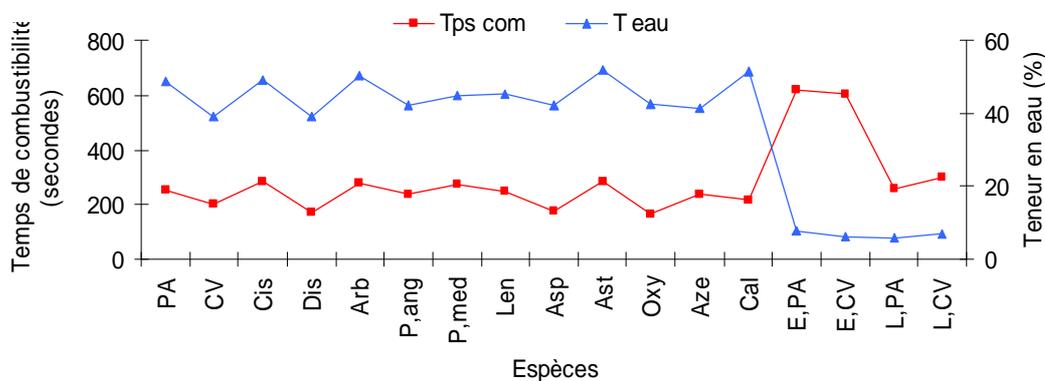


Figure 22 b : Variation moyenne estivale du temps de combustibilité et de la teneur en eau des espèces végétales.

L'attribution des temps d'inflammabilité, de combustibilité ainsi que les teneurs en eau, permettent d'établir un classement des espèces selon leur degré de sensibilité.

- | | | | |
|---------|--------|-----------|----------|
| 1- L.PA | 6- Dis | 10- P,ang | 14- Len |
| 2- L.CV | 7- PA | 11- Aze | 15- Cis |
| 3- Asp | 8- Oxy | 12- P,med | 16- E,PA |
| 4- Ast | 9- CV | 13- Arb | 17- E,CV |
| 5- Cal | | | |

- La connaissance de la combustibilité et de l'inflammabilité liées aux espèces et aux formations végétales est transposable aux cartes de végétation qui permettent de classer les peuplements par grandes catégories d'inflammabilité.

Dans notre cas et par l'absence d'une carte de végétation détaillée et de photos aériennes ou satellitaires nouvelles nous n'avons pas pu réaliser une carte de risque fiable.

Ce qui ne nous a pas empêché d'évaluer le risque feu de forêt selon la méthode de CEMAGREF, que nous avons appliqué à nos stations d'études, et à toute la forêt. Les résultats obtenus montrent que le risque est sévère et très élevé durant la saison estivale.

Dans la perspective d'une gestion durable des écosystèmes forestiers, les feux de forêt sont et resteront l'un des problèmes majeurs pour les forêts méditerranéennes en générale et pour la forêt algérienne en particulier. C'est pourquoi il faudra mettre les moyens nécessaires pour les circonscrire.

Nos études d'inflammabilité et de combustibilité sur un intervalle d'une année conduisent à de meilleures informations sur le rôle de chaque espèce dans l'embrasement. Elles précisent l'influence des structures des peuplements sur la propagation de l'incendie, donc sur les interventions sylvicoles à prévoir.

ü L'établissement de discontinuité dans les contributions végétales verticales (suppression des strates basses par débroussaillage et par élagage des branches basses) et horizontales (ouverture de coupures de combustible par débroussaillage; pare feu). Le cloisonnement des massifs forestiers à risque, par les réseaux de coupures stratégiques, apparaît actuellement comme une solution d'avenir efficace contre les grands incendies.

ü Le comburant qui est pratiquement l'oxygène de l'air, gaz rapidement renouvelé par le vent, ne peut être raréfié que par l'installation d'obstacles tel que les brises vents que l'on peut intégrer au niveau de la parcelle, du côté le plus exposé aux vents chauds et violents. La réduction de la vitesse du vent au niveau du sol, préserve les réserves en eau.

ü A fin d'assurer une meilleure protection contre les incendies et limiter leur extension, certains documents sont nécessaires et doivent être réalisés pour tous les massifs forestiers

1- Carte de visibilité : qui doit comporter tous les massifs à surveiller, avec mention des zones de vision directe et celles de vision indirecte.

2- Carte de sensibilité :

- Mettre au point des indices de danger applicable dans le cas des forêts algériennes.

- Mise en place de SIG (système d'information géographique) pour toutes les infrastructures et l'historique des incendies.
- La prédiction du comportement du feu de végétation par simulation réalisée à l'aide du système américain "Behave". L'objectif opérationnel de ce modèle est de fournir des prédictions de la vitesse de propagation locale d'un front du feu et quelques grandeurs associées tels que : la puissance du front et la longueur des flammes.
L'évaluation du risque feux de végétation au sein des unités cartographiques des peuplements forestiers peut se réaliser à partir de ces trois variables.
La prévision du comportement d'un feu avec Behave nécessite de connaître le combustible de façon détaillée.
- Aménager les forêts et mettre en application le plan de gestion.

Références bibliographiques :

ABD EL GUERFI. A, 2003. –Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à l'évaluation et la réduction des risques menaçant les éléments de la diversité biologiques en Algérie (bilans des expertises). p 155.

ALEXANDER. M. E, 1982. –Calculating and interpreting forest fire intensities. *Canad. J. Bot.*, 60. p 349-357.

ALEXANDRE. S, 1987. –La forêt méditerranéenne française (aménagement et protection contre les incendies). p 159.

ALEXANDRIAN.D, 1982. –Estimation de l'inflammabilité et de la combustibilité de la végétation, bulletin d'information du CEMAGREF n° 228. p 31-39.

ANNONYME (2000). -Minitab manual reference, release 13.21 for windows.PA state college, MINITAB, p 1047.

ANTONI. M, 1923. –Défense des forêts contre l'incendie, Paris, Berger-Lavrault.

BARBERO. M et al., 1988. – Perturbations et incendies en région méditerranéenne française, univ d'aix- Marseille III. p 409-419.

BARDIN. T et MORO. C, 1993. –Les paramètres d'inflammabilité de la Bruyère arborescente et de l'arbousier. p 23.

BEKDOUCHE.F, 1996. –Evolution de la végétation et du sol superficiel d'une subéraie après feu : cas de la forêt de Mizrana (Tizi-Ouzou), thèse de magister. p 82 + Annexes.

BELHADJ-AISSA. M et al., 2003. –Application du SIG et de la télédétection dans la gestion des feux de forêt en Algérie. p 16.

BLIN, 1974. –Le vent et le développement des feux.R.F.F. n° sp. p 37-60

BENISTON WS et NT, 1984. – Fleurs d'Algérie. P. 359.

BOUDY. P, 1952. –Guide du forestier en Afrique du Nord. p 487.

BOULLET. V et GEHU. J-M, 1988. –Carte des risques d'incendie méditerranéen, commune de Figanières (83). p 20.

BOURDENET. P et ALEXANDRIAN. D, 1997. – Etat des connaissances sur l'impact des incendies, mise en place de protocoles expérimentaux pour le suivie des incendies de forêt et de la reconstitution des écosystèmes forestiers. p 16-23.

BYRAM. G. M, 1959.-Combustion of forest fuel. In: DAVIS. K. P –Forest fire: control and use. Mc Graw- hill book co., New York. p 61-89.

CEMAGREF, 1989. -Guide technique du forestier méditerranéen français, fiche 4-5 : inflammabilité, combustibilité.

- CHAUMONT. M et PAQUIN. C, 1971.** -Carte pluviométrique de l'Algérie, 4 feuilles au 1/50 000.
- CHAUVIN. G, 1998.** –Défense des forêts contre l'incendie. p 47.
- CLAUDOT, 1974.** –Recherche d'une méthode pratique d'évaluation d'un potentiel combustible forestier. R.F.F. n° sp. p 37-60.
- DAGET.PH, 1977 a.** –Le bioclimat méditerranéen, vol. 34. p 1-20.
- DAGNELIE. P, 1975.** -Théorie et méthodes statistiques, vol.2. Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, 463 pp.
- DAGNELIE.P, 1999.** –Statistique théorique et appliquée, inférence statistique à une et deux dimensions -tome 2- Université de Boeck et Larcier (Belgique). p 659.
- DAGORNE.A et al., 1993.** –protection des forêts contre les incendies et système d'information géographique.Application à la commune d'Auribeau sur siagne (Alpes maritimes), article.
- DELABRAZE.P, VALETTE. J, MARECHAL. J., 1978.** – La protection de la forêt méditerranéenne. INRA, Paris. p 11.
- DELABRAZE.P, 1985.** –Bases biologiques et de la prévention des incendies de forêts C.N.R.S, Edit. PIREN. p 1-16.
- DELVAUD P, 1981.** –Le feu, outil sylvicole ? Utilisation pratique des données, mémoire de 3^{ème} année.p 91 + Annexes.
- DJILALI. S, 1971.** –Le reboisement, un facteur de développement économique et culturel SNED, Alger.
- EMBERGER. L, 1942.** – Un projet d'une classification des climats du point de vue phytogéographique. p 97-124.
- EMBERGER. L, 1955.** –Remarques critiques sur les étages de végétation dan les montagnes marocaines, bull. soc. Bot. Suisse 46. p 614-631.
- FROTIER .L, 2004.** –Histoire de la température du sol au cours des derniers millénaires. p 1-7.
- GAUSSEN. H et BAGNOULS. F, 1953.** -Saison sèche et indice xérothermique. Doc. Carte production vég, vol 1, Toulouse. p 47.
- GHAZOULI. R, 1989.** – contribution à l'étude de la végétation de la chaîne des Babors. (Analyse phytosociologique des djebels Babors et Tababors), thèse magister. Inst, Biol, Sétif. p 164 + Annexes.
- GHERBAH. Y, 1992.** –L'occurrence des feux de forêt dans la wilaya d'El Taref, thèse d'ing d'état. p 90.

- GRECO. G, 1966.** –L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie. p 384.
- GRIM. S, 1989.** –Le preamenagement forestier (volume 1).
- HETIER. J. P, 1993.** –la forêt méditerranéenne : Vivre avec le feu ?. Paris. p 147.
- HUBERTY. C. J. 1994.** - Applied discriminant analysis. University of Georgia.
- LAPIE. G et MAIGE. A, 1914.** –Flore forestière de l'Algérie. p 357.
- LAYEC. S, 1989.** –Des paramètres biologiques susceptibles d'améliorer l'indice de risque d'incendie de forêt INRA / ENSA de Rennes, 3^{ème} année. p 32 + Annexes.
- LE HOUROU.H.N, 1989.** –Classification écoclimatique des zones arides de l'Algérie du nord. p 95- 112 + Annexes.
- LITIM. M, 2005.** –Analyse statistique des rendements de 24 variétés de blé dur expérimentées sur plusieurs sites et pendant deux années consécutives. Ing d'état. Stati. Univ de Annaba, p 56 + annexes.
- LOPEZ. F et al., 1996.** –Erosion, désertification et aménagement et aménagement du territoire dans les milieux semi-aride de la méditerranées, univ Murcie (Espagne). p 213-232.
- MADOUL. A, 1994.** –Contribution à l'étude de l'impact écologique des feux de forêts sur la végétation du massif de Bou-Taleb (Sétif), thèse de magister. p 282 + Annexes.
- MANSOURIA. N et al., 1981.** –Aménagement transitoire de la forêt domaniale de Chettabah. p 60 + Annexes.
- MARC. M, 1916.** –Notes sur les forêts de l'Algérie. Alger.
- MARIEL. A, 1995.** –Cartographie du niveau de risque d'incendie : exemple du massif des Maures, CEMAGREF, article.
- MEGREROUCHE. R et KORICHI. N, 2003.** –Impact des incendies sur la régénération du Chêne vert (*Quercus ilex*) et du Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) de forêt domaniale du Chettabah, (Wilaya de Constantine). p 73 + Annexes.
- NOUARI. A, 2002.** –Effet du froid sur le comportement de quelques espèces ligneuses dans la région de Constantine. p 51 +Annexes.
- PALM .R, 2000,** - L'analyse de la variance multivariée et l'analyse canonique discriminante : principes et applications. Notes Stat. Inform. (Gembloux)2000/1, 40 p.
- PEYRE. S, 2004.** -Le chêne liège des Pyrénées-orientales face au feu, syndicat- des propriétaires forestiers sylviculteurs des Pyrénées-orientales.
- RIMET. C, 1990.** –Inflammabilité et indice de siccité, relation avec les risque d'incendies de forêt INRA / ENSA, de Rennes, 2^{ème} années, p 23.

- ROTHERMEL. R. C et ANDERSON. H. E, 1966.** –Fire spread characteristics determined in the laboratory, p 29.
- SAUVAGE, 1963.** -Etage bioclimatique, a place du Maroc- Not explicative, sect. II, physique du globe de météorologie, p 44.
- SAYAH. T, 2003.** –Bio écologie de l'antomofaune du chêne vert (*Quercus ilex*) dans les yeuseraies de Bordj-Ghedir, Bourj-Bou Arreridj, p 101 + Annexes.
- SELTZER. P, 1946.** –Le climat de l'Algérie. Trav. Inst. Météo et Phys. Glob. Univ d'Alger, p 219.
- TIR. K, 1997.** –Expression cartographique de quelques paramètres climatiques et bioclimatiques à partir d'analyse de données cas de l'extrême nord-est Algérien, p 140.
- TRABAUD. L, 1970 a.** –Le comportement du feu dans les incendies de forêts. Extrait de la revue technique du feu. N° 103, p 15.
- TRABAUD. L, 1971.** – Les combustibles végétaux dans le département de l'Aérault. Montpellier, Centre national de la recherche scientifique. Centre d'études phytosociologiques et écologiques, p 78.
- TRABAUD. L, 1973.** –Notice des cartes à grande échelle des formations végétales combustibles du département de l'Aérault. Montpellier, C.E.P.E-C.N.R.S, p 33.
- TRABAUD. L, 1973.** –Apport des études écologiques dans la lutte contre le feu, Montpellier, Centre d'études phytosociologiques et écologiques, p 140-153.
- TRABAUD. L, 1976.** –Inflammabilité et combustibilité des principales espèces des garrigues de la région méditerranéenne. Oecol.Ptant, p 117-136.
- TRABAUD. L, 1979 b.** –Détermination d'un indice de sensibilité de la végétation à l'incendie. CTGREF. Note technique, n° 6.
- TRABAUD. L, 1980 a.** –Impact biologique et écologique des feux de végétations sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des garrigues de Bas-Languedoc. thèse doctorat etat sciences, Univ. Scie. Tch. du Languedoc, Montpellier, p 288.
- TRABAUD. L, 1980 b.** –Diversity and stability in garrigue ecosystems after fire, p 49-57.
- TRABAUD. L et LEPART. J, 1981.** –Floristic changes in a *Quercus coccifera* l. garrigue according to different fire regimes, vegetacio 46, p -105-116.
- TRABAUD. L, 1983 b.** –Prévention et prévision des incendies : Etude d'un cas concret. Convegno Internazionale di studi sui problemi degle incendie Boschivi in ambiente mediterraneo, Bari, p 195-212.

TRABAUD. L, 1985. –Quantité d'énergie et puissance potentielle de feu de quelques communautés végétales du sud de la France, étude des systèmes écologiques, Montpellier, p 387-394.

TRABAUD. L, 1989. –Les effets du régime des feux : Exemples pris dans le bassin méditerranéen, série séminaire n° 3, p 89- 94.

TRABAUD. L, 1992. –Réponses des végétaux ligneux méditerranéens à l'action du feu, Montpellier, Centre écologique fonctionnelle et évolutive (C.N.R.S), p 89 - 107.

VALETTE. J. C, 1990. –Inflammabilité des espèces sur la combustibilité des formations forestières. R.F.F, XLII, n° sp, p 76-92.

Liste générale des symboles et illustrations

- **Liste des tableaux**

Tab. 01 : Principales essences des forêts Algériennes.

Tab. 02 : Relevé des incendies de forêts sur 48 ans (1853-1915).

Tab. 03 : Relevé des incendies de forêts sur 47 ans (1916-1962)

Tab. 04 : Relevé des incendies de forêts sur 38 ans (1963-2001)

Tab. 05 : Périodicité décennale des superficies incendiées

Tab. 06 : Note de combustibilité des principales espèces dominantes de la végétation méditerranéenne

Tab. 07 : Barème de risque

Tab. 08 : Division de la forêt en cantons

Tab. 09 : Tableau des expositions

Tab. 10 : Données climatiques recueillies auprès du service de météorologie

Tab. 11 : Précipitations aux points extrêmes de la forêt de Chettabah

Tab. 12 : Répartition mensuelle des précipitations.

Tab. 13 : Régime saisonnier pour Chettabah (1995-2004).

Tab. 14 : Données thermiques de la forêt de Chettabah.

Tab. 15 : Variation des températures mensuelles (Chettabah)

Tab. 16 : La vitesse des vents moyens (1995-2004)

Tab. 17 : Humidité moyenne de l'air en pourcentage (1995 -2004)

Tab. 18 : Moyenne des durées en jours de gelée (1995 – 2004)

Tab. 19 : Nombre de jours mensuel de neige.

Tab. 20: Zones climatiques subdivisées en variantes climatiques

Tab. 21: Les valeurs du quotient pluviothermique et les ambiances bioclimatiques de la forêt domaniale de Chettabah dans ses points extrêmes.

Tab. 22: Programme des sorties

Tab. 23 : Températures minimales de l'air (n=30).

Tab. 24 : Températures maximales de l'air (n=30).

Tab. 25 : Températures minimales au sol (n=30).

Tab. 26 : Températures maximales au sol (n=30).

Tab. 27 : Températures dans le sol à 50 cm de profondeur (n=30).

Tab. 28 : Températures dans le sol à 100 cm de profondeur (n=30).

Tab. 29: Températures minimales de l'air

Tab. 30: Températures maximales de l'air

Tab. 31 : Températures minimales au sol

Tab. 32 : Températures maximales au sol

Tab. 33 : Températures dans le sol à 50 cm de profondeur

Tab. 34 : Températures dans le sol à 100 cm de profondeur

Tab. 35 : Températures minimales de l'air

Tab. 36 : Températures maximales de l'air

Tab. 37 : Températures minimales au sol

Tab. 38 : Températures maximales au sol

Tab. 39 : Températures dans le sol à 50 cm de profondeur

Tab. 40 : Températures dans le sol à 100 cm de profondeur

Tab. 41 : Comparaison des températures séparées, des 4 saisons, pour les 4 années

Tab. 42 : Comparaison des températures des 4 saisons, pour les 4 années

Tab. 43 : Comparaison des températures moyennes dans le sol entre (T50 et T100) pour chaque mois et pour chaque année à l'aide du test t de STUDENT pour échantillons associés par paires

Tab. 44 : Comparaison des vecteurs des moyennes de l'ensemble des variables pour le même mois des quatre années

Tab. 45 : Temps d'inflammabilité (secondes).

Tab. 46 : Temps de combustibilité (secondes)

Tab. 47 : Teneur en eau (%)

Tab. 48 : Temps d'inflammabilité (secondes)

Tab. 49 : Temps de combustibilité (secondes)

Tab. 50 : Teneur en eau (%)

Tab. 51 : Comparaison des moyennes de chacune des variables pour l'ensemble des espèces et pour les 12 dates, à l'aide de l'analyse de la variance à un critère de classification

Tab. 52 : Comparaison des moyennes entre *Pinus halepensis* et *Quercus ilex* pour chacune des trois variables, pour les 12 dates à l'aide de l'analyse de la variance à deux critères ; modèle croisé fixe :

Tab. 53 : Comparaison des moyennes entre écorce *Pinus halepensis* et écorce *Quercus ilex* pour chacune des trois variables, pour les 12 dates à l'aide de l'analyse de la variance à deux critères ; modèle croisé fixe

Tab. 54 : Comparaison des moyennes entre litière *Pinus halepensis* et litière *Quercus ilex* pour chacune des trois variables, pour les 12 dates à l'aide de l'analyse de la variance à deux critères ; modèle croisé fixe

Tab. 55 : Répartition des espèces par groupes homogènes selon la méthode de la p.p.d.s

Tab. 56 : Matrice des corrélations calculées entre les trois variables deux à deux pour les 17 espèces.

Tab. 57 : Comparaison des vecteurs de moyennes, des trois variables des 12 dates pour chacune des espèces à l'aide de l'analyse de la variance multi variée

Tab. 58 : Comparaison des vecteurs de moyennes des trois variables, pour les 15 espèces et pour les 12 dates à l'aide de l'analyse de la variance multi variée

- **Liste des figures**

Fig. 1 : Evolution des superficies brûlées durant la période 1853-1915 (soit 48 ans)

Fig. 2 : Evolution des superficies brûlées durant la période 1916-1962 (soit 47 ans)

Fig. 3 : Evolution des superficies brûlées durant la période 1963-2001 (soit 38 ans)

Fig. 4 : Evolution des superficies brûlées par périodes décennales (1882-2001)

Fig. 5 : Diagramme de procédure de calcul de l'indice de risque de feu de forêt

Fig. 6 : Carte de situation géographique de la forêt domaniale de Chettabah

Fig. 7 : Forêt domaniale de Chettabah : Pentes

Fig. 08 : Répartition mensuelle des précipitations (1995-2004)

Fig. 09 : Variation mensuelle des températures minimales et maximales (1995-2004)

Fig. 10 : Diagrammes ombrothermiques

Fig. 11 : Climagramme de SAUVAGE

Fig. 12 : Carte de situation des stations d'études.

Fig. 13 : Epiradiateur

Fig. 14 : Variation des températures moyennes mensuelles de 2001-2004.

Fig. 15 : Variation moyenne du temps d'inflammabilité et du temps de combustibilité en fonction de la teneur en eau pour les différentes espèces étudiées.

Fig. 16 a : Variation du temps d'inflammabilité et de la teneur en eau des espèces végétales (Juillet).

Fig. 16 b : Variation du temps de combustibilité et de la teneur en eau des espèces végétales (Juillet).

Fig. 17 a : variation moyenne annuelle du temps d'inflammabilité et de la teneur en eau des espèces végétales.

Fig. 17 b : variation moyenne annuelle du temps de combustibilité et de la teneur en eau des espèces végétales.

Fig. 18 : Groupes d'espèces homogènes pour le paramètre temps d'inflammabilité

Fig. 19 : Groupes d'espèces homogènes pour le paramètre temps de combustibilité

Fig. 20 : Groupes d'espèces homogènes pour le paramètre teneur en eau

Fig. 21 : Carte de végétation

Fig. 22 a : Variation moyenne estivale du temps d'inflammabilité et de la teneur en eau des espèces végétales.

Fig. 22 b : Variation moyenne estivale du temps de combustibilité et de la teneur en eau des espèces végétales.

- **Liste des photos**

Photo. 01 : feux de sol

Photo. 02 : feux de surfaces

Photo. 03 : feux de cimes

Photo. 04 : Brûleur à infrarouge

Photo. 05: Station 1 " Gaulis de *Pinus halepensis* "

Photo. 06 : Station 2 " Fourré mixte de *Pinus halepensis* et *Quercus ilex*"

Photo. 07 : Station 3 " Fourré de *Quercus ilex* "

Photo. 08 : Station 4 " Jeune futaie de *Pinus halepensis* "

Photo. 09 : Station 5 " Garrigue de *Quercus ilex*

- **Liste des symboles**

Tn. Température minimale

Tx. Température maximale

Tn air. Température minimale de l'air

Tx air. Température maximale de l'air

Tn sol. Température minimale au sol

Tx sol. Température maximale au sol

T 50. Température dans le sol à 50 cm de profondeur

T100. Température dans le sol à 100 cm de profondeur

T. moy. M. Température moyenne mensuelle

S. Ecart type

ES. Erreur standard

Moy. Moyenne

PA. *Pinus halepensis*

CV. *Quercus ilex*

Cis *Cistus villosus*

Dis. *Ampelodesma mauritanica*

Arb. *Arbutus unedo*

F.ang. *Phillyrea angustifolia*

F.med. *Phillyrea media*

Len. *Pistacia lentiscus*

Asp. *Asparagus acutifolius*

Ast. *Astragalus armatus-*

Oxy. *Juniperus oxycedrus*

Aze. *Crataegus azarolus*

Cal. *Calycotome spinosa*

E.PA. Ecorce *Pinus halepensis*

E.CV. Ecorce *Quercus ilex*

L.PA. Litière *Pinus halepensis*

L.CV. Litière *Quercus ilex*

X1. Temps d'inflammabilité

X2. Temps de combustibilité

X3. Teneur en eau

Tps d'inf. Temps d'inflammabilité

Tps de com. Temps de combustibilité

T eau. Teneur en eau

Annexes

Données climatiques (1995-2004)**Précipitations mensuelles (mm)**

	Jan	Fev	Mas	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Tot	Moy
1995	216.1	17.5	84.7	30.1	5.9	52.4	0.0	1.2	47.5	8.3	42.5	28.4	534.6	44.6
1996	88.0	181.0	54.0	67.0	62.0	42.0	21.0	15.0	15.0	10.0	26.0	47.0	628.0	52.3
1997	33.1	22.4	59.0	57.7	18.0	33.2	1.2	17.2	38.9	50.2	110.0	65.6	506.5	42.2
1998	36.4	52.7	37.4	70.8	49.6	18.3	0.0	8.9	75.2	32.6	135.3	53.1	570.3	47.5
1999	73.7	42.1	57.6	31.7	10.5	20.4	3.3	7.7	58.7	35.7	79.2	93.6	514.2	42.9
2002	17.4	36.0	14.4	32.9	84.4	43.6	0.0	15.7	18.4	38.3	31.7	57.7	390.5	32.5
2001	1234	44.7	17.6	38.3	52.9	0.0	0.2	10.4	79.2	48.3	28.5	20.0	463.5	38.6
2002	23.5	53.3	18.2	31.8	17.0	4.5	19.4	24.0	22.3	26.8	134.7	109.7	485.2	40.4
2003	231.2	50.2	31.7	120.1	44.4	1.2	2.4	11.1	61.5	46.0	19.8	148.0	767.6	64.0
2004	87.2	11.5	66.4	47.5	66.2	29.7	0.6	12.9	24.5	30.4	142.9	181.2	701.0	58.4
Tot	930	511.4	441	527.9	410.9	245.3	48.1	124.1	441.2	326.6	750.6	804.3	556.14	

Températures moyennes mensuelles (°C)

	Jan	Fev	Mas	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
1995	5.9	9.7	9.0	11.2	18.2	21.9	25.9	24.5	20.7	16.7	11.5	10.1	15.4
1996	9.1	6.5	10.2	11.9	16.4	19.7	24.6	25.6	19.3	14.5	12.2	9.6	15.0
1997	8.3	9.1	9.1	12.3	19.9	24.9	25.5	25.3	21.0	16.7	11.7	8.3	16.0
1998	7.1	8.1	9.4	13.3	16.2	23.6	26.5	25.4	22.2	14.5	10.0	6.4	15.2
1999	7.1	5.5	10.0	13.3	21.0	24.2	25.4	28.8	23.1	19.3	10.4	7.5	16.3
2002	4.6	8.2	11.2	14.7	20.1	22.3	26.9	26.4	21.9	15.9	12.3	9.1	16.1
2001	8.0	7.4	14.3	12.4	17.2	23.8	27.1	26.3	21.6	20.2	10.9	6.6	16.3
2002	6.4	8.6	11.1	14.0	18.7	24.8	25.6	25.0	21.3	17.9	12.3	9.2	16.2
2003	7.0	6.3	10.5	14.0	17.7	25.3	28.4	27.4	20.9	18.6	12.0	6.8	16.2
2004	7.2	8.8	10.6	11.9	15.1	21.4	25.7	26.9	21.0	19.4	9.9	7.9	15.5
Tot	70.7	78.2	105.4	129	180.5	231.9	261.9	261.6	213	173.7	113.2	83.3	

Températures moyennes mensuelles des Minima (°C)

	Jan	Fev	Mas	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
1995	2.2	4.5	4.0	5.1	11.2	15.4	18.5	18.1	15.4	11.4	6.6	6.3	9.9
1996	5.4	3.0	5.6	7.4	10.6	13.5	17.2	19.1	13.7	9.1	6.9	5.2	9.7
1997	4.4	4.1	3.2	6.5	12.5	18.0	18.7	18.8	21.1	16.8	11.7	8.3	12.0
1998	2.7	2.5	3.7	7.1	10.8	15.8	18.1	18.8	16.3	9.3	5.7	2.3	9.4
1999	3.0	1.5	4.7	6.6	13.4	17.5	17.9	21.8	17.1	13.8	6.6	4.0	10.7
2002	-0.3	2.6	5.0	8.3	13.4	15.4	18.9	18.5	15.5	1.7	7.0	4.0	9.2
2001	3.7	2.2	8.2	6.3	11.5	15.6	19.1	19.0	16.1	14.1	6.8	2.5	10.4
2002	1.2	3.1	5.7	8.1	11.4	16.6	18.8	19.0	15.4	11.6	8.3	5.3	10.4
2003	3.8	2.6	5.6	8.6	11.6	17.4	20.1	19.7	15.6	14.0	7.2	2.6	10.7
2004	2.8	3.0	5.0	6.2	9.3	13.9	17.6	19.2	14.7	12.6	5.8	4.3	9.5
Tot	28.9	29.1	50.7	70.2	115.7	158.8	184.9	191.8	160.9	114.4	72.6	44.8	

Températures moyennes mensuelles des Maxima (°C)

	Jan	Fev	Mas	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
1995	10.1	15.6	14.6	18.1	26.1	29.7	34.3	32.2	27.7	23.6	17.5	15.1	22.1
1996	13.9	10.9	15.7	17.2	22.7	26.8	32.6	33.3	26.3	21.0	18.4	14.9	21.1
1997	13.3	14.8	15.5	18.4	27.9	33.0	33.8	33.2	27.7	22.8	16.6	13.1	22.5
1998	12.7	14.9	16.0	20.7	22.8	32.3	35.4	33.7	29.9	21.3	15.6	11.6	22.2
1999	12.4	10.2	16.2	20.5	29.4	32.2	33.4	37.3	30.7	26.4	15.5	12.0	23.0
2002	10.6	14.3	18.0	21.6	27.8	29.7	35.1	35.1	29.5	22.0	18.6	15.4	23.1
2001	13.5	13.6	21.4	19.0	24.0	32.0	35.9	34.7	29.1	27.7	16.1	11.9	23.2
2002	12.9	15.6	17.5	21.0	26.8	33.3	33.5	33.1	28.4	25.4	16.8	14.0	23.2
2003	11.1	11.0	16	19.8	24.7	33.4	37.0	35.7	27.6	24.1	17.8	11.8	23.2
2004	12.4	15.4	16.9	17.7	21.6	29.0	34.0	35.5	28.8	27.2	14.7	11.9	22.5
Tot	122.9	136.3	168.3	194	253.8	311.4	345	343.8	285.7	241.5	167.6	131.7	22.1

Vents moyens (m/s)

	Jan	Fev	Mas	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
1995	3.6	2.2	3.1	2.3	2.4	2.7	2.2	2.2	2.3	1.2	2.0	3.0	2.4
1996	2.6	4.2	2.8	2.5	2.1	2.0	2.0	2.4	2.3	2.5	3.1	3.9	2.7
1997	2.7	1.8	1.8	2.9	2.8	3.2	2.5	2.2	1.8	2.2	3.2	2.9	2.5
1998	2.6	4.2	2.8	2.5	2.1	2.0	2.0	2.3	2.3	2.5	3.1	3.9	2.7
1999	2.7	2.9	3.2	3.0	2.7	2.9	2.6	2.9	2.2	2.4	2.8	3.4	2.8
2002	1.0	2.4	2.1	3.7	3.0	2.5	2.9	2.4	2.6	3.3	3.2	2.8	2.7
2001	3.2	2.9	2.9	2.6	2.5	2.4	2.6	2.2	1.9	1.4	2.0	1.8	2.4
2002	1.8	2.1	2.7	3.5	2.8	2.5	2.8	2.7	2.1	2.1	4.1	3.1	2.7
2003	4.5	3.0	2.1	2.6	2.1	2.1	2.8	2.6	1.9	2.5	2.1	3.2	2.6
2004	2.6	2.5	2.3	2.9	2.9	2.1	2.1	2.1	1.8	1.4	2.0	2.3	2.3
Tot	27.3	28.2	25.8	28.5	25.4	24.4	24.5	24	21.2	21.3	27.6	30.3	

Humidités moyennes (%)

	Jan	Fev	Mas	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec
1995	82	76	74	70	59	63	48	54	65	69	65	77
1996	74	79	72	75	73	67	52	54	64	68	64	71
1997	76	77	74	68	55	51	51	53	67	72	67	79
1998	79	81	75	71	76	49	44	55	66	76	66	80
1999	81	80	73	66	56	52	49	44	63	65	63	83
2002	85	75	68	61	65	61	47	47	59	71	59	72
2001	76	70	59	70	67	45	46	49	70	67	70	80
2002	76	76	70	64	56	45	52	58	62	60	62	80
2003	80	79	73	76	70	51	42	43	69	68	69	84
2004	82	75	78	79	77	67	51	50	64	60	85	---
Tot	791	768	716	700	562	551	482	507	649	676	670	70.6

Evaporation

	Jan	Fev	Mas	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Tot	Moy
1995	40	45	58	80	124	132	211	171	110	81	60	50	1162	97
1996	48	37	62	63	81	92	182	184	117	81	102	88	1137	95
1997	58	55	63	72	148	208	194	164	98	78	49	44	1231	103
1998	43	27	48	64	55	151	153	146	102	54	41	34	918	77
1999	35	34	55	80	137	146	167	201	111	78	34	32	1110	93
2002	24	36	59	88	94	96	166	176	102	71	70	46	1028	86
2001	46	48	97	60	74	160	183	159	74	89	36	28	1054	87.83
2002	36	41	65	88	119	155	152	135	94	91	69	34	1079	98.91
2003	34	30	51	50	63	130	217	200	102	97	56	35	1065	88.75
2004	33	61	60	49	69	94	169	172	106	119	29	29	990	82.5
Tot	397	414	618	694	964	1364	1794	1708	1016	839	546	420	10774	

Gelée

	Jan	Fev	Mas	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Tot	Moy
1995	6	7	6	5	0	0	0	0	0	0	2	0	26	2.2
1996	3	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	3	18	1.5
1997	3	5	8	3	0	0	0	0	0	0	0	5	24	2.0
1998	10	7	11	2	0	0	0	0	0	0	2	13	45	3.8
1999	11	11	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	27	2.3
2002	22	7	4	1	0	0	0	0	0	0	0	7	41	3.4
2001	6	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9	26	2.2
2002	15	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	29	2.4
2003	6	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	10	28	2.3
2004	5	8	3	2	0	0	0	0	0	0	0	3	21	1.82
Tot	87	78	46	16	0	0	0	0	0	0	0.4	54	285	

Neige

	Jan	Fev	Mas	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Tot	Moy
1995	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2.2
1996	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	1.5
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.0
1998	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	3.8
1999	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	11	2.3
2002	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3.4
2001	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2.2
2002	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2.4
2003	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	16	2.3
2004	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	1.8
Tot	22	20	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0.3	1.3	61	

Statistiques descriptives pour les saisons :

Tn air 2001 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	3.241	3.179	-8.00 10.80
Printemps	90	8.531	3.536	2.00-19.00
Eté	90	17.892	3.482	9.50-25.40
Automne	90	12.349	4.698	2.30-20.40

Tx air 2001 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	14.251	3.710	7.00-23.00
Printemps	90	21.513	5.386	11.00-36.20
Eté	90	34.231	4.049	24.00-42.00
Automne	90	24.317	6.845	9.50-36.60

Tn sol 2001 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	0.592	5.876	-43.00 9.00
Printemps	90	5.602	3.856	-2.10 14.40
Eté	90	13.986	3.874	5.00-23.50
Automne	90	9.621	4.848	-1.00 19.10

Tx sol 2001 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	19.238	4.174	8.50-28.60
Printemps	90	30.170	6.146	13.50-46.00
Eté	90	43.566	3.940	33.50-51.40
Automne	90	30.293	8.199	10.10-43.60

T 50 /2001 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90			
Printemps	90	15.446	3.741	10.20-21.20
Eté	90	27.372	2.870	13.50-30.00
Automne	90	19.511	4.349	12.00-28.60

T 100/ 2001 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90			
Printemps	90	14.912	2.980	10.60-19.70
Eté	90	25.666	2.185	19.50-27.80
Automne	90	21.232	3.637	15.00-27.50

Tn air 2002 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	2.466	3.023	-6.00 8.00
Printemps	90	8.323	3.717	-3.00 16.80
Eté	90	18.166	3.67	8.20-28.00
Automne	90	11.794	4.328	3.00-21.50

Tx air 2002 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	13.176	4.036	5.00-24.20
Printemps	90	21.742	6.135	11.90-37.50
Eté	90	33.369	4.437	20.80-42.80
Automne	90	23.558	6.535	10.50-35.40

Tn sol 2002 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	-1.011	3.487	-8.00 5.00
Printemps	90	8.323	3.717	-4.80 15.50
Eté	90	14.981	4.113	5.00-28.00
Automne	90	8.990	4.248	1.60-19.20

Tx sol 2002 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	18.021	4.981	5.00-30.50
Printemps	90	30.880	7.257	16.10-49.00
Eté	90	42.903	4.608	30.20-51.50
Automne	90	31.439	8.479	10.40-46.00

T 50 /2002 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90			
Printemps	90	15.984	3.368	10.60-23.40
Eté	90	27. 6 99	1.378	24.50-29.50
Automne	90	20.809	4.634	13.00-27.10

T 100/ 2002 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90			
Printemps	90	15.623	2.775	10.30-21.40
Eté	90	25.666	21.85	22.30-28.50
Automne	90	21.914	3.834	15.00-27.00

Tn air 2003 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	4.386	2.530	-1.50 10.50
Printemps	90	8.488	3.888	-2.00 16.50
Eté	90	18.902	3.336	1.80-28.10
Automne	90	12.344	4.663	3.80-23.00

Tx air 2003 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	12.120	3.986	3.600-21.00
Printemps	90	20.316	5.941	7.00-32.00
Eté	90	35.387	3.876	25.90-42.50
Automne	90	23.246	5.890	12.70-37.00

Tn sol 2003 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	1.062	3.658	-9.00 9.50
Printemps	90	5.683	3.947	-3.00 14.00
Eté	90	16.406	3.085	9.00-26.80
Automne	90	10.271	4.923	1.50-20.50

Tx sol 2003 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	16.431	4.664	5.60-24.60
Printemps	90	28.911	6.881	10.00-43.40
Eté	90	43.813	4.171	33.70-52.40
Automne	90	27.429	6.637	16.00-41.40

T 50 /2003 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90			
Printemps	90	15..446	3.741	10.20-21.20
Eté	90	27.594	2.050	20.60-30.00
Automne	90	19.511	4.349	12.00-28.60

T 100/ 2003 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90			
Printemps	90	14.912	2.980	10.60-19.70
Eté	90	25.662	2.183	19.50-27.80
Automne	90	21.243	3.626	15.00-27.50

Tn air 2004 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	2.704	3.897	-8.00 16.00
Printemps	90	6.834	3.759	-5.00 13.80
Eté	90	17.221	3.596	9.20-24.20
Automne	90	11.066	4.922	1.70-20.20

Tx air 2004 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	13.178	4.065	2.70-21.90
Printemps	90	18.609	4.660	6.00-29.30
Eté	90	33.277	5.509	15.30-42.00
Automne	90	23.711	7.843	9.30-36.70

Tn sol 2004 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	0.677	4.227	-7.20 14.40
Printemps	90	3.818	4.133	-7.00 12.00
Eté	90	13.907	3.794	5.80-22.00
Automne	90	7.809	5.164	-2.60-19.30

Tx sol 2004 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90	16.582	4.620	3.20-25.10
Printemps	90	25.900	6.130	10.00-35.60
Eté	90	40.410	5.164	16.50-47.40
Automne	90	29.006	9.299	9.90-44.60

T 50 /2004 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90			
Printemps	90	13.568	2.598	8.00-18.80
Eté	90	26.102	3.249	18.60-30.20
Automne	90	19.718	5.157	10.60-27.50

T 100/ 2004 :

Saisons	N	Moy	S	Tmin-Tmax
Hiver	90			
Printemps	90	13.274	1.881	9.70-16.80
Eté	90	23.494	3.192	17.00-28.00
Automne	90	21.009	3.901	13.40-26.90

Variation des températures

Janvier	2001			2002			2003			2004		
	Moy	s	Es									
Tn air	3.19	3.62	0.12	1.47	3.43	0.11	4.37	2.20	0.07	2.79	3.62	0.12
Tx air	13.50	4.01	0.13	12.86	3.79	0.12	11.13	4.07	0.13	12.4	3.79	0.12
Tn sol	2.06	3.17	0.10	-1.8	3.46	0.11	1.19	2.94	0.09	0.72	3.19	0.10
Tx sol	18.12	4.78	0.15	17.39	4.49	0.14	14.82	4.42	0.14	15.32	4.51	0.15
T 50	9.33	0.31	0.01	8.37	0.57	0.01	9.29	0.99	0.03	7.54	0.97	0.03
T 100	11.05	0.35	0.01	10.37	0.54	0.01	11.07	0.89	0.02	9.42	0.38	0.01
T moy M	8.01	2.08	0.06	6.38	2.28	0.07	7.04	2.60	0.08	7.22	2.49	0.08

Février	2001			2002			2003			2004		
	Moy	s	Es									
Tn air	2.4	2.80	0.10	3.33	1.80	0.06	3.31	2.63	0.09	2.88	4.05	0.14
Tx air	13.62	3.60	0.13	15.60	4.50	0.16	10.99	3.65	0.13	15.38	3.48	0.12
Tn sol	0.01	4.12	0.15	-0.48	3.14	0.11	-0.8	3.98	0.14	0.38	4.49	0.16
Tx sol	19.71	4.12	0.15	21.07	5.29	0.19	16.73	4.48	0.16	20.18	2.97	0.10
T 50	9.22	0.64	0.02	9.63	0.60	0.02	8.04	0.89	0.03	8.91	0.99	0.03
T 100	10.43	0.39	0.01	10.70	0.37	0.01	9.42	0.38	0.01	9.99	0.45	0.01
T moy M	7.44	1.70	0.06	8.57	2.36	0.08	6.32	2.59	0.09	8.84	3.12	0.11

Mars	2001			2002			2003			2004		
	Moy	s	Es									
Tn air	7.91	3.43	0.11	5.69	2.81	0.09	5.53	2.93	0.09	5.01	3.61	0.12
Tx air	21.44	5.33	0.17	17.50	3.95	0.13	16.51	3.52	0.11	16.94	5.26	0.17
Tn sol	4.61	3.69	0.12	2.16	3.54	0.11	2.98	3.55	0.11	2.20	3.50	0.11
Tx sol	28.86	5.30	0.17	24.33	4.29	0.14	25.48	4.59	0.15	22.62	6.25	0.20
T 50	13.47	2.06	0.06	12.44	1.11	0.03	11.66	0.76	0.02	11.00	1.65	0.05
T 100	13.35	1.57	0.05	12.62	1.03	0.03	11.93	0.70	0.02	11.25	0.97	0.03
T moy M	14.31	3.34	0.11	11.13	2.46	0.08	10.54	2.39	0.07	10.62	3.77	0.12

Avril	2001			2002			2003			2004		
	Moy	s	Es									
Tn air	6.34	2.37	0.08	8.14	2.95	0.10	8.56	3.68	0.12	6.23	3.28	0.11
Tx air	19.30	4.59	0.15	20.97	4.77	0.16	19.82	6.36	0.21	17.71	3.78	0.13
Tn sol	3.55	3.13	0.10	4.37	3.31	0.11	5.51	3.40	0.11	3.45	3.62	0.12
Tx sol	27.47	5.50	0.18	30.71	5.28	0.18	28.15	7.87	0.27	25.09	5.04	0.17
T 50	15.89	0.63	0.02	15.45	0.79	0.02	14.42	1.75	0.06	13.31	0.65	0.02
T 100	15.89	0.47	0.01	15.33	0.69	0.20	14.01	1.00	0.03	13.28	0.36	0.01
T moy M	12.40	3.03	0.10	14.04	3.37	0.11	13.95	4.28	0.14	11.89	2.54	0.08

Mai	2001			2002			2003			2004		
	Moy	s	Es									
Tn air	11.17	3.16	0.10	11.38	3.17	0.10	11.56	2.41	0.08	9.26	2.97	0.09
Tx air	24.01	5.59	0.18	26.76	5.20	0.17	24.70	4.74	0.15	21.55	3.59	0.11
Tn sol	8.44	3.08	0.10	7.85	3.26	0.10	8.72	2.55	0.08	5.85	4.32	0.14
Tx sol	34.20	6.27	0.20	37.65	5.29	0.17	33.18	5.69	0.18	30.06	4.79	0.15
T 50	19.18	1.94	0.06	20.12	1.97	0.06	20.21	0.68	0.02	16.50	1.33	0.04
T 100	18.47	1.40	0.04	18.96	1.53	0.05	18.75	0.97	0.03	15.40	0.92	0.03
T moy M	17.16	4.06	0.13	18.66	3.84	0.12	17.68	2.88	0.09	15.06	2.17	0.07

Juin	2001			2002			2003			2004		
	Moy	s	Es									
Tn air	15.6	3.65	0.12	16.18	4.04	0.13	17.4	2.88	0.09	13.93	2.78	0.09
Tx air	31.99	4.73	0.16	33.32	4.52	0.15	33.40	4.06	0.14	28.99	5.35	0.18
Tn sol	11.36	3.72	0.12	12.59	3.90	0.13	13.99	2.96	0.10	10.64	2.89	0.09
Tx sol	42.60	4.99	0.17	43.71	5.24	0.18	43.5	4.32	0.14	36.92	6.06	0.20
T 50	25.73	1.38	0.04	26.44	1.55	0.05	28.89	2.12	0.07	22.02	2.14	0.07
T 100	23.94	1.45	0.05	24.65	1.56	0.05	26.53	1.88	0.06	19.39	1.30	0.04
T moy M	23.85	3.59	0.12	24.84	3.87	0.13	25.26	3.41	0.11	21.36	3.86	0.13

Juillet	2001			2002			2003			2004		
	Moy	s	Es	Moy	s	Es	Moy	s	Es	Moy	s	Es
Tn air	19.09	3.00	0.10	18.77	3.66	0.12	20.13	2.43	0.08	17.26	38.78	0.12
Tx air	35.89	3.36	0.11	33.53	4.81	0.16	37	3.65	0.12	33.99	4.24	0.14
Tn sol	15.09	3.42	0.11	15.83	3.67	0.12	17.65	2.43	0.08	14.33	2.90	0.09
Tx sol	44.73	3.18	0.10	42.56	4.58	0.15	45	4.31	0.14	41.64	3.96	0.13
T 50	29.29	0.74	0.02	28.48	0.68	0.02	28.89	0.76	0.02	27.58	0.83	0.02
T 100	27.61	0.72	0.02	27.17	0.35	0.01	26.53	0.71	0.02	24.60	1.05	0.03
T moy M	27.03	2.86	0.09	25.55	3.83	0.12	28.41	2.74	0.09	25.75	3.31	0.11

Août	2001			2002			2003			2004		
	Moy	s	Es	Moy	s	Es	Moy	s	Es	Moy	s	Es
Tn air	19.01	2.51	0.08	19.01	3.36	0.11	19.72	2.33	0.07	19.24	2.47	0.08
Tx air	34.68	2.87	0.09	33.06	4.01	0.13	35.70	2.93	0.09	35.47	3.45	0.11
Tn sol	15.55	2.98	0.09	16.33	3.76	0.12	17.83	2.56	0.08	16.60	2.78	0.09
Tx sol	43.17	3.23	0.10	42.29	3.85	0.12	42.78	3.58	0.11	42.56	3.06	0.10
T 50	29.77	0.67	0.02	28.14	0.67	0.02	28.46	0.57	0.01	28.61	0.84	0.02
T 100	28.77	0.29	0.009	28.14	0.39	0.01	27.37	0.17	0.005	26.56	0.56	0.01
T moy M	26.30	1.97	0.06	25.00	3.24	0.10	27.44	2.24	0.07	26.91	2.91	0.09

Septembre	2001			2002			2003			2004		
	Moy	s	Es	Moy	s	Es	Moy	s	Es	Moy	s	Es
Tn air	16.07	1.82	0.06	15.41	3.68	0.12	15.64	2.82	0.09	14.72	3.58	0.12
Tx air	29.10	3.11	0.10	28.41	4.55	0.15	27.62	4.68	0.16	28.74	5.78	0.19
Tn sol	13.24	2.21	0.07	12.53	3.77	0.13	13.73	3.12	0.10	11.58	4.12	0.14
Tx sol	37.09	3.47	0.11	37.33	4.78	0.16	33.11	4.81	0.016	35.76	6.69	0.23
T 50	26.57	1.16	0.04	26.08	1.29	0.04	23.90	2.15	0.07	24.91	2.21	0.07
T 100	26.79	0.92	0.03	26.24	0.72	0.02	25.20	1.52	0.05	25.13	1.18	0.04
T moy M	21.57	1.96	0.06	21.32	3.66	0.12	20.94	3.27	0.11	21.03	4.38	0.15

Octobre	2001			2002			2003			2004		
	Moy	s	Es									
Tn air	14.13	2.96	0.09	11.57	2.98	0.09	14.03	3.39	0.11	12.58	2.48	0.08
Tx air	27.69	3.18	0.10	25.42	4.04	0.13	24.14	5.13	0.17	26.25	6.76	0.22
Tn sol	11.44	3.24	0.10	8.25	3.54	0.11	12.10	3.51	0.11	8.85	2.86	0.09
Tx sol	33.13	3.45	0.11	34.99	4.79	0.15	27.72	5.54	0.18	32.31	5.75	0.19
T 50	22.31	1.09	0.03	20.95	1.10	0.03	20.25	1.83	0.06	20.67	1.13	0.03
T 100	23.34	0.91	0.03	22.05	1.08	0.03	21.42	1.03	0.03	21.47	0.69	0.02
T moy M	20.23	2.72	0.09	17.90	2.74	0.09	18.63	3.77	0.12	19.39	3.22	0.10

Novembre	2001			2002			2003			2004		
	Moy	s	Es	Moy	s	Es	Moy	s	Es	Moy	s	Es
Tn air	2.56	3.12	0.10	8.34	2.38	0.07	7.16	4.05	0.013	5.84	3.40	0.11
Tx air	11.90	3.86	0.12	16.80	3.53	0.11	17.83	4.04	0.13	14.69	4.41	0.14
Tn sol	4.01	2.58	0.08	6.08	2.49	0.08	4.79	2.29	0.07	2.99	4.06	0.14
Tx sol	20.54	4.14	0.14	21.96	5.63	0.19	21.24	2.86	0.09	18.38	3.96	0.13
T 50	15.67	2.45	0.08	15.32	1.78	0.06	14.26	1.09	0.03	13.51	2.56	0.08
T 100	18.06	2.20	0.07	17.39	1.70	0.05	16.93	1.10	0.03	16.38	2.20	0.07
T moy M	10.93	2.70	0.09	12.25	3.06	0.10	11.99	1.72	0.05	9.92	2.20	0.07

Décembre	2001			2002			2003			2004		
	Moy	s	Es									
Tn air	2.56	3.12	0.10	5.32	2.38	0.07	2.47	4.05	0.13	4.25	3.40	0.11
Tx air	11.90	3.86	0.12	14.03	3.53	0.11	11.78	4.04	0.13	11.91	4.41	0.14
Tn sol	-0.62	3.84	0.12	2.61	3.31	0.11	0.93	4.87	0.16	2.29	2.93	0.09
Tx sol	16.33	5.52	0.18	17.48	4.67	0.15	14.06	4.58	0.15	14.47	5.27	0.17
T 50	10.46	1.31	0.04	11.04	0.68	0.02	9.34	1.93	0.06	9.96	1.84	0.06
T 100	12.87	1.25	0.04	12.95	0.67	0.02	12.56	1.71	0.05	12.30	1.15	0.03
T moy M	6.56	2.65	0.08	9.15	2.15	0.07	6.78	2.98	0.09	7.87	3.26	0.10

Le relevé floristique:

Ce relevé floristique a été effectué dans les mêmes stations d'étude.

Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*):

Espèce résineuse appartient à la famille des Pinacées.

Cette essence est très répandue en Algérie, c'est un arbre à couvert léger et a tempérament robuste, résistant bien à la sécheresse et à la chaleur. Il peut dans de bonnes conditions atteindre un grand développement, mais on le rencontre fréquemment dans les sol arides ou les autres essences ne peuvent prospérer. C'est surtout une espèce des terrains calcaires (Lapie et Maige 1914). La multiplication se fait par semis en place ou par repiquage soit de plants de 2 mois, soit de plants de 1 et 2 ans (Greco, 1966).

Chêne vert (*Quercus ilex*):

Espèce feuillue, qui appartient à la famille des fagacées.

Le chêne vert, très répandu sur les sols calcaires, se rencontre aussi sur les grés. Il résiste aux expositions chaudes et supporte mieux le froid et la sécheresse, le couvert est assez épais, c'est un arbre qui rejette très bien de souche et donne d'abondants drageons, surtout après incendie (Lapie et Maige, 1914). On peut le multiplier par semis direct sur terre travaillée en montagne entre 400 et 1500 m d'altitude (Greco, 1966).

Philaria à feuilles étroites (*phillyrea angustifolia*):

Famille des oléacées, c'est une espèce feuillue.

Phillyrea angustifolia est un arbuste de 1 à 2 mètres, à enracinement profond, c'est une variété rare en Algérie (Boudy, 1952).

Philaria intermédiaire (*Phillyrea media*):

Famille des Oléacées, c'est une espèce feuillue.

Comme *Phillyrea angustifolia*, *Phillyrea media* est aussi un arbuste de 1 à 2 mètres, il est l'un des principaux éléments du maquis ; espèce de plaine, de forêts claires, ne la retrouvant pas en haute montagne (Boudy, 1952).

Lentisque (*Pistacia lentiscus*)

Famille des Térébinthacées.

Le lentisque est un arbuste qui peut atteindre 4 à 6 mètres de hauteurs sur 1 à 2 de diamètre, mais on l'observe rarement en cet état ; fréquemment mutilé, il repousse vigoureusement de souche et se présente à l'état de buissons épais.

Cette espèce est extrêmement abondante dans le Tell, où elle forme un des éléments principaux des broussailles, le bois de lentisque est un excellent combustible (Lapie et Maige, 1914)

Arbousier commun (*Arbutus unedo*)

Famille des Ericacées, espèce feuillues.

C'est un arbuste ou arbrisseau touffu, l'aspect du fruit a fait surnommer l'arbousier « Fraisier en arbre », il est abondant dans la forêt humide du Tell. (Lapie et Maige, 1914), très commun dans les forêt de Chêne liège, Chêne zeen, Chêne vert (Forêt fraîche), Pin d'Alep, le Thuya, les maquis, occupe une place très importante dans leurs sous- bois .C'est un bon combustible. (Boudy, 1952).

Genevrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*)

Famille des conifères, c'est une espèce résineuse.

Le Genévrier oxycèdre est un arbrisseau ou un petit arbre dressé, il est très répondu en Algérie, on en extrait par distillation, l'huile de cade. (Lapie et Maige, 1914).

L'Asperge à feuilles aiguës (*Asparagus acutifolius*)

Famille des liliacées.

C'est l'espèce la plus commune en forêt, les feuilles sont réduites à des écailles et les organes que l'on prend d'ordinaire pour des feuilles linéaires sont, en réalité des rameaux modifiés que l'on appelle cladodes . (Lapie et Maige, 1914).

Calycome épineux : (*Calycotome spinosa*)

Famille des papilionacés.

C'est un arbrisseau épineux très commun dans les broussailles, il se rencontre dans tout le Tell Algérien (Boudy, 1952).

Ciste vellu : (*Cistus villosus*)

Famille des Cistacées

C'est un sous- arbrisseaux rameux, joue un rôle très important dans le sous bois des forêts Nord –Africaines où il favorise les incendies ; la taille ne dépasse généralement pas, 1,50 mètre, il est assez commun dans les forêts de thuya (Boudy, 1952).

Azerolier (*Crataegus azarolus*)

Famille des Rosacées.

Il est assez commun dans le Tell méridional ; cette espèce se présente fréquemment à l'état d'arbuste, mais peut parfois atteindre les dimensions d'un arbre d'une dizaine de mètres de hauteur sur 1 à 2 de circonférence. C'est un très bon combustible qui produit du charbon de première qualité (Lapie et Maige, 1914).

Diss (*Ampelodesma mauritanica*)

Famille des graminées

On le trouve dans les forêts humides de plaine (Où il tombe au moins 500 mm de pluie) et de montagne (Chêne liège, Chêne vert, Chêne zeen, Pin d'Alep). Cette espèce tient le sol, donne un pâturage très médiocre ce qui fait qu'on l'incinère souvent pour avoir des repousses tendres, elle se sème et se repique facilement (Greco, 1966).

Astragale (*Astragalus armatus*)

Famille des papilionacées

C'est une plante (Sous- arbrisseau) vivace, très épineuse à tiges ligneuses que l'on rencontre sur les terrains à pâture (Beniston et al., 1984).

Bilan des incendies de la forêt domaniale de chettabah et ses environs (1973-2000)

Années	Dates	Superficies (ha)	Cantons	Observations
1973	17-07-73 au 18-07-73	72	-----	Forêt dégradée de Chêne vert
	15-09-73 au 16-09-73	800	Rmaïls Saguiet Rhum	Peuplement épais de Pin d'Alep, reboisement, terrain de parcours.
	17-09-73 au 17-09-73	400	Sidi Slimane	Reboisement et Pin d'Alep épais
1984	10-07-84 au 10-07-84	25	Sidi Slimane et Djehers	Maquis de Chêne vert et Diss
1989	16-07-89 au 16-07-89	80	Sidi Slimane	30 h de maquis de Chêne vert et 50 h de Diss
1991	11-08-91 au 12-08-91	7	M'ghronal	1 ha de Pin d'Alep et 6 ha de Chêne vert
	13-08-91 au 13-08-91	0.5	Djebel Zouaoui	Chêne vert
	15-08-91 au 18-08-91	140	M'ghronal	40 ha de Pin d'Alep et 100 ha de Chêne vert
	04-09-91 au 04-09-91	4	Sidi Slimane	3 ha de Chêne vert et 1 ha de broussailles
	05-09-91 au 05-09-91	150	Sidi Slimane	Chêne vert
1994	27-08-94 au 28-08-94	20	Sidi Slimane	Maquis de Chêne vert
1995	18-06-95 au 18-06-95	3	-----	Pin d'Alep et Chêne vert
	24-06-95 au 27-06-95	90	-----	53 ha de Pin d'Alep et Cyprès, et 37 ha maquis de Chêne vert
	18-08-95 au 19-08-95	50	Djebel kerkerera	Maquis de Chêne vert
1996	15-11-96 au 18-11-96	630	Chaâbet saïd et Chaâbet Erroum	150 ha de Pin d'Alep, 30 ha de Chêne vert et 450 ha de broussailles et litières
1999	06-08-99 au 07-08-99	212	Sidi Slimane	12 ha de forêts et 200 ha de broussailles et litières
2000	30-08-00 au 30-08-00	4	Sidi Slimane	Chêne vert
	19-09-00 au 20-09-00	3	Sidi Slimane	Chêne vert

Moyennes des temps d'étincelle, d'inflammabilité et de combustibilité pour les 17 espèces (secondes).

Espèces	PA	CV	Cis	Dis	Arb	P ang	P med	Len	Asp
Températures									
8 °C	19.7	37.8	32.6	27.9	38.3	41.4	50.9	26.7	5.7
	96.9	83.6	114.4	93.3	87.5	85.9	119.3	109.6	97.3
	428.4	365.4	348.9	249.2	365.9	329.4	379.8	306.7	313.9
20 °C	17.9	35	29.6	24	28.3	38.6	39.8	23.2	5.4
	107.4	71.4	95.6	73.8	90.4	65.4	96.9	104.9	68.8
	364.5	328.1	333.6	237.2	345.7	311.1	351.1	302.2	227.2
8 °C	21.7	40.7	37.3	29.1	42.9	44.6	53.6	30.9	8.1
	108.7	83.2	152.5	101.4	93.5	88.7	128.9	124.9	112
	442.8	372.4	357	254.6	403.4	331.5	382.3	319.8	327.1
32 °C	12.6	25.2	22.3	18.5	23.3	24.8	21.3	19.3	4.5
	89.5	72.4	79.8	57.9	58.4	46.2	76.6	84.8	58.7
	295.9	278	300.2	201	297.9	245.6	276	280.8	188.3
27°C	14.3	26.8	24.7	19.8	26.9	31.6	32.9	22.9	4.3
	63.2	67.6	94.8	64.5	72.3	69.4	87.5	94.5	62.2
	328.3	305.1	330.5	216.8	312.8	288.5	324.5	297.3	208.6
37 °C	11.3	20.4	13.7	11.1	19.8	21.3	19.6	13.9	3.4
	59	45.3	47.7	45.1	39.1	41.3	40.7	58.9	29.8
	175.4	231.5	258.9	153.9	262.9	219.1	261.6	264.1	157.7
43 °C	9.6	15.5	9.8	8.7	16.6	19.6	16.6	8.5	3.1
	58.3	38.9	44.9	38.1	32.3	39.9	37.1	53.3	18.9
	174.5	227.4	238.9	137.9	251.4	212.1	232.8	221.9	147.6
32 °C	13.4	23.7	19.6	17.2	22.6	25.2	23.4	20.1	4
	62.5	48	76.2	53.4	57.9	58.4	75.4	87.3	41.7
	296.3	285.1	301.7	187	294.2	234.5	289.9	224.9	192.2
36 °C	10.5	20.9	14.6	14.8	21.1	22.3	22.8	30.2	3.7
	55	39.3	57.2	65.3	44.9	44.4	68.7	76.8	34
	291.3	270.8	288.5	148	268.1	227.3	264.2	234.2	177
36 °C	11.1	15.8	14.4	13.4	20.3	21.3	20	22	3.8
	82.2	59.4	44.4	48.2	49.9	42.3	58.9	69.6	36.1
	245	259.3	268.4	154.8	265.6	222.2	261.1	239	171.3
26 °C	14.5	27	23.5	20.5	25.7	29.7	31.4	21.1	4
	97	62.1	95	68.1	74.8	67.9	88.1	101.7	65.2
	344.1	318.9	326.6	220	304.3	293.1	311.1	291.6	195.3
21 °C	17.8	35.9	28.8	23.8	32.6	39.2	41.6	23.9	5
	107.3	67.9	102.7	76.6	87.8	69.2	92.7	107	73.1
	367.3	332.6	340.5	232.5	357.6	309.2	341.9	300.6	253.6

Suite

Espèces	Oxy	Aze	Ast	Cal	E PA	E CV	L PA	L CV
Températures								
8 °C	7.6 81.4 246.3	32.5 113.5 330.3	6.6 39.5 304.3		9.4 94.9 802.3	11.1 105.3 775.8	10.6 36.4 472.3	25.8 49.1 421.4
20 °C	7.6 80.3 222.7	27.5 90.5 318.9	5.4 29.6 295.6	17.3 95.1 341.5	8.5 90.8 765.4	8.2 99.2 752.7	9.8 31.1 421.5	23.7 42.5 413.7
8 °C	7.8 83.6 248.3	33.8 114.8 337	7.5 52.9 307.1	22.6 134.9 369.1	14.5 110.8 818.4	13.5 112.3 792.4	21.5 42.9 528.4	35.7 69.1 450.7
32 °C	6.5 66.4 195.5	23.1 61.4 254.8	3.4 10.9 202.6	9.4 79.4 227.9	6.6 66.8 648.1	6.1 66.2 630.4	7.9 23.8 274.9	17.1 33.2 313.1
27°C	7.1 77.4 206.7	26.7 70.8 287.6	4.1 21.3 283.2	16.3 81.3 274.3	7.5 78 730.5	8.2 89 688.8	8.9 28.1 364.5	19.2 39.9 368.2
37 °C	5.6 32.7 147	17.1 44.2 212.7		7.5 68.2 193.1	5.6 34.5 592	5.5 48.3 547.9	4.5 21 226.8	10.7 17.9 253.7
43 °C	5.3 31.4 114.9	15.4 43.4 209.5		3.3 40.4 178.2	5.1 24.2 485.9	4.7 40.3 517.6	3 20.3 205.4	10.3 16.2 240.9
32 °C	6.7 64.4 179.4	21.1 68.6 242.5			7.1 67.5 654.6	6 64.6 641.1	7.7 22.8 265.6	19 32.7 333
36 °C	6.2 61.8 165.5	18.4 56.5 236.2			6.6 57.4 638.5	5.8 57.9 622.4	6.7 21.4 228.5	11.8 21.1 308.5
36 °C	5.8 61.6 175.9	17.7 50.9 221.6			6.2 34.1 605.6	6 55.5 611.2	5.1 21.1 234.1	14 18.9 283
26 °C	7.2 71.5 203.4	24.1 75.2 291.4			7.2 76.5 660.1	7.5 90.3 677.9	8.3 24.1 335.6	19.9 42 356.3
21 °C	7.5 77.7 212.3	31.5 79.7 312.7			7.7 85.7 781.9	9.5 95.7 731.6	10.3 32.1 384	21.4 42.1 384

Moyenne des teneurs en eaux (%).

Espèces	PA	CV	Cis	Dis	Arb	P ang	P med	Len	Asp
Températures									
8 °C	54.24	49.87	64.78	46.26	57.61	52.41	49.97	52.95	54.51
20 °C	52.35	45.38	63.63	45.61	56.62	510.94	47.39	51.92	53.98
8 °C	54.72	64.48	68.79	55.54	61.89	55.07	57.11	53.00	74.22
32 °C	51.46	38.88	56.45	40.95	51.78	44.91	45.16	50.12	48.74
27°C	51.74	44.28	58.05	41.75	52.21	45.94	46.28	50.46	53.20
37 °C	47.98	35.90	45.62	35.36	49.36	39.96	44.53	44.25	34.75
43 °C	41.27	34.06	42.24	35.21	48.22	36.54	43.12	33.11	29.35
32 °C	50.82	39.37	52.70	41.59	50.49	45.23	45.93	49.55	47.55
36 °C	51.95	41.24	47.56	41.01	50.47	43.60	44.91	48.62	46.55
36 °C	51.11	40.55	48.01	40.74	50.36	41.78	44.61	49.18	42.05
26 °C	52.24	42.82	57.58	42.22	53.98	45.47	46.37	50.51	51.23
21 °C	52.73	45.04	58.96	45.47	54.59	48.97	47.23	50.58	53.63

Suite

Espèces	Oxy	Aze	Ast	Cal	E PA	E CV	L PA	L CV
Températures								
8 °C	49.25	58.86	55.77		21.94	32.52	44.06	34.89
20 °C	49.01	47.77	52.27	67.82	18.75	14.91	30.01	27.98
8 °C	54.40	62.36	65.16	68.86	34.54	49.23	54.77	52.63
2 °C	45.85	45.55	32.23	49.90	8.92	8.61	8.44	8.08
27°C	46.25	45.91	51.78	55.95	9.32	10.66	8.74	10.73
37 °C	41.31	38.79		49.56	5.98	2.76	2.64	5.48
43 °C	39.75	37.62		49.16	5.92	2.03	1.89	3.63
32 °C	43.43	44.04			8.70	8.12	8.61	7.98
36 °C	42.98	40.91			9.31	7.93	6.95	7.30
36 °C	43.30	40.96			8.67	6.46	7.00	7.03
26 °C	46.11	45.48			10.25	9.33	13.7	9.17
21 °C	47.15	46.05			16.30	15.02	31.29	21.63

Moyenne annuelle des temps d'inflammabilité, de combustibilité et de la teneur en eau

	PA	CV	Cis	Dis	Arb	P ang	P med	Len	Asp
Tps d'inf	82.25	61.59	83.76	65.47	65.73	59.91	80.9	89.4	58.1
Tps de com	312.8	297.8	307.80	199.4	310.81	268.6	306.3	273.5	213.3
T eau	51.05	43.48	55.36	42.64	53.13	45.90	46.88	48.68	49.14

Suite

	Oxy	Aze	Ast	Cal	E PA	E CV	L PA	L CV
Tps d'inf	65.85	72.4	30.8	83.2	68.43	77.05	27.09	35.3
Tps de com	193.1	193.1	278.5	264.0	681.9	665.8	328.4	343.8
T eau	45.73	46.05	51.44	45.57	13.21	13.96	18.17	16.37

Moyenne des temps d'inflammabilité, de combustibilité et de la teneur en eau

Pour les trois mois d'été (Juin, Juillet, Août)

	PA	CV	Cis	Dis	Arb	P ang	P med	Len	Asp
Tps d'inf	58.5	21.4	64.2	53	49.2	50.4	61.8	74.2	37.4
Tps de com	252.8	202.8	283.6	168.8	277.8	236	274.4	248.2	176.8
T eau	48.75	38.97	49.23	38.98	50.15	42.25	44.95	45.19	42.28

Suite

	Oxy	Aze	Ast	Cal	E PA	E CV	L PA	L CV
Tps d'inf	53.4	56.6		63	52	60	22.6	25.6
Tps de com	162.6	237.6	283	215	620.2	603.6	258	300.8
T eau	42.74	41.45	51.78	51.55	7.84	6.3	5.76	7.02

Temps d'inflammabilité, de combustibilité et de la teneur en eau (Juillet)

	PA	CV	Cis	Dis	Arb	P ang	P med	Len	Asp
Tps d'inf	58	15	45	38	32	40	37	53	19
Tps de com	174	227	239	138	251	212	232	221	148
T eau	41.27	34.06	42.24	35.21	48.22	36.54	43.12	33.11	29.35

Suite

	Oxy	Aze	Ast	Cal	E PA	E CV	L PA	L CV
Tps d'inf	31	43		40	24	40	20	16
Tps de com	115	209		178	486	518	205	241
T eau	39.75	37.62		49.16	5.92	2.03	1.89	3.63

Résumé :

Notre travail consiste à évaluer la sensibilité de la végétation forestière aux incendies dans la forêt domaniale de Chettabah, composée de Pin d'Alep et de chêne vert considérées comme essences principales.

Les strates arbustives et herbacées sont les plus vulnérables et inflammables, pour cette raison, un certain nombre d'espèces a fait l'objet de cette étude qui consiste à déterminer leur temps d'inflammabilité et de combustibilité en fonction de la teneur en eau de leur feuillage au cours de l'année.

Le traitement statistique à travers l'analyse des données thermiques de la période 2001-2004, montre que les températures maximales élevées représentent un facteur dominant des départs des feux.

Les tests d'inflammabilité et de combustibilité ont permis de classer les espèces par ordre croissant selon leur sensibilité aux feux, et de calculer le risque des incendies qui est pour notre cas très élevé durant la saison estivale.

Mots clefs: Végétation forestière, sensibilité aux incendies, risque.

Summary :

Our work consists in valuing the sensitivity of the forest vegetation to the fires in the domanial forest of Chettabah, composed of Pine of Alep and holly-oak considered like main species.

The shrubby and herbaceous strata are the most vulnerable and flammable, for this reason, a certain number of species made the object of this survey that consists in determining their time of inflammability and combustibility according to the content in water of their foliage during the year.

The statistical treatments through the analysis of the thermal data of the period 2001-2004, watch that the elevated maximal temperatures represent a dominant factor of the departures of fires.

The tests of inflammability and combustibility permitted to classify the species by increasing order according to their sensitivity to fires, and to calculate the risk of the fires that is for our very elevated case during the summery season.

Key words: Forest vegetation, sensitivity to the fires, risk.

ملخص:

العمل الذي قمنا به يتعلق بتقييم حساسية نباتات غابة شطابة للحرائق و المتمثلة في الصنوبر الحلبي والبلوط الأخضر اللذان يعتبران نوعان أساسيان في هذه الغابة. الطبقتان الشجرية و العشبية يعتبران الأكثر تعرضا و الأكثر التهابا ، و لهذا السبب بعض الأصناف النباتية كانت محل هذه الدراسة و التي تتعلق بتحديد زمن الالتهاب و الاحتراق الخاص بكل نبتة و هذا حسب كمية الماء الموجودة بالأوراق على مدار السنة. المعالجة الإحصائية من خلال تحليل المعطيات الحرارية للفترة الممتدة بين 2001-2004 تبين أن الحرارة القصوى تمثل العامل الغالب لنشوب الحرائق. اختبارات شدة الإشتعال و الإحتراق سمحت لنا بتصنيف الأنواع النباتية تبعا للترتيب التصاعدي و ذلك حسب درجة حساسيتها للحرائق ، و كذلك حسب خطر الحرائق الذي وجد بدوره جد مرتفع خلال الصيف. **الكلمات المفتاحية** : النباتات الغابية ، الحساسية للحرائق ، خطر.

Nom : Megrerouche

Date de soutenance :

Prénom : Radia

Titre : Sensibilité de la végétation forestière aux incendies: Cas de la forêt domaniale de Chettabah -Ain Smara- Constantine.

Résumé :

Notre travail consiste à évaluer la sensibilité de la végétation forestière aux incendies. La zone d'étude se situe dans la forêt domaniale de Chettabah, composée de Pin d'Alep et de chêne vert considérées comme essences principales.

Les strates arbustives et herbacées sont les plus vulnérables et inflammables, pour cette raison, un certain nombre d'espèces a fait l'objet de cette étude qui consiste à déterminer leur temps d'inflammabilité et de combustibilité en fonction de la teneur en eau de leur feuillage au cours de l'année.

Le traitement statistique à travers l'analyse des données thermiques de la période 2001-2004, montre que les températures maximales élevées représentent un facteur dominant des départs des feux.

Les tests d'inflammabilité et de combustibilité ont permis de classer les espèces par ordre croissant selon leur sensibilité aux feux, et de calculer le risque des incendies qui est pour notre cas très élevé durant la saison estivale.

Mots clés : Végétation forestière, sensibilité aux incendies, risque.

Laboratoire de Recherche : Développement et valorisation des ressources phytogénétiques

Devant la commission d'examen :

Président : RAHMOUNE C

Prof. Univ. Mentouri de Constantine

Rapporteur : ALATOU D

Prof. Univ. Mentouri de Constantine

Examineurs : TAHAR A

Prof. Univ. Badji Mokhtar d'Annaba

: BENDERRADJI M H

Prof. Univ. Mentouri de Constantine