

Faculté des sciences et techniques de Saint Jérôme
DEUST « Gestion de l'espace naturel »
Option : « Forêts, espaces forestiers méditerranéens
et développement rural intégré »

Recueil bibliographique de données caractérisant le combustible forestier de la région méditerranéenne



Méthode de description du combustible : le transect en bande. (I.N.R.A.)

RASPAIL Sylvie

I.N.R.A Avignon, équipe « Prévention des Incendies de Forêts »

Document PIF2000-7

Septembre 2000

Je tiens à remercier M^r Rigolot et M^r Dupuy qui m'ont encadré durant ce stage.

Je tiens également à remercier l'ensemble des personnes qui m'ont aidé dans la recherche de documents au sein du service où j'ai effectué mon stage, mais également à L'I.N.R.A. de Montfavet, au C.E.P.E., au C.I.R.A.D., au Cemagref, et à L'Institut de Botanique.

SOMMAIRE

	Pages
Introduction	1
I. <u>Définition du stage</u>	2
1) <u>Structure d'accueil</u>	2
2) <u>Contexte</u>	2
3) <u>But du stage</u>	3
II. <u>Méthode d'étude : recherche et organisation des données</u>	4
1) <u>Recherche des données</u>	4
a) Point de départ : la base de données de l'INRA	4
b) Recherche de données dans d'autres centres de recherche	4
2) <u>Organisation des données</u>	6
a) Trois échelles d'étude	6
b) Réunion des données sous fichiers Excel	6
III. <u>Bilan des données disponibles sur le combustible</u>	7
1) <u>Les méthodes de description du combustible</u>	7
a) Description de la strate arborée	8
b) Description des strates basses	8
c) Description des particules	8
2) <u>Analyse des résultats obtenus</u>	9
a) Les auteurs	9
b) Dates des publications	10
c) Les lieux d'étude	10
d) Les données par type de fichier	11
Conclusion et perspectives	14
Bibliographie	15
Annexes	22

LISTE DES ABREVIATIONS

C.E.F.E. : Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive.

C.E.M.A.G.R.E.F. : Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et Forêts.

C.E.P.E. : Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques.

C.E.R.E.N. : Centre d'Essais et de Recherches de l'Entente

C.I.R.A.D. : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.

C.N.R.S. : Centre National de la Recherche Scientifique.

D.E.A. : Diplôme d'Etude Approfondie.

E.N.I.T.E.F. : Ecole Nationale des Ingénieurs des Travaux des Eaux et Forêts.

I.N.R.A. : Institut National de la Recherche Agronomique.

P.F.C.I. : Protection des Forêts Contre les Incendies.

P.I.F. : Prévention des Incendies de Forêts.

Introduction

Les incendies de forêts ravagent chaque année de nombreux hectares boisés dans la région méditerranéenne. Une politique de prévention et de lutte organisée et efficace permet de réduire les superficies brûlées.

Les mesures préventives permettent de réduire les risques de départ des feux : sensibilisation du public, législation précise et stricte.

La prévention passe aussi par une gestion raisonnée de l'espace naturel afin de rendre les milieux moins sensibles au feu. Pour prendre les décisions adéquates et entreprendre des actions efficaces, il faut donc bien connaître les milieux que l'on cherche à gérer.

La végétation peut être décrite par des méthodes de type phytosociologique et dendrométrique en déterminant les espèces présentes dans les différentes strates, leur hauteur, leur recouvrement, ou leur densité. Peut s'ajouter à ces études une description physique de cette végétation par la détermination de sa phytomasse ou des propriétés chimiques et physiques des éléments qui la composent.

Ce type de données est nécessaire pour caractériser la capacité des végétaux étudiés à s'enflammer ou à propager le feu.

Les données actuellement disponibles décrivant la végétation méditerranéenne sont issues de travaux restitués sous forme de thèses, de mémoires, de rapports, d'ouvrages et d'articles dans des revues scientifiques.

Le but de mon stage a donc été de collecter ces informations, et de les organiser afin de rendre leur consultation simple et rapide, permettant ainsi de dresser un bilan détaillé des données existantes sur la région méditerranéenne et des méthodes d'acquisition employées.

Mon stage constitue donc une étape préalable à la réalisation de nouvelles mesures de terrain destinées à compléter peu à peu la description de la végétation méditerranéenne vue comme combustible.

Dans un premier temps, nous allons décrire d'une manière plus précise, la structure d'accueil (I.N.R.A Avignon), le cadre dans lequel s'inscrit ce stage ainsi que son but.

Puis une description de la méthode de collecte des données sera présentée, démarche nécessitant rigueur afin de bénéficier de résultats les plus complets possible et balayant le mieux possible l'ensemble des données existant sur le sujet.

Enfin un bilan sera fait des recherches effectuées, en présentant une synthèse de l'état des connaissances.

I. Définition du stage

1) Structure d'accueil

J'ai effectué mon stage à l'Institut National de la Recherche Agronomique (I.N.R.A) au sein de l'unité de Recherches Forestières Méditerranéennes située à Avignon.

L'unité de Recherches Forestières Méditerranéennes est composée de 5 équipes :

Equipes de « la Croissance et Conduite des Peuplements Forestiers », « Ecophysiologie Forestière », « Génétique et Amélioration Forestière », « Zoologie Forestière », et « Prévention des Incendies de Forêts ».

C'est dans le cadre des recherches menées par l'équipe de « Prévention des Incendies de Forêts » (P.I.F) que j'ai effectué mon stage.

Les axes de recherches de cette équipe sont :

- La modélisation du comportement du feu de forêt
- Les effets de la chaleur sur la strate arborée
- La gestion des espaces naturels et des coupures de combustible

L'équipe compte 2 ingénieurs, 1 chercheur et 4 techniciens.

M^f Dupuy, chercheur et M^f Rigolot, ingénieur, ont été mes deux maîtres de stage.

2) Contexte

Ce stage entre dans le cadre de l'application de modèles de comportement du feu aux milieux méditerranéens.

Ces modèles seront utiles pour la formation des hommes à la lutte, pour la planification des ouvrages de prévention et à plus long terme pour l'assistance opérationnelle à la lutte.

Parmi les nombreux types de modèles de propagation du feu, l'équipe P.I.F. a choisi de conduire des recherches sur les modèles de type physique.

Tous les modèles de propagation du feu nécessitent de disposer de données caractérisant le milieu sur lesquels ils vont être appliqués. Ces données concernent le relief (pente), les conditions de vent, et les caractéristiques de la végétation en tant que combustible¹. Pour les modèles physiques une description plus détaillée du combustible est nécessaire.

Pour ce qui est de la caractérisation du combustible, on sait que les données disponibles dans la littérature comprennent dans le meilleur des cas : des données de type dendrométrique et phytosociologique qui sont des données facilement mesurables sur le terrain, reliées à des données qui ne sont pas directement mesurables sur le terrain en particulier la phytomasse.

Les données de type dendrométrique et phyto-sociologique renseignent sur les recouvrements et les hauteurs des différentes strates de la végétation (arborée, arbustive, herbacée) et au sein de ces strates sur les hauteurs et les recouvrements des espèces qui les constituent. On peut également disposer de données sur les densités (en nombre de tiges par hectare très souvent) des peuplements.

Ceci permet de calculer les volumes occupés par les différents végétaux en multipliant la hauteur par le recouvrement.

Les données non directement mesurables sur le terrain concernent les phytomasses des différents végétaux ou combustibles et des éléments qui les constituent que l'on appelle particule de combustible : troncs, branches, éléments fins tels que les rameaux de moins de 3mm de diamètre, les aiguilles ou les feuilles.

¹ Combustible : tout matériel inflammable situé au-dessus du sol et dans le sol.

Les données de volume et de phytomasse ainsi obtenues permettent de calculer des taux d'occupation volumique ou masse volumique apparente pour le combustible ou la particule de combustible étudiée.

En ce qui concerne les particules fines on peut également trouver dans les travaux de recherches, des données sur les propriétés chimiques et physiques : en particulier le rapport surface-volume², le pouvoir calorifique³ et la teneur en cendre⁴.

D'un point de vue physique, le milieu est constitué d'un ensemble de particules de combustible (branches, feuilles...). Les particules ayant les mêmes propriétés peuvent être rassemblées dans une même famille, chaque famille étant caractérisée par son taux d'occupation volumique et ses propriétés chimiques et physiques. Si les données recueillies sont suffisamment complètes, alors les milieux peuvent être décrits de cette manière complètement physique.

Sur des milieux ainsi caractérisés, il est possible d'utiliser des modèles physiques de comportement du feu à condition de disposer également d'éléments d'information sur la pente et sur le vent. Ces modèles permettent de fournir des informations sur les caractéristiques du feu dans un milieu donné : vitesse de propagation, géométrie de la flamme, température, flux thermique. On peut ainsi établir des relations entre un type de milieu et le feu qui pourrait s'y développer.

Cette phase de modélisation entre dans le cadre d'un programme de recherche auquel participe l'équipe P.I.F. et qui porte sur l'amélioration des coupures de combustible. L'application de ces modèles permet de prévoir l'évolution du feu sur ces ouvrages où la végétation a été réduite, et de savoir dans quelle mesure la coupure est susceptible de diminuer la puissance du feu et de permettre aux pompiers d'intervenir dans de meilleures conditions.

3) But du stage

Le but du stage est la récolte des données relatives à la caractérisation du combustible végétal de la région méditerranéenne française.

Ces données qui peuvent être de nature très différentes, sont le fruit de nombreux travaux d'organismes de recherche divers. Ces travaux n'avaient pas forcément pour but la caractérisation du combustible. Ils s'inscrivaient souvent dans des études écologiques ou de productivité des milieux.

L'un des points importants de ce stage est d'aller chercher l'information, dans la mesure du possible, directement dans les centres de recherches qui l'ont produite.

En effet la base de données de l'I.N.R.A. d'Avignon ne détient pas tous les documents relatifs à ce sujet. De plus ces données sont parfois présentées dans des documents internes plus facilement disponibles dans les centres qui les ont émis. Dans le cas de documents anciens, la chance de les trouver est également plus grande en allant les chercher à la source.

Ce stage consiste non seulement à réunir ces données mais également à les ordonner afin de les présenter sous une forme pratique pour leur consultation ultérieure.

Un bilan des connaissances sur les combustibles méditerranéens sera dressé pour mettre en évidence les espèces et les milieux sur lesquels on dispose de nombreuses données, ceux pour lesquels on constate des lacunes. Il sera enfin nécessaire d'évaluer si les données de ces études qui caractérisent le combustible sont suffisamment complètes pour être exploitées dans le cadre de l'application des modèles physiques de propagation du feu aux milieux étudiés.

² Rapport surface-volume : surface exposée par la particule rapportée au volume qu'elle occupe.

³Pouvoir calorifique : l'énergie que le combustible est susceptible de produire en brûlant.

⁴ Teneur en cendre : masse de la matière minérale rapportée au poids sec total

II. Méthode d'étude : recherche et organisation des données

1) La recherche des données

a) Point de départ : la base de données de l'I.N.R.A.

Au sein de l'unité de recherche, il existe une bibliothèque spécifique à l'équipe P.I.F., et une bibliothèque commune aux différents équipes où se trouvent les revues forestières, les thèses et mémoires.

La documentation P.I.F réunit les parutions relatives aux feux de forêts, dont celles propres à l'équipe. La consultation de la base de données informatisée, par mots clefs balayant le sujet (phytomasse végétale, phytovolume, combustible, particule de combustible, masse-volumique...) donne une liste d'ouvrages à étudier. La bibliographie de chacun de ces ouvrages permet de disposer de nouvelles références à rechercher. A travers cette première recherche une liste d'auteurs régulièrement cités, et considérés comme des références, peut être également mise en évidence.

La deuxième étape de la recherche est de se diriger vers d'autres services de l'I.N.R.A., susceptibles de détenir des documents relatifs au combustible : c'est le cas de l'unité d'Eco-developpement de l'I.N.R.A. de Montfavet où travaille M. Etienne, chercheur qui a réalisé des travaux relatifs à l'évaluation de phytomasses arbustives pour leur potentialité pastorale. Une base documentaire informatisée est consultée par mots clés pour la bibliothèque générale du service ainsi que pour les ouvrages détenus personnellement par M. Etienne.

Une fois effectuées l'étude de ces ouvrages et de leur bibliographie ainsi que le tri des données intéressantes, la prochaine étape consiste à se diriger vers d'autres centres de recherches pour y collecter par la même démarche de nouvelles informations.

b) Recherche de données dans d'autres centres de recherches

Les différents centres de recherches pouvant détenir des informations sur le combustible végétal et dont la proximité géographique permet une consultation sur place de la base de données sont le Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (C.E.F.E), le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (C.I.R.A.D), l'Institut de Botanique, tous les trois situés à Montpellier, le Centre d'étude du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et Forêts (Cemagref) du Tholonet, et les universités de Marseille et de Montpellier. Pour mieux comprendre la raison du choix de ces centres de recherches il est nécessaire de faire une présentation succincte de ces différents organismes.

Le C.E.F.E. anciennement le C.E.P.E. (Centre d'Etude Physiologique et Evolutive) de 1961 à 1988 appartient au Centre national de recherche scientifique (C.N.R.S.), et dépend donc du ministère de la recherche. Le C.E.F.E. de Montpellier travaillent sur différents thèmes : la biologie des populations, la dynamique des systèmes écologiques, la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes, et l'écologie chimique.

Le C.I.R.A.D. est un centre de recherches en agronomie, spécialisé dans les régions tropicales ne concernant pas donc pas la zone définie dans le cadre de mon stage (pourtour méditerranéen).

Cependant le C.I.R.A.D. de Montpellier présente un programme de recherche sur la modélisation des plantes qui permet de simuler la croissance et l'architecture des plantes à partir de la description des caractéristiques du végétal et du milieu naturel dans lequel il vit,

données d'entrée de ces modèles, et obtenues par la récolte de données sur le terrain. L'éventualité de trouver dans le cadre de ce programme des données intéressantes a motivé le choix d'effectuer une visite au C.I.R.A.D.

Malheureusement les données ayant pu être consultées n'étaient pas exploitables, ne contenant pas de données de phytomasse ni sur les propriétés physiques et chimiques des végétaux étudiés.

Le Cemagref est un Etablissement Public de recherche et d'application en agriculture et en environnement. Cet établissement a en effet la particularité de travailler sur l'utilisation pratique des résultats de ses recherches dans les différents secteurs économiques (secteur de l'industrie...), ceci sur des thèmes aussi variés que l'eau, les risques naturels et technologiques, l'équipement pour l'agriculture et les industries agro-alimentaires, les forêts. Ce centre de recherche est donc susceptible de détenir de nombreux documents sur le combustible végétal.

Enfin l'Institut de Botanique de Montpellier dont le centre de documentation renferme des documents relatif à la systématique a fait également l'objet d'une visite pour consultation de la base de données non informatisée mais répertoriée par auteurs et famille essentiellement dans le but de trouver les références recherchées les plus anciennes, malheureusement sans aucun résultat. Aucune recherche par mots clés n'a pu être effectuée car aucun répertoire n'existe par sujet, cependant un tel répertoire est en cours d'informatisation.

Cette recherche infructueuse peut s'expliquer par le fait que l'Institut de Botanique renferme essentiellement des données de classification ainsi que des données descriptives sur les végétaux ne comprenant pas le type de données recherchées.

Des recherches au niveau des universités ont été effectuées: l'université des sciences et techniques de Montpellier, l'université de Provence et la faculté des sciences et techniques Saint Jérôme de Marseille, car un certain nombre de thèses faites au sein de ces universités sont ressorties dans les bibliographies des documents étudiés.

Les coordonnées de l'ensemble des organismes et des universités où des recherches de documents ont été effectuées sont données en annexe 1.

Dans ces autres organismes, la même démarche de recherche qu'à l'I.N.R.A. par mots clés est utilisée. Cependant, grâce à la liste bibliographique d'ouvrages à rechercher constituée préalablement, les recherches sont plus efficaces et du temps est ainsi gagné.

Toutes les visites de ces centres ne sont pas réalisées en même temps. En effet entre chaque visite, un laps de temps permet d'étudier les ouvrages trouvés et de découvrir de nouvelles références d'ouvrages qu'il est possible de chercher dans les prochains centres visités.

Il faut préciser que malgré ces précautions, il a été nécessaire d'effectuer deux visites au C.E.F.E. de Montpellier pour y rechercher les ouvrages dont les références ont été trouvées lors des visites des derniers centres (notamment le Cemagref). En effet, c'est au C.E.F.E. que le nombre de documents trouvés a été le plus important.

Ces recherches de documents sont effectuées jusqu'à épuisement théorique des références possédées. Des ouvrages sont restés introuvables, certains à cause de leur ancienneté, d'autres pour ne pas avoir cherché dans tous les centres susceptibles de les détenir, chose qui d'un point de vue matériel et du fait de la durée du stage (3mois) n'était pas réalisable (notamment pour les centres de recherches à l'étranger).

2) Organisation des données

a) Trois échelles d'étude

Les travaux de description de la végétation qu'ils soient destinés à caractériser le combustible ou non, sont effectués à trois échelles : l'échelle du faciès, de l'individu ou de la particule.

A l'échelle du faciès, le milieu est considéré dans son ensemble. Il est caractérisé par les strates de végétation représentées et leur recouvrement. Au sein de chaque strate sont considérées les 3 espèces dominantes qui la composent. La litière peut-être également étudiée car elle joue un rôle important dans la propagation des incendies de forêt.

La deuxième échelle de description est l'individu. L'étude est faite sur un ou plusieurs individus d'une espèce donnée mais pris séparément, caractérisé par la mesure de sa hauteur ou de son diamètre à laquelle s'ajoutent des renseignements sur sa phytomasse totale et sur les particules qui la constituent. Le volume qu'il occupe peut également être calculé.

Enfin la dernière échelle d'étude est la particule. Les études réalisées sur les parties les plus fines du végétal portent sur leur caractérisation physique (rapport surface-volume, masse volumique) et chimique (teneur en cendre, pouvoir calorifique).

b) Réunion des données sous fichiers Excel

Des fichiers Excel permettent une organisation de ces données.

En accord avec les 3 échelles d'étude, 3 fichiers différents de données sont nommés : Faciès, individus et particules. Ces fichiers sont subdivisés en plusieurs tableaux.

Au début de chaque ligne est précisé le numéro du document d'où proviennent les informations présentées.

Pour les tableaux du fichier « faciès », chaque ligne définit la strate d'une formation pour une publication donnée. Les données des 3 espèces dominantes composant cette strate peuvent être détaillées sur cette ligne.

Dans les tableaux du fichier « individus », chaque ligne décrit l'individu d'une espèce pour une publication donnée. Dans les tableaux du fichier « particules », chaque ligne décrit un type de particule d'une espèce donnée dans un document donné.

Quand l'ensemble des données a été saisi dans les tableaux, on a procédé à un regroupement des lignes qui renseignent sur un même milieu pour le faciès, sur un même espèce pour les individus, et sur une même particule d'une espèce donnée pour les particules.

Ceci a permis de comparer plus facilement les données des différentes études.

Dans tous ces tableaux, les variables sont réparties en colonnes : tout d'abord le nom de l'auteur, puis le nom du faciès, de l'espèce, ou le type de particule étudié. Vient ensuite le lieu d'étude, puis les mesures simples effectuées tel que la hauteur, le diamètre et enfin les renseignements sur les phytomasses, sur les phytovolumes ou les propriétés physiques ou chimiques.

Détaillons ces différents fichiers :

Le fichier « faciès » contient trois tableaux : « phytomasse », « phytovolume », et « relation ». Dans le tableau « relation » sont réunies les équations permettant d'obtenir des valeurs de phytomasse ou de phytovolume en fonction de différentes variables.

Ces équations peuvent être appliquées au sein d'autres peuplements suffisamment semblables et obtenir des valeurs de phytomasse fiables à partir de paramètres simples à mesurer.

Pour chaque équation est donné le coefficient de corrélation de la relation, c'est à dire la fiabilité de celle-ci : ce coefficient compris entre 0 à 1, indique une meilleure fiabilité lorsque qu'il se rapproche de 1.

Pour le fichier « individus » on a de même les tableaux « phytomasse » et « phytovolume », ainsi qu'un tableau « relations » mais présentant des données à l'échelle de l'individu. Le tableau relation permettra également d'obtenir des valeurs non directement mesurables sur le terrain à partir de différentes variables plus simples à mesurer.

Le fichier « particule » est divisé en 3 tableaux : un tableau « propriétés physiques », un tableau « propriétés chimiques » et un tableau « relations ». Après avoir caractérisé la particule (feuille, ramille...), par sa longueur, son épaisseur, ou son diamètre, on décrit, selon les cas, ses caractéristiques physiques (rapport surface-volume, masse volumique...), ou ses caractéristiques chimiques (pouvoir calorifique, teneur en cendre). Les relations permettant d'obtenir les valeurs caractérisant la particule sont également précisées dans le tableau lorsqu'elles existent.

Deux fichiers complémentaires sont nécessaires : « bibliographie », « méthodologie ».

Le fichier « bibliographie » renseigne sur l'ouvrage dans lequel on peut trouver les données présentées dans les 3 fichiers de données. Il précise son titre, son auteur, la nature de ce document (thèse, mémoire rapport de mission, article paru dans une revue scientifique...), sa localisation, c'est à dire le nom de l'organisme où on peut le trouver, et le code qui sert à le référencer dans cet organisme afin de le retrouver facilement lors d'une consultation ultérieure.

Chaque ouvrage enregistré porte un numéro qui va servir à l'identifier dans les autres fichiers.

Le fichier « méthodologie » permet pour chaque ouvrage référencé de préciser succinctement la méthode utilisée pour obtenir les résultats présentés. Pour chaque ouvrage, ce fichier indique également la nature des données qu'il contient, c'est à dire des données sur le faciès, sur l'individu ou sur la particule, et à l'intérieur de ceux-ci, dans quel tableau cette information se trouve.

Pour compléter les données du fichier « méthodologie », un document Word donnant de plus amples informations sur les différentes méthodes de mesures est également constitué.

Les différentes méthodes sont numérotées avec un « m » précédant le numéro qui leur est attribué, ceci pour éviter toute confusion avec la numérotation désignant chaque ouvrage référencé.

Cette numérotation se retrouve dans le fichier Excel « méthodologie » au niveau de l'explication succincte de la méthode ainsi que dans chacun des fichiers de données. Elle constitue le lien entre ce document Word et les différents fichiers.

III. Bilan des données disponibles sur le combustible

1) Les méthodes de description du combustible

Le détail de l'ensemble des méthodes recensées se trouve dans le document Word qui complète le fichier « méthodologie », (disquette en annexe 2).

Les méthodes de mesure sont classées par le degré de destruction des végétaux étudiés. Ce sont des méthodes destructives, semi-destructives ou non-destructives, selon que l'on prélève respectivement tous les végétaux de la parcelle étudiée, seulement certains individus représentatifs, ou bien qu'on les décrive in situ.

Des méthodes semi-destructives sont principalement utilisées pour les phytomasses arborées ainsi que pour certaines espèces arbustives, et des méthodes destructives pour les phytomasses des strates basses (arbustes et herbes).

Des méthodes non-destructives permettent de déterminer le phytovolume des strates basses.

Des méthodes semi-destructives sont utilisées pour l'étude des particules.

a) Description de la strate arborée

Pour les phytomasses arborées, la méthode semi-destructive consiste à couper les individus les plus représentatifs du peuplement, à établir des équations liant des données de hauteur ou de diamètre (qui ne nécessite aucun abattage) et la phytomasse de ces arbres, et à appliquer ces équations aux autres arbres du peuplement sans avoir à les couper, afin d'obtenir des données de phytomasse pour l'ensemble du peuplement (méthode Wittaker et Woodwell, 1968 ; Duvigneaud, 1971).

b) Description des strates basses

Pour la description des strates basses, la méthode destructive consiste à couper l'ensemble du matériel végétal sur une surface échantillon donnée, le peser et extrapoler les valeurs ainsi trouvées à la communauté étudiée en exprimant ces données par unité de surface. Un tri par espèce peut être ou non effectué afin de disposer des phytomasses spécifiques (Trabaud, 1977).

Les phytovolumes sont obtenus par des méthodes non-destructives. Elles consistent à mesurer de différentes manières la hauteur de la végétation et à multiplier cette valeur par la surface occupée par le végétal au sol (recouvrement), ceci sans prélever aucun végétal (Canfield, 1941 : méthode d'intersection des lignes ; Etienne et Legrand, 1991 : méthode des transect en bande).

Ces valeurs de phytovolumes peuvent être reliées à des valeurs de phytomasse au moyen de tarif (équations) exprimant la phytomasse en fonction du phytovolume.

c) Description des particules

Les données caractérisant les particules proviennent de méthodes semi-destructives. S'agissant de la caractérisation des particules provenant des végétaux vivants, l'échantillonnage se fait par prélèvement sur plusieurs individus. La généralisation à l'espèce étudiée se fait par la moyenne des différentes valeurs obtenues, l'échantillonnage ayant été suffisamment varié.

La couverture morte au sol est caractérisée par le prélèvement de petites surfaces échantillon.

On procède de différentes manières suivant les données que l'on désire obtenir :

- teneur en cendre, les échantillons sont placés dans un four à moufle qui permet une combustion complète : les résidus de la combustion constituent l'ensemble de la matière minérale qui est pesée et ramenée au poids total de l'échantillon,
- pouvoir calorifique : les valeurs sont mesurées avec un calorimètre adiabatique où se déroule la combustion de l'échantillon,

- rapport surface-volume : il est obtenu par la mesure de paramètres simples (longueur, diamètre, épaisseur...) et l'application de formules mathématiques permettant d'obtenir ce rapport à partir des mesures effectuées.

2) Analyse des résultats obtenus

S'agissant d'une étude bibliographique, il paraissait indispensable de fournir une liste complète des documents consultés. 80 documents ont été répertoriés dans les fichiers de données.

Le tableau suivant montre la répartition de ces documents par type :

	Thèses, Mémoires et Rapports	Revue scientifiques	Congrès	Ouvrages	Total
Nombre de documents	34	34	2	10	80
Part (%)	42,5	42,5	2,5	12,5	100

Compte tenu de la dimension des tableaux de données, ils n'ont pu être imprimés. Leur utilisation ultérieure est d'ailleurs destinée à un usage exclusif sur ordinateur.

Une disquette comportant ces différents fichiers se trouve à l'annexe 2 .

Cependant, une partie de l'un d'eux (fichier « particules », tableaux « propriétés physiques ») a été imprimée et mise en annexe 3 pour permettre d'avoir une idée de la façon dont ont été organisées ces données.

L'analyse des résultats obtenus peut être faite à plusieurs niveaux :

Tout d'abord on peut faire quelques remarques sur les auteurs qui sont nombreux à avoir produit des résultats sur ce thème bien qu'il en ressorte une liste d'auteurs clés qui semblent être les piliers de ce domaine de recherche.

Si on s'intéresse à l'année où les résultats ont été publiés, on peut constater que la production de résultats est très hétérogène dans le temps.

Du point de vue des lieux d'étude, on peut également faire un bilan des différents départements pour la France et des pays pour l'étranger où des études ont été menées.

Si l'on considère chaque fichier (faciès, individus, particule), on dispose de données en quantité très inégale d'un fichier à l'autre mais également d'un tableau à l'autre au sein de chaque fichier. Une analyse des milieux, des espèces et des particules étudiés peut être également réalisée.

Nous allons donc essayer de détailler ces différentes considérations générales.

a) Les auteurs

Tout d'abord on peut signaler la présence de chercheurs spécialisés sur le sujet et qui ont réalisé de nombreux travaux relatifs aux combustibles revenant ainsi de nombreuses fois dans les fichiers de données. On peut citer L. Trabaud (chercheur au C.E.P.E. de Montpellier) qui a ainsi travaillé sur le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le chêne kermès (*Quercus ilex L.*), la garrigue à romarin (*Rosmarinus officinalis L.*), la pelouse à *Bromocoïdes* ..., en collaboration parfois avec d'autres chercheurs comme c'est le cas avec J.Grosman et T. Walter pour des travaux sur le pin d'Alep.

M. Rapp, chercheur au C.E.P.E est également à l'origine de nombreuses parutions sur le Chêne vert, le pin laricio (*Pinus laricio Poir.*), le chêne kermès, ou encore le ciste à feuilles de sauge (*Cistus salvifolius L.*), la filaire à feuilles étroites (*Phillyrea angustifolia*), le pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus L.*)...M. Rapp a travaillé à de nombreuses reprises avec S. Leonardi de l'Institut de Botanique de Catania en Italie sur le chêne vert, le chêne blanc (*Quercus pubescens*), le chêne liège (*Quercus suber*), et le pin d'Alep.

Les travaux de M. Etienne de l'INRA de Montfavet, nombreux, ont également été riches en informations sur les communautés arbustives des zones pâturées particulièrement, la callune (*Calluna vulgaris L. Hull*), le calycotome (*Calycotome spinosa*), les bruyères (*Erica arborea* et *Erica scoparia*), les cistes (*Cistus salvifolius*, *Cistus monspelliensis* et *Cistus albidus*). Enfin de nombreux renseignements ont pu être collectés dans les thèses (Robles, 1998 ; Miglioretti, 1987 ; Ballini, 1993), et des mémoires de certains étudiants (Grillas, 1980 ; Meuret, 1983 ; Feuillas, 1979 ; Baudin, 1985).

b) Dates des publications

Les travaux ont majoritairement été effectués entre 1970 et nos jours pour la région méditerranéenne (des recherches sur le sujet ont commencé beaucoup plus tôt aux Etats-Unis).

Très peu de documents ont été trouvés avant cette période, on compte seulement deux références entre 1960 et 1970, et seulement une référence entre 1950 et 1960.

De 1970 à nos jours, le nombre de références est de plus en plus important pour chaque décennie jusqu'à nos jours. Cependant il faut prendre en compte le fait que les ouvrages récents sont plus faciles à trouver que les ouvrages anciens ce qui peut modérer ce constat.

c) Les lieux d'étude

Les lieux d'étude se situent surtout dans le département de l'Hérault et du Var.

Les nombreuses études pour le département de l'Hérault s'expliquent par le nombre de centres de recherches à Montpellier à savoir le C.E.P.E, le C.I.R.A.D, l'université des sciences du Languedoc. Il est donc normal que les lieux à proximité de ces centres soient très étudiés.

Le nombre important de travaux réalisés dans le Var est lié à la présence des formations de maquis dans les massifs cristallins des Maures et de l'Estérel. Des études sur le maquis ont été réalisées en Corse (Feuillas, 1979).

Nous disposons également de données sur les Bouches du Rhône mais en moins grande quantité (Ballini, 1993 ; Landreau, 1988).

Des données ponctuelles sur les départements où le climat méditerranéen est moins marqué sont également disponibles. On y retrouve généralement les mêmes espèces d'où l'intérêt porté à ces études. C'est le cas du Gard (Bilger, 1984), du Vaucluse (Daligault, 1991), et de la Drôme (Meuret, 1983).

Des travaux à l'étranger, dans les pays à climat méditerranéen ont également été réalisés : en Italie (Leonardi et Rapp, 1989 ; Susmel, 1976), en Espagne (Lledo *et al.*, 1992, Robles *et al.*, 1955) et en Grèce (Tsiourlis, 1992) pour l'essentiel.

Il serait intéressant de compléter ce travail en procédant à une recherche bibliographique directement dans les centres de recherche étrangers localisés dans des régions aux

communautés végétales communes de la région méditerranéenne française (Sicile, Espagne, Grèce).

Le tableau suivant montre la distribution des documents analysés par pays.

	France	Italie	Espagne	Grèce	Portugal	Autres	Total
Nombre de documents	54	11	6	6	2	1	80
Part (%)	67,5	13,8	7,5	7,5	2,5	1,2	100

d) Les données par type de fichier

Au sein de chaque fichier, il est intéressant d'évaluer la quantité de données des différents tableaux et la nature de ces données. Il faut également vérifier que les études fournissent des données suffisamment complètes pour leur utilisation comme intrants des modèles de comportement du feu. Il faut pour cela disposer à la fois des données descriptives facilement mesurables sur le terrain mais aussi des données non directement mesurables sur le terrain.

- **Faciès**

C'est sur les faciès que l'on dispose de la plus grande quantité de données.

Ces données se répartissent inégalement entre les différents tableaux : on dispose surtout de données sur les phytomasses, un peu moins sur les phytovolumes, le tableau sur les relations étant le moins fourni en informations.

En ce qui concerne la nature de ces données on peut remarquer que de nombreux faciès méditerranéens ont été étudiés. On peut signaler le nombre important d'études sur les faciès à chêne kermès (Trabaud, 1980 ; Dimitrakopoulos, 1993), à chêne vert (Leonardi et Rapp 1990 ; Lledo *et al.*, 1992), milieux très répandus en climat méditerranéen.

Pour les autres faciès avec une strate arborée autre que le chêne vert, on dispose de moins de données : le chêne blanc (Meuret, 1983), le chêne liège (Leonardi *et al.*, 1992) et les différentes pinèdes sous climat méditerranéen : le pin d'Alep (Trabaud *et al.*, 1985), le pin pignon (*Pinus pinea* L.) (Rapp, 1984)...

Des faciès arbustifs autre que le chêne kermès ont également été étudiés : les cistaies (Robles, 1998), les fruticées en général (Ohanessian et Deleuil, 1987).... différents types de maquis : les maquis haut et bas de Corse (Feuillas, 1979), les maquis à genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea* L.) (Tsiourlis, 1992), et les maquis à bruyère (Cemagref, 1983)...

Ces études portent essentiellement sur la détermination des phytomasses. Il faut préciser que ces études vont plus ou moins dans le détail des phytomasses : des données de phytomasses totales seules, aux données des phytomasses des différentes strates et au sein de ces strates de celles des espèces qui y sont présentes. Certaines des études sont accompagnées de données sur la phytomasse de la litière (Trabaud, 1977).

Le tableau « relation » du fichier « faciès » lie surtout l'âge du peuplement aux valeurs de phytomasse (feuilles, bois, ou par strates, ou encore pour l'espèce dominante) (Merino *et al.*, 1990 ; Grosman, 1981 ; Etienne *et al.*, 1991), plus rarement l'âge du peuplement à son volume (Etienne *et al.*, 1991).

Des relations ont également été établies entre données descriptives et facilement mesurables sur le terrain : hauteur (Leonardo et Rapp, 1998 ; Ballini, 1993 ; Landreau, 1988) ou diamètre à la base ou à hauteur de poitrine (Leonardo et Rapp, 1998), et phytomasse du peuplement.

Les données du fichier « faciès », bien qu'en quantité importante, sont celles qui sont le plus incomplètes pour la caractérisation du combustible : il manque en effet sur certaines études

des données descriptives facilement mesurables sur le terrain telles que le recouvrement, les densités ou les hauteurs du peuplement ou des strates qui le constituent. Il peut également manquer la part de ces espèces dans ces strates, dans certains cas où les phytomasses des espèces dominantes au sein des strates ont été déterminées.

- Individus

Le fichier « individus » est un peu moins riche en informations que le fichier « faciès ». Les tableaux « phytomasse » et « relation » contiennent le plus d'informations, le tableau « phytovolume » n'ayant que peu de données.

Le tableau ci-dessous présente les différentes espèces étudiées. On remarque que le chêne vert est l'espèce qui a été de loin la plus étudiée, comme c'est le cas au niveau du faciès. Par contre le chêne kermès est ici l'objet de très peu d'études. La plupart des études sur les espèces arbustives ont porté sur plusieurs espèces à la fois, c'est la raison pour laquelle elles ont été regroupées dans le tableau.

Répartition des documents par espèce du fichier "individu".

Espèces	Espèces arborées					Espèces arbustives		Total des espèces
	C.V	C.B	P.A	P.P	P.L	C.k	Espèces arbustives autres que chêne kermès	
Nombre de documents	13	3	3	2	1	2	11	35
Part (%)	37,1	8,6	8,6	5,7	2,9	5,7	31,4	100

C.V : chêne vert, C.B : chêne blanc, P.A : pin d'Alep, P.P : pin pignon, P.L : pin laricio, C.k : chêne kermès.

Le tableau « relation » associe valeurs descriptives facilement mesurables à la phytomasse partielle ou totale de l'individu. Les variables explicatives sont essentiellement la circonférence à 1.30m.(Leonardi *et al.*, 1991) et la hauteur (Leonardi et Rapp, 1990 ; Grosman, 1981). Dans quelques rares cas, les deux variables sont présentes au sein de la même équation (Miglioretti, 1987). Des études ont établi des relations entre phytomasse et phytovolume (Baudin, 1985 ; Armand *et al.*, 1993).

Les différentes études sur l'individu contiennent dans la plupart des cas des variables de description du peuplement (hauteur, circonférence, diamètre de l'individu), et des données non directement mesurables sur le terrain. Ces études fournissent donc des informations complètes sur le combustible.

- Particules

Les données sur les particules sont les moins nombreuses, elles sont réparties de manière homogène entre les tableaux « propriétés physiques » et « propriétés chimiques ».

Les données sur les propriétés physiques portent essentiellement sur les densités (Papio et Trabaud, 1990) et les rapports surface-volume (Hernando, 1995). Les données du tableau « propriétés chimiques »portent sur le pouvoir calorifique (Heim, 1974) et la teneur en cendre (Doat *et al.*, 1981).

Pour ces deux types de données, les particules les plus étudiées sont les feuilles, les aiguilles.

Ce sont soit des aiguilles ou feuilles prélevées sur les végétaux (Papio et Trabaud, 1990), soit des aiguilles ou feuilles mortes prélevées dans la litière (Daligault, 1991).

Le tableau « relation » contient très peu d'information. Les relations trouvées lient masse volumique et rapport surface-volume (Daligault, 1991), ou encore surface et poids des feuilles (Léouffre, 1991).

Pour l'ensemble des données sur les propriétés physiques nous disposons de renseignements sur les dimensions de la particule (longueur, largeur, épaisseur) permettant de la caractériser.

On constate finalement que l'on dispose de beaucoup de données sur les faciès, mais certaines sont incomplètes. Le fichier « individu » est moins important mais plus complet. Peu de données ont été trouvées au niveau des particules, ce qui est regrettable vu leur importance dans la propagation des feux.

Conclusion et perspectives

Ce stage dont le but était de dresser un bilan des données existantes caractérisant le combustible méditerranéen, s'est déroulé en plusieurs étapes : la recherche d'information à l'I.N.R.A. et dans d'autres centres de recherche, l'exploitation de l'information récoltée et enfin l'organisation pour une présentation finale sous forme de tableaux.

La contribution apportée par ce stage comprend aussi le document de synthèse méthodologique disponible sur la disquette en annexe 2.

Un bilan des connaissances sur le combustible méditerranéen a pu être dressé.

Ce bilan met en évidence que les données caractérisant le combustible sont parfois incomplètes, généralement parce qu'elles sont issues de travaux dont l'objectif n'est pas la caractérisation du combustible. Ce sont généralement des données descriptives facilement mesurables sur le terrain qui manquent (recouvrement, densité, hauteur), et on dispose seulement de données non directement mesurables sur le terrain telles que la phytomasse. Ces données seules ne seront utilisables dans les modèles de propagation du feu qu'au prix d'hypothèses de travail plus ou moins fortes.

Lorsque les données sont complètes les modèles pourront prédire les caractéristiques du feu de manière plus précise et plus proche de la réalité.

Ce travail est donc une étape préalable à la mise en place de travaux de recherches visant à compléter les données existantes, en fournissant notamment des informations sur les faciès, les espèces, ou les particules sur lesquels on dispose de peu ou pas de données. Ceci permettrait de caractériser tous les type de milieux de la région méditerranéenne et de généraliser l'utilisation des modèles de propagation du feu à l'ensemble des écosystèmes méditerranéens.

L'utilisation de ces modèles sur le cas concret des coupures de combustible va permettre d'étudier la propagation du feu avant son arrivée sur la coupure, pendant qu'il la traverse et évaluer la réduction de la puissance du feu engendrée par le passage sur ces coupures. On pourra ainsi évaluer leur efficacité et envisager une gestion plus pertinente de ces aménagements.

Cette approche par l'application de modèles constitue donc un moyen de mieux gérer les milieux face aux risques des incendies de forêt.

Bibliographie

La liste de l'ensemble des documents consultés dans le cadre de ce stage est présentée ci-dessous. Les ouvrages en gras sont ceux qui ont été cités dans ce rapport de stage.

ARMAND, D., ETIENNE, M., LEGRAND, C., MARECHAL, J., VALETTE, J.C.1993. Phytovolume, phytomasse et relations structurales d'espèces arbustives forestières méditerranéennes. I.N.R.A Avignon.12p.

BALLINI, C. 1993. Contribution à l'étude écologique des groupements à *Ulex parviflorus* Pourr. en Provence calcaire : régénération, structure, productivité et dynamique des bioéléments. Thèse, université de Provence. 283p.

BARBERO, M. 1981. Les fruticées de la zone bioclimatique méditerranéenne à chêne pubescent : structure, dynamique, zonage, utilisation et protection, biomasse. *Forêt méditerranéenne*, TIII n°2, 101-104.

BAUDIN, F. 1985. Phytovolumes, phytomasses et stratégies d'occupation spatiale de six espèces arbustives sur des pare-feux de l'Estérel. Mémoire de D.E.A, université d'Aix Marseille III. 32p.

BILGER, M. 1984. Estimation des volumes et de la biomasse des taillis de chêne vert (*Quercus ilex* L.) du Gard. Mémoire, ENITEF.

BOGOVIC, Z., GATZOJANNIS, S. 1992. Fresh wood and leaf biomass of maquis and pure *Quercus ilex* L. coppice on the island of Brac, South Croatia. *Mediterranean agronomic institute, chania, Greece.* p180-183.

CABANETTES, A. et RAPP, M. 1978. Biomasse, minéralomasse et productivité d'un écosystème à pins pignons (*Pinus pinea* L.) du littoral méditerranéen. *Oecol. Plant.*, 13(3), 271-286.

CANFIELD, R. H. 1941. Application of the line-intercept methods in sampling range vegetation. *J. Forestry* 39, 388-384.

CHEREL, O. 1988. Contribution à l'étude des relations végétation-mouton sur les parcours de Crau. Thèse, université de Provence. 228p+annexes.

CORLETO, A., CAZZATO, E., LAUDADIO, V. 1994. Quantitative and qualitative evaluation of tree and shrubby pasture species in Southern Italy. *Cahiers options méditerranéennes*, volume 4, Fodder Trees and Shrubs, 129-134.

DALIGAULT, O. 1991. Caractéristiques physiques des aiguilles de pin. *INRA Avignon* 17p.

DEBUSSCHE, M. 1978. Etude de la dynamique de la végétation sur le versant nord-ouest du Mont Aigoual. Thèse, université des Sciences et Techniques du Languedoc.

DELAVEAUD, P. 1981. Le feu, outil sylvicole? Utilisation pratique des données de combustibilité. Mémoire, E.N.I.T.E.F. 91p.

DIMITRAKOPOULOS, A. P. 1983. Modélisation des incendies de forêts. *Mediterranean Agronomic Institute of chania*.11p.

DIMITRAKOPOULOS, A. P. 1993 Photo series and fire behaviour prediction based on fuel properties of mediterranean-type ecosystems. *Mediterranean Agronomic Institute of Chania*.

DIVISION PFCI CEMAGREF.1983. Note sur la récupération de biomasse à partir du « Scorpion ». *CEMAGREF Le Tholonet*.

DOAT, J., VALETTE, J. C. 1981. Le pouvoir calorifique supérieur d'espèces forestières méditerranéennes. *Annales Scientifiques Forestières*, 38(4), 469-486.

DUVIGNEAUD, P. et al.1971. Concepts sur la productivité primaire des écosystèmes forestiers. *Ecologie et conservation*, 4, 111-131. UNESCO colloque de Bruxelles, 1969.

DUVIGNEAUD, P. , DENAYER, S. ,AMBROES, P. et TIMPERMAN, J..1971. Biomasse, productivité et cycles des éléments biogènes dans l'écosystème "chênaie caducifoliée". Essai de phytogéochimie forestière. *Inst. Roy. Sci. Nat. Belg.*, mémoire 64.

ETIENNE, M. 1977 Bases phyto-écologiques du développement des ressources pastorales en Corse. Thèse université du Languedoc. 204p.

ETIENNE, M., NAPOLEONE, M., HUBERT, B., JULLIAN, P. et LACHAUX, M.1988. Six années d'entretien de pare-feux par les moutons. *Unité d'Eco-developpement de L'INRA DE MONTFAVET* 109p.

ETIENNE M., LEGRAND M., ARMAND D. 1991 Stratégies d'occupation de l'espace par les petits ligneux après débroussaillage en région méditerranéenne française. Exemple d'un réseau de pare-feux dans l'Estérel. p667-677.

FERLAY-FERRAND, V., YTA-ARVIEU, P. 1997. Caractérisation d'un combustible : le mimosa Massif du Tanneron. Alpes Maritimes. *CEREN*. 41p.

FERNANDES, P.A.M. Caracterização do combustivel e do comportamento do fogo em comunidades arbustivas do norte de Portugal. Thèse, université de Tràs-os-montes e alto douro. 156p.

FEUILLAS, D. 1979. Mémoire et techniques d'estimation de la biomasse végétale épigée des formations arbustives et leurs applications au maquis Corse dans la vallée de Fango. 51p.

FLORET, C, GALAN, M-J., LE FLOCH,E., RAPP, M. et ROMANE, F.1989. Organisation de la structure, de la biomasse et de la minéralomasse d'un taillis ouvert de chêne vert (*Quercus ilex L.*). *Acta oecologica Oeol. plant.vol.10* (3), 245-262.

GRILLAS, P.1980. Structure et phytomasse de taillis de chêne vert *Quercus ilex L.* Etude de 3 stations du Montpelliérais. Mémoire de D.E.A, université du Languedoc.41p.

GROSMAN, J. 1981 Evolution quantitative de la phytomasse des pinèdes de Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans la région montpelliéraine. D.E.A., Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.

HEIM, G. 1974. L'utilité du concept de valeur énergétique en écologie : Une étude basée sur des mesures effectuées sur des plantes méditerranéennes. *Oecol. Plant.*, 9 (3), 281-286.

HERNANDO, C., GUIJARRO M., DE LOS SANTOS J. A. 1995. Determinacion de la relacion superficie/volumen de las aciculas muertas. *Investigacion agraria, sistemas y recursos forestales*, 73-85.

HUC, R., DUCREY, M. 1996. Ecophysiological response to thinning in a *Quercus ilex* L. coppice stand. *Annali Istituto Sperimentale selvicoltura-Arezzo*, volume 27, 39-45.

JOFFRE, R., RAMBAL, S., ROMANE, F. Local variations of ecosystem functions in Mediterranean evergreen oak woodland. *Ann. Sci. For.*, 53, 561-570.

LANDREAU, P. 1988. Le chêne kermès : Relation phytovolume-phytomasse, étude de propagation du feu. Mémoire B.T.S. 24p.

LAVAGNE, A. 1985. Premières évaluations de la nécromasse dans la chênaie à *Quercus ilex* et le maquis élevé à *Erica arborea* et *arbuscus unedo* de Port-Cros (Var, France). . *Rep. Port-Cros natl. Park, Fr.*11, 161-171.

LAVAGNE, A.1985. relation circonférence du tronc-poids et accroissement annuel de la circonférence du tronc chez *Arbuscus unedo* et *Erica arborea*. Evaluation de la phytomasse d'un maquis élevé à Port-Cros. *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, Fr*, 11, 143-149.

LLEDO, M. J., SANCHEZ, J. R., BELLOT, J., BORONAT, J., IBANEZ, J. J., ESCARRE, A. 1992. Structure, biomass and production of a resprouted holm-oak (*Quercus ilex* L.) forest in N. E. Spain. In : « *Quercus ilex* L. ecosystems : function, dynamics and management » Romane F. et Terradas, J. Kluwer academic publishers, p51-59, 376p.

LEONARDI, S. et RAPP, M. 1980. Biomasse et composition minérale de *Quercus ilex* L. du Monte Minardo (Etna). *archivio Botanico e biogeografico Italiano*, 56-1/2.

LEONARDI, S. RAPP, M. 1982. Phytomasse et minéralomasse d'un taillis de chêne vert du massif de l'Etna . *Ecologia mediterranea* VIII (3), 125-138.

LEONARDI, S. et RAPP, M, LA ROSA, M. 1988. Répartition et dynamique de la matière organique dans une forêt de *Pinus laricio* Poir. *Ecologia mediterranea*, XIV (3/4), 17-25.

LEONARDI, S. et RAPP, M. 1989. Productivité et gestion des bioéléments dans un peuplement de Pin d'Alep de Sicile méridionale. *Archivio botanico italiano*, 59-72.

LEONARDI, S. et RAPP, M. 1990. Production de phytomasse et utilisation des bioéléments lors de la reconstitution d'un taillis de chêne vert. *Acta oecologica*, 11(6), 819-834.

LEONARDI, S, RAPP, M.,DENES, A. 1991. Organic matter distribution and fluxes within a holm oak (*Quercus ilex*.)stand in the Etna volcano. In « *Quercus ilex* L.ecosystems : function, dynamics and management » Romane F. et Terradas, J.Kluwer academic publishers, p51-59, 376p.

LEONARDI, S., RAPP, M., FAILLA, M., KOMAROMY, E. 1992. Biomasse et minéralomasse, productivité et gestion de certains éléments biogènes. dans une forêt de *Quercus suber* L. en Sicile (Italie). *Ecologia mediterranea*, XVIII, 89-98.

LEONARDI, S. et RAPP, M. 1998. Net productivity and dynamics of above biomass of above-ground biomass in a holm oak (*Quercus ilex* L.) coppice stand during fifty-two years. *Italia forestale e montana*, LIII,fasc n.6, 267-274.

LEOUFFRE, M. J. 1991. Effet du pâturage caprin sur la dynamique de production fourragère de taillis de chêne en région méditerranéenne française. Thèse, université d'Aix-Marseille III. 89p.

MARECHAL J. 1990. Le phytovolume et la phytomasse des strates basses sur les coupures de combustibles en région méditerranéenne. *I.N.R.A Avignon*. 34p.

MERINO, O., MARTIN, M.P, MARTIN, A.,MERINO J. 1990. Successional and temporal changes in primary productivity in two mediterranean scrub ecosystems. *Acta Oecologica*, 11(1), 103-112.

MEURET M. 1983 La chèvre et le chêne blanc. Mémoire, université libre de Bruxelles. 166p.

MIGLIORETTI, F.1983. Phytoécologie des peuplements à *Quercus ilex* et *Quercus pubescens* Willd en Gardiole de Rians. Thèse, Faculté des sciences et techniques de Saint Jérôme. 74p.

MIGLIORETTI, F. 1987.Ecologie et dendrométrie des peuplements purs et mélange de chêne vert (*Quercus ilex* L.) et chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd) en Provence. Thèse, Faculté des sciences et techniques de Saint Jérôme. 292p.

MOONEY, H. A. 1977. Primary production in mediterranean-climate regions. In "Ecosystems of the world mediterranean-type shrublands". DI CASTRI, F., GOODALL, D. W., SPECHT, R.L., 11, p249-255, Elsevier scientific publishing company, 643p.

MOUNET-SAULENC, H. 19 ? ?. Production de quelques écosystèmes de conifères. Evaluation de la biomasse des pins sylvestres. Thèse, université de Saint Jérôme, Marseille.

OGEREAU-POISSONET, P. 1988. Mise au point sur la phytomasse et la production primaire épigées de quelques communautés végétales spontanées en région méditerranéenne française. *Naturalia monspelliensia, sér. Bot Fasc*, 52, 17-32.

OHANESSIAN, C., DELEUIL, J.J. 1987. Dynamique des fruticées en Provence calcaire. Mémoire de DEA, université de Provence. 35p.

PAPATHEODOROU, E., PANTIS, J. D., STAMOU, G. P. The effects of grazing on growth, spatial pattern land age structure of *Quercus coccifera*. *Acta oecologica*, 19(4), 339-347.

PARDE, J. 1977. Biomasses forestières et utilisation totale des arbres. *Class. Oxford*, 5, 333-342.

PARDE, J. et BOUCHON, J. Dendrométrie 2^{ème} édition. Ecole nationale du génie rural des eaux et des forêts. 350p.

PILAR FERNANDES, G. 1995 Aprovechamiento silvopastoral de un agrosistema mediterraneo de montana en el sureste iberico. Evaluation del potencial forrajero y la capacidad sustentadora. Thèse, université de Grenade.

POISSONET, P., COLLIN, C. et al. 1981. Recherches expérimentales sur un système écologique complexe : la garrigue de *Quercus coccifera* L. Premier rapport de synthèse. 348p.

RAPP, M. 1969. Production de litière et apport au sol d'éléments minéraux dans deux écosystèmes méditerranéens : la forêt de *Quercus ilex* L. et la garrigue de *Quercus coccifera* L.. *C.E.P.E Montpellier*. p378-410.

RAPP, M., LOSSAINT, P. 1971. Some aspects of mineral cycling in the garrigue of southern France. Dans "Ecosystems of the world mediterranean-type shrublands" DI CASTRI, F., GOODALL, D. W., SPECHT, R.L., 11, p249-255, Elsevier scientific publishing company, 643p.

RAPP, M., LOSSAINT, P. 1971. Répartition de la matière organique, productivité et cycles des éléments minéraux dans des écosystèmes de climat méditerranéen. Productivité des écosystèmes forestiers. Dans « Actes du colloque de Bruxelles », Unesco, p597-613.

RAPP, M. 1984. Répartition et flux de matière organique dans un écosystème à *Pinus pinea* L. *Ann. Sci. For.*, 41 (3), 253-272.

RAPP, M., DERFOUFI ED, F., BLANCHARD, A. 1991. Productivity and nutrient uptake in a holm oak (*Quercus ilex* L.) stand and during regeneration after clearcut. Dans « *Quercus ilex* L. ecosystems : function, dynamics and management ». ROMANE F. et TERRADAS J., p263-282, 376p.

RAPP, M., SANTA REGINA, I., RICO, M., GALLEGO, H. A. 1999. Productivity and nutrient uptake in a holm oak (*Quercus ilex* L.) stand and during regeneration after clearcut. *Forest ecology and management*, 119, 39-49.

REBAUDO, B. 1977. Premières évaluations des phytomasses dans les différents maquis des Maures occidentales, application à l'évaluation quantitative des dégâts commis par les aménagements. Thèse, université de Provence. 54p.

REGO, F. C., PEREIRA, J. P., FRENADES, P., ALMEIDA, A. F. 1994. Biomass and aerial structure characteristics of some mediterranean shrub species. dans "second international conference on forest fire research" proceedings volume 1, p377-384.

RETANA, J., RIBA, M., CASTELL, C et ESPELTA, J.M. 1991. Regeneration by sprouting of holm-oak (*Quercus ilex*) stands exploited by selection thinning. Dans *Quercus ilex* L. ecosystems : function, dynamics and management. Romane F. et Terradas J., p355-364, Kluwer Academic Publishers, 376p.

ROBLES, A. B. et PASSERA C. B. 1955. Native forage shrub species in south-eastern Spain : forage species, forage phytomass, nutritive value and carrying capacity. *Journal of Arid environments*. Volume 30, n°2. p191-196.

ROBLES, C. 1998 Fonctionnement des cistaies à *Cistus albidus* et *Cistus monspelliensis* L. en Provence calcaire et siliceuse à travers la mesure de réactions physiologiques. 417p.

ROMANE, F. TERRADAS, J., 1992. *Quercus ilex* L. ecosystems : function, dynamics and management. Kluwer Academic Publishers, 376p.

SPECHT, R. L. 1969. A comparison of the sclerophyllous vegetation characteristic of mediterranean type climates in France, California and Southern Australia. *Aust.J.Bot*, 17, 293-308.

SUSMEL, L., VIOLA F., BASSATO G., 1976. Ecologia della lecceta del supramonte di orgoloso.

THIAULT, M. 1974. Applications à dégager d'une expérimentation sur l'évolution de la végétation en milieu de garrigue. C.E.P.E. 7p.

TRABAUD, L. 1977. Matériaux combustibles et phytomasses aériennes de quelques phytocénoses du midi méditerranéen français. C.E.P.E. 12p.

TRABAUD, L. 1980. Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des zones de garrigues du bas Languedoc. Thèse, université des sciences et techniques du Languedoc.

TRABAUD, L., GROSMAN, J., WALTER, T. 1985. Recovery of burnt *Pinus halepensis* mill. Forests. Understorey and litter phytomass development after fire. *Forest Ecology and management*, 12, 269-277.

TRABAUD, L. 1989. Les feux de forêts mécanismes, comportement et environnement. Ed France Sélection, 278p.

TRABAUD, L. et PAPIO, C. 1990. Structural characteristics of fuel components of five mediterranean shrubs. *Forest ecology and management*, 35, 249-259.

TRABAUD, L. 1991. Fire regimes and phytomass growth dynamics in a *Quercus coccifera* garrigue. *Journal of vegetation science*, 2, 307-314.

TSIOURLIS, G. M. 1992. Etude d'un écosystème de maquis à *Juniperus phoenicea* L. (Naxos, Cyclades, Grèce) : structure spatiale et phytomasse des appareils racinaires. *Bull Ecol*, 23 (1-2), 71-81.

VALETTE, J.C. 1995. Modélisation des incendies de forêts. *I.N.R.A Avignon*. 47p.

VINCK, N. 1987. Effet du recépage et du pâturage sur les peuplements arbustifs. influence sur la croissance et la différenciation de *Cytisus* dans une forêt du Var. Mémoire, université libre de Bruxelles.

WHITTAKER, R., WOODWELL, G. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest, New York. *J. Ecol.*, 56(1), 1-25.

VOULGARIDIS, E. V., PASSIALIS, C.N. 1995. Valorisation de différentes espèces méditerranéennes. Characteristics and technological properties of the wood of mediterranean evergreen hardwoods. *Forêt méditerranéenne*, T XVI n°1, 3-11.

Annexes

Annexe 1 : Coordonnées des différents centres de recherches et universités consultés pour la recherche de documents.

Annexe 2 : Disquette contenant les fichiers Excel « faciès », « individus », « particules », « bibliographie », « méthodologie » et le fichier Word sur les méthodes de description du combustible.

Annexe 3 : Extrait du fichier « particules », tableau «propriétés physiques ».

Annexe 1

Coordonnées des différents centres de recherches et universités consultés pour la recherche de documents.

- ◆ I.N.R.A.
Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes
Service Prévention des incendies de Forêts
Avenue A. Vivaldi
84000 Avignon

- ◆ I.N.R.A.
Unité d'Eco-developpement
B.P 91.
84143 Monfavet

- ◆ C.E. F.E.
1919 route de Mende
34293 Montpellier cedex 5

- ◆ C.I.R.A.D.
Unité mixte de recherche C.I.R.A.D./I.N.R.A.
Modélisation des plantes
Campus international du Baillarguet
34398 Montpellier cedex 05

- ◆ Cemagref
Le Tholonet
BP 31
13612 Aix-en-Provence cedex 01

- ◆ Institut de Botanique
163, Rue Auguste Broussonnet
34000 Montpellier

- ◆ Université des sciences et techniques du Languedoc
5, boulevard Henri VI
34006 Montpellier cedex 1

- ◆ Université de Provence
Centre St Charles
3, place Victor Hugo
13331 Marseille cedex 3

- ◆ Faculté des sciences et techniques de Saint Jérôme
Avenue escadrille Niemen
13397 Marseille cedex 20

Annexe 2

Disquette contenant les fichiers Excel « faciès », « individus », « particule », « bibliographie », « méthodologie » et le fichier Word sur les méthodes de description du combustible.

Annexe 3

Extrait du fichier « particules », tableau « Propriétés physiques ».

doc	Auteur source	Espèce	Type de particule	Localisation	Méthode	Echantillon	Diamètre			Longueur		
							N°	Moy	Ecart-type	Unité	Moy	Ecart-type
3	Daligault O.	P.A	aiguilles mortes	Vignères (84)	m8-m9	50 aiguilles	0,7	0,06	mm	91,06	9,25	mm
3	Daligault O.	Pin d'Eldar	aiguilles mortes	Vignères (84)	m8-m9	50 aiguilles	0,85	0,10	mm	73,76	19,74	mm
3	Daligault O.	P.M	aiguilles de la partie supérieure de la litière	L'Amarine (30)	m8-m9	50 aiguilles	1,91	0,21	mm	155,68	25,98	mm
3	Daligault O.	P.M	aiguilles de la partie supérieure de la litière	Gargas (84)	m8-m9	50 aiguilles	1,72	0,18	mm	134,84	22,72	mm
3	Daligault O.	P.M	aiguilles de la partie supérieure de la litière	Ruscas (83)	m8-m9	50 aiguilles	1,55	0,16	mm	57,08	7,93	mm
3	Daligault O.	P.M	aiguilles de la partie supérieure de la litière	Usclas (34)	m8-m9	50 aiguilles	1,74	0,19	mm	139,36	24,42	mm
3	Daligault O.	P.P	aiguilles mortes	Vignères (84)	m8-m9	50 aiguilles	1,04	0,11	mm	132,58	10,31	mm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.P	aiguilles mortes	province de Madrid (Espagne)	m8	10 aiguilles				7,9-9		cm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.P	aiguilles mortes	Madrid (Espagne)	m8	10 aiguilles				9-11		cm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.P	aiguilles mortes	Madrid (Espagne)	m8	10 aiguilles				11-13		cm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.P	aiguilles mortes	Madrid (Espagne)	m8	10 aiguilles				13 -15		cm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.P	aiguilles mortes	Madrid (Espagne)	m8	10 aiguilles				15-17		cm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.A	aiguilles mortes	Granada (Espagne)	m8	24paires	0,079	0	cm	6,24	0,04	cm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.A	aiguilles mortes	S.E France	m8	24paires	0,084	0	cm	6,36	0,07	cm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.M	aiguilles mortes	Pontevedra (Espagne)	m8	24paires	0,182	0	cm	15,39	0,12	cm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.M	aiguilles mortes	Granada (Espagne)	m8	24paires	0,179	0	cm	13,77	0,09	cm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.M	aiguilles mortes	S.O France	m8	24paires	0,17	0	cm	14,08	0,14	cm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.P	aiguilles mortes	Madrid (Espagne)	m8	24paires	0,121	0	cm	12,42	0,36	cm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.P	aiguilles mortes	S.E de la France	m8	24paires	0,135	0	cm	12,29	0,07	cm
39	Hernando.C <i>et al.</i>	P.P	aiguilles vertes séché en laboratoire 38% d'eau	Madrid (Espagne)	m8		0,096	0	cm	11,73	0,09	cm