Cemagref

AgroParisTech
ENGREF
Formation des Ingénieurs Forestiers

Impact de différents travaux de préparation du sol sur : la régénération des peuplements de pin d'Alep, et la diversification de ces peuplements par semis de chêne vert et chêne pubescent.



Guillaume FAVAND
15e promotion de la FIF
2004 – 2007

Mémoire de fin d'études

Juin 2007

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE DE LA FIF

Formation des ingénieurs forestiers de l'ENGREF	**TRAVAUX D'ÉLÈVES**
TITRE : Impact de différents travaux de préparation du sol sur : la régénération des peuplements de pin d'Alep, et la diversification de ces peuplements par semis de chêne vert et chêne pubescent.	**Mots clés : *Pinus halepensis, Quercus ilex, Quercus pubescens*, régénération, semis in situ, broyage, crochetage, brulage dirigé**
AUTEUR : Guillaume FAVAND	**15e Promotion (2004-2007)**
Caractéristiques : 54 pages ; 65 figures ; 12 pages d'annexes ; bibliographie : 5 pages.	

CADRE DU TRAVAIL

ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT : CEMAGREF Aix-en-Provence
UR Ecosystèmes méditerranéens et risques
3275 Route de cézanne – CS 40061
13182 Aix-en-Provence Cedex 5

Nom du responsable : Christian RIPERT et Bernard PREVOSTO.
Fonction : Ingénieurs de recherche.

Nom du correspondant ENGREF (pour un stage long) : Gérard FALCONNET

Tronc commun ■	**Stage en entreprise ☐**	**Autre ☐**
Option ☐	**Stage à l'étranger ☐**	
D. d'approfondissement ☐	**Stage fin d'études ■**	
	Date de remise : juin 2007	

Contrat avec Gref Services Nancy ☐ OUI ■ NON

SUITE À DONNER (réservé au service des études)

☐ Consultable et diffusable
☐ Confidentiel de façon permanente
☐ Confidentiel jusqu'au / / , puis diffusable

Résumé

Les gestionnaires rencontrent des difficultés pour régénérer les peuplements de pin d'Alep arrivés à maturité. En effet, dans ces peuplements, la régénération est souvent absente. Cette étude vise à leur fournir des solutions en testant différents travaux de la végétation et du sol après coupe : non intervention, broyage, brûlage dirigé, broyage plus crochetage simple, broyage plus crochetage double. Nous possédons également peu de connaissances sur les effets des rémanents en forêt méditerranéenne. Des sous-modalités avec et sans rémanents sont combinées avec les traitements pour tester l'impact de ces derniers. Par ailleurs, l'installation de chênes vert et pubescent dans les peuplements purs de pin d'Alep est intéressante pour le forestier. Les effets des traitements listés ci-dessus sont testés sur l'installation de semis de chênes.

Pour comprendre comment agissent les traitements sur la régénération du pin d'Alep et sur les semis de chênes, les modifications du milieu qu'ils engendrent sont prises en compte.

Abstract

Forest managers have difficulties to regenerate old *Pinus halepensis* stands. Indeed there are often no seedlings in theses stands. This study aims to find solutions by testing different reforestation techniques after thinning: control, mechanical clearing, prescribed burning, mechanical clearing plus simple scarification, mechanical clearing plus crossed scarification. Moreover, knowledge about slash effects is rare in mediterranean forests. That's why slash presence has been combined with treatments. Establishment of *Quercus ilex* and *Quercus pubescens* in monospecific stands of *Pinus halepensis* is interesting for the forester. Effects of treatments have been tested on oaks establishment by sowing.

Environment variations have been taken into account in order to understand the effects of vegetation and soil treatments.

Remerciements

Je tiens à remercier ici tout particulièrement Christian RIPERT et Bernard PRÉVOSTO, ingénieurs au CEMAGREF, qui m'ont encadré au long de ce stage, pour le suivi intéressé de mon travail et leurs conseils, notamment pour l'interprétation des résultats.

Je remercie également :

Willy MARTIN et Roland ESTÈVE, tous deux techniciens au CEMAGREF, pour leur participation aux nombreuses mesures de terrain.

Philip ROCHE, ingénieur de recherche au CEMAGREF, pour m'avoir conseillé sur les méthodes à employer quant à l'analyse statistique des données.

Catherine FERNANDEZ et Anne BOUSQUET-MÉLOU, de l'Institut méditerranéen d'écologie et de paléoécologie, pour les résultats des analyses de sols réalisées sur le dispositif.

Gérard FALCONNET pour avoir accepter de jouer le rôle de correspondant ENGREF pour ce stage et pour ses conseils.

Louis AMANDIER, ingénieur au CRPF, pour sa disponibilité et pour sa participation à mon jury de soutenance.

Raymond SCHIANO, documentaliste au CEMAGREF, pour son aide lors de la recherche bibliographique.

Toute l'équipe EMAX du CEMAGREF d'Aix en Provence pour son accueil.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction 9

1 Les peuplements de pin d'Alep, en mélange avec le chêne vert et le chêne pubescent 10

1.1 Le pin d'Alep : caractères, importance et régénération 10
1.1.1 Une essence typique de la région méditerranéenne 10
1.1.1.1 Taxonomie 10
1.1.1.2 Caractères dendrologiques (d'après NAHAL, 1962) 10
1.1.1.3 Une aire géographique limitée au pourtour du bassin méditerranéen 10
1.1.1.4 Autécologie : Une essence frugale et très bien adaptée au contexte méditerranéen 11
1.1.1.5 Utilisations passées et actuelles 11
1.1.2 Évolution des peuplements de pin d'Alep 12
1.1.2.1 Une sylviculture du pin d'Alep autrefois inexistante, aujourd'hui prônée 12
1.1.2.2 Une progression considérable de la surface occupée par le pin d'Alep en France 12
1.1.2.3 Une ressource non négligeable et en augmentation 13
1.1.3 Caractères de la régénération du pin d'Alep 13
1.1.3.1 Une production de graines précoce et abondante. 13
1.1.3.2 Une banque de graines aérienne 13
1.1.3.3 Deux types de cônes 14
1.1.3.4 Deux modes complémentaires de libération des graines 14
1.1.3.5 Dispersion des graines 15

1.2 Les peuplements mélangés de pin d'Alep à sous étage de chêne vert ou chêne pubescent 17
1.2.1 Présentation des deux chênes méditerranéens 17
1.2.1.1 Le chêne pubescent 17
1.2.1.2 Le chêne vert 17
1.2.2 Dynamique naturelle des peuplements mélangés de pin d'Alep, chêne vert, et chêne pubescent 18
1.2.3 Intérêts des peuplements mélangés 19

2 Problématique et objectifs de l'étude 20

2.1 Le groupe de recherche pin d'Alep 20

2.2 Des difficultés de régénération dans les peuplements de pin d'Alep 20

2.3 Introduction de semis de chêne 21
2.3.1 Diversification des peuplements de pin d'Alep 21
2.3.2 Utilisation de la technique du semis 21

2.4 La question des rémanents 22

2.5 Objectifs de l'étude 22

3 Matériel et méthodes 23

3.1 Le dispositif expérimental 23
3.1.1 Localisation 23
3.1.2 Conditions météorologiques 23
3.1.3 Relief et topographie 24
3.1.4 Géologie et pédologie : un sol superficiel 24
3.1.5 Une pinède âgée, ayant subie une coupe de régénération 25

3.2 Un dispositif construit pour répondre aux objectifs de l'étude 25
3.2.1 Cinq modalités de traitements du sol avec deux sous-modalités chacune 25
3.2.2 Répétitions, disposition spatiale 26
3.2.3 Les parcelles élémentaires. 27

3.3 Les mesures 30
3.3.1 Paramètres mesurés 30
3.3.1.1 Principe 30
3.3.1.2 Suivi de l'état de quadrats de 1m^2 pour le pin d'Alep 30

3.3.1.3 Suivi de la survie et de l'environnement des chênes 31
3.3.2 Opérations complémentaires 32
3.3.3 Calendrier des opérations 33

4 Résultats et analyse : Effets des traitements et des facteurs du milieu sur les recrues de pin d'Alep et les semis de chênes 35

4.1 Vérification de l'homogénéité du dispositif vis-à-vis de facteurs extérieurs 35
4.1.1 Variations stationnelles 35
4.1.2 Position des semenciers 36
4.1.3 Luminosité incidente 37

4.2 Régénération du pin d'Alep 37
4.2.1 Relation entre recrues de pin d'Alep et les traitements du sol 37
4.2.1.1 Densité de semis et traitements du sol 38
4.2.1.2 Apparition de semis et traitements du sol 39
4.2.1.3 Survie des semis et traitements du sol 39
4.2.1.4 Traitements du sol et croissance des semis de pin d'Alep 40
4.2.2 Effet des rémanents sur les recrues de pin d'Alep 41
4.2.3 Relation entre recrues de pin d'Alep et état de la surface du sol. 42
4.2.3.1 Densité de semis vivants et état de la surface du sol en janvier 2007 43
4.2.3.2 Apparition de semis entre juin 2006 et janvier 2007 et état de la surface du sol (janvier 2007) 44
4.2.3.3 Survie des semis présent en juin 2006 jusqu'en janvier 2007 et état de la surface du sol (janvier 2007) 45

4.3 Installation des chênes 47
4.3.1 Différence de comportement des deux espèces de chêne 47
4.3.2 Effet des traitements sur les deux types de chênes 47
4.3.2.1 Effet des traitements sur le chêne pubescent 48
4.3.2.2 Effet des traitements sur le chêne vert 49
4.3.3 Effets des facteurs du milieu sur les semis de chêne 49
4.3.3.1 Facteurs du milieu influençant la survie des chênes pubescents 50
4.3.3.2 Facteurs du milieu influençant la survie des chênes verts 51

5 Effets des différents traitements sur l'état de la surface du sol. Conséquences des traitements pour la régénération du pin d'Alep et l'installation des chênes méditerranéens. 53

5.1 Facteurs généraux du milieu influençant la régénération du pin d'Alep et de la survie des plantules de chêne. 53
5.1.1 Contexte stationnel 53
5.1.2 Facteurs influençant les semis de chênes 53
5.1.3 Facteurs influençant la régénération du pin d'Alep 53

5.2 Effets des traitements sur l'état de la surface du sol et conséquences 54
5.2.1 Effets des traitements sur les facteurs inertes présents en surface du sol 54
5.2.2 Effets des traitements du sol sur la végétation adventice 55
5.2.2.1 Strate muscinale 56
5.2.2.2 Strate arbustive 56
5.2.2.3 Strate herbacée 57

5.3 Traitements du sol et régénération du pin d'Alep 59
5.3.1 Intérêt de la coupe d'ensemencement 59
5.3.2 Conclusion quand à l'efficacité des traitements au bout de deux ans 59

5.4 Traitements du sol et installation des semis de chêne vert et chêne pubescent 60
5.4.1 Comparaison entre le chêne vert et le chêne pubescent 60
5.4.2 Conclusions quand à la méthode employée 60
5.4.3 Types de traitement du sol retenus 61

***Conclusion* 62**

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1.1 : Description stationnelle du dispositif. Blocs 1 et 2. _____ 71
Annexe 1.2 : Description stationnelle du dispositif. Blocs 2 et 3. _____ 72
Annexe 2 : Fiche de terrain, cartographie des semis de pin d'Alep. _____ 73
Annexe 3 : Fiche de terrain, description de l'état de la surface des quadrats. _____ 74
Annexe 4 : Fiche de relevé des semis de chêne. _____ 75
Annexe 5.1 : Fiche de description de l'environnement des chênes. _____ 76
Annexe 5.2 : Notice explicative de la fiche de description de l'environnement des chênes. _____ 77
Annexe 6.1 : Localisation des semenciers sur le dispositif expérimental. Blocs 1 et 2. _____ 78
Annexe 6.1 : Localisation des semenciers sur le dispositif expérimental. Blocs 3 et 4. _____ 79
Annexe 7.1 : Fiche de description pour l'analyse stationnelle pin d'Alep. _____ 80
Annexe 7.2 : Fiche des coefficients permettant le calcul de l'indice topo-édaphique pour l'évaluation des potentialités forestières. _____ 81
Annexe 8 : Principe de suivi des semis de pin d'Alep par cohortes. _____ 82

Index des sigles

Sigles techniques concernant les travaux de préparation du sol

B :	broyage	sans rémanents
BR :	broyage	avec rémanents
C :	broyage + crochetage simple	sans rémanents
CR :	broyage + crochetage simple	avec rémanents
F :	brulage dirigé	sans rémanents
FR :	brulage dirigé	avec rémanents
T :	témoin	sans rémanents
TR :	témoin	avec rémanents
X :	broyage + crochetage double	sans rémanents
XR :	broyage + crochetage double	avec rémanents

Autres sigles

AFOCEL : Association forêt cellulose

CEMAGREF : Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts

CRPF : Centre régional de la propriété forestière

DDAF : Direction départementale de l'agriculture et de la forêt

DIREN : Direction régionale de l'environnement

DRAF : Direction régionale de l'agriculture et de la forêt

GPA : Groupe de recherche « pin d'Alep »

IFN : Inventaire forestier national

IMEP : Institut méditerranéen d'écologie et de paléoécologie

INRA : Institut national de recherche agronomique

OGEC : Organismes de gestion en commun

ONF : Office national des forêts

PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur

PNR : Parc naturel régional

Introduction

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller) est une essence typique de la région provençale, mais encore passablement méconnue. Il a montré récemment une extension considérable et les forestiers veulent désormais lui fournir une sylviculture adaptée. Seulement nous manquons de connaissances, en particulier concernant le renouvellement des peuplements de pins arrivés à maturité. En effet, très souvent le pin d'Alep ne se régénère pas dans les peuplements constitués, même après une coupe d'ensemencement ou de régénération.

Pour résoudre ce problème, nous avons testé l'impact de différents travaux de préparation du sol et de la végétation sur la régénération naturelle d'un peuplement âgé de pin d'Alep ayant subi une coupe d'ensemencement. Un des buts de cette étude est de comparer l'efficacité des différents traitements et de comprendre comment ceux-ci agissent sur le recrutement ou l'installation de semis.

La seconde thématique de cette étude est l'introduction de chênes verts et pubescent (*Quercus ilex* et *Quercus pubescens*) dans les peuplements de pin d'Alep, dans un but de diversification. En effet, suivant la dynamique naturelle, les chênes s'installent naturellement sous le couvert du pin d'Alep, mais le phénomène est lent. Le gestionnaire peut avoir intérêt à accélérer le processus ; cependant l'introduction artificielle de chênes se heurte à des coûts souvent élevés pour des chances de succès faibles.

L'autre but de cette étude est de voir si les travaux du sol et de la végétation testés permettent de favoriser le succès d'un semis de chênes. Là encore, les facteurs du milieu seront suivis pour comprendre les mécanismes entrant en jeu.

Le présent rapport s'articule autour de cinq grandes parties :

Dans une première partie je présenterai le pin d'Alep, sujet principal de l'étude. Il me semble important de rappeler ses caractères principaux car c'est une essence originale et absente de la plupart des manuels forestiers. Si cette méconnaissance a pu se justifier par le passé, elle est aujourd'hui peu tolérable, étant donné l'évolution des surfaces de pin d'Alep. Je ferai également un état des connaissances actuelles sur la reproduction du pin d'Alep, nécessaires à la compréhension de sa dynamique de régénération. D'autre part, j'aborderai la question du mélange des peuplements de pin d'Alep avec des chênes verts et pubescents en sous-étage.

La question fondamentale concernant toute étude est : pourquoi la réalise-t-on ? La réponse à cette question fera l'objet de la deuxième partie, dans laquelle je présenterai les problèmes que rencontrent les forestiers, et qui justifient cette étude.

La troisième partie est consacrée à la présentation du dispositif expérimental et des relevés qui devraient permettre de répondre aux objectifs fixés.

Dans la quatrième partie j'exposerai les principaux résultats que j'ai obtenus ainsi que l'analyse que j'en ai faite.

Enfin je confronterai mes conclusions aux résultats d'autres travaux, en ferai une synthèse et en tirerai des conséquences pour les gestionnaires.

1 Les peuplements de pin d'Alep, en mélange avec le chêne vert et le chêne pubescent

1.1 Le pin d'Alep : caractères, importance et régénération

1.1.1 Une essence typique de la région méditerranéenne

1.1.1.1 Taxonomie

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.), appelé autrefois pin blanc à cause de la couleur blanchâtre de son tronc, appartient au genre *Pinus*, à la section *halepensoides*, au groupe *halepensis*, de la famille des *Pinaceae* (GAUSSEN, 1960).

Dans ce groupe, on rencontre une autre espèce, très voisine du pin d'Alep, le pin brutia (*Pinus brutia* Ten.).

1.1.1.2 Caractères dendrologiques (d'après NAHAL, 1962)

- **Longévité** : Le pin d'Alep ne vit pas longtemps. Sa longévité ne dépasse généralement pas 150 ans, la moyenne étant de 120 à 130 ans.

- **Taille** : Le pin d'Alep est un arbre de taille moyenne (20 m), pouvant atteindre une hauteur de 25 à 27 m sur les très bonnes stations.

- **Port** : Le pin d'Alep a généralement un tronc tortueux, irrégulier et branchu. Sa cime est conique dans le jeune âge, puis s'étale au fur et à mesure du vieillissement.

- **Ecorce** : L'écorce des jeunes pins est lisse et d'un gris-argenté ; chez les adultes, elle est plus ou moins crevacée et de couleur rougeâtre.

- **Aiguilles** : Le pin d'Alep possède des aiguilles fines (1 mm), longues (5 à 10 cm), groupées par deux et flexueuses. Elles confèrent au pin d'Alep un houppier clair, caractéristique d'une essence de lumière

1.1.1.3 Une aire géographique limitée au pourtour du bassin méditerranéen



Fig. 1 : Aire mondiale de répartition du pin d'Alep. (FADY *et al.*, 2003)

Le pin d'Alep se cantonne strictement au pourtour du bassin méditerranéen (cf. fig. 1). S'il est surtout présent en région méditerranéenne occidentale, il se rencontre également en divers points du bassin méditerranéen oriental (Turquie, Syrie), domaine du pin brutia, une espèce proche. Au total, il occupe une superficie de plus de 3,5 millions d'hectares (QUEZEL & BARBERO, 1992).

1.1.1.4 Autécologie : Une essence frugale et très bien adaptée au contexte méditerranéen

Une essence peu exigeante vis-à-vis de la roche mère et du sol.

Le pin d'Alep est indifférent à la nature physique et chimique du substratum. On le rencontre fréquemment sur des sols peu évolués, voire sur des lithosols, comme les sols bruts sur marnes et les sols calcaires squelettiques. C'est donc une essence très rustique (NAHAL, 1962). Cela en fait une essence intéressante, qui peut valoriser ou du moins occuper des terrains à très faible fertilité, où il est souvent la seule essence forestière possible. Sur les zones fertiles à bilan hydrique élevé, le pin d'Alep présente une forte croissance et une bonne morphologie. Il peut donc aussi mettre en valeur les bonnes stations (RIPERT & VENNETIER, 2001).

Une essence adaptée à la sécheresse.

Thermophile, le pin d'Alep supporte une certaine continentalité du climat, mais possède une faible résistance face aux températures basses prolongées (NAHAL, 1962). En région méditerranéenne française, il s'étend sur les étages humides (variantes à hiver tempéré et chaud), subhumides (variantes à hiver tempéré et frais) et semi-aride (variantes à hiver tempéré) (LOISEL, 1976).

L'existence d'une période de déficit hydrique estival durant de 1 à 6 mois est sans doute le caractère majeur du climat méditerranéen et le facteur limitant essentiel pour le développement des écosystèmes forestiers. Les formations à pin d'Alep constituent, en Provence, les structures les mieux adaptées à la sécheresse estivale. En effet, le pin d'Alep peut résister à des desséchements importants. Il possède la capacité de limiter fortement ses pertes transpiratoires, par un contrôle stomatique très efficace (QUEZEL, 1986).

1.1.1.5 Utilisations passées et actuelles

Le pin d'Alep, tout comme le pin maritime, présente une très forte variabilité de ses propriétés mécaniques d'un échantillon à l'autre. Ces deux espèces présentent une très grande similitude concernant toutes les propriétés de base, tant physiques que mécaniques. Ce sont des résineux mi-lourds à lourds, à retrait moyen et à pourcentage de résine relativement élevé. Le pin d'Alep présente un léger avantage du point de vue de la stabilité dimensionnelle et de l'homogénéité du bois (THIBAUT et *al*., 1992).

Du fait d'une sylviculture peu pratiquée et encore mal maitrisée, le pin d'Alep ne produit à terme que peu de sciages de qualité. Le **billon de trituration et la palette** constituent à l'heure actuelle ses seuls véritables débouchés. Pourtant, ses utilisations anciennes sont variées : caisserie, lamelles pour la confection de cageots à primeurs, laine de bois et douelles pour la tonnellerie. On l'utilisa plus rarement dans des petites dimensions comme poteaux ou étais de mines (BELVAUX, 1992). Le pin d'Alep fut largement utilisé pour le gemmage, pour lequel il est l'essence méditerranéenne qui fournit le meilleur rendement et la meilleure qualité (NAHAL, 1962).

GRULOIS & PEETERS (2004) signalent que des recherches sont en cours sur la valorisation du pin d'Alep en plaquettes pour le bois-énergie.

Le bois de pin d'Alep, même s'il n'est pas de qualité exceptionnelle, est cependant **apte à des emplois plus nobles** et donc plus rémunérateurs que ceux qu'il connait actuellement. En particulier, l'emballage léger pourrait constituer un secteur moteur pour les gros volumes de sciage (OLIVA & RICARD, 1995).

1.1.2 Évolution des peuplements de pin d'Alep

1.1.2.1 Une sylviculture du pin d'Alep autrefois inexistante, aujourd'hui prônée

Le pin d'Alep souffre encore aujourd'hui d'une mauvaise réputation chez certains forestiers. Ces derniers l'accusent notamment :

- **De favoriser les incendies** (CHARLES, 1992) : C'est discutable, certains auteurs (ALEXANDRIAN et RIGOLOT, 1992) classent le pin d'Alep dans la catégorie des végétaux fortement inflammables. Cependant des travaux récents de l'INRA semblent montrer que le pin d'Alep n'est pas spécialement plus inflammable que d'autres essences. Le danger concerne surtout les peuplements où des arbres présentent des branches basses. Par ailleurs, un peuplement pur de pin d'Alep représente une biomasse combustible assez faible ; moins importante qu'un taillis de chêne par exemple.

- **D'éliminer le chêne** : Cela paraît peu justifié et résulte d'une mauvaise analyse. En effet suivant la dynamique naturelle, ce sont les chênes qui s'installent sous les peuplements de pins, profitant de l'abri que ces derniers créent. Le pin, qui est une essence pionnière, a de grandes difficultés à s'installer sous le couvert des chênes, et ne prend leur place que si ceux-ci ont disparu suite à une perturbation (incendie ou action anthropique). Par contre le pin d'Alep permet aux chênes de s'installer sous son couvert.

- **De ne pas être une essence locale** : Cette affirmation n'a pas de fondement réel, puisque le pin d'Alep est présent en France depuis plus de 6000 ans sous sa forme actuelle, et des traces d'une forme voisine datant de 3 millions d'années ont été retrouvées en Provence.

Le manque de popularité du pin d'Alep peut expliquer le manque de gestion et d'entretien qu'ont connus les peuplements de cette essence (BROCHIERO et *al*., 1998).

Depuis déjà plusieurs décennies, d'autres forestiers (ABBAS, 1983 ; NEVEUX *et al*., 1986 ; DOUHERET, 1992 ; ONF & CRPF PACA, 1992 ; D'HANENS, 1997 ; RIPERT & VENNETIER, 2001) tentent de réhabiliter le pin d'Alep, et de **lui proposer une sylviculture adaptée**.

L'intérêt que suscite le pin d'Alep aujourd'hui, n'est pas sans relation avec l'extension considérable qu'il a connue.

1.1.2.2 Une progression considérable de la surface occupée par le pin d'Alep en France

Table 1 : Évolution de la surface occupée par le pin d'Alep en France (d'après données de l'Inventaire forestier national (IFN))

	1878	1912	1956	1986	1995	2003
Surface occupée par le pin d'Alep (en milliers d'hectares)	46	105	135	213	232	240

Depuis plus d'un siècle, les surfaces occupées par le Pin d'Alep connaissent une augmentation considérable (cf. table 1). Cette progression peut s'expliquer par l'extension du pin d'Alep dans l'étage du chêne vert, due à **l'action anthropique** et aux plantations artificielles du début du XX^{e} siècle à objectif de production de gemme (NAHAL, 1962). Un autre phénomène explicatif est la **colonisation des terres agricoles en déprise** par le pin d'Alep (BARBERO & QUEZEL, 1990 ; THOMAS & PEETERS, 2006). Encore récemment, l'extension se poursuit, malgré (ou à cause de) l'importance des incendies qui affectent chaque année plusieurs milliers d'hectares de forêt.

1.1.2.3 Une ressource non négligeable et en augmentation

L'AFOCEL, à travers diverses études (THOMAS & PEETERS, 2006 ; PEETERS & THIVOLE-CAZAT, 2005 ; GRULOIS & PEETERS, 2004), met en relief l'importance de la ressource en bois de pin d'Alep.

Le pin d'Alep couvre plus de **240 000 ha** en France, essentiellement situés en région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (PACA), et produit annuellement près de 530 000 m^3 de bois. Comme le prélèvement annuel actuel n'est que de 20 % de cette production, la ressource se capitalise.

La comparaison des inventaires de 1975, 1986 et 2000, effectués par l'IFN (Inventaire forestier national) en région PACA, montre une **augmentation de plus de 60 000 ha de la surface des formations à pin d'Alep en 25 ans** (cf. fig. 2). Parallèlement, la proportion des formations à pin d'Alep entrant dans la catégorie des **peuplements constitués** a également augmenté (80 % en 2000, contre 50 % en 1975).

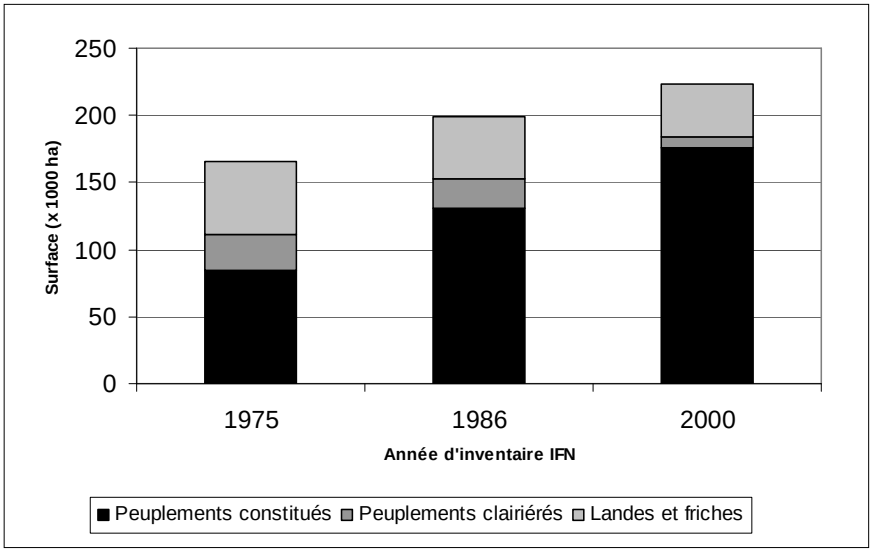


Fig. 2 : Évolution des surfaces occupées par le pin d'Alep en région PACA de 1975 à 2000.

Les forestiers méditerranéens ont pris conscience de l'importance du pin d'Alep et tentent aujourd'hui de lui définir une sylviculture adaptée. Un des objets de cette étude est le renouvellement des peuplements. Par conséquent, il est nécessaire de présenter une synthèse des connaissances concernant la reproduction du pin d'Alep

1.1.3 Caractères de la régénération du pin d'Alep

1.1.3.1 Une production de graines précoce et abondante.

Le pin d'Alep peut produire des graines dès l'âge de 10 ans, mais celles-ci ne sont fertiles que lorsque les semenciers ont 20 ans environ (ACHERAR, 1981 ; NAHAL, 1962). Arrivé à maturité, le pin d'Alep produit massivement des graines (LOISEL, 1976). Une grande partie des assimilats de l'arbre est alors tournée vers la reproduction, en défaveur de la croissance radiale. Lorsque l'arbre atteint **l'âge de 80 ans on note une diminution notable de la fertilité des graines** (ACHERAR, 1981 ; NAHAL, 1962).

1.1.3.2 Une banque de graines aérienne

Les graines de pin d'Alep sont presque **absentes de la banque de semences du sol** (HABROUK *et al*., 1999 ; IZHAKI et *al*., 2000 ; DASKALAKOU & THANOS, 1996). En effet, une fois tombées au sol, soit elles germent à la saison humide, soit elles perdent leur pouvoir germinatif ou sont détruites par les prédateurs (DASKALAKOU & THANOS, 1996). Ainsi, les semences de pin d'Alep présentes au sol ne forment qu'une banque de semences transitoire.

Par contre, le pin d'Alep conserve une partie importante de ses cônes fermés, créant une **banque de semences aérienne persistante**. Les résultats de DASKALAKOU & THANOS (1996) donnent une proportion allant de 40 à 80 % de cônes fermés suivant les individus. Toujours d'après ces auteurs, les graines maintenues dans les cônes conservent toute leur viabilité pendant au moins 3 ans (et des cônes de 20 ans contiennent encore une proportion considérable de graines pouvant germer). Les cônes restant fermés durant de longues périodes sont principalement de type sérotineux, voir ci-après.

1.1.3.3 Deux types de cônes

Le pin d'Alep est une essence partiellement sérotineuse (GOUBITZ *et al.*, 2003 ; NATHAN & NE'EMAN, 2004 ; NE'EMAN *et al*., 2004) ; c'est-à-dire qu'il porte à la fois des **cônes sérotineux et non sérotineux**. Ces deux types de cônes présentent des modalités d'ouverture différentes.

Les cônes sérotineux se distinguent par la présence de nombreux canaux résinifères et leur forte teneur en résine. La résine scelle les écailles du cône et empêche donc toute dessiccation interne. Pour s'ouvrir, un cône sérotineux doit subir un choc de chaleur important (incendie), qui va fissurer les joints de résines. La présence de failles dans les joints de résine, même sur une partie localisée du cône, amorce la dessiccation du cône et entraine l'ouverture des écailles (FRANCLET, 1970).

Ces deux types de cônes ont des modes particuliers de libérations des graines, traduisant des dynamiques spécifiques.

1.1.3.4 Deux modes complémentaires de libération des graines

Libération et germination des graines après incendie :

Ce phénomène n'intervient qu'une seule fois la plupart du temps, l'arbre ne survivant pas au feu.

La régénération après incendie se fait à partir de la banque de graines aérienne. En effet, très peu de graines de pin d'Alep sont présentes dans la banque de semences du sol, et les graines présentes en surface du sol lors de l'incendie sont détruites ou perdent leur pouvoir germinatif, contrairement aux graines protégées dans les cônes (HABROUK *et al*., 1999).

Le feu provoque l'ouverture des cônes et dès le premier jour suivant l'incendie, on observe une libération massive de graines. Puis celle-ci diminue progressivement au cours du temps jusqu'à devenir complètement nulle au bout de quelques mois (NATHAN & NE'EMAN, 2004).

Après un incendie de grande importance, une couche épaisse (30 à 50 mm) de cendres recouvre le sol. Cette couche de cendre réduit considérablement la germination de toutes les espèces végétale, le pin d'Alep y compris (IZHAKI *et al.*, 2000). Mais la germination du pin est moins défavorisée que celle des autres espèces par les conditions le pH élevé, dû à la présence de cendres. De plus le pin libère massivement des graines après incendie. Cela lui confère donc un avantage qui lui permet de s'affranchir rapidement de la compétition.

Les semis de pin d'Alep émergent à la première saison humide suivant l'incendie. La germination et la levée des plantules a alors lieu de manière quasiment simultanée pour toutes les graines. On observe donc une vague de germination massive et unique, rapidement après le début de la saison pluvieuse (cf. fig. 3) (DASKALAKOU & THANOS, 2004).

Libération et germination des graines en absence d'incendie :

En temps normal, environ 60 % de la production annuelle de semences de pin d'Alep est libérée, le reste restant stocké dans les cônes. La quantité de graines émises varie fortement en fonction de la saison. La libération est concentrée principalement durant les périodes chaudes et

sèches, au printemps et à l'automne, en particulier durant les périodes de grand vent (ce qui crée des conditions desséchantes et entraîne une plus forte dispersion des graines) (NATHAN et al., 1999).

Les graines germent ensuite lorsque les conditions sont humides c'est-à-dire de la fin de l'été au début de l'hiver et de la fin de l'hiver au début du printemps (ACHERAR, 1981 ; CALAMASSI *et al*., 1984). Lorsque les conditions hygrométriques et thermiques sont favorables, les graines de pin d'Alep atteignent de très forts taux de germination (OUSTRIC, 1984).

Même en absence d'incendie, le pin d'Alep a donc une **forte capacité de régénération**.

La présence de cônes sérotineux traduit une adaptation au feu :

Le phénomène de libération des graines après incendie implique les cônes sérotineux (pouvant alors s'ouvrir grâce au choc de chaleur), les cônes non sérotineux jouant un rôle minoritaire (GOUBITZ *et al*., 2003 ; NATHAN & NE'EMAN, 2004 ; NE'EMAN *et al*., 2004).

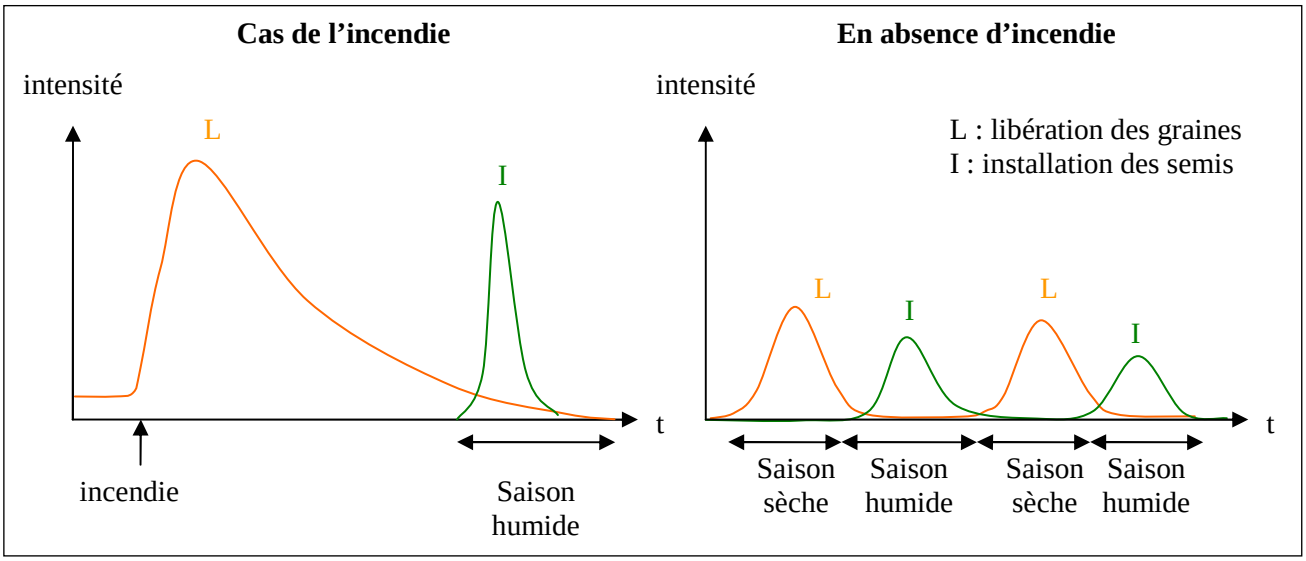
La proportion de cônes sérotineux dépend de l'âge de l'arbre (les pins jeunes, plus sensibles à l'incendie, ont une proportion plus élevée de cônes sérotineux), et la fréquence des feux qu'a subi le peuplement au cours de son histoire (sélection génétique) (NE'EMAN *et al*., 2004).

Par ailleurs les graines provenant des cônes sérotineux supportent mieux les conditions créées par l'incendie (hautes températures, pH élevé dû à la cendre) que les graines des cônes non sérotineux (GOUBITZ *et al*., 2003).

La présence de cônes sérotineux peut donc être considérée comme une adaptation à l'incendie, permettant aux pins de se régénérer facilement après cette perturbation.

Alors que les **cônes sérotineux libèrent leurs graines seulement après incendie**, **les cônes non sérotineux s'ouvrent tout au long de l'année**, lorsque les conditions atmosphériques sont sèches (GOUBITZ *et al*., 2003 ; NATHAN & NE'EMAN, 2004 ; NE'EMAN *et al*., 2004). Ce sont donc ces derniers qui permettent la régénération du pin d'Alep quand il n'y a pas d'incendie.

Fig. 3 : Comparaison des schémas temporels de libération des graines et d'installation des semis en présence et en absence d'incendie.



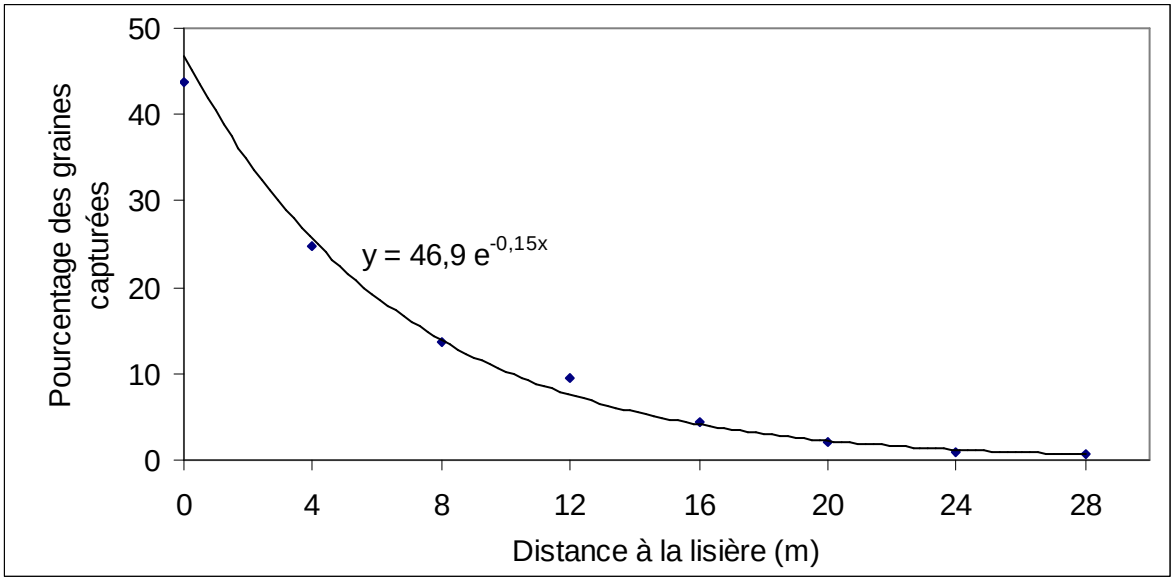
1.1.3.5 Dispersion des graines

Le pin d'Alep, qui est une essence pionnière, a un pouvoir colonisateur marqué. Un certain nombre d'auteurs se sont penchés sur la question de la dispersion anémochore des graines de pin d'Alep (LOISEL, 1976 ; ACHERAR *et al.*, 1984 ; NATHAN *et al.*, 2000).

Tous ces auteurs ont montré que les graines ailées de pin d'Alep peuvent parcourir d'importantes distances, c'est à dire jusqu'à plusieurs centaines de mètres, sous l'action du vent. Cependant cette dispersion à longue distance ne se produit que dans des cas exceptionnels (incidents météorologiques) et affecte une proportion très limitée de graines.
Pour les cas courants :

- ACHERAR *et al.* (1984) ont montré que le pouvoir de dissémination des graines par le vent est faible pour la majorité des graines : seulement 3 % des graines tombent à plus de 24 m des semenciers. À partir de leurs résultats ils ont construit un modèle de répartition des semences en fonction de la distance aux semenciers (cf. fig. 4).

Fig. 4 : Modèle de dispersion des graines d'ACHERAR et al. (1984).



La proportion des graines arrivant au sol suit une fonction exponentielle décroissante de la distance à la lisière, traduisant une diminution rapide de la densité de graines lorsque l'on s'éloigne des semenciers.

- NATHAN et *al*. (2000) obtiennent des résultats similaires, avec 97 % des graines tombant au sol à une distance inférieure à 20 m de l'arbre adulte le plus proche. Là aussi, le nombre de graines par m^2 en fonction de la distance aux semenciers peut être modélisé par une fonction exponentielle décroissante.

Pour la très grande majorité, **les graines atteignent le sol à proximité des semenciers**. La dispersion des graines à longue distance, même si c'est un phénomène important en dynamique des populations pour la colonisation de nouveaux biotopes, ne permet pas d'assurer la régénération en pin d'Alep d'une coupe rase isolée par exemple.

Si la littérature concernant la régénération du pin d'Alep après incendie est relativement abondante, elle se raréfie nettement concernant la colonisation de nouveaux terrains par le pin d'Alep et est quasiment absente en ce qui concerne la régénération dans les peuplements constitués. En particulier il y a très peu de données concernant la survie des plantules, qui est pourtant fondamentale pour déterminer le succès de la régénération.

1.2 Les peuplements mélangés de pin d'Alep à sous-étage de chêne vert ou chêne pubescent

1.2.1 Présentation de ces deux chênes méditerranéens

1.2.1.1 Le chêne pubescent

Le chêne pubescent (*Quercus pubescens*), essence caducifoliée marcescente, est un arbre de taille moyenne (15 à 20 m). Sa faible dominance apicale, caractéristique de tous les chênes méditerranéens, lui confère un port tortueux, à fût court (VUILLEMIN, 1980).

Essence thermophile, il est surtout présent dans l'étage supra-méditerranéen, mais aussi dans le méso-méditerranéen (où le chêne vert s'est parfois substitué à lui), voire dans le montagnard-méditerranéen (où il se réfugie alors sur les adrets).

Il présente des exigences sur le plan hydrique : Il préfère les climats humides et subhumides (variantes à hiver frais), avec une moyenne annuelle de précipitations allant de 600 mm à 1400 mm. Sa tolérance à la sécheresse est limitée (pas plus de trois mois secs (P < 2T)) (VUILLEMIN, 1980 ; FERNANDEZ, 1978).

Concernant le substrat géologique, il tolère aussi bien les roches calcaires que siliceuses. Cependant l'action de l'homme a permis au châtaignier de le supplanter très souvent en terrain siliceux (par exemple dans les Maures et dans les Cévennes).

Il est généralement traité en taillis. Ses principales utilisations sont le bois de chauffage et la trufficulture.

1.2.1.2 Le chêne vert

Le chêne vert (*Quercus ilex*) est un arbre sclérophylle, de taille modeste, dépassant rarement 15 m de hauteur.

Le chêne vert est une essence typiquement méditerranéenne. Surtout présent aux étages méso-méditerranéen et thermo-méditerranéen, on le rencontre aussi au supra-méditerranéen. Dans ce dernier cas, il occupe les stations les plus sèches (sommets et adrets).

Son amplitude écologique est remarquable, tant du point de vue climatique qu'édaphique (VUILLEMIN, 1980 ; BARBERO & LOISEL, 1980). Il s'étend sur des climats humides à semi-aride (variantes fraiches et tempérées), avec une pluviométrie annuelle allant de 400 mm au minimum à 1000 mm pour l'optimum de croissance. Par contre, il craint les grands froids. Le chêne vert supporte les terrains les plus pauvres, aussi bien sur substrat siliceux que sur substrat calcaire. Les seuls terrains qu'il ne supporte pas sont les sols compacts, asphyxiants ou engorgés.

Le chêne vert produit une glandée abondante et régulière. Sa régénération naturelle souvent absente sous lui-même, mais assez fréquente dans les futaies de pin d'Alep.

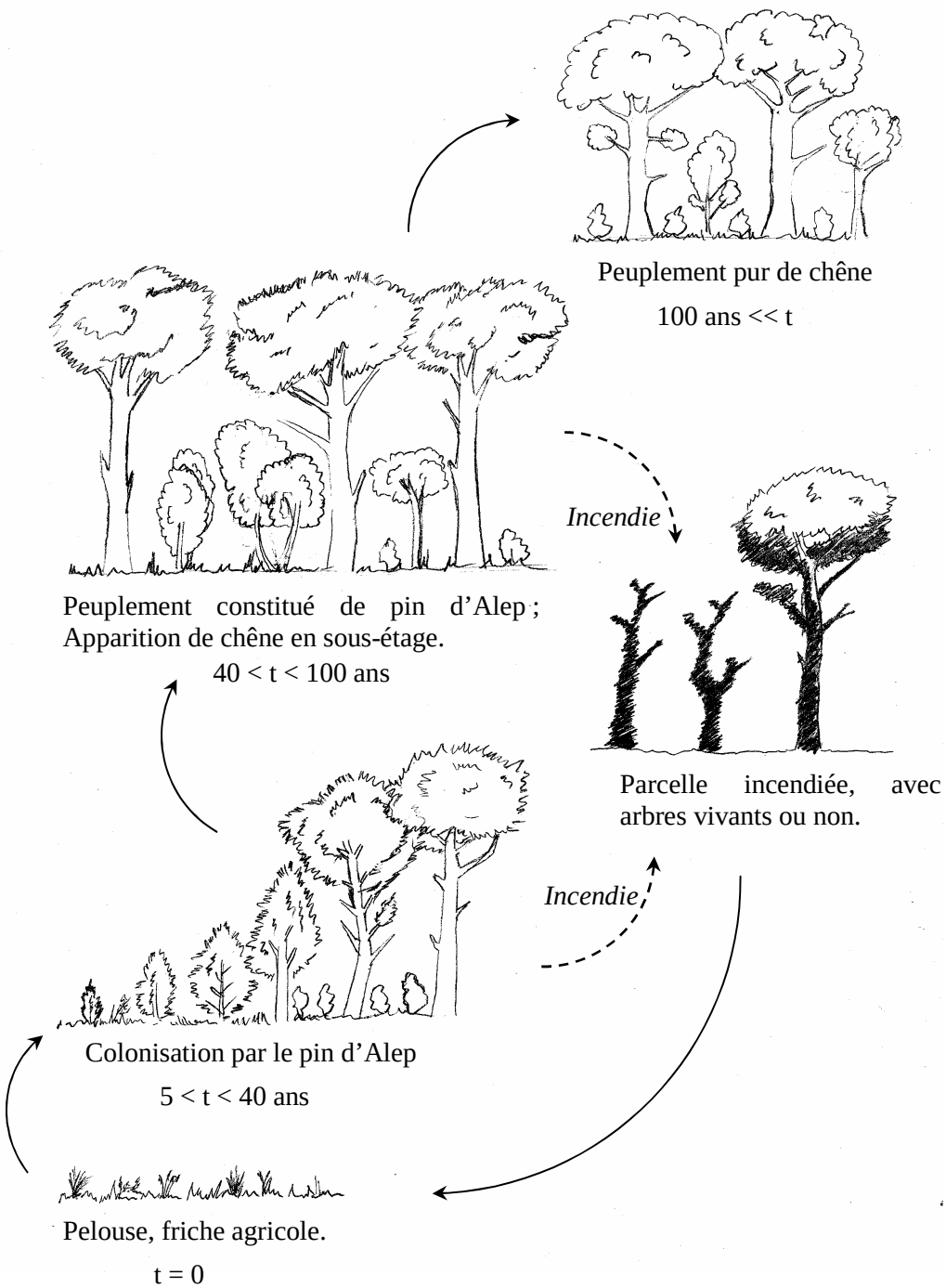
Il est classiquement traité en taillis, pour le bois de chauffage.

1.2.2 Dynamique naturelle des peuplements mélangés de pin d'Alep, chêne vert, et chêne pubescent

Les forêts de chênes méditerranéens *Quercus ilex* et *Quercus pubescens* correspondent aux stades climaciques d'une grande partie des étages eu-méditerranéens et supra-méditerranéens (VUILLEMIN, 1978).

Les peuplements de pin d'Alep représentent, dans la plupart des cas, des groupements transitoires ou para-climaciques. L'évolution naturelle de ces peuplements conduirait à des forêts climaciques à chêne vert ou à chêne pubescent (cf. fig. 5) : Une fois que le pin d'Alep a colonisé un espace ouvert, il favorise, par son ombrage et l'ambiance forestière qu'il crée, l'installation des chênes. Mais quand le chêne est installé, le pin d'Alep a souvent du mal à se régénérer (BOYAC, 1993 ; VUILLEMIN, 1980 ; D'HANENS, 1997).

Fig. 5 : Dynamique naturelle d'évolution des peuplements à pin d'Alep. (G. Favand)



L'installation des chênes sous les pins est un processus naturel, mais qui nécessite la proximité de semenciers de chêne, et qui a une dynamique très lente. Le forestier peut avoir intérêt à laisser les chênes s'installer et même à accélérer le phénomène.

1.2.3 Intérêts des peuplements mélangés

Intérêt économique :

La présence de chênes verts ou de chênes pubescents dans les peuplements de pin d'Alep permet au propriétaire, non seulement de diversifier ses revenus, mais encore de les augmenter substantiellement. En effet, d'après D'HANENS (1997), la part de chaque essence dans les revenus du propriétaire dans le cadre d'une gestion en taillis de chêne sous futaie de pin d'Alep est de 70 % pour les chênes exploités en bois de chauffage et de 30 % pour le pin d'Alep.

On comprend donc l'intérêt d'introduire des chênes sous des peuplements purs de pin d'Alep. Par contre, une fois les chênes bien installés, les pins peuvent avoir du mal à se régénérer après exploitation de la futaie. Or il apparaît important de renouveler le peuplement de pin d'Alep. En effet il semble peu probable que la perte des revenus provenant de la coupe des pins soit compensée par l'augmentation de la productivité du taillis qui pourrait résulter de la suppression du couvert des pins.

Autres intérêts :

L'argument économique n'est pas le seul à plaider en faveur des peuplements mixtes. ABBAS et al. (1984) ont mis en évidence d'autres intérêts, qui seront discutés ici :

- Amélioration de la vie microbienne des sols : La litière des essences feuillues se décompose mieux que celle des résineux. Le mélange permet une plus grande diversité de microorganismes dans la litière, ce qui accélère la dégradation de la matière organique.
- Amélioration de la régénération des chênes, qui est toujours difficile en milieu ouvert : En milieu ouvert, des jeunes chênes présentent souvent un stress hydrique important et une faible dominance apicale. La présence d'un couvert de pin d'Alep, qui filtre la lumière, permet une réduction de la mortalité des plantules et favorise leur croissance en hauteur (ROUSSEL, 1972).
- Protection de la dessiccation du sol grâce à l'ombrage plus important limitant l'évaporation.
- Protection contre l'érosion pluviale grâce à un couvert arboré plus fort.
- Protection contre les maladies : Un des intérêts classiques du mélange des essences est de limiter la propagation des maladies.
- Protection contre l'incendie : Cela est très discutable. Le rôle positif, joué par la présence des chênes, peut être l'élimination des strates herbacées et arbustives, diminuant le niveau d'inflammabilité des peuplements. Par contre elle entraine une augmentation de la biomasse combustible des peuplements et crée une continuité verticale, permettant à un feu courant de se propager dans les cimes des arbres.
- Amélioration de la conformation des pins d'Alep obtenus en deuxième génération, du fait de l'éducation par les chênes.

Etant donné l'importance de la surface occupée par le pin d'Alep et sa dynamique d'extension, cette essence est digne d'attention. En plus de pratiquer une sylviculture à son profit, le pin d'Alep peut être utilisée comme essence de transition, pour permettre l'installation du chêne vert et du chêne pubescent. Cependant, les connaissances concernant la dynamique de renouvellement des peuplements de pin d'Alep et l'introduction des chênes sont limitées, ce qui pose des problèmes au gestionnaire.

2 Problématique et objectifs de l'étude

L'extension des peuplements de pin d'Alep est récente, et la prise de conscience de l'intérêt de cette essence par les forestiers encore plus. Aujourd'hui les gestionnaires souffrent d'un manque de connaissances précises pour résoudre les problèmes posés par le pin d'Alep. Afin de répondre à certaines questions, des organismes divers se sont rapprochés de manière informelle pour définir un programme concerté de recherche sur le pin d'Alep.

2.1 Le groupe de recherche pin d'Alep

Le groupe de recherche pin d'Alep (GPA) regroupe :

- des organismes de recherche : AFOCEL, CEMAGREF, Institut méditerranéen d'écologie et de paléoécologie (IMEP), INRA
- des organismes de gestion : CRPF, Organismes de gestion en commun (OGEC), ONF
- des administrations et collectivités : DDAF, DRAF, DIREN, PNR, région, départements.

L'objectif affiché par le GPA est **d'assurer la pérennité de la ressource en pin d'Alep et de dynamiser sa gestion**.
Cet objectif se décline suivant 4 thèmes de recherche prioritaires :

- Améliorer les connaissances concernant la dynamique de renouvellement des peuplements.
- Établir et tester des itinéraires sylvicoles adaptés.
- Développer une approche par massif pour la gestion, afin d'améliorer l'efficacité de la gestion forestière et la prévention des incendies.
- Améliorer la connaissance des propriétés technologiques du bois pour la filière aval.

La présente étude se rattache au premier de ces thèmes « **Améliorer les connaissances concernant la dynamique de renouvellement des peuplements** ». En effet les gestionnaires rencontrent des problèmes pour renouveler les peuplements de pin d'Alep arrivés à maturité.

2.2 Des difficultés de régénération dans les peuplements de pin d'Alep

Si le pin d'Alep colonise très facilement les friches agricoles et les zones incendiées, **sa régénération naturelle pose problème dans les peuplements adultes**, où l'ombrage et l'ambiance forestière qu'il procure a permis l'installation du chêne en sous-bois :

L'observation des peuplements âgés de la région de Montpellier montre que le pin d'Alep se régénère en général peu abondamment sous son propre couvert et qu'il est souvent remplacé par *Quercus ilex*, parfois accompagné de *Quercus pubescens* (ACHERAR, 1984).

Lors de coupes conjointes de chênes (chênes vert ou chêne pubescent) et de pins dans les peuplements mixtes, il arrive fréquemment que le pin ne se réimplante pas (D'HANENS, 1997).

BOYAC (1993), dressant le bilan des coupes réalisées par le CRPF en Provence, observe que l'apparition de semis après coupe n'a lieu qu'en de très rares cas.

Une étude du CRPF PACA (2002) montre un très **faible taux de renouvellement du pin d'Alep sous lui-même** (inférieur à 10 %), dans le cadre de la gestion traditionnelle en forêt privée.

Un diagnostic réalisé en forêt publique et privée (ONF & AFOCEL, 2005), fait apparaître un résultat un peu moins alarmant, mais toujours préoccupant, avec 42 % de parcelles où la régénération

est considérée comme non acquise (sur 36 parcelles ayant subi une coupe de régénération entre 1994 et 2003).

Se pose alors la question de la conservation du pin d'Alep. Le gestionnaire a-t-il intérêt à le laisser disparaitre au profit du chêne, suivant la dynamique naturelle ? Assurément non, car le **maintien de pin d'Alep a des intérêts à la fois sylvicoles et économiques**. En effet, outre les avantages déjà évoqués que procure le mélange des essences, la présence de pin d'Alep procure un revenu supplémentaire au propriétaire.

Par ailleurs, si l'on raisonne à une échelle régionale, les **enjeux sont importants en termes de pérennité du massif, que ce soit pour la ressource ou les fonctions paysagères ou patrimoniales**.

La présente étude vise à fournir au gestionnaire des moyens pour résoudre certains problèmes de régénération dans les peuplements adultes de pin d'Alep, et par là, à assurer leur pérennité. Les moyens dont il est question ici sont diverses modalités de préparation de la surface et de travail du sol. Celles-ci seront présentées en détail par la suite.

2.3 Introduction de semis de chêne

2.3.1 Diversification des peuplements de pin d'Alep

Les peuplements de pin d'Alep sont souvent monospécifiques. En effet, les chênes verts et pubescents, qui représentent les espèces de fin de succession végétale, ne s'y installent que lentement. Nous avons vu précédemment les multiples intérêts que représentent les peuplements mélangés. Un des objectifs de gestion peut être d'obtenir des peuplements de pin d'Alep à sous-étage de chêne, voire des peuplements purs de chêne à la place du pin d'Alep (auquel cas le pin d'Alep est considéré comme une essence transitoire). Pour accélérer le processus naturel le gestionnaire peut choisir d'introduire artificiellement des chênes dans un peuplement mature de pin d'Alep.

2.3.2 Utilisation de la technique du semis

Pendant longtemps les forestiers méditerranéens ont rejeté l'idée de boisements feuillus. En effet la croissance lente et la faible productivité des chênes méditerranéens ne peuvent compenser le coût élevé de reboisement, dû aux difficultés que l'on rencontre lors de cette opération.

Étant donné le coût d'une plantation, cette opération est difficilement envisageable à large échelle dans le contexte méditerranéen. Par contre un semis direct de glands pourrait constituer une opération moins coûteuse et donc être envisageable.
De plus par rapport à la plantation, le semis direct offre :

- une qualité meilleure du système racinaire grâce à l'absence de transplantation,
- une meilleure sélection grâce à des densités plus élevées,
- une meilleure forme à attendre du fait de l'éducation, de la compétition pour la lumière provoquée par la densité.

En contrepartie il nécessite:

- une récolte de glands importante et un tri des glands,
- une conservation des glands parfois problématique,
- une protection systématique des glands contre les prédateurs.

Le but est ici de profiter de l'ombrage apporté par la strate arborée de pin d'Alep. En effet, sur les stations présentant un déficit hydrique estival, les peuplements arborés de pin d'Alep sont plus favorables à l'installation des chênes que les milieux ouverts (VUILLEMIN, 1980). La survie et la conformation des chênes peuvent être améliorées par le couvert, et les coûts d'entretien diminués (moins de dégagements).
Les travaux du sol et la suppression de la strate arbustive peuvent également améliorer la survie et la croissance des chênes. C'est l'effet de ces travaux qui sera testé ici.

2.4 La question des rémanents

L'impact des rémanents en forêt est une question d'actualité. En effet, le gestionnaire se demande souvent s'il doit ou non enlever les rémanents laissés sur le sol après coupe. De nombreuses études traitent des effets des rémanents sur différents aspects forestiers, notamment la régénération de diverses essences. Cependant ces études ont pour la très grande majorité été réalisées en région tempérée. Leurs résultats ne sont pas immédiatement applicables en région méditerranéenne, car les rémanents présentent un comportement très différent : à cause de la faible pluviométrie et de l'absence d'humidité atmosphérique, défavorables à l'activité des décomposeurs primaires, la décomposition du bois au sol est très lente. Les rémanents restent donc intacts sur le parterre de la coupe pendant de longues périodes, ce qui ne va d'ailleurs pas sans augmenter le risque d'incendie.

Un facteur absence/présence de rémanents sera combiné avec les différents travaux du sol, pour tester l'effet des rémanents et savoir s'il vaut mieux les laisser ou les enlever.

L'étude, installée dans un peuplement mûr de pin d'Alep, présente donc des objectifs multiples concernant à la fois la régénération du pin d'Alep et l'introduction des chênes méditerranéens.

2.5 Objectifs de l'étude

La présente étude devra permettre de répondre aux questions suivantes :

- Quels types de travaux de préparation du sol facilitent l'installation et le développement de la régénération dans les peuplements matures de pin d'Alep ? Par le biais de quels facteurs ?

- Quel est l'impact de ces travaux pour l'introduction de chêne vert et de chêne pubescent, dans un but de diversification du peuplement ? Par le biais de quels facteurs les travaux agissent-ils sur le comportement des chênes ?

- La présence de rémanents lors de ces travaux est-elle favorable à la régénération du pin d'Alep et l'introduction de chêne vert et chêne pubescent par semis ? Pourquoi ?

Le dispositif expérimental et les paramètres mesurés visent à répondre aux objectifs de l'étude.

3 Matériel et méthodes

Dans cette partie je définirai tout d'abord le contexte géographique, stationnel et sylvicole qui définit le domaine de validité de l'étude. Puis nous verrons la manière dont le dispositif expérimental est construit, quels paramètres sont mesurés et comment.

3.1 Le dispositif expérimental

3.1.1 Localisation

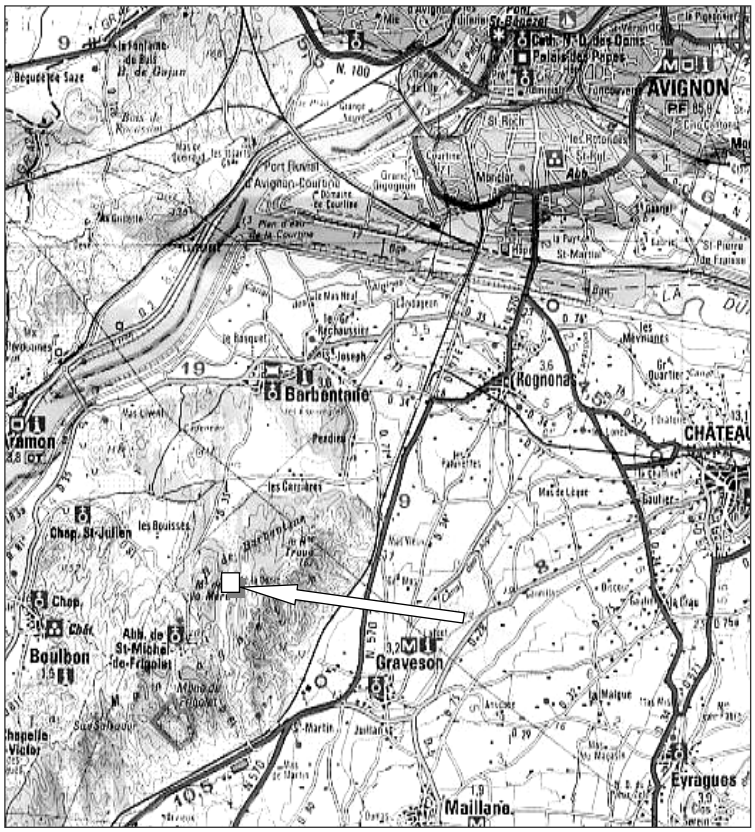


Fig. 6 : Carte générale de localisation du dispositif expérimental
La position du dispositif est indiquée par le carré blanc.
(Fond de carte IGN ©)

Le dispositif expérimental, d'une emprise de 2 ha, est situé en forêt communale de Barbentane (cf. fig. 6), au nord-ouest du département des Bouches-du-Rhône, dans le secteur géographique de la Montagnette.
Il s'étend en altitude de 95 à 115 m.

3.1.2 Conditions météorologiques

Table 2 : Caractéristiques climatiques à partir des données recueillies au poste d'Avignon

Le coefficient d'Emberger est calculé suivant la formule $Q = \frac{2000\,P}{(M+m+546)(M-m)}$

Avignon	Pluie annuelle (P) (mm)	Pluie d'été JJA (mm)	Nb de mois secs (P<2T)	Température moyenne (°C)	Moyenne des minima du mois le plus froid (m) (°C)	Moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) (°C)	Coefficient d'Emberger
Normale (1961-1996)	674	119	2	14,21	1,9	30,2	82 Subhumide, hiver frais
2005	481	43	3	14,35	1,4	30,9	57
2006	504	82	5	15,46	0,3	35,3	51 Semi-aride

Le début de l'année 2007 a été très sec avec 92,2 mm de précipitations de janvier à avril contre 213 mm pour la normale. Le mois de mai a été plus pluvieux avec 101 mm contre 47 mm pour la normale.

Suivant la normale, le climat peut être qualifié de subhumide à hiver frais, avec deux mois de sécheresse estivale. Cependant depuis 2005, les conditions sont plus proches d'un climat semi-aride, avec des précipitations inférieures à la normale et des températures plus élevées. La végétation, en particulier les semis de pin et de chênes qui nous intéressent, en subit les conséquences (stress hydrique plus important).

3.1.3 Relief et topographie

Le dispositif est situé à mi-pente d'un versant exposé au nord. Le versant présente une pente modérée (10 à 15 %). Il est parcouru par de petits vallons qui lui confèrent une microtopographie transversale ondulée (cf. annexes 1.1 et 1.2 et fig. 9). Dans la mesure du possible, les parcelles ont été installées sur les pentes de ces ondulations. Ceci afin d'éviter les zones de croupe et de vallon, qui diffèrent fortement sur le plan hydrique. Les parcelles élémentaires présentent donc majoritairement, soit une topographie convexe, soit une topographie plane (quelques parcelles ayant une topographie concave sont rencontrées dans le bloc 4).

3.1.4 Géologie et pédologie : un sol superficiel

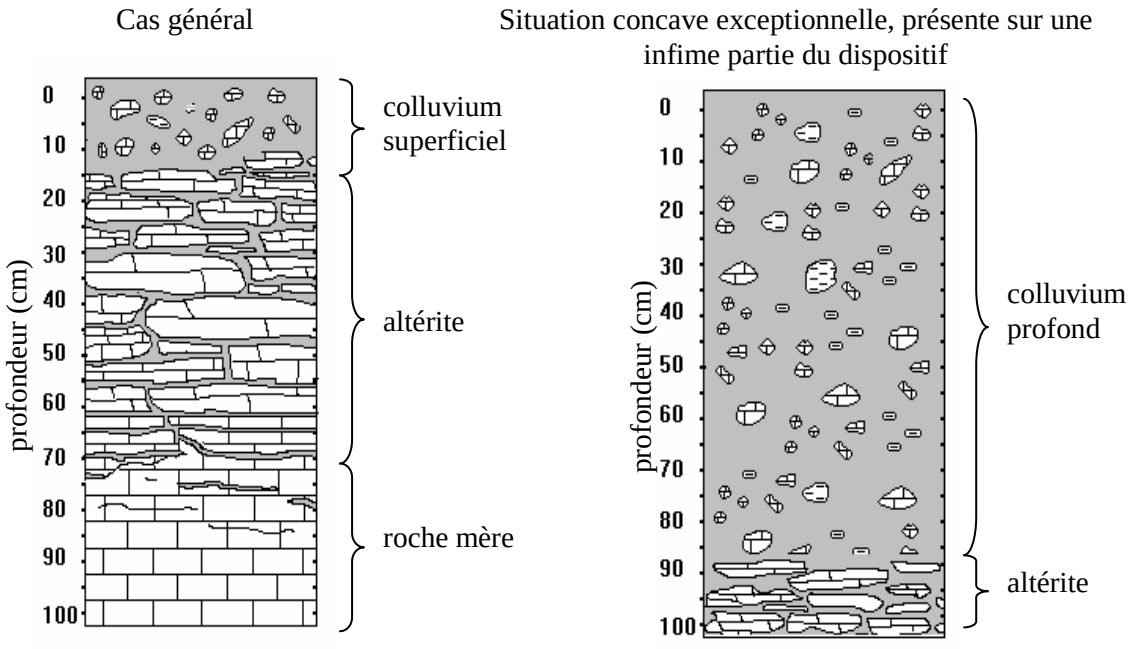
Le substrat géologique est composé par les couches du Hauterivien supérieur (n3s). C'est un calcaire argileux assez tendre, se débitant en plaquettes.

Sur la majeure partie de l'essai le substrat est assez superficiel.

Le sol est constitué d'une altérite relativement profonde (40 cm environ) et quelquefois assez bien déstructurée, surmontée d'une colluvion de faible épaisseur en général (5 à 20 cm). On observe des variations : les quelques situations concaves présentent une colluvion profonde et peu caillouteuse.

Le matériau terreux de l'altérite ou des colluvions est identique, à texture limoneuse dominante, avec peu de sable et absence d'argile.

Fig. 7 : Profils pédologiques rencontrés sur le dispositif



3.1.5 Une pinède âgée, ayant subi une coupe de régénération

Le peuplement présent sur le dispositif est une futaie régulière âgée de pin d'Alep. Quelques chênes verts sont présents de manière éparse. Les espèces dominantes de la strate arbustive sont le buis (*Buxus sempervirens*), le chêne kermès (*Quercus coccifera*), le romarin (*Rosmarinus officinalis*) et la viorne tin (*Viburnum tinus*). Le brachypode rameux (*Brachypodium ramosum*) est l'espèce herbacée de loin la plus abondante.

Ce peuplement a fait l'objet d'une coupe de régénération durant l'hiver 2004-2005.

Table 3: Caractéristiques du peuplement actuel :

	Âge (années)	Densité (nb de tiges/ha)	Diamètre à 1,30 m (cm)	Circonférence à 1,30 m (cm)	Hauteur (m)	G (m^2/ha)	Volume (m^3/ha)	Eclairement transmis au sol (%)
Moyenne	90	210	27,6	86,7	13,3	12	90	70
Écart type			8,1	25,4	2,1			16

Le peuplement est clair et permet donc, a priori, l'installation de la régénération. Par contre, étant donné que les arbres ont déjà un certain âge, la fertilité des graines n'est peut-être pas optimale (cf. paragraphe 1.1.3.1).

3.2 Un dispositif construit pour répondre aux objectifs de l'étude

3.2.1 Cinq modalités de traitements du sol avec deux sous-modalités chacune

Cinq modalités de traitement du sol et de la végétation sont testées :

- Témoin : il permettra de voir l'impact de l'éclaircie (abattage, débardage) sans autre intervention. Noté « T » par la suite.
- Broyage mécanique de la végétation. Noté « B » par la suite (cf. fig. 8 et 9).
- Broyage mécanique de la végétation suivi d'un crochetage simple (effectué au griffon agricole, n'affectant le sol que sur une faible profondeur). Noté « C » par la suite.
- Broyage mécanique de la végétation suivi d'un crochetage double (double passage du griffon, dans deux directions orthogonales). Noté « X » par la suite.
- Brûlage dirigé. Noté « F » pour feu (cf. fig. 10 et 11).

Fig. 8 : Dispositif avant broyage.



Fig. 9 : Dispositif après broyage.



L'efficacité des différents traitements pourra être évaluée par comparaison avec le témoin (non-intervention après coupe). Il sera également possible de comparer les traitements entre eux.

Pour déterminer quel est l'effet des rémanents si on les laisse sur la parcelle avant travaux, deux sous-modalités (avec ou sans rémanents) ont été retenues pour chaque type de traitement.

Au total, 10 modalités de traitement sont testées. Elles sont codées de la manière suivante :

Traitement	Sans rémanents	Avec rémanents
Témoin	T	TR
Broyage	B	BR
Broyage + Crochetage simple	C	CR
Broyage + Crochetage double	X	XR
Brûlage dirigé	F	FR

Table 4 : Codage des 10 modalités des traitements.

Lors de l'installation du dispositif, les rémanents laissés après coupe ont été répartis de manière homogène. Pour chacun des traitements, les rémanents initialement présents sur la modalité « sans rémanents » ont été déplacés vers la modalité « avec rémanents ». La densité de branches sur les traitements « avec rémanents » est donc plus forte que la normale après coupe.





▲ **Fig. 11** : Brûlage dirigé avec rémanents (forte intensité de feu).

◄ **Fig. 10** : Brûlage dirigé sans rémanents (faible intensité de feu).

3.2.2 Répétitions, disposition spatiale

Les 10 modalités de traitement regroupées forment un bloc. Le dispositif comprend 4 blocs, ce qui fait 4 répétitions pour chaque traitement.

À chaque modalité de traitement correspond une parcelle élémentaire de 14 m sur 14 m, sur laquelle un type de traitement est appliqué de manière homogène (il y a donc 10 parcelles élémentaires par bloc).

Des zones tampons sont installées entre les modalités au sein de chaque bloc et entre les différents blocs, pour éviter les interactions et permettre la circulation.

Les blocs 1 et 2 sont situés côte à côte, ainsi que les blocs 3 et 4. Ces deux grands ensembles sont séparés par un vallon.

Les modalités de traitement ont été réparties de manière semi-aléatoire, certains regroupements ayant été effectués pour des commodités d'installation du dispositif : Les sous-modalités « avec rémanents » et « sans rémanents » sont juxtaposées pour chaque type de traitement. Pour chacune des deux zones du dispositif (blocs 1-2 et blocs 3-4), les crochetages ont été regroupés, afin d'avoir des surfaces suffisamment importantes à traiter au griffon.

3.2.3 Les parcelles élémentaires.

Une parcelle élémentaire est une unité sur laquelle un des 10 types de traitement est appliqué de manière homogène. Chaque parcelle élémentaire (carré de 14 m de côté), porte des unités de description (quadrats).

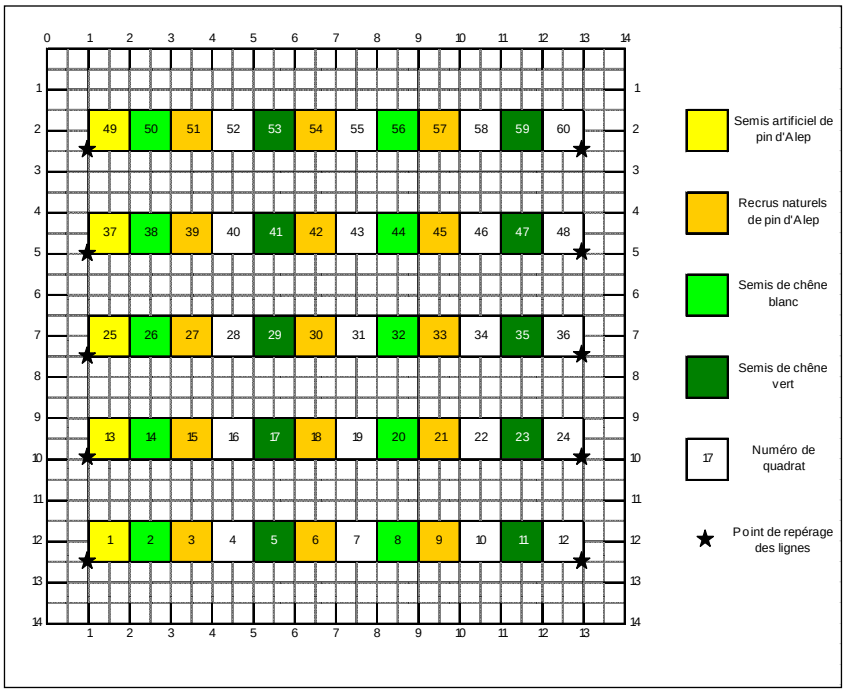


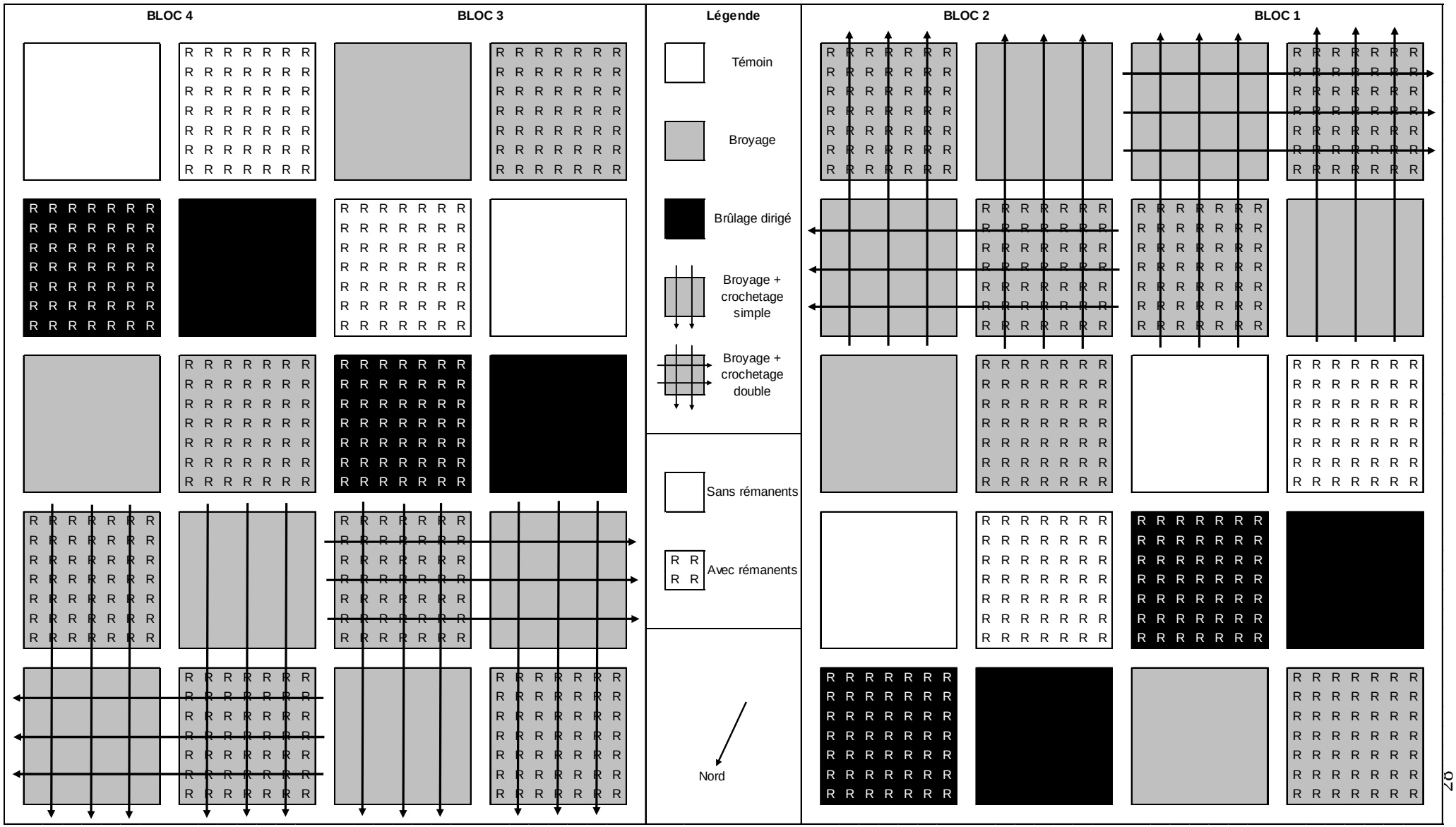
Fig. 13 : Localisation générale des unités de description au sein d'une parcelle élémentaire.
Sur le terrain, des piquets de repérage (symbolisés par les étoiles sur le schéma) permettent de repérer les lignes de mesure. En tendant un double décamètre entre les deux piquets d'une même ligne il est possible de repérer précisément la position de chaque quadrat. Les inter-bandes permettent de circuler sans piétiner les surfaces étudiées.

Sur chaque parcelle élémentaire :

- 15 quadrats, dont la surface est de 1 m^2 sont consacrés au suivi de la régénération du pin d'Alep et l'état de la surface du sol (sauf pour les parcelles portant les témoins avec rémanents sur lesquelles seuls 10 quadrats ont été installés pour faciliter les mesures).
- 5 quadrats portent un essai de semis artificiel de pin d'Alep : sur chacun 100 graines ont été semées. Cet essai a échoué, car toutes les semences ont été prélevées par des prédateurs.
- 10 quadrats sont consacrés au suivi des semis de chêne pubescent
- 10 quadrats portent l'essai de semis de chêne vert

Au total, 580 m^2 (soit 60 m^2 par modalité traitement) sont suivis pour la régénération naturelle du pin d'Alep.

Fig. 12 : Répartition spatiale des différents traitements au sein du dispositif.



Sur chacun des quadrats attribués aux chênes, 1 poquet de 3 glands a été semé durant l'automne 2005 (après les traitements du sol). Les glands ont été récoltés dans les environs de Salon de Provence, dans des stations de potentialité équivalente à celle de Barbentane pour les chênes verts, dans une station meilleure (vallon) pour les chênes pubescents. Les glands récoltés furent triés par flottaison avant semis et semés pré-germés.

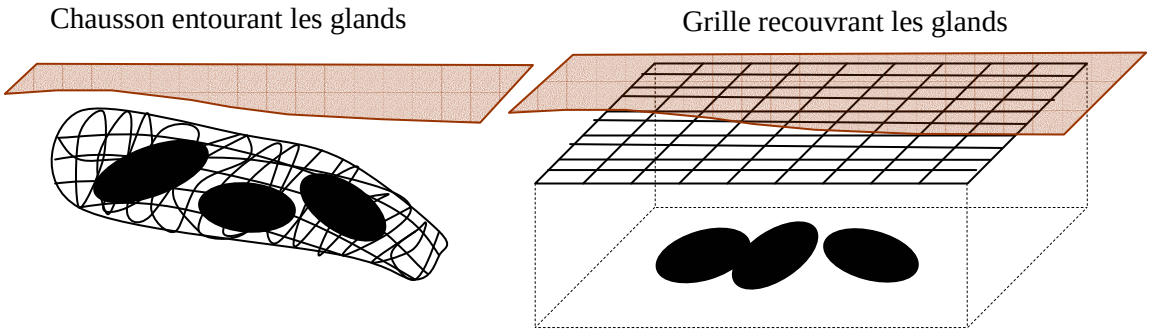
Afin de protéger les glands contre les rongeurs, les glands sont regroupés dans un chausson formé par un grillage de maille 6 mm (cf. fig. 14). Les chaussons ont été enterrés très peu profondément (juste suffisamment pour mettre les glands en contact de la manière minérale), dans le but de ne pas trop perturber l'environnement créé par les différents traitements. En effet, creuser un potet pour y mettre les glands diminuerait la variabilité entre les différents traitements du sol, et risquerait d'atténuer leur effet.



Fig. 14 : Grillage de protection des glands contre les rongeurs.

Un autre semis de chêne a été réalisé durant l'automne 2006. Cette fois les glands ont été enterrés plus profondément (à 5 cm au moins). De plus pour ce nouveau semis une modalité supplémentaire de protection a été testée pour la moitié des glands (5 poquets de chaque type par parcelle élémentaire) : la grille de protection est placée horizontalement au dessus des glands, au lieu de former un chausson (cf. fig. 15).

Fig. 15 : Modalités de protection des glands contre les rongeurs.



Par modalité de traitement, et par type de chêne, nous avons 40 poquets (10 poquets/traitement/bloc x 4 blocs), soit 120 glands. Ce chiffre est normalement suffisant pour que l'hétérogénéité des semences ne constitue pas une cause d'erreur notable dans l'analyse entre le pourcentage de germination et la nature du milieu (d'après les données de VUILLEMIN, 1980).

En tout 1200 glands de chaque espèce de chêne ont été semés lors de chaque installation (novembre 2005 et novembre 2006).

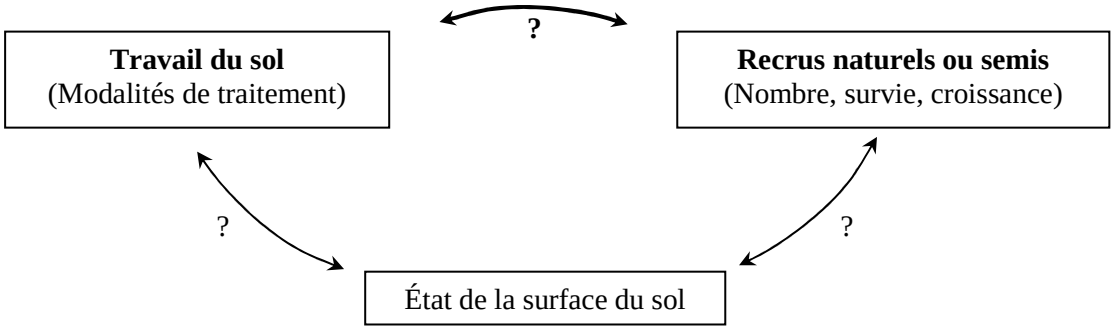
3.3 Les mesures

3.3.1 Paramètres mesurés

3.3.1.1 Principe

Le but de l'étude est de mettre en relation le développement de la régénération (apparition de semis, survie, croissance) avec les différents types de traitement appliqués.

Pour comprendre comment les traitements agissent sur la régénération, des paramètres de description de l'état du sol sont mesurés. Le suivi de ces paramètres dans le temps permettra de voir comment évoluent les surfaces traitées et combien de temps les traitements restent actifs. Le principe de l'étude peut être schématisé de la manière suivante :



3.3.1.2 Suivi de l'état de quadrats de 1m^2 pour le pin d'Alep

Le suivi de l'état de la régénération du pin d'Alep est effectué sur des surfaces élémentaires de 1 m^2 (quadrats, cf. fig. 16).

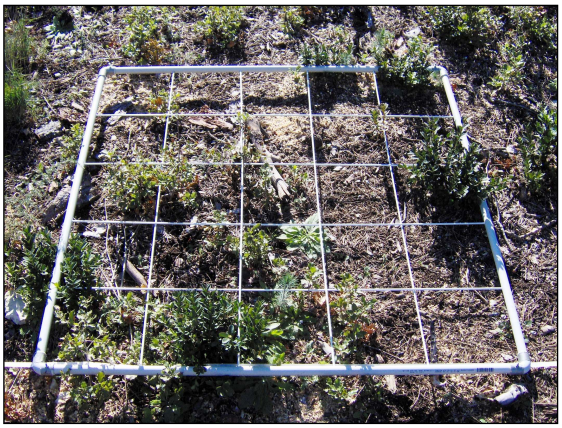


Fig. 16 : Quadrat de 1 m x 1 m. Dispositif de repérage des semis et de description de l'état de la surface du sol sur les placettes de suivi pin d'Alep.
Les baguettes présentes dans le cadre sont espacées de 20 cm. Elles permettent de localiser les semis de manière précise. Elles facilitent également les mesures de recouvrement.

Le dispositif de repérage permet la cartographie des semis (cf. fiche de terrain en annexe 2). Chaque semis peut donc être suivi de manière individuelle, depuis son apparition jusqu'à sa mort éventuelle. Il est possible de quantifier la régénération, à partir du nombre de semis vivants ou morts par m^2, déterminé à chaque relevé.

Jusqu'à présent trois campagnes de relevés des semis de pin d'Alep ont été effectués : en décembre 2005, juin 2006 et janvier 2007 (un quatrième relevé a été réalisé en juin 2007 mais n'est pas présenté ici). Lors de la 3^e campagne de mesures, les diamètres et hauteurs des semis ont été relevés, ce qui permettra d'évaluer leur croissance. Parallèlement à chacun de ces relevés, l'état de la surface du sol a été dressé sur chacun des quadrats (cf. fiche de terrain en annexe 3).

Les recouvrements au sol des éléments suivants sont alors mesurés:

- Surface brûlée
- Sol nu
- Cailloux et roches
- Litière et broyat fin (éléments de taille inférieure à 2 cm)
- Broyat gros (éléments de taille supérieure à 2 cm)

} Éléments inertes

- Mousse
- Herbacées
- Ligneux

} Végétation

Lors des relevés, les recouvrements ont été codés avec les coefficients de Braun-Blanquet (1 : présence ; 2 : recouvrement inférieur à 5 % ; 3 : [5 % - 25 %[; 4 : [25 % - 50 %[; 5 : [50 % - 75 %[; 6 : [75 % - 100 %].

Pour la strate arbustive, les espèces ligneuses ont été notées et classées par ordre de dominance.

Pour chacun des quadrats la topographie générale (haut de pente, mi-pente, bas de pente, vallon) et locale (plane, pente, concave, convexe) a été décrite lors du premier relevé.

Lors du premier relevé, le nombre de cônes de pin présents par quadrat a également été relevé.

3.3.1.3 Suivi de la survie et de l'environnement des chênes

Pour chacun des quadrats, l'évolution des trois glands semés a été suivie dans le temps.

Jusqu'à présent 3 relevés (cf. fiche terrain en annexe 4) ont été effectués : en mars 2006 (levée des glands), juin 2006 et mars 2007. Lors de chaque relevé, le nombre de chênes vivants par poquet a été comptabilisé. De plus la hauteur des chênes vivants a été mesurée pour les deux relevés les plus récents. La précision retenue pour la hauteur est de 1 mm, ce qui est complètement illusoire, puisque le biais dû au positionnement de la réglette permettant la mesure au sol est beaucoup plus important. De plus, lors des pluies, le niveau du sol, qui sert de référence, peut varier avec les apports ou les départs de terre.

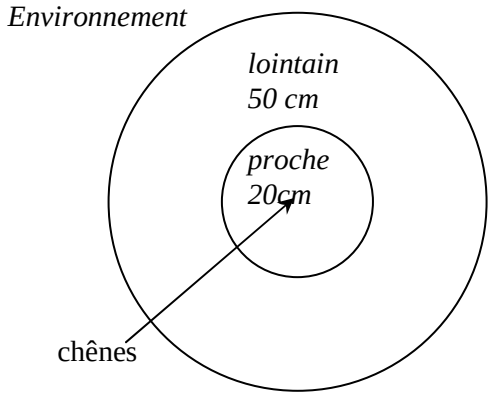
Pour le relevé de mars 2007, nous distinguons les chênes dont la tige a dépéri mais dont une nouvelle pousse est repartie du collet. Ce comportement est assez courant et peut traduire un état de stress du semis. Il nous a donc semblé important de le distinguer.

Pour comprendre le comportement des chênes et les effets des traitements, nous avons décrit l'environnement des chênes lors du relevé le plus récent (mars 2007).

Étant donné que les chênes sont regroupés en un point, la description s'est faite à partir de placettes circulaires : deux cercles, centrés sur les chênes, de diamètre 20 cm et 50 cm délimitent respectivement l'environnement proche et l'environnement lointain des chênes (cf. fig. 17).



Fig. 17 : Dispositif de description de l'environnement proche et lointain des chênes.



Les paramètres relevés sont (cf. fiche de relevé en annexes 5.1 et 5.2):

Pour l'environnement proche et l'environnement lointain :

- les recouvrements globaux des ligneux, avec la valeur de recouvrement individuelle de chaque espèce,
- pour chaque espèce ligneuse présente, la hauteur de l'individu le plus grand présent sur la placette, et sa position géographique par rapport aux chênes (nord, sud, est, ouest),
- les recouvrements globaux des herbacées, avec la valeur de recouvrement individuelle de chaque espèce

Pour l'environnement proche uniquement, les recouvrements:

- de sol nu,
- des cailloux,
- de la litière (broyat fin inclus),
- du gros broyat,
- de la mousse.

3.3.2 Opérations complémentaires

D'autres opérations ont été menées sur le dispositif afin de contrôler certains des facteurs externes pouvant influencer la régénération :

- Chaque arbre adulte, présent sur le dispositif et dans une zone tampon de 5 m, a été cartographié de manière précise et mesuré en hauteur et en circonférence (annexes 6.1 et 6.2).
- Des mesures de lumière transmise ont été effectuées pour chaque parcelle élémentaire. Pour ce faire, un solarimètre mesure la quantité de lumière en plein découvert et un autre au centre de chaque parcelle élémentaire. Le rapport des deux mesures permet de calculer un pourcentage de lumière transmise.
- Le potentiel hydrique des plantules de pin d'Alep, chêne vert et chêne pubescent a été mesuré durant l'été 2006.
- Des relevés floristiques ont été réalisés durant la phase d'activité maximale de la végétation (mai).
- Des descriptifs pédologiques ont été réalisés sur l'ensemble du dispositif (annexe 7.1 pour les paramètres relevés, annexes 1.1 et 1.2 pour les résultats).
- Des analyses de sols (effectuées par l'IMEP) ont été réalisées pour les modalités T, B, BR, C, CR, F et FR. Pour chaque parcelle élémentaire portant ces traitements deux échantillons ont été prélevés. Sur chacun de ceux-ci, le pH et les teneurs en carbone et azote mesurés, et le ratio C/N calculé.

3.3.3 Calendrier des opérations

Table 5 : Calendrier des opérations réalisées sur le dispositif de Barbentane.

	Pin d'Alep	**Chêne vert et chêne pubescent**	**Flore**
Automne 2004	Coupe du peuplement (réalisée en régie par l'ONF)		
Hiver 2004-2005	**Installation du dispositif** *Rangements des rémanents, brochage, crochetages simple et croisé*		
Mai 2005	*Brûlage dirigé*		
Juin 2005	1re description de l'état de surface des quadrats		
Août 2005	Localisation spaciale des pins adultes		
Automne 2005		1re installation de chênes par semis	
Decembre 05 et Janvier 06	1er comptage des recrues		
	Fin de la 1re description de l'état de surface des quadrats		
Mars 2006		1er comptage des semis	
Mai 2006			1re description
Juin 2006	1re description stationelle et évaluation des potentialités		
		Arrosage des semis de chêne	
	Mesure de la lumière incidente (solarimètre)		
	2e comptage des recrues	2e comptage des semis	
	2e description de l'état de surface des quadrats		
Juillet 2006	Mesure des potentiels de sève sur les chênes et les pins		
Automne 2006		2e installation de chênes par semis	
Janvier 2007	3e comptage des recrues		
	3e desciption de l'état de surface des quadrats		
Février 2007		3e comptage des semis (issus de la première installation) + mesure de hauteur et diamètre	
Mars 2007		Description de l'environnement des semis de chênes (de la première installation)	
Avril 2007	Description stationelle de l'ensemble du dispositif		
Mai 2007			2e description
Juin 2007	3e comptage des recrues	4e comptage des 1ers semis et 1er comptage des 2e semis	
	3e desciption de l'état de surface des quadrats		

Ma part de travail dans cette étude :

Ma participation à cette étude a débuté en janvier 2007, avec les troisièmes comptages du pin d'Alep. Deux comptages avaient déjà été réalisés pour le pin d'Alep et les chênes. J'ai donc disposé d'une masse de données très importante. Les facteurs relevés étaient divers et nombreux, et je connaissais leur état à trois dates différentes (les relevés de juin 2007 ne sont pas intégrés dans ce rapport, faute de temps et compte tenu des délais impartis). J'ai donc pu d'observer une réelle évolution et comprendre les dynamiques mises en jeu.

Outre les relevés de terrain, une part importante de mon travail a été consacrée au traitement des données ainsi recueillies (saisie, organisation, choix de variables synthétiques, choix de méthodes d'analyse statistique adaptées, tri et sélection des résultats). Parallèlement j'ai réalisé un bilan des connaissances actuelles concernant le pin d'Alep, et en particulier de sa régénération. Il m'a paru important également de comprendre les raisons qui ont motivé cette étude et comment les résultats pouvaient servir aux gestionnaires. Enfin j'ai essayé de mettre en relation mes résultats avec ceux d'autres travaux, pour les interpréter de la manière la plus juste possible.

Je présenterai maintenant les principaux résultats que j'ai obtenus et l'analyse que j'en ai faite.

4 Résultats et analyse : Effets des traitements et des facteurs du milieu sur les recrues de pin d'Alep et les semis de chênes

Étant donné le nombre et la diversité des paramètres relevés, la base des données que j'avais à gérer était très importante. J'ai pu réaliser un grand nombre d'analyses. Dans un souci de simplicité et de clarté, je ne présenterai ici que mes résultats les plus intéressants et les plus aboutis.

Avant de commencer l'analyse qui permettra de mettre en évidence un éventuel effet des traitements du sol sur la régénération du pin d'Alep ou les semis de chêne, il m'a semblé primordial de vérifier l'homogénéité du dispositif expérimental. En effet, si jamais certains facteurs extérieurs se superposent aux traitements, l'interprétation des résultats est délicate : comment déterminer alors si les variations observées sont dues à un effet « traitement » ou à l'effet d'un autre facteur ?

4.1 Vérification de l'homogénéité du dispositif vis-à-vis de facteurs extérieurs

Les facteurs pouvant influencer la régénération ici testés sont :

- les variations stationnelles.
- la répartition spatiale des arbres, pouvant jouer à la fois sur l'ombrage et la pluie de graines,
- la luminosité incidente (quantité de lumière non interceptée et arrivant au sol),

4.1.1 Variations stationnelles

A priori, l'implantation du dispositif est correcte, puisque les blocs sont orientés dans le sens de la pente, qui correspond normalement au gradient stationnel principal. Un gradient transversal existe. Il est dû au vallonnement du versant sur lequel est installé le dispositif. Des variations trop importantes sont évitées, car les parcelles élémentaires sont globalement installées sur les versants, évitant les croupes et les fonds de vallon (cf. annexes 1.1 et 1.2).

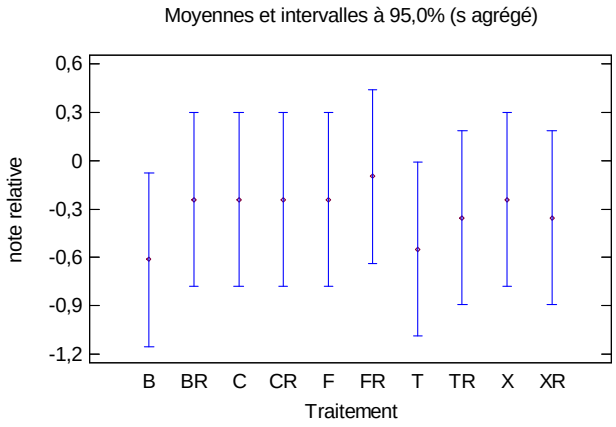
Pour évaluer les variations stationnelles j'ai utilisé la méthode suivante :

Les variations de l'épaisseur de la colluvion et de l'altérite ont été déterminées sur l'ensemble du dispositif :

- plusieurs descriptions de stations avec fosses pédologiques, sont réalisées dans les situations extrêmes (croupe, fond de vallon, haut et bas de versant)
- pour chacune des parcelles élémentaires, la topographie est décrite, et des sondages à la tarière hélicoïdale sont faits pour déterminer les variations du profil pédologique.

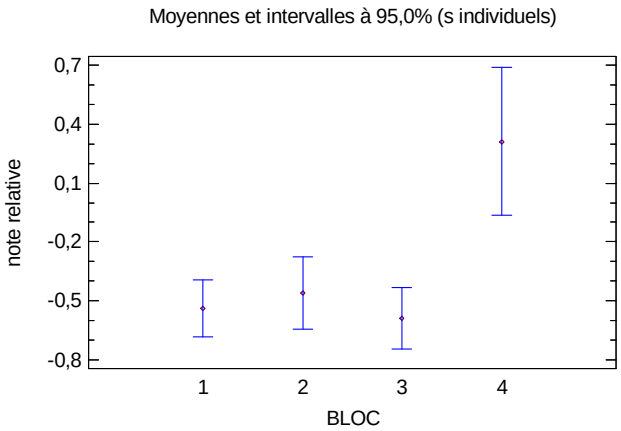
À partir des données ainsi recueillies, il est possible de calculer un indice topo-édaphique de potentialité forestière, selon la méthode mise au point par le Cemagref (RIPERT & VENNETIER, 2002). Étant donné que de nombreux facteurs stationnels sont constants sur l'ensemble du dispositif, j'ai créé un indice simplifié, s'étendant d'une échelle de -1 (microstation la moins favorable du dispositif) à 1 (la plus favorable). Cet indice n'intègre que les facteurs qui varient sur le dispositif (microtopographie, épaisseur de la colluvion et de l'altérite, profondeur prospectable par les racines). L'importance relative de chacun de ces facteurs est déterminée à partir des coefficients permettant de calculer l'indice topo-édaphique (cf. annexes 7.1. et 7.2).

Fig. 18 : Superposition des effets traitement et de l'effet station.



Test de Kruskal-Wallis : p = 0,7177
(L'indice relatif ne suit pas une loi normale.)

Fig. 19 : Superposition effet bloc et de l'effet traitement.



Test de Kruskal-Wallis : p = 0,0008

Il n'y a pas de superposition des effets des traitements et des stations, par contre il y a un effet bloc : le bloc 4 présente des conditions stationnelles beaucoup plus favorables que les trois autres. Une partie de la variabilité observée des semis pourra être imputée à cet effet bloc, ce qui risque de nuire à la significativité des autres facteurs. Il est alors possible d'ignorer le bloc 4 lors des traitements, pour ne pas rencontrer ce problème. Cependant j'ai choisi de le conserver lors de l'analyse, afin de travailler avec le maximum d'effectifs par traitement. De plus, en intégrant une plus grande diversité stationnelle, les résultats de l'étude pourront être étendus plus facilement.

4.1.2 Position des semenciers

Les pins adultes ont été cartographiés sur l'ensemble du dispositif (cf. annexes 6.1 et 6.2). Pour déterminer l'homogénéité de leur répartition, il est possible de calculer la surface terrière par unité de surface élémentaire. L'unité de surface choisie est la parcelle élémentaire plus une zone tampon de 5 m autour de celle-ci, pour prendre en compte les semenciers situé en bordure.

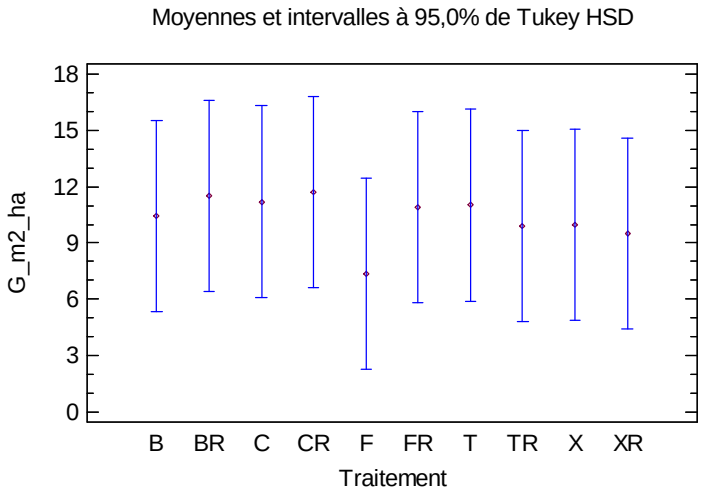


Fig. 20 : Surface terrière moyenne par type de traitement.

ANOVA : p = 0,9407

Condition d'homoscédasticité vérifiée (Test de Levene, p = 0,6024).
Condition de normalité vérifiée (Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov, p = 0,5022 ; Test de Shapiro-Wilks, p = 0,0832).

Il n'y pas de différence significative des moyennes de surface terrière pour les différentes modalités de traitement. La pluie de graines est difficile à mesurer et nécessite de nombreuses répétitions. Le fait que la surface terrière mesurée ne varie pas significativement entre les traitements permet d'étayer l'hypothèse que la pluie de graines est homogène sur le dispositif.

Si l'on considère, la surface terrière par parcelle élémentaire, sans prendre de zone tampon, il n'y a pas non plus de différence significative entre traitements (ANOVA, p = 0,7440). Il est néanmoins délicat d'en déduire qu'il n'y a pas de différence significative de luminosité incidente sur chaque placette, car on ne prend pas en compte l'éclairement latéral.

4.1.3 Luminosité incidente

L'irradiance relative a été mesurée au centre de chacune des parcelles élémentaire. Elle correspond à la proportion de lumière transmise au sol sous couvert par rapport à un terrain complètement dégagé d'arbres.

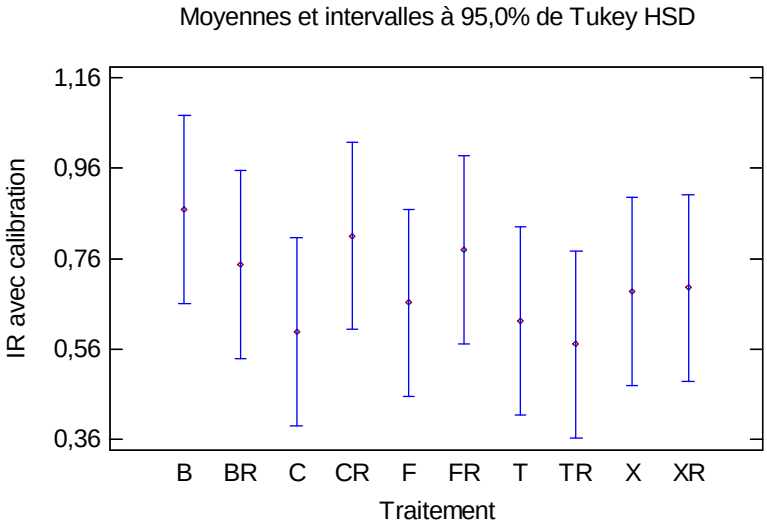


Fig. 21 : Irradiance relative par type de traitement.

ANOVA : p = 0,2988

Condition d'homoscédasticité vérifiée (Test de Levene, p = 0,2840).
Condition de normalité vérifiée (Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov, p = 0,7439).

L'analyse de variance ne révèle pas de différence significative entre les moyennes de l'irradiance relative pour les différents niveaux de traitements.

Les variations de stations, de surface terrière et de luminosité ne présentent pas de différence significatives par rapport aux traitements. Cela ne signifie absolument pas que ces facteurs ne vont pas intervenir, mais cela permet d'être certain que lorsqu'un comportement de la régénération suivant les modalités de traitement sera détecté, il pourra bien être imputé à l'effet du traitement et ne sera pas dû à un autre de ces facteurs.

4.2 Régénération du pin d'Alep

4.2.1 Relation entre recrus de pin d'Alep et les traitements du sol

Méthode statistique :

À partir des relevés de terrain, j'ai pu calculer la densité de semis vivants à un temps donné, ainsi que d'autres variables du même type (densité de semis apparus, densité de semis survivants). Ces variables permettent de quantifier la régénération et constituent la base de mon analyse. Or elles ne suivent absolument pas une loi normale, mais plutôt une loi binomiale négative (il s'agit de comptages). De plus elles ne vérifient pas la condition d'homoscédasticité. Il n'est donc pas rigoureux d'utiliser la méthode de l'analyse de variance (ANOVA), et par extension un modèle linéaire général (GLM), pour déterminer l'effet de différents facteurs sur ces variables.

J'ai donc utilisé des tests non paramétriques : le test H de Kruskal-Wallis (équivalent non paramétrique de l'ANOVA) pour déterminer l'effet d'un seul facteur sur les variables, et par extension le test de Scheirer-Ray-Hare (équivalent non paramétrique du GLM) pour tester simultanément l'effet de plusieurs facteurs. Ces tests non paramétriques ont l'inconvénient d'être moins puissants que l'ANOVA, mais sont beaucoup plus robustes. Ils sont bien adaptés lorsque les effets sont très

significatifs ou clairement non significatifs. Dans les cas intermédiaires, ils risquent de sous-estimer l'effet des facteurs.

Sur toutes les variables du type « densité de semis », j'ai testé systématiquement (test de Scheirer), l'effet des facteurs suivant :

- Bloc (numéro du bloc)
- Traitement global (modalité de traitement sans distinction avec ou sans rémanents)
- Rémanents (présence ou absence)
- Traitement (avec distinction des traitements avec et sans rémanents)

Ceci afin de vérifier à chaque fois que le facteur traitement est bien significatif, et n'est pas écrasé par un autre facteur, en particulier le facteur bloc.

Pour chacun de ces tests, le facteur traitement s'est révélé significatif. Le facteur bloc est également significatif pour certaines variables, mais il n'écrase jamais l'effet traitement. L'effet bloc est du au bloc 4, qui se distingue des trois autres. En effet ce bloc, meilleur sur le plan stationnel, présente une régénération plus abondante que les autres.

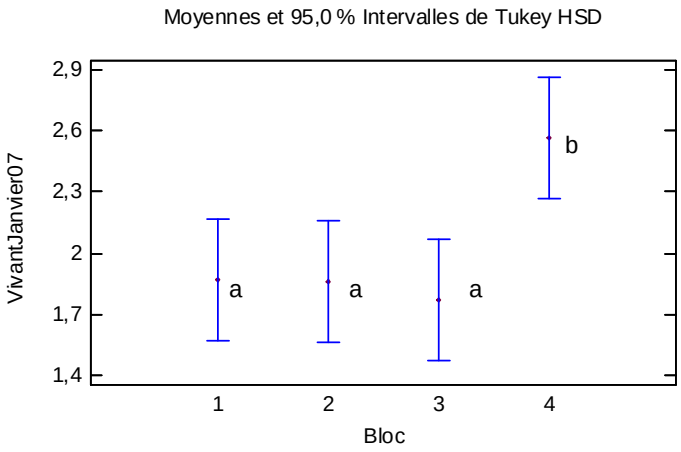


Fig. 22 : Effet bloc sur le nombre moyen de semis vivants par quadrats lors du relevé de janvier 2007.

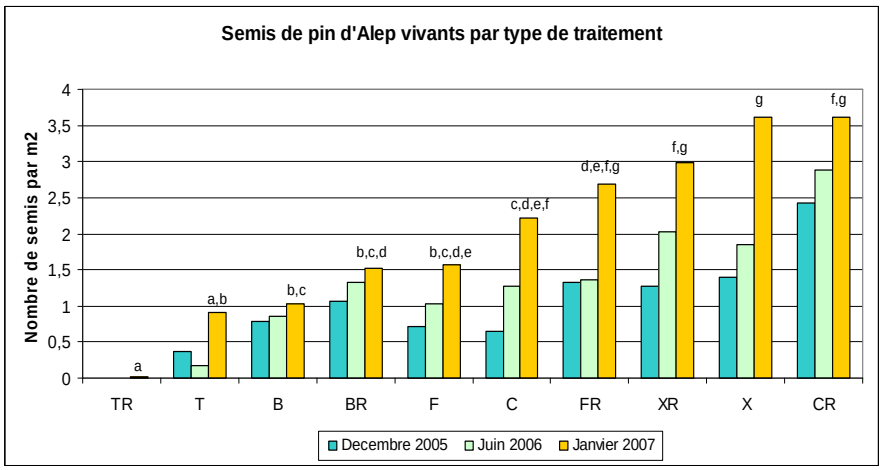
Deux modalités portant la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Nemenyi à 95 %).

Le test de Scheirer-Ray-Hare permet de savoir si l'effet traitement est significatif ou non mais ne fournit pas d'autre information. Or nous voulons savoir quelles modalités de traitement différent et quelles sont les plus efficaces. Pour cela j'ai utilisé le test de Nemenyi, un test non-paramétrique, basé sur la comparaison des rangs (similaire à un test de Tuckey réalisé après ANOVA ou GLM).

Pour les analyses statistiques les plus courantes, j'ai utilisé le logiciel STATGRAPHICS Centurion XV. Pour les tests non paramétriques complexes (Scheirer et Nemenyi), j'ai crée des procédures utilisant des fichiers EXCEL comme support. Le risque retenu pour tous les tests est de 5 %.

4.2.1.1 Densité de semis et traitements du sol

Fig. 23 : Relation entre densité de semis vivants et type de traitement.



Les traitements sont classés par densité croissante de semis vivant en janvier 2007.

Les lettres permettent de distinguer les traitements significativement différents (test de Nemenyi à 95 %) : deux traitements portant la même lettre ne sont pas significativement

différents. Ici, le test de Nemenyi a été effectué sur la densité de semis vivants en janvier 2007.

Pour donner un ordre de grandeur, une densité de 1 semis / m^2 correspond à 10 000 semis / ha. Les traitements les plus favorables à la régénération du pin d'Alep sont les crochetages. Le brûlage dirigé avec rémanents occupe également une bonne position. Le témoin avec rémanents est très défavorable avec une quasi-absence de semis. Les broyages et le brûlage sans rémanents ne différèrent pas significativement du témoin pour janvier 2007 (par contre ils étaient significativement meilleurs pour les relevés de décembre 2005 et juin 2006). Le crochetage double ne se démarque pas du crochetage simple.

Le nombre de semis vivants à un temps donné est en fait la résultante :

- du nombre de semis déjà présents à la saison précédente et ayant survécu,
- et du nombre de semis apparus entre les deux instants.

Pour mieux comprendre l'effet de chacun des traitements j'ai donc distingué deux phénomènes : l'apparition et la survie des semis (cf. annexe 8 pour le principe de comptage).

4.2.1.2 Apparition de semis et traitements du sol

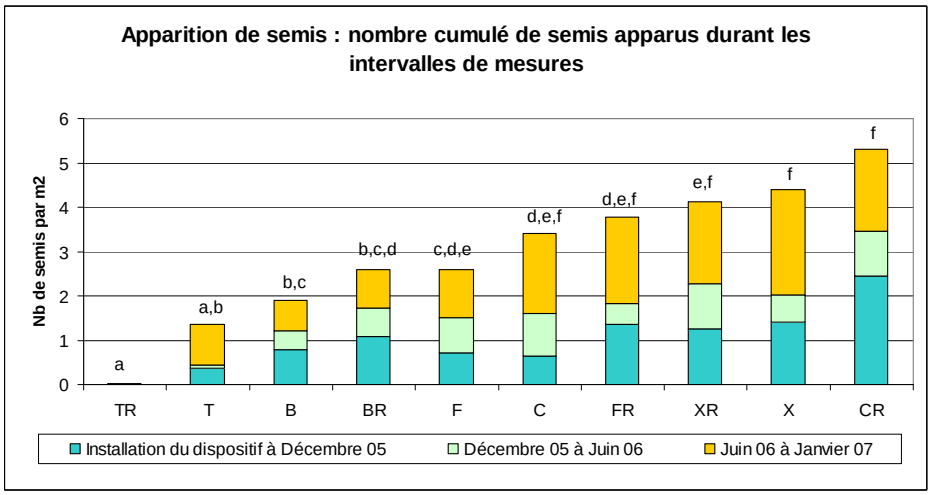


Fig. 24 : Effet des traitements sur l'apparition des semis

Test de Nemenyi à 95 %.

Le nombre de semis apparus intègre toutes les graines ayant réussi à germer et développer une plantule. Si un semis est apparu entre deux relevés mais est mort avant le deuxième relevé, il est comptabilisé (si son « cadavre » est resté présent). Une forte apparition de semis traduit des conditions favorables pour que la graine atteigne le sol et arrive à germer.

Le témoin avec rémanents ne permet pas l'installation des semis (cf. fig. 25). Les crochetages sont les traitements les plus efficaces avec le brûlage avec rémanents.

Par ailleurs, notons que davantage de semis apparaissent à l'automne qu'au printemps.

4.2.1.3 Survie des semis et traitements du sol

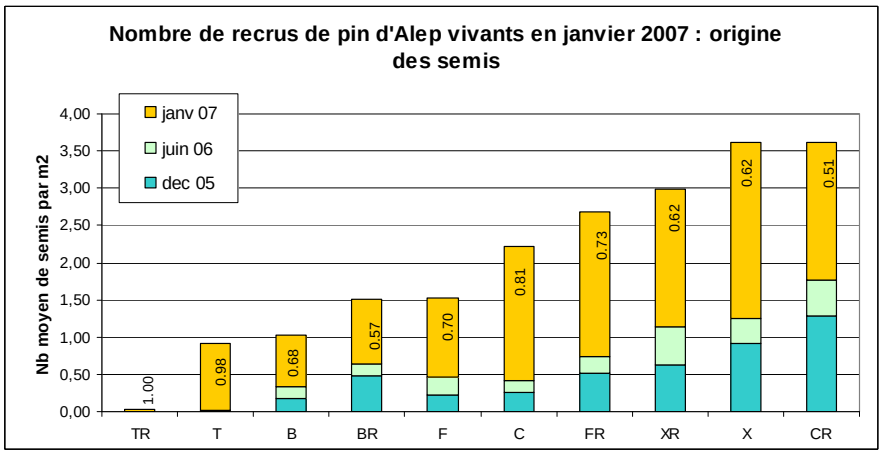


Fig. 25 : Proportion de semis nouvellement apparus et de semis ayant survécu dans le nombre de semis vivants en janvier 2007.

Pour tous les traitements la proportion de semis apparus seulement récemment dans le nombre de semis en place est très importante (toujours supérieure à 50 %). Même si la densité de semis peut être importante à un temps donné, ce qui compte, en termes d'acquisition de la régénération, est que suffisamment de semis aient réussi à s'implanter de manière durable.

Par exemple : Le témoin présente une densité de semis voisine du broyage sans rémanents. Seulement, dans le cas du broyage certains semis sont installés depuis un certain temps, alors que dans le témoin les semis plus anciens n'ont pas survécu.

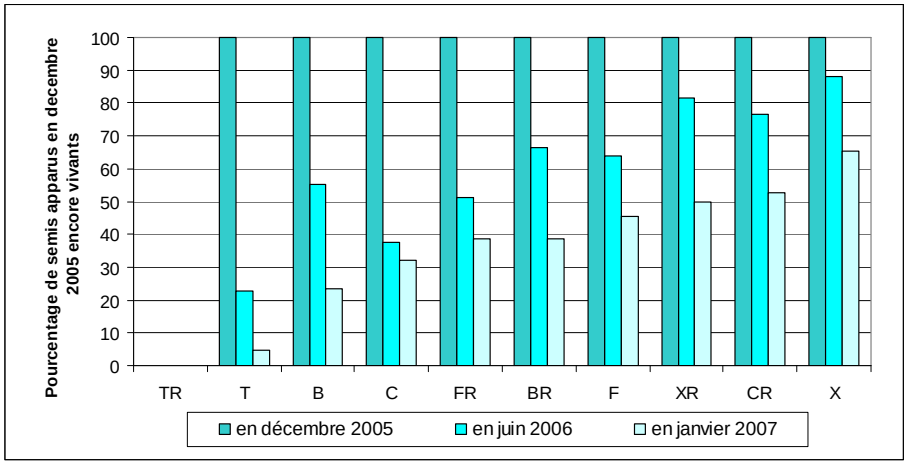


Fig. 26 : Proportion de semis apparus en décembre 2005, encore vivants en juin 2006 et janvier 2007.

Les traitements sont classés par taux de survie croissants.

Les crochetages sont les traitements présentant les plus forts taux de survie (sauf pour le traitement C, mais j'attribue cela à un effet stationnel qui vient perturber l'effet traitement) (cf. fig. 26). Remarquons la bonne position du traitement BR. Par contre les semis qui apparaissent dans le témoin présentent un taux de survie très faible.

4.2.1.4 Traitements du sol et croissance des semis de pin d'Alep

Concernant la croissance, l'effet prépondérant sur la hauteur des semis présents est l'effet bloc. La distinction des modalités avec et sans rémanents n'est pas significative, je note juste un effet global des traitements :

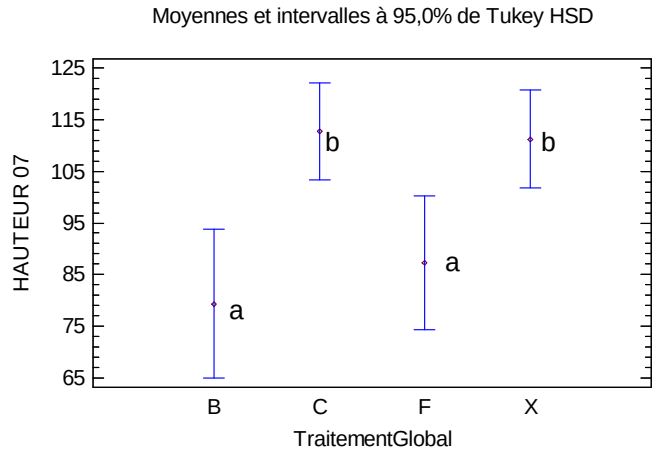


Fig. 27 : Hauteur en janvier 2007 des semis ayant survécu depuis décembre 2005.

Seul un semis de décembre 2005 a survécu dans le témoin. Pour cette raison ce traitement n'est pas inclus.

Les traitements significativement différents portent des lettres différentes (test de Nemenyi à 95 %).

Remarquons que les crochetages permettent un accroissement de la hauteur significatif par rapport au brûlage et au broyage seul (cf. fig. 27). Ceci est à mettre en relation avec la plus grande facilité de prospection racinaire des semis dans les zones crochetées.

4.2.2 Effet des rémanents sur les recrues de pin d'Alep

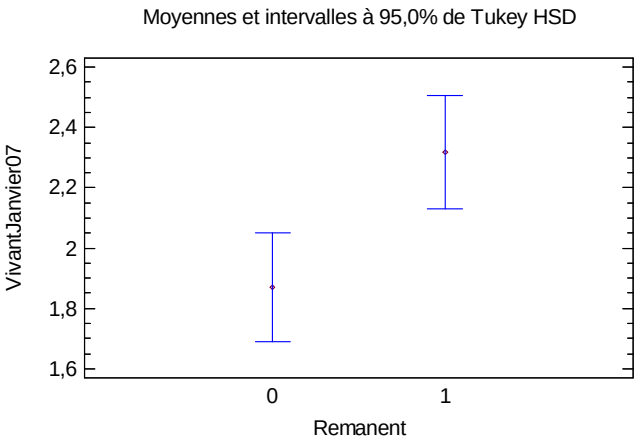


Fig. 28 : Effet des rémanents sur la densité de semis vivants en Janvier 2007 (nombre de semis / m^2).

L'effet rémanent est significatif sur les densités de semis vivants lors des trois relevés (test de Kruskal-Wallis à 95 % ; Décembre 05 : p = 0,0002
Juin 06 : p = 0,0006
Janvier 07 : p = 0,021 cf. fig. 28).
Remarquons tout de même la diminution de la significativité du résultat.

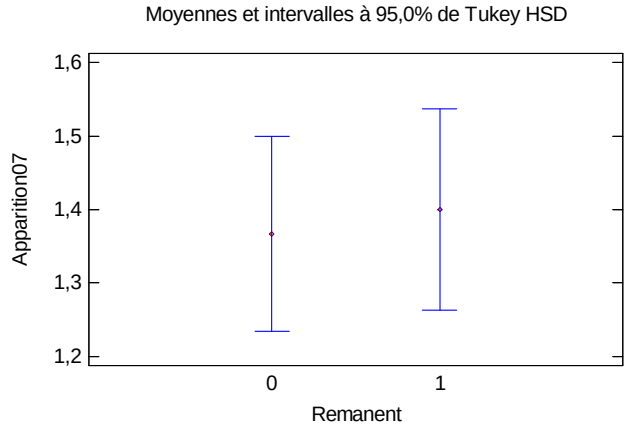


Fig. 29 : Effet des rémanents sur l'apparition de nouveaux semis en Janvier 2007 (nombre de semis / m^2).

Comme précédemment, je distingue les phénomènes d'apparition et de survie :
L'effet rémanent n'est significatif que sur l'apparition initiale des semis, il ne perdure pas dans le temps (Décembre 05 : p = 0,0002
Juin 2006, p = 0,63
Janvier 2007, p = 0,78, cf. fig. 29)

Cela pourrait être dû à un apport initial de graines plus important dans les parcelles avec rémanents. En effet, les rémanents portent des cônes qui peuvent libérer des semences en s'ouvrant sur le témoin ou lors du broyage. Cependant je n'ai pas observé de relation significative entre le nombre de cônes présents par quadrats et la densité de semis apparus avant décembre 05 (test de Kruskal-Wallis, p = 0,62). Cependant cette variable est sujette à caution : les cônes anciens et récents n'ont pas été distingués et des cônes peuvent être éclatés et détruits lors des travaux mais avoir quand même libéré leurs graines.

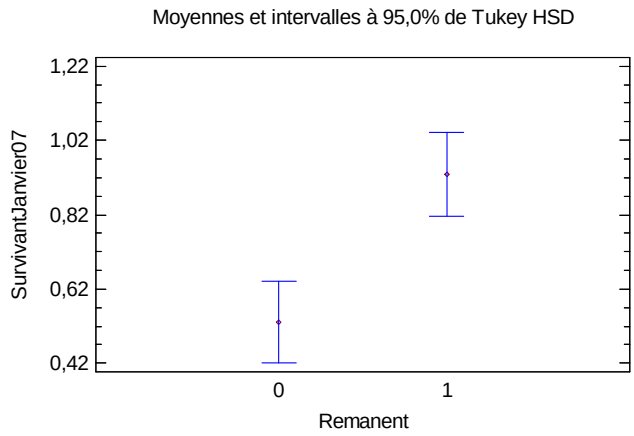


Fig. 30 : Effet des rémanents sur la survie des semis présents en décembre 2005 jusqu'en janvier 2007 (nombre de semis / m^2).

Les rémanents ont un effet positif significatif sur la survie des semis (test de Kruskal-Wallis, p = 0,0001).

Il ne faut pas tirer de conclusions hâtives des résultats précédents. En effet l'effet des rémanents est à moduler suivant les traitements du sol qui sont appliqués : Après les différents traitements, les rémanents revêtent différentes formes : ils sont soit laissés intacts, soit brûlés, soit broyés et laissés en surface du sol ou partiellement incorporés dans le sol par le crochetage. Il se peut très bien que sous une forme les

rémanents aient un rôle positif et sous une autre une action négative. Cela semble d'ailleurs être le cas (cf. fig. 28, 29, 30) :

- la présence de rémanents intacts sur le témoin est défavorable à l'installation des semis.
- le broyat présent en surface du sol et issu des rémanents ne modifie pas l'apparition de semis, mais a un effet positif sur leur survie.
- le brûlage dirigé avec rémanents, permet une apparition de semis plus importante que son homologue sans rémanents, avec un taux de survie comparable.
- la présence de broyat lors des crochetages ne semble pas affecter particulièrement ces traitements : les différences ne sont pas significatives. Le C semble moins performant que le CR, ce qui est étonnant puisque les traitements X et XR sont équivalents. Cela est probablement dû à des facteurs stationnels qui viennent perturber l'effet traitement.

Je résume les résultats de la manière suivante :

	Apparition	Survie	Croissance	Efficacité des traitements
Crochetages	++	++	+	++
FR	++	+	-	+
F	+	+	-	+
BR	-	+	-	±
B	-	-	-	-
T	-	--	sans objet	--
TR	--	sans objet	sans objet	--

Table 6 : Tableau récapitulatif de l'efficacité des différents traitements sur la régénération du pin d'Alep deux ans après traitements.

Les facteurs du milieu influencés par les traitements ont été relevés pour comprendre comment les traitements agissent. Voyons leur effet sur les recrus de pin d'Alep.

4.2.3 Relation entre recrus de pin d'Alep et état de la surface du sol.

Méthode statistique :

Le but est ici de mettre en relation les variables de type densité de semis, s'apparentant à des comptages, avec les variables de description de l'état de la surface du sol. La plupart de ces variables explicatives sont des recouvrements qui ont été codés sur les fiches de terrain avec les coefficients de Braun-Blanquet. Or le traitement statistique de variables codées avec ces coefficients est délicat. Il est possible d'utiliser les médianes des classes pour travailler avec des variables quantitatives, mais cette méthode ne m'a pas donné de bons résultats. J'ai donc choisi de travailler avec des variables qualitatives pour les recouvrements. Or pour certaines modalités de ces variables, les effectifs sont trop faibles pour qu'il soit intéressant de les distinguer (par exemple, la modalité « 0 % » pour la variable « recouvrement de la strate herbacée en janvier 2007 » n'a été relevée que 3 fois). Les conserver ferait perdre de la significativité des variables. Pour chacun des facteurs, j'ai donc effectué des regroupements de modalités de manière à obtenir des classes de recouvrement présentant un effectif suffisant (fixé à au moins 30).

Comme dit précédemment, les variables à expliquer ne suivent pas de loi normale, mais s'apparentent à des comptages. La procédure que j'ai utilisée pour mettre en relation les facteurs avec les variables étudiées est la régression binomiale négative (similaire à une régression de Poisson, mais permettant une plus grande dispersion des comptages). Cette procédure ajuste un modèle de la variable à expliquer en fonction des facteurs proposés en suivant la méthode du maximum de vraisemblance.

Avant de faire la régression, j'ai fait une présélection des facteurs. En effet il ne sert à rien d'introduire dans le modèle des variables clairement non significatives. Pour ce faire, j'ai testé individuellement l'effet de chaque facteur sur la variable étudiée par un test de Kruskal-Wallis à 95 %.

Même ainsi, certains facteurs conservés n'ont qu'un faible rôle explicatif. C'est pourquoi j'ai utilisé une sélection ascendante des facteurs, permettant de retenir le meilleur modèle ajusté par la

régression binomiale négative. Au final, seuls les facteurs étant significatifs et apportant une bonne part d'explication au modèle ont été retenus.

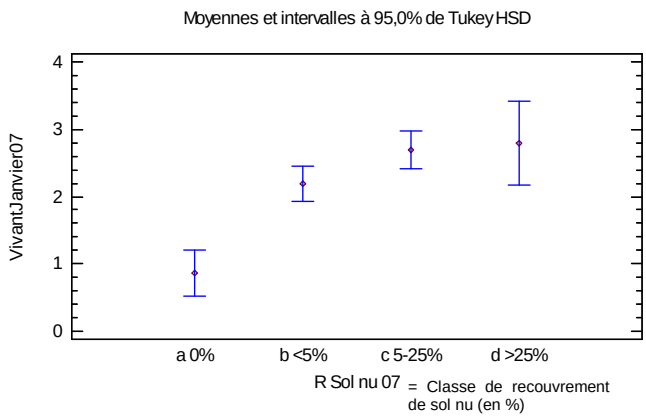
Je ne présenterai ici que les résultats obtenus pour le relevé de densité de semis de pin d'Alep de janvier 2007 avec la description de l'état de surface du quadrat correspondante. C'est en effet le relevé où les facteurs sont le mieux intégrés, car ayant pu s'exprimer sur une durée plus longue.

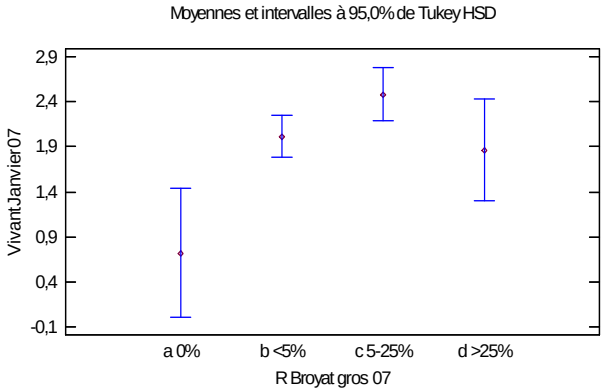
4.2.3.1 Densité de semis vivants et état de la surface du sol en janvier 2007

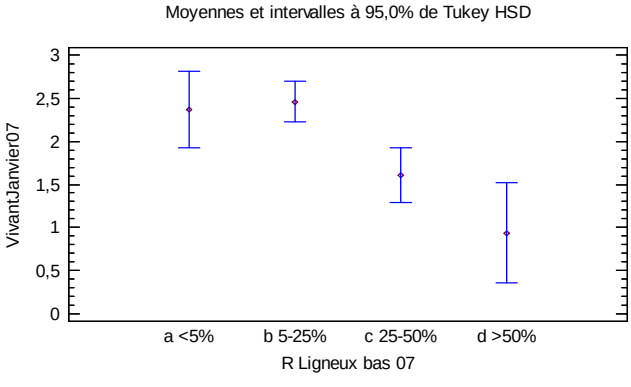
Le modèle construit à partir des variables de terrain est significatif ($p < 0,0001$) et explique 21,16 % de la variabilité (R^2). Les facteurs retenus (test sur les rapports de vraisemblance), par ordre d'entrée dans le modèle, sont les suivants (avec la p-value d'entrée et leur pourcentage de variabilité expliquée propre dans le modèle) :

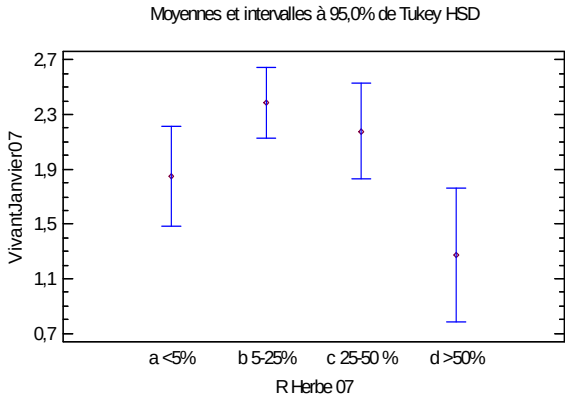
- Surface de sol nu — $p < 0,0001$ — (11,67 %)
- Recouvrement de gros broyat — $p < 0,0001$ — (3,32 %)
- Recouvrement des ligneux bas — $p = 0,0060$ — (1,86 %)
- Recouvrement des herbacées — $p = 0,0089$ — (1,73 %)
- Recouvrement de la mousse — $p = 0,0038$ — (2,60 %)

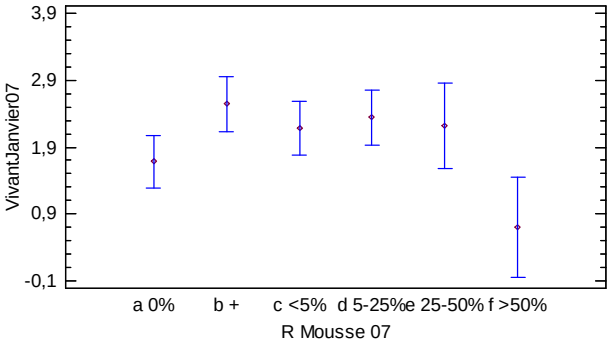
Fig. 31 à 35 : Effets des différents facteurs de description de l'état de surface du sol sur la densité de semis vivants en janvier 2007 (nombre de semis / m^2).











La présence de sol nu est favorable à l'installation des pins. Cela peut s'interpréter de différentes manières : Plus on a de sol nu et plus les graines ont de chances d'être en contact avec la matière minérale et donc de germer. Plus on a de sol nu et moins on a de compétition due à la végétation adventice.

La présence de broyat grossier favorise la densité de semis. Le broyat gros pourrait avoir un rôle de paillage et limiter le développement de la végétation adventice.

Les ligneux bas ont un effet défavorable lorsqu'ils occupent plus de 25 % de la surface du quadrat. Ils peuvent avoir un effet compétiteur pour l'eau et la lumière.

Lorsque les herbacées (il n'y a pas eu de distinction entre les graminées et les autres herbacées, pour le pin d'Alep) sont présentes de manière modérée, elles favorisent les semis. Cela peut être du à un effet d'abri qu'elles créent, ou bien elles peuvent indiquer des microstations favorables. Par contre lorsqu'elles sont abondantes, elles ont un effet néfaste, probablement dû à une compétition avec les semis. On observe un phénomène semblable pour la mousse.

Pour mieux comprendre l'action des différents facteurs, j'ai testé leurs effets sur l'apparition et la survie des semis.

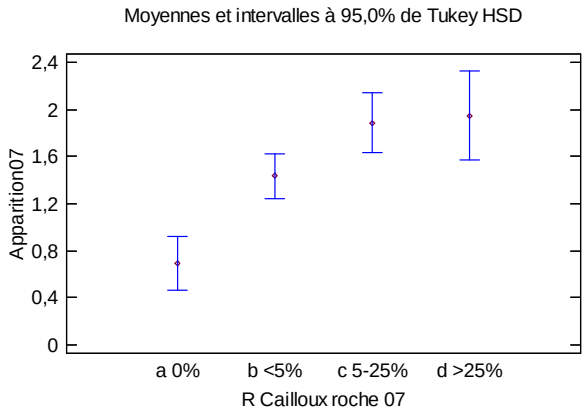
4.2.3.2 Apparition de semis entre juin 2006 et janvier 2007 et état de la surface du sol (janvier 2007)

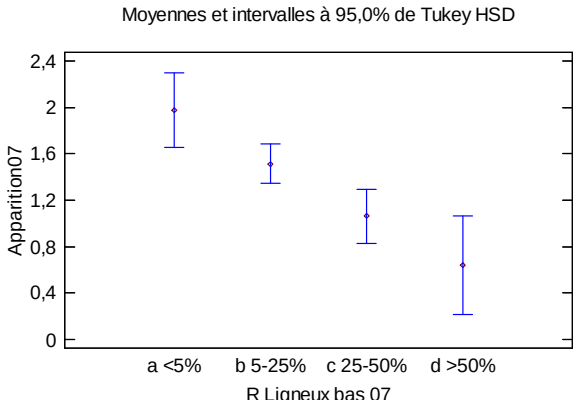
Le modèle construit à partir des variables de terrain est significatif ($p < 0,0001$) et explique 14,11 % de la variabilité (R^2). Les facteurs retenus (test sur les rapports de vraisemblance), par ordre d'entrée dans le modèle, sont les suivants (avec la p-value d'entrée et leur pourcentage de variabilité expliquée propre dans le modèle) :

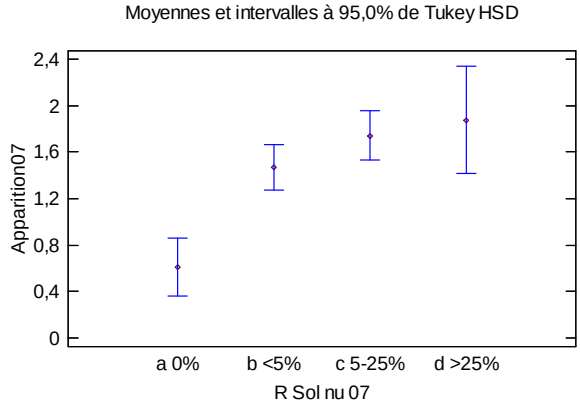
- Recouvrement de cailloux $p < 0,0001$ (9,00 %)
- Recouvrement des ligneux bas $p < 0,0001$ (2,26 %)
- Surface de sol nu $p = 0,031$ (1,41 %)
- Recouvrement des herbacées $p = 0,030$ (1,44 %)

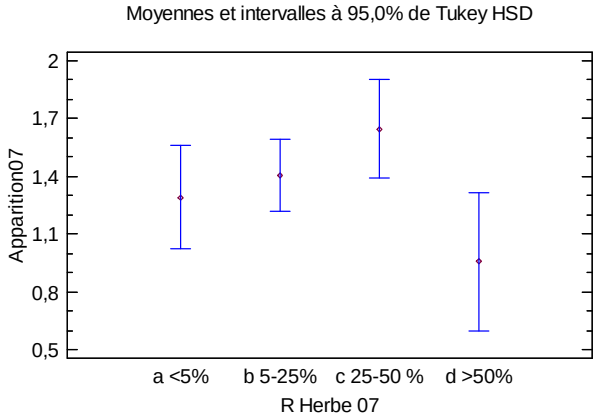
Voyons leurs effets sur la densité de semis vivants (cf. fig. 36 à 39).

Fig. 36 à 39 : Effet des facteurs de description du sol sur l'apparition de semis entre juin 2006 et janvier 2007. *Les facteurs de description sont codés par classe de recouvrement.*









La présence de cailloux est un facteur favorable à l'apparition des semis. Cela paraît étonnant a priori, puisqu'on aurait pu se dire que la présence de cailloux affleurant à la surface du sol était indicatrice d'un substrat rocheux plus superficiel et donc une plus mauvaise microstation. Mais il ne faut pas oublier que les crochetages ont ramené à la surface beaucoup de cailloux. Ce facteur est donc plutôt indicateur d'un effet traitement. Il est d'ailleurs très corrélé avec le sol nu qui a le même effet.

Les ligneux sont clairement néfastes sur l'apparition des semis.

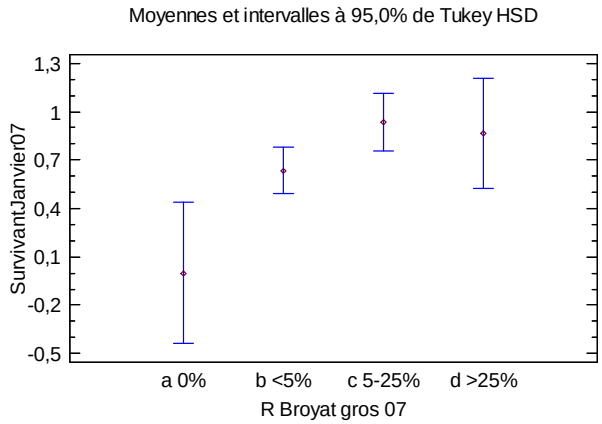
Les herbacées sont défavorables lorsqu'elles sont très abondantes.

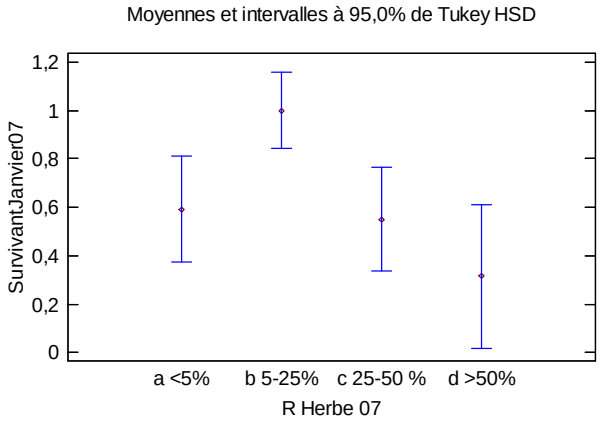
4.2.3.3 Survie des semis présent en juin 2006 jusqu'en janvier 2007 et état de la surface du sol (janvier 2007)

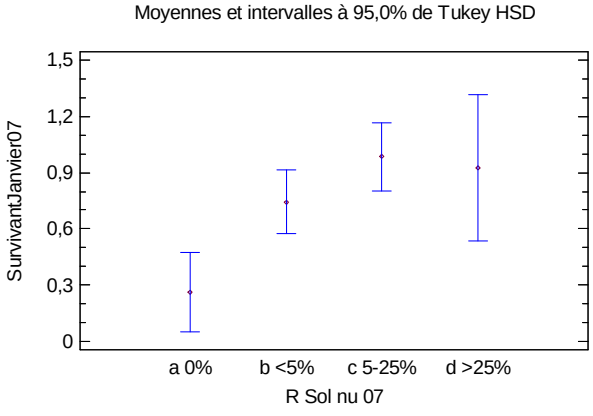
Le modèle construit à partir des variables de terrain est significatif ($p < 0,0001$) et explique 20,71 % de la variabilité (R^2). Les facteurs retenus (test sur les rapports de vraisemblance), par ordre d'entrée dans le modèle, sont les suivants (avec la p-value d'entrée et leur pourcentage de variabilité expliquée propre dans le modèle) :

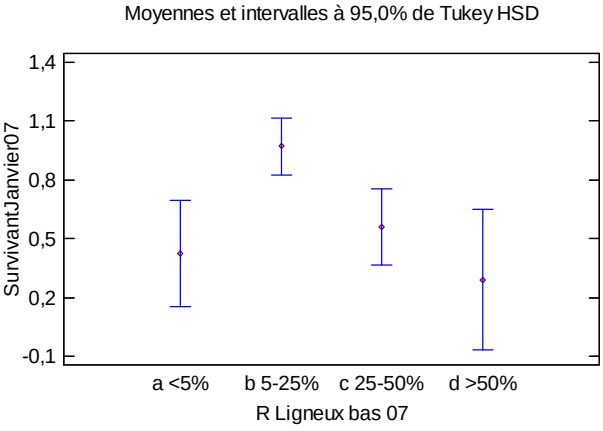
- Recouvrement de gros broyat $p < 0,0001$ (6,84 %)
- Recouvrement des herbacées $p < 0,0001$ (5,26 %)
- Recouvrement du sol nu $p = 0,0001$ (5,08 %)
- Recouvrement des ligneux bas $p = 0,0009$ (3,53 %)

Fig. 40 à 44 : Effet des facteurs de description du sol sur la densité de semis déjà présent en décembre 2005 et juin 2006 et ayant survécu jusqu'en janvier 2007.









La présence de broyat gros et de sol nu a un effet favorable sur la survie des chênes. Les herbacées et les ligneux ont un effet semblable, avec une amélioration de la survie des pins lorsqu'ils sont présent de manière modérée.

Je résume les effets des différents facteurs de la manière suivante :

	Apparition			Survie			Nombre de semis vivants		
Recouvrement									
Sol nu / Cailloux roche	-	+	++	-	+	++	-	+	++
Broyat gros				-	+	+	-	+	+
Ligneux bas	+	-	--	±	+	±	+	±	-
Herbacées	±	±	-	±	+	±	±	+	-
Mousse							±	+	-

Table 7 : Tableau récapitulatif de l'effet des différents facteurs de milieu significatifs sur les semis de pin d'Alep deux ans après les travaux.

: *Recouvrement faible, moyen et fort.*

Il faut être prudent quant à l'analyse des facteurs agissant sur la survie. En effet le nombre de semis survivants dépend du nombre de semis qui étaient apparus au départ. Un facteur peut donc jouer sur la survie parce qu'il a permis par exemple l'apparition de beaucoup de semis, et même si le taux de mortalité était élevé, un nombre conséquent peut avoir survécu. Le schéma observé pour l'apparition peut donc se retrouver au niveau de la survie. C'est notamment le cas pour le facteur sol nu.

Nous connaissons maintenant les facteurs qui agissent sur les semis et les effets de chaque modalité de traitements sur les semis. Reste à mettre en relation les traitements avec les facteurs du milieu pour comprendre leur action.

Les pourcentages d'explication des modèles sont faibles. Pourtant je n'interprète pas cela comme la preuve que les facteurs ont peu d'effet sur les semis. La faiblesse des R^2 peut être imputée à la façon dont les variables ont été codées et aux influences d'autres facteurs non pris en compte, qui viennent perturber le modèle. J'en parlerai plus en détail une fois que nous aurons vu les résultats obtenus pour les chênes.

4.3 Installation des chênes

Je ne présenterai ici que les résultats obtenus pour les glands installés en novembre 2005.

4.3.1 Différence de comportement des deux espèces de chêne

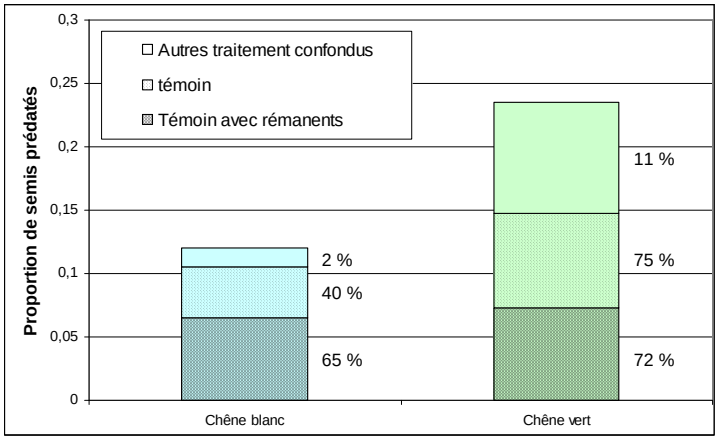


Fig. 45 : proportion de poquets prédatés pour les deux chênes.
Les pourcentages présents sur la droite indiquent la part que représentent les poquets prédatés par type de traitement concerné.

La prédation, qui a eu lieu malgré la protection, a été plus forte pour le chêne vert que pour le chêne pubescent (cf. fig. 45). Cette prédation est due aux petits rongeurs, qui arrivent à sortir de terre le chausson protecteur et à manger les glands au travers du grillage.

La prédation est surtout concentrée dans les témoins. Cela s'explique par la présence de végétation arbustive, qui peut servir d'abri aux rongeurs, leur permettant de s'occuper des glands en toute tranquillité, sans craindre leurs prédateurs.

Le gland de chêne pubescent, dans les conditions naturelles, germe dès la chute au sol. Si les conditions hydriques le permettent, le chêne vert germe plus tardivement. La phénologie de la germination est donc automnale pour le chêne pubescent, hivernale ou printanière pour le chêne vert (VUILLEMIN, 1980). Cela peut expliquer que le chêne vert ait été plus prédaté que le chêne blanc, les glands de chênes pubescent ayant germé pouvant être moins appétants pour les rongeurs.

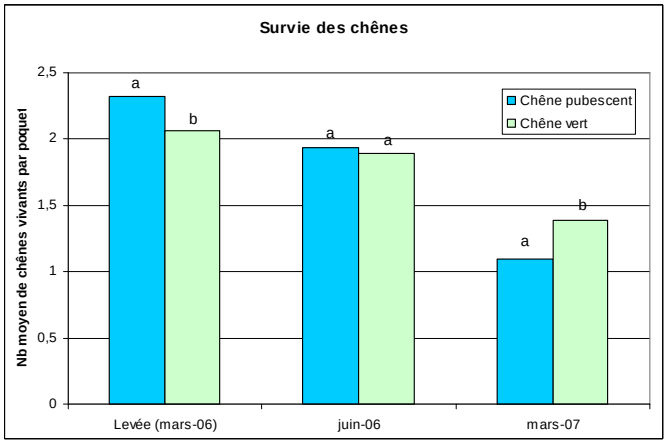


Fig. 46 : Comparaison de la survie des deux types de chêne.
Les poquets prédatés sont exclus de l'analyse. Des lettres différentes indiquent une différence significative entre le chêne vert et le chêne pubescent (Test de Kruskal-Wallis à 95 %)

Pour les deux espèces, la mortalité est forte et peut être attribuée à la sécheresse soit hivernale et printanière, soit estivale.

Au départ la levée est meilleure pour le chêne pubescent mais la tendance s'inverse au fil du temps, le chêne vert survivant mieux.

4.3.2 Effet des traitements sur les deux types de chênes

Méthode d'analyse statistique :

La première opération que j'ai réalisée a consisté à éliminer tous les poquets prédatés de la base de données servant de support à l'analyse. En effet il faut considérer ces poquets comme détruits et ne pas les prendre en compte, pour ne pas fausser les analyses sur le comportement des chênes (cela pénaliserait très fortement les témoins).

J'ai ensuite eu le choix de travailler avec deux types de variables : le nombre moyen de glands vivants par poquet ou le taux d'occupation des poquets (nombre de poquets où au moins un chêne vivant est présent / nombre de poquets total). Concernant l'effet des traitements, j'ai obtenu des résultats tout à fait similaires avec les deux variables. Ce qui intéresse le forestier est qu'à chaque endroit où il a semé 3 glands, au moins 1 chêne ait survécu et se soit affranchi de la concurrence. Il me semble donc plus intéressant de présenter ici les résultats concernant les taux d'occupation.

Par contre, les tests statistiques ont été faits sur le nombre de glands vivants par poquets. Là encore ce n'est pas une variable qui suit une loi normale et il m'a fallu utiliser des tests non paramétriques.

Comme pour le pin d'Alep, j'ai testé simultanément (test de Scheirer-Ray-Hare) les effets des facteurs : bloc, rémanents, traitement global et traitement. L'effet bloc ne se fait jamais sentir pour le chêne vert, mais il est parfois significatif pour le chêne pubescent. Il n'est cependant pas alors suffisant pour faire disparaitre l'effet traitement global, toujours significatif pour les deux types de chênes. L'effet rémanents est très rarement significatif et il n'est pas utile de distinguer les traitements avec et sans rémanents.

Les modalités de traitements testées ici regrouperont donc les sous-modalités avec et sans rémanents. Pour comparer les différentes modalités entre elles j'ai utilisé le test de Nemenyi à 95 % sur les nombres de chênes vivants par poquet.

4.3.2.1 Effet des traitements sur le chêne pubescent

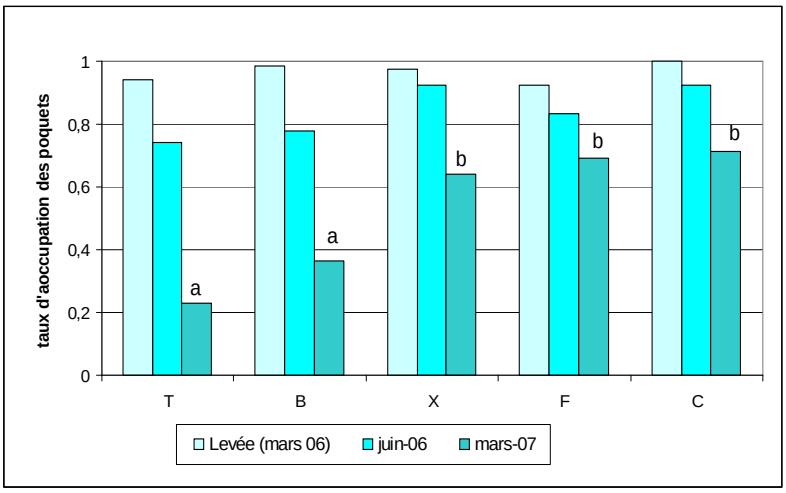


Fig. 47 : Effets des différents traitements sur le taux d'occupation des poquets de chêne pubescent.

Les différences d'effets des traitements ne sont significatives qu'à partir de mars 2007, soit plus d'un an après le semis. Le broyage ne se démarque pas du témoin. Cela vient sans doute du test utilisé (Nemenyi à 95%) qui est peu puissant, et surtout du manque d'effectif pour les témoins dû à la prédation.

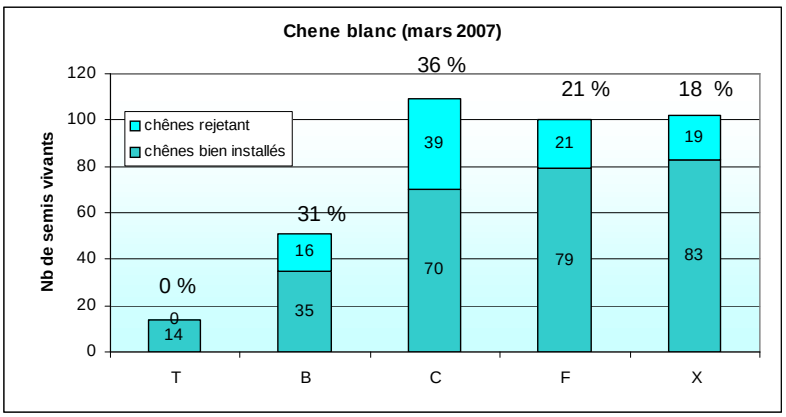


Fig. 48 : Proportion de chênes dont la tige principale est morte mais qui repartent du pied.

Par ailleurs, un certain nombre de chênes sont dans un état de stagnation: leur tige principale meurt, mais ils repartent du collet, et ce, souvent plusieurs fois de suite. Cela est peut-être dû à un stress hydrique (accroissement de la racine sans croissance de la tige, (ONF STIR, 1998)). La proportion de chênes rejetant est plus importante dans le crochetage simple que dans le crochetage double. Seul le temps permettra de dire si ces chênes ont de réelles chances de survie et donc si le crochetage double est meilleur ou non que le crochetage simple.

4.3.2.2 Effet des traitements sur le chêne vert

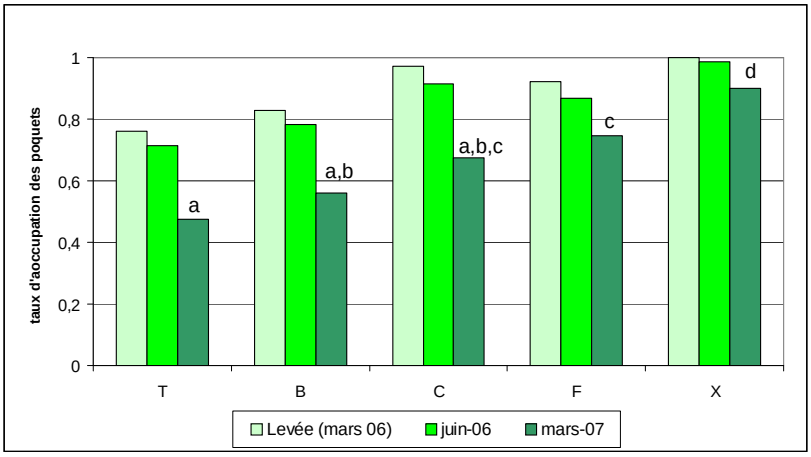


Fig. 49 : Effets des différents traitements sur le taux d'occupation des poquets de chêne vert.

(Test de Nemenyi à 95 % sur les nombres de chênes vivants par poquet par modalité de traitement).

Quel que soit le type de traitement, le taux d'occupation est plus fort pour le chêne vert que pour le chêne pubescent. Le témoin n'est pas significativement différent du broyage ou de crochetage, mais cela est dû au faible effectif de l'échantillon entraînant un grand intervalle de confiance. Par rapport au chêne pubescent, le crochetage double se distingue nettement des autres traitements.

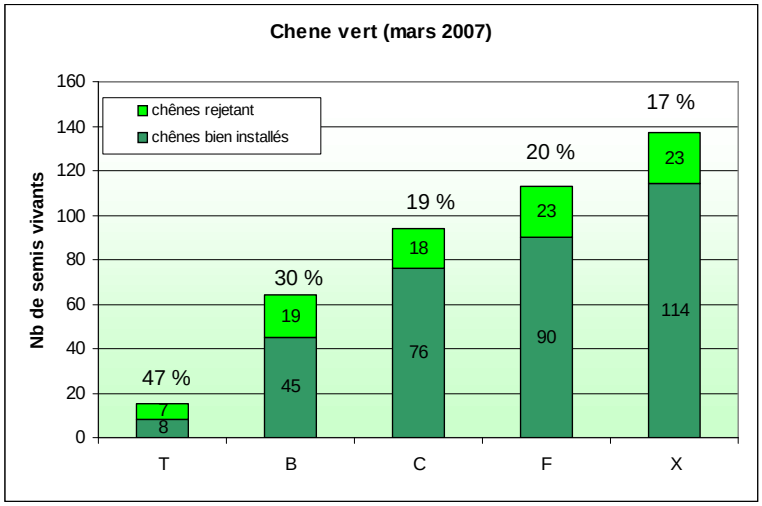


Fig. 50 : Proportion de chênes dont la tige principale est morte mais qui repartent du pied.

Les proportions de chênes verts dans un état végétatif sont plus importantes pour les témoins et les broyages. Ce sont également sur ces traitements qu'il y a le moins de survivants. Cela laisse à penser que ces traitements sont plus stressants sur le plan hydrique (qui est le facteur qui conditionne tout dans les écosystèmes méditerranéens).

Les deux chênes réagissent aux traitements de manière similaire, bien que le chêne vert soit plus robuste globalement et présente de meilleurs taux de survie.

4.3.3 Effets des facteurs du milieu sur les semis de chêne

Méthode d'analyse statistique :

Il est possible de traduire le comportement des chênes par deux variables : le nombre de glands vivants par poquet ou le taux d'occupation des poquets. Dans un poquet, la survie d'un chêne n'est pas indépendante de celle des autres, tous les individus étant soumis au même milieu (en faisant bien sûr l'hypothèse que le milieu a une influence sur la survie des chênes). En ce qui concerne le choix des variables à étudier, le nombre de chênes vivants risque de mieux intégrer le niveau de stress résultant des conditions de l'environnement que la simple présence absence d'au moins un chêne vivant.

Comme pour le pin d'Alep, j'ai effectué une présélection des facteurs (test de Kruskal-Wallis à 95 %) pour alléger le modèle et les calculs. La plupart des facteurs de l'environnement proche, notamment, étaient clairement non significatifs. De plus la distinction des espèces ligneuses n'avait pas d'intérêt. Par contre pour les espèces herbacées, il était intéressant de distinguer les Poacées

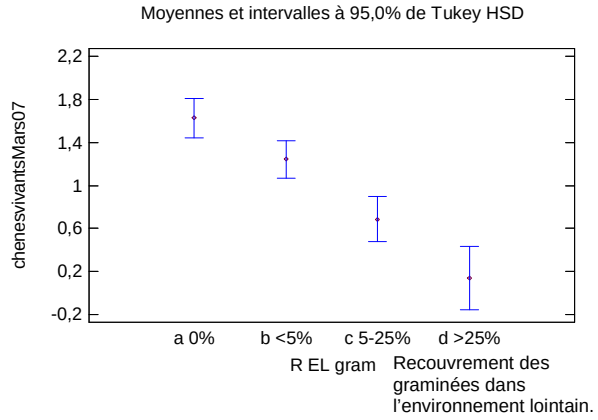
(*Brachypodium ramosum* très majoritaire) des autres, en raison du fort pouvoir compétitif des graminées.

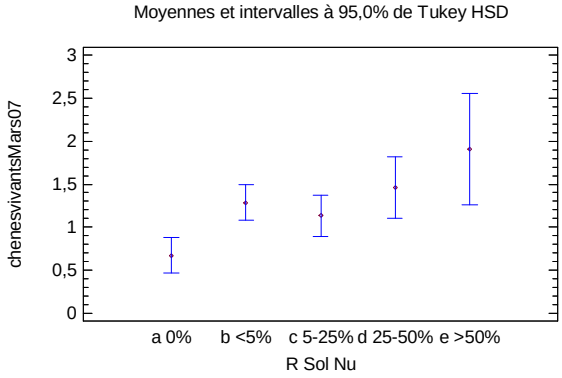
La variable étudiée se présentant sous forme de comptage, j'ai utilisé la méthode de la régression binomiale négative pour construire un modèle explicatif à partir des facteurs retenus. Par une sélection ascendante, j'ai ensuite trié les facteurs pour ne retenir que les plus significatifs (test sur les rapports de vraisemblance) et retenir le meilleur modèle.

4.3.3.1 Facteurs du milieu influençant la survie des chênes pubescents

Le modèle construit à partir des variables de terrain est significatif ($p < 0,0001$) et explique 28,60 % de la variabilité observée (R^2). Les facteurs retenus (test sur les rapports de vraisemblance), par ordre d'entrée dans le modèle, sont les suivants (avec la p-value d'entrée et leur pourcentage de variabilité expliquée propre dans le modèle) :

- Recouvrement des graminées dans l'environnement lointain — $p < 0,0001$ — (21,48 %)
- Recouvrement du sol nu — $p = 0,0014$ — (4,37 %)
- Recouvrement de la mousse — $p = 0,0108$ — (2,75 %)





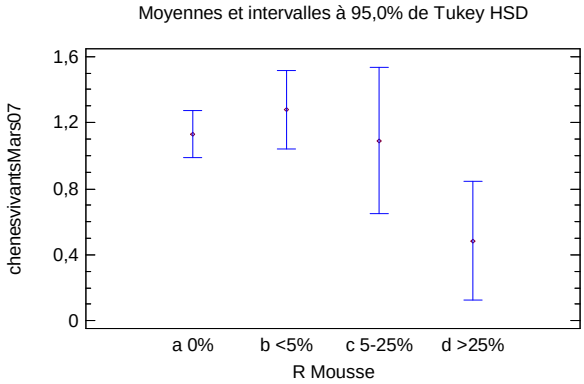


Fig. 51 à 53 : Impact des facteurs de l'environnement sur le nombre de chênes pubescents vivants par poquet.

(Tous traitements confondus, le nombre moyen de chênes pubescents vivants par poquet est de 1,1)

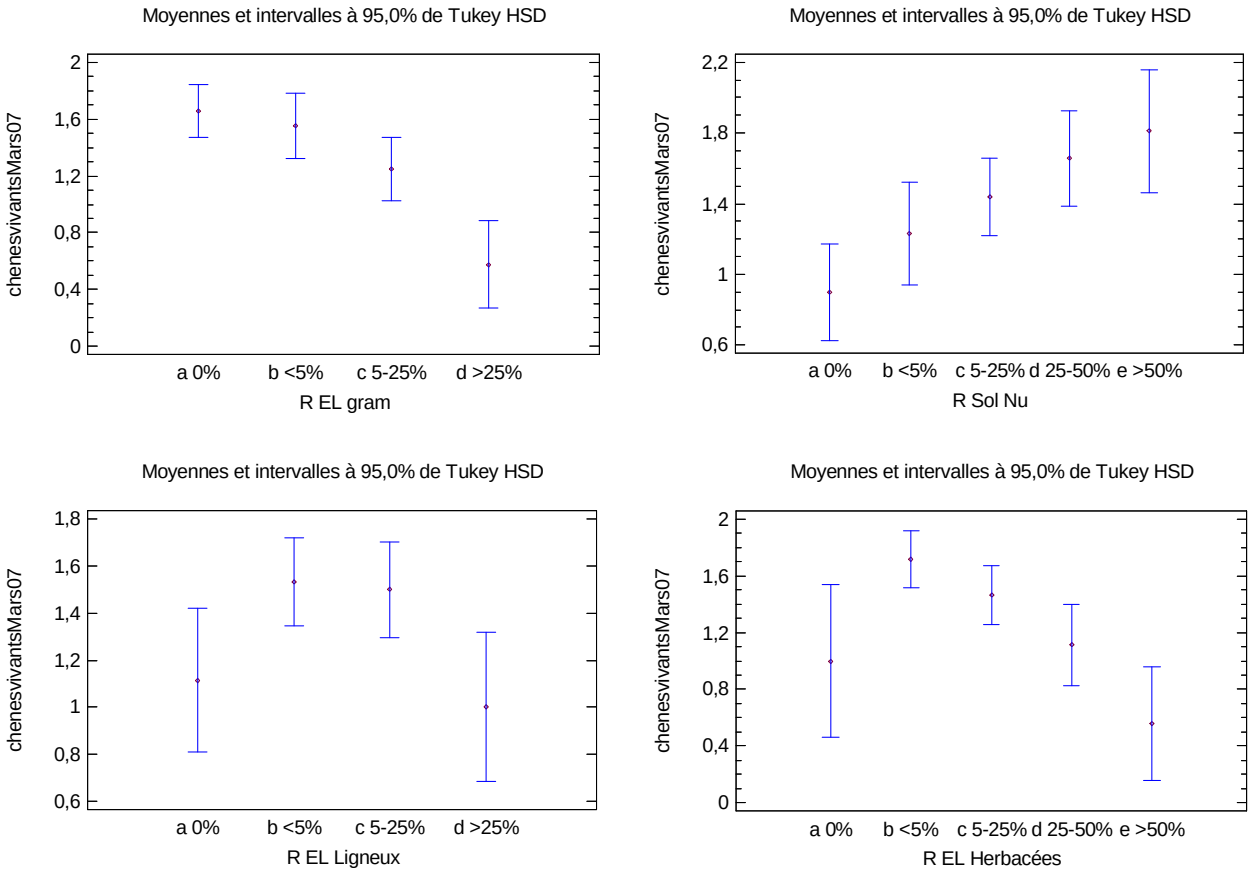
Le facteur recouvrement des Poacées dans le grand cercle est, de loin, le facteur le plus déterminant de la survie des chênes. L'effet des Poacées est clairement défavorable et traduit très probablement un phénomène de compétition hydrique. La présence de sol nu est un facteur favorable à la survie des chênes pubescents, mais cela peut être considéré comme une absence de végétation adventice concurrente. L'effet de la mousse est peu marqué, seul un fort recouvrement est néfaste à la survie des chênes.

4.3.3.2 Facteurs du milieu influençant la survie des chênes verts

Le modèle construit à partir des variables de terrain est significatif ($p < 0,0001$) et explique 19,14 % de la variabilité (R^2). Les facteurs retenus (test sur les rapports de vraisemblance), par d'entrée dans le modèle, sont les suivants (avec la p-value d'entrée et leur pourcentage de variabilité expliquée propre dans le modèle) :

- Recouvrement des graminées dans l'environnement lointain — $p < 0,0001$ — (8,98 %)
- Recouvrement du sol nu — $p = 0,0034$ — (4,33 %)
- Recouvrement des ligneux dans l'environnement lointain — $p = 0,0293$ — (2,48 %)
- Recouvrement des herbacées dans l'environnement lointain — $p = 0,0159$ — (3,36 %)

Fig. 54 à 57 : Impact des facteurs de l'environnement sur le nombre moyen de chênes verts vivants par poquet. *(Le nombre moyen de chênes verts vivants par poquet tous traitements confondus est de 1,39).*



Là encore, c'est le recouvrement des graminées qui est le facteur prédominant. L'effet néfaste dû à leur couvert est un peu moins marqué pour le chêne vert.

Comme pour le chêne pubescent, le sol nu a un effet favorable.

Un léger couvert de ligneux est favorable à la survie des chênes verts.

L'absence totale d'herbacées marque un effet néfaste pour la survie des chênes. Soit elles indiquent de meilleures conditions stationnelles et leur absence signifie des conditions très dures, soit ce sont elles qui créent des conditions favorables (en fournissant de l'ombre, protégeant ainsi le sol et les chênes de la dessiccation). Cependant plus on a d'herbacées (Poacées et autres) et moins leur rôle bénéfique se fait sentir (il devient même néfaste). Cela est supposé être dû à un effet de compétition qui augmente avec leur recouvrement.

Je synthétise les résultats de la manière suivante :

	Quercus pubescens			*Quercus ilex*		
Recouvrement						
Poacées	+	-	--	+	-	--
Herbacées				-	+	--
Sol nu	-	±	+	-	±	+
Ligneux				-	+	-
Mousse	±	±	-			

Table 8 : Tableau récapitulatif de l'effet des différents facteurs de milieu significatifs sur les semis de chênes.

 : *Recouvrement faible, moyen, fort.*

Les deux chênes présentent globalement des réactions semblables aux facteurs du milieu, avec quand même une plus grande sensibilité du chêne pubescent.

Les pourcentages d'explication des modèles ne sont pas très élevés (28,60 % pour le chêne pubescent et 19,14 % pour le chêne vert). À mon sens cela ne signifie pas que les facteurs mesurés n'ont qu'une faible influence sur les semis. Cela pourrait venir de deux choses :

Tout d'abord, la façon dont les recouvrements ont été mesurés (avec les coefficients de Braun-Blanquet) ne permet pas une analyse fine des effets des facteurs. En effet ces coefficients ont été créés pour des inventaires botaniques et ne sont pas adaptés pour plusieurs des paramètres que nous mesurons (est-ce que la modalité « présence » de sol nu a vraiment un sens par exemple ?). Les seuils qui délimitent les classes auxquelles correspondent ces coefficients ne sont pas bien adaptés aux variables mesurées. C'est pourquoi j'ai parfois dû faire des regroupements de classes afin de travailler avec des effectifs suffisants. Me retrouvant souvent avec des classes de recouvrement ayant une amplitude de 50 %, il y a forcément eu des regroupements de cas qui pourtant différaient. Un autre inconvénient de l'utilisation de ces coefficients est la difficulté de passer à un codage en quantitatif, si ce n'est en utilisant les médianes des classes.

D'autres facteurs ont également un rôle très important sur la vitalité les semis en particulier la lumière, l'approvisionnement en eau, le microclimat. Or ils varient de manière importante même à une échelle fine. Il est donc difficile de les intégrer dans le modèle si ce n'est grossièrement, sinon cela demanderait un travail de relevé phénoménal. Ces facteurs extérieurs entrainent donc une variabilité qui n'est pas expliquée par le modèle.

Ces remarques sont également valables pour les modèles concernant le pin d'Alep.

Même si les coefficients de Braun-Blanquet sont pratiques à utiliser sur le terrain, je recommanderais plutôt de coder les recouvrements avec une variable quantitative. En particulier pour le pin d'Alep il serait possible de compter le nombre de cases occupées, ce qui fait une classe de recouvrement de 4 %. Cela ne devrait pas prendre beaucoup plus de temps sur le terrain et en contrepartie devrait faciliter grandement le traitement statistique et fournir un meilleur pourcentage explicatif pour les modèles.

Les analyses que j'ai effectuées ont permis de dégager les facteurs qui sont significatifs et ceux qui ne le sont pas. Lors des prochaines campagnes de relevés il sera possible de ne pas relever les facteurs qui n'ont pas d'effet ce qui devrait alléger les mesures. Il sera également possible d'affiner la description pour les facteurs les plus intéressants.

5 Effets des différents traitements sur l'état de la surface du sol. Conséquences des traitements pour la régénération du pin d'Alep et l'installation des chênes méditerranéens.

5.1 Facteurs généraux du milieu influençant la régénération du pin d'Alep et la survie des plantules de chêne.

Le contexte stationnel définit le domaine de validité des résultats de l'étude. C'est, de plus, lui qui détermine les facteurs limitants pour la végétation, et donc pour les semis de pin d'Alep et de chêne qui nous intéressent.

5.1.1 Contexte stationnel

Le dispositif est implanté dans une station sèche, caractérisée par la présence de brachypode rameux (*Brachypodium ramosum*) en nappes après la coupe. C'est une espèce xérophile et sa présence est synonyme de difficultés de régénération pour le pin d'Alep. En effet LOISEL (1976) obtient de faibles pourcentages de levée des graines de pin d'Alep dans pelouses à brachypode rameux (40 % contre 60 % pour la moyenne des autres associations végétales testées). De plus, les pourcentages de mortalité des plantules au cours du premier été sont très forts (75 à 80 %) dans les pelouses à brachypode (contre 10 à 30 % pour les autres associations) (LOISEL, 1976). Cela concorde avec ce que nous observons dans le témoin (98 % de mortalité).

En ce qui concerne les chênes, VUILLEMIN (1980) montre que les faibles valeurs de développement de semis de chênes verts et pubescents sont bien corrélées avec les groupes d'espèces floristiques comprenant *Brachypodium ramosum*.

Le principal facteur limitant du développement de végétaux en région méditerranéenne, caractérisée par une sécheresse estivale marquée, est le bilan hydrique (RIPERT & VENNETIER, 2001). Nous pouvons donc penser a priori que c'est principalement à travers ce facteur que les traitements du sol risquent d'intervenir sur les recrus de pin d'Alep et la survie des semis des chênes.

5.1.2 Facteurs influençant les semis de chênes

Les régénérations naturelles de chêne pubescent sont souvent compromises par le stress hydrique estival qui cause d'énormes dégâts sur les semis (ONF STIR, 1998).

Suite à des essais de semis, VUILLEMIN (1978 ; 1980) observe que les plantules de chênes verts et blancs sont particulièrement sensibles à la sécheresse estivale. Il en conclut que le stress hydrique constitue un facteur limitant prépondérant pour les chênes dans les milieux les plus xériques, où les plus forts taux de mortalité sont observés.

Par ailleurs, de nombreuses études réalisées sur les semis de chêne ont montré l'extrême importance de l'ombrage apporté par la végétation pour la survie et le développement des jeunes plantules (PLAISANCE, 1965 ; ROUSSEL, 1972). Ce phénomène apparait encore plus accentué en région méditerranéenne à sécheresse estivale très prononcée (VUILLEMIN, 1980 (2)).

5.1.3 Facteurs influençant la régénération du pin d'Alep

Le bilan hydrique joue également un rôle pour le pin d'Alep, car une certaine humidité est nécessaire aux graines pour germer, et aux plantules pour survivre et se développer. Néanmoins cela ne semble pas être le seul facteur à prendre en compte. En effet, les semis de pin d'Alep montrent une grande résistance à la sécheresse, grâce à un fort contrôle de l'activité stomatique (SCARASCIA MUGNOZZA, 1986). Un autre facteur important pour déterminer le succès de la régénération est l'éclairement. Les conditions de lumière créées par un couvert dense de la canopée sont défavorables à la germination et ne permettent pas aux plantules de survivre (NE'EMAN *et al.*, 2004 ; NATHAN et

al., 2000 ; DASKALAKOU & THANOS , 1996). Par contre, d'après LOISEL (1976), la germination est favorisée par un couvert végétal moyen assurant la réalisation des conditions thermiques et hydriques optimales pour la levée des graines (un fort ombrage ne permet pas la germination, mais l'évaporation au niveau de l'horizon supérieur du sol n'est pas freinée en pleine lumière ce qui crée des conditions desséchantes). De plus un léger couvert protégeant les plantules d'une forte lumière diminue significativement leur mortalité (ACHERAR, 1981).

La luminosité mesurée est globalement homogène sur l'ensemble du dispositif (cf. paragraphe 4.1.3), mais elle ne prend en compte que le couvert des arbres. Des variations locales peuvent intervenir avec le couvert des ligneux bas et même avec le couvert des herbacées.

L'ombrage est donc à prendre en compte aussi bien pour les chênes que pour les pins, et peut jouer soit de manière directe en contrôlant la lumière transmise au semis, soit de manière indirecte en jouant sur l'exposition du sol au soleil qui provoque un desséchement de l'horizon de surface.

À la lumière de ces informations, nous pouvons expliquer comment, par la modification du milieu qu'ils engendrent, les traitements agissent sur les semis de pins et de chênes.

5.2 Effets des traitements sur l'état de la surface du sol et conséquences

Tous les facteurs du milieu mesurés n'ont pas une action significative sur les recrus de pin d'Alep ou les semis de chêne (test de Scheirer, régression binomiale négative, cf. paragraphes 4.2.3 et 4.3.3). Je présenterai ici uniquement les effets des traitements sur les facteurs significatifs.

5.2.1 Effets des traitements sur les facteurs inertes présents en surface du sol

Fig. 58 : Effet des traitements du sol sur le recouvrement du sol nu.

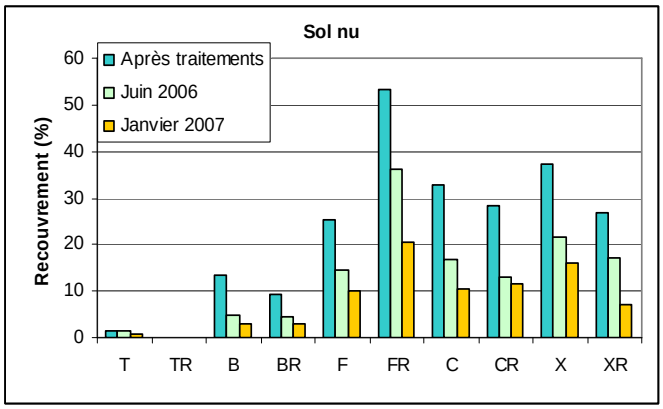
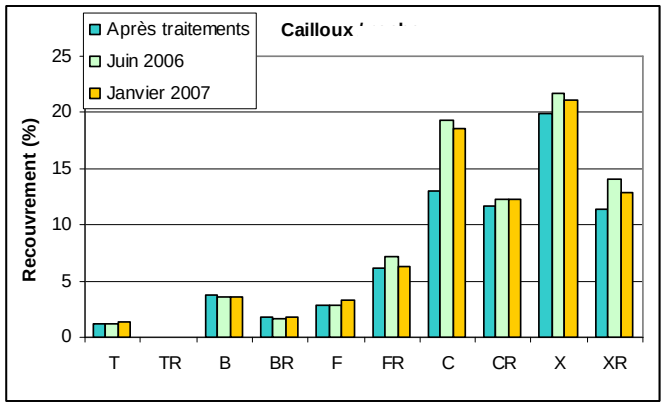


Fig. 59 : Effet des traitements du sol sur le recouvrement des cailloux.



Comme nous l'avons vu précédemment, le sol nu est favorable à l'apparition des recrus de pin d'Alep, à leur survie et à celle des chênes.

En ce qui concerne l'apparition des semis de pin d'Alep, LOISEL (1976) note que la germination est favorisée lorsque les graines peuvent entrer en contact avec les éléments fins du sol (remaniement par l'érosion). IZHAKI *et al*. (2000) montrent que la présence d'un couvert de vermiculite, simulant la litière normalement formée par les aiguilles de pins, conduit à des niveaux de germination plus faibles qu'en absence de couvert.

On comprend donc pourquoi les crochetages et le brûlage dirigé sont les modalités de traitement les plus favorables à l'apparition de semis : ce sont les traitements qui font apparaître le plus de sol nu. En particulier le brûlage dirigé avec rémanents fait apparaître une grande surface de matière minérale. PAUSAS et al. (2003) montrent que le recouvrement de la litière (inversement

proportionnel à celui de sol nu), diminue avec l'intensité de l'incendie. C'est ce que nous observons ici : la présence de rémanents lors du brûlage dirigé fournit une source de combustible supplémentaire, permettant d'accroître l'intensité du feu. Il en résulte un dégagement plus important de la surface du sol.

Le témoin avec rémanents présente une absence totale de sol nul ce qui peut expliquer, au moins en partie, l'absence d'apparition de semis pour cette modalité.

Concernant les chênes la présence de sol nu est bénéfique en ce qu'elle traduit sans doute l'absence de végétation adventice, concurrente. J'en discuterai plus en détail dans le paragraphe suivant.

La régression de la surface de sol nu au cours du temps est rapide pour tous les traitements (la litière se reforme, et la végétation progresse). L'effet bénéfique est donc limité dans le temps, les traitements n'auront qu'un effet temporaire.

Les facteurs « recouvrement de sol nu » et « recouvrement des cailloux » sont très corrélés (au niveau des quadrats). Les cailloux sont souvent visibles lorsqu'il n'y a pas de végétation ou de débris qui les recouvrent, ce qui est également le cas pour la matière minérale. Pour cette raison les modalités ayant subi un broyage (broyage simple et crochetages) présentent moins de cailloux en surface lorsque les rémanents étaient présents. Ce sont les crochetages qui, à cause du remaniement du sol, font apparaître le plus de cailloux. La présence de cailloux traduit donc plus un effet traitement qu'un effet stationnel. Par ailleurs on peut émettre l'hypothèse que les cailloux remontés en surface lors des crochetages peuvent limiter l'évaporation et le dessèchement du sol.

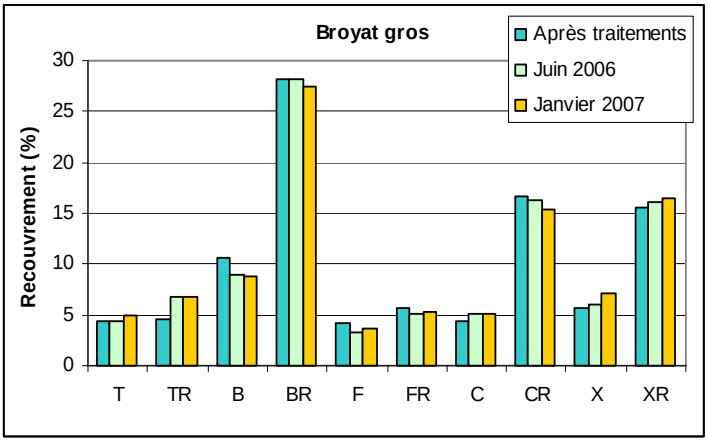


Fig. 60 : Effet des traitements du sol sur le recouvrement de gros broyat.

Le recouvrement de broyat gros a un effet positif sur la survie des pins. Il n'a pas d'effet sur les chênes mais cela vient peut être de la façon dont il a été mesuré. En effet le recouvrement des facteurs inertes n'a été mesuré que dans l'environnement proche des chênes (cercle de 10 cm de rayon). La mesure n'est peut-être pas assez intégrative des conditions du milieu, et nécessiterait d'intégrer une plus grande surface.

La présence de broyat gros est fortement liée au broyage des rémanents (BR, CR, XR). Le recouvrement de broyat gros est inférieur pour les crochetages avec rémanents que pour le broyage avec rémanents. Une partie du broyat a donc été intégrée en profondeur dans le sol lors des crochetages. Cela pourrait avoir des conséquences, en particulier sur le cycle de la matière organique (mais les C/N mesurés à partir des échantillons de sol ne présentent pas de différences entre types de traitements).

L'action bénéfique du broyat sur la survie des recrues de pin d'Alep pourrait être due à un effet de paillage, le broyat pouvant éviter le desséchement des horizons superficiels et limiter le développement de la végétation adventice (en particulier des herbacées).

5.2.2 Effets des traitements du sol sur la végétation adventice

La compétition interspécifique peut affecter fortement les dynamiques des espèces végétales, la disponibilité en eau étant particulièrement déterminante dans les écosystèmes méditerranéens (TRABAUD, 1994). Elle peut affecter grandement le succès de la régénération du pin d'Alep (DE

LAS HERAS *et al.*, 2002). La compétition due aux adventices est également déterminante pour déterminer le succès de semis de chênes (PICHARD, 1988).

Outre la disponibilité en eau, la végétation adventice peut également jouer sur la lumière transmise aux plantules et au sol. L'ombrage, suivant qu'il est dû à un recouvrement herbacé ou arbustif, n'a pas la même action sur les plantules (ROUSSEL, 1972).

5.2.2.1 Strate muscinale

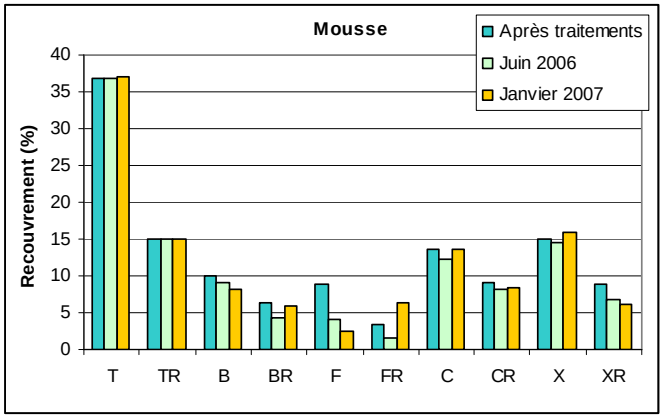


Fig. 61 : Effet des traitements du sol sur le recouvrement de la mousse.

La mousse a un effet néfaste sur les plantules de chêne pubescent et de pin d'Alep uniquement pour de très forts recouvrements. Cela peut s'expliquer par un phénomène de compétition hydrique. Par contre une présence légère est favorable, ce qui peut s'expliquer par l'indication de meilleures conditions microsationelles.

L'abondance de la mousse sur le témoin sans rémanents peut expliquer en partie les faibles taux de survie des semis de pin d'Alep et de chêne pubescent. Néanmoins il faut modérer son importance car ce n'est pas le facteur prépondérant.

On peut remarquer qu'au sein de chaque traitement le recouvrement de la mousse ne varie pas avec le temps, ce qui traduit une dynamique très lente.

5.2.2.2 Strate arbustive

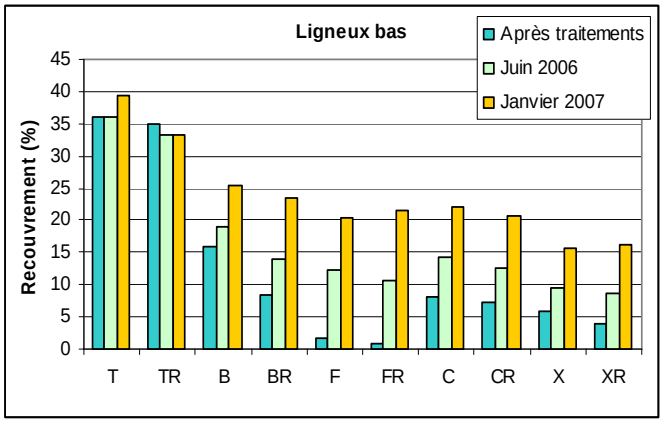


Fig. 62 : Effet des traitements du sol sur le recouvrement des ligneux bas.

En revanche si nous regardons les recouvrements des ligneux, la dynamique de retour à l'état initial (défini par le témoin, soit 35 % de recouvrement) après traitement est très forte. Initialement toutes les interventions ont bien diminué le recouvrement des ligneux (le broyage est un peu moins efficace). Le brûlage dirigé en particulier a été très efficace, mais la dynamique de récupération est plus forte pour ce traitement. Le crochetage double présente la dynamique de récupération la plus lente.

Les ligneux ont un effet clairement néfaste sur l'apparition des semis de pin d'Alep. Cela s'explique très vraisemblablement par l'inhibition de la germination par le couvert des arbustes (cf. paragraphe 5.1.3). Les ligneux jouent également sur la survie des plantules de pins et de chêne vert, mais leur effet est plus complexe. Par rapport à l'absence d'arbustes, un léger couvert est favorable et un fort couvert est défavorable. J'interprète cela comme la résultante de deux effets antagonistes.

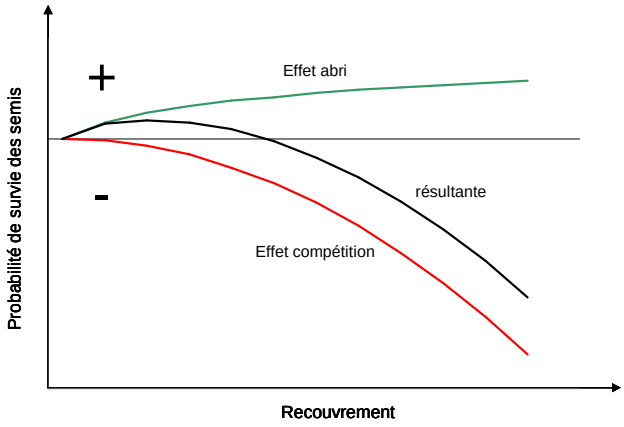


Fig. 63 : Probabilité de survie résultant d'effets antagonistes d'un même facteur.

Les arbustes peuvent en effet avoir un double effet sur la survie des semis (cf. fig. 63) : Par l'ombre qu'ils apportent, ils protègent le sol de l'éclairement direct et des fortes chaleurs, ce qui évite sa dessiccation. En même temps ils consomment de l'eau par transpiration et puisent dans la réserve du sol. Je fais l'hypothèse que lorsque le recouvrement de la strate arbustive est faible l'effet abri est supérieur à l'effet compétition, et que la tendance s'inverse lorsque le recouvrement est plus fort. Cela permet d'expliquer l'effet des ligneux sur la survie des semis, mais il faudrait faire des mesures d'humidité du sol et de lumière pour tester l'hypothèse.

Globalement l'effet des ligneux reste négatif pour la régénération du pin d'Alep si l'on considère le nombre de semis vivants en 2007.

Contrairement à ce que nous observons dans cette étude, les résultats de DE LAS HERAS et al. (2002) indiquent que la présence de la strate arbustive ne joue pas sur la densité initiale de recrus de pin d'Alep. Mais le contexte est différent dans leur cas : l'espèce dominante est *Cistus monspeliensis* et leurs mesures ne tiennent pas compte de la densité du couvert de la strate arbustive. Par contre ils notent une augmentation importante de la croissance en hauteur, lorsque la strate arbustive est broyée, mais qui ne se fait sentir que 5 ans après traitements. Dans notre cas il ne sert à rien de comparer la croissance en hauteur entre les témoins et les broyages, puisque les semis apparaissant dans les témoins ne survivent pas.

Concernant la durée d'efficacité des traitements, les mêmes auteurs observent que la diminution de la mortalité des semis, lorsque la strate arbustive est absente, n'est effective que pour les premières années (1 an après broyage, 3 ans après incendie). La dynamique de recouvrement des ligneux pour les broyages semble être plus faible dans notre cas : deux ans après traitement, le recouvrement des ligneux n'a pas atteint son niveau d'origine.

5.2.2.3 Strate herbacée

Le facteur recouvrement des herbacées, en particulier avec la distinction des Poacées pour les chênes, est toujours significatif (pin d'Alep apparition, survie, nombre de semis vivants + survie des chênes). Le recouvrement des Poacées est le meilleur facteur explicatif de la survie des chênes et a un effet néfaste. En effet, les graminées sont les adventices les plus redoutables : elles se propagent rapidement et consomment beaucoup d'eau. (PICHARD, 1988). Avant implantation de semis de chênes, PICHARD (1988) préconise en premier lieu la destruction des graminées qui compromettraient l'alimentation en eau des semis.

Le recouvrement des Poacées traduit en fait le recouvrement de *Brachypodium ramosum*, qui est très majoritaire sur le dispositif, la présence des autres graminées étant anecdotique en comparaison. Or le brachypode rameux est une espèce au pouvoir concurrentiel très marqué. Par ses racines fasciculées, il draine l'horizon supérieur du substrat et s'oppose à la pénétration des radicules de pin d'Alep (LOISEL, 1966). PAUSAS et al. (2003) notent une mortalité plus forte des semis de pin d'Alep dans les quadrats comportant un fort recouvrement de *Brachypodium ramosum*, et concluent à un effet de compétition.

Cela explique donc l'effet clairement néfaste des Poacées sur la survie des chênes et des forts recouvrements des herbacées sur la densité de semis de pins vivants (la distinction entre les Poacées et les autres n'a pas été faite pour le pin d'Alep).

Les autres espèces herbacées présentes sur le dispositif sont principalement des Astéracées en rosette. Celles-ci peuvent avoir un effet différent et moins néfaste que les Poacées. En effet si on prend en compte toutes les espèces herbacées, un recouvrement modéré a un effet positif sur la survie du pin

d'Alep et du chêne vert. Or ce n'est pas le cas pour les recouvrements modérés de Poacées sur la survie des chênes, qui sont défavorables. J'admets donc que si les graminées ont un rôle compétiteur prononcé, les Astéracées peuvent avoir des effets antagonistes de la même manière que les ligneux. Cela peut s'expliquer par l'architecture des plantes en rosette qui couvrent le sol et le protègent de la dessiccation alors que leur pouvoir de compétition est plus faible.

Fig. 64 : Effets des traitements du sol sur le recouvrement des herbacées

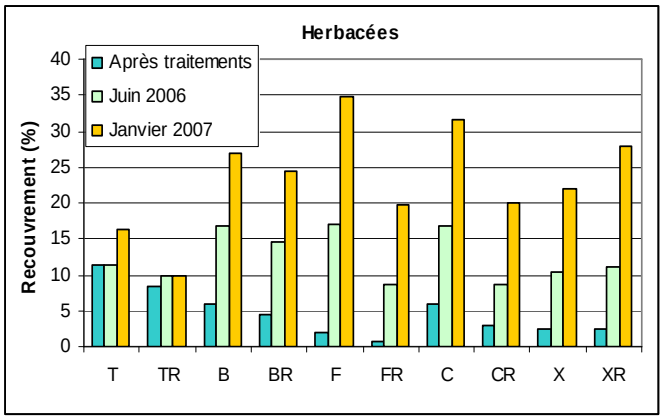
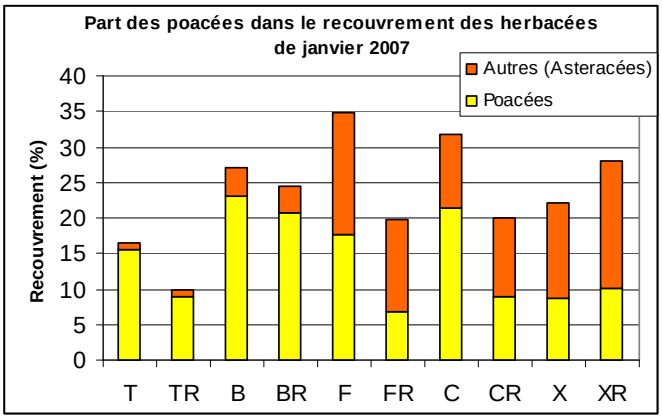


Fig. 65 : Effet des traitements du sol sur la composition de la strate herbacée



La proportion des Poacées dans le recouvrement total des herbacées a été obtenue à partir des données issues de la description de l'environnement des chênes.

Initialement tous les traitements font diminuer le recouvrement des herbacées par rapport au témoin, ce qui s'explique par la destruction due, soit au travail mécanique, soit au feu. Par contre les herbacées présentent une dynamique d'expansion après traitement très forte et dépassent très largement les niveaux de recouvrement initiaux. Cela s'explique par la suppression du couvert arbustif, le travail du sol et l'apparition de sol nu : de nombreuses graines sont présentes à l'état dormant dans le sol. L'ouverture de la végétation épigée par une perturbation entraîne leur germination (TRABAUD *et al.*, 1997). La litière de pin empêche la germination des herbacées annuelles (IZHAKI *et al*., 2000), si elle est détruite lors des crochetages ou du feu dirigé ces dernières peuvent germer.

Les crochetages (si on exclut le traitement C qui diffère probablement à cause de variations stationnelles), même s'ils ont un taux de recouvrement d'herbacées semblables aux broyages, ne favorisent pas les mêmes espèces et sont donc moins défavorables. Les témoins présentent des faibles taux de recouvrement, mais les espèces présentes ne sont pratiquement que des Poacées. Ils ne présenteront donc pas des niveaux de compétition très différents des crochetages. Le feu sans rémanents favorise grandement toutes les herbacées. Cela le rend donc moins intéressant que le brûlage avec rémanents qui présente le plus faible développement de la végétation herbacée.

Tous les facteurs mesurés sont susceptibles de continuer à évoluer dans le temps. En particulier le recouvrement de sol nu risque de diminuer, celui des ligneux à augmenter (sauf pour les témoins a priori). L'évolution des herbacées est difficile à prédire : le couvert va-t-il encore augmenter ou va-t-il diminuer du fait de la pression des ligneux ? Les traitements du sol sont encore favorables à l'installation de semis de pin d'Alep deux ans après semis, mais il est difficile de dire combien de temps encore ils le resteront.

5.3 Traitements du sol et régénération du pin d'Alep

5.3.1 Intérêt de la coupe d'ensemencement

Il ne faut pas oublier que les traitements interviennent dans un certain contexte sylvicole, qui est celui d'un peuplement ayant subi une coupe d'éclaircie ayant ramené la surface terrière à 12 m^2/ha (initialement à 20-25 m^2 / ha). Il ne s'agit donc pas, loin de là, d'une coupe rase. Nous sommes plutôt dans un stade post-coupe d'ensemencement.

Réaliser les traitements du sol à ce stade présente au moins deux intérêts majeurs. Le premier est, bien sûr, de conserver des semenciers : nous avons vu que les graines de pin d'Alep sont pratiquement absentes de la banque de graines du sol. Il ne faut donc pas couper les semenciers tant qu'un certain niveau de régénération n'a pas été acquis. Le second intérêt est de garder un couvert protecteur pour les semis de pin d'Alep. En effet LOISEL (1966) note que dans les peuplements incendiés, où le couvert des arbres a disparu, le dépérissement des plantules de pin d'Alep est très important. De plus, toujours d'après LOISEL (1966), la présence de pins âgés, limite le développement d'espèces à pouvoir concurrentiel marqué (brachypode rameux), néfastes à l'installation du pin d'Alep.

Par contre, un fort couvert inhibe complètement la germination du pin d'Alep. Il y a donc un équilibre à trouver si l'on veut obtenir les meilleures conditions de peuplement pour la régénération, mais ce n'est pas l'objet de cette étude.

5.3.2 Conclusion quand à l'efficacité des traitements au bout de deux ans

Je rassemble ici les conclusions précédentes ce qui me permet de conclure sur l'efficacité des traitements sur la régénération du pin d'Alep, au vu de deux ans de suivi. Les traitements sont classés par ordre décroissant d'efficacité :

- **Broyage + crochetages** : Ils permettent de mettre le sol à nu, favorisant ainsi l'apparition du pin d'Alep, en créant un lit de semences favorables l'installation des semis. Le broyage préalable permet d'éviter la concurrence des ligneux pour l'eau et la lumière, ce qui favorise à la fois la germination et la survie des semis. Les crochetages jouent favorablement sur la croissance des semis (probablement par l'amélioration des potentialités d'alimentation hydrique, due au décompactage du sol, permettant une meilleure prospection racinaire) ce qui est d'une importance cruciale. En effet les semis devront avoir le temps de s'affranchir de la végétation concurrente, avant que celle-ci ait eu le temps d'envahir l'espace à nouveau. L'intérêt du crochetage double par rapport au crochetage simple n'est pas évident dans nos conditions.
- **Brûlage dirigé avec rémanents** : Ce traitement original présente une bonne efficacité. Il permet notamment de découvrir une grande surface de sol nu, créant ainsi un milieu favorable pour la germination des graines et la survie des plantules, libérées de la concurrence. Le feu avec rémanents est le traitement pour lequel les effets bénéfiques semblent être les plus durables : deux ans après traitement le recouvrement de sol nu reste fort et le recouvrement des herbacées, en particulier des Poacées, très modéré. La croissance des semis ne semble pas affectée pour l'instant, mais PAUSAS *et al.* (2003) notent une croissance plus forte que la normale pour les feux de forte intensité. Même si la croissance est plus faible que pour les crochetages, les semis auront plus de temps pour s'affranchir de la concurrence, la dynamique de recolonisation des Poacées étant moins forte.
- **Brûlage dirigé sans rémanents** : dégageant moins de sol nu, il permet une moins bonne apparition de semis que son homologue avec rémanents. De plus en détruisant les ligneux sans vraiment nuire aux herbacées, il favorise très fortement ces dernières qui peuvent alors concurrencer les semis. Au final, même si les semis sont soumis à une forte concurrence, on peut espérer que la forte apparition compense la mortalité des semis.
- **Broyage avec rémanents** : Ce traitement ne permet pas l'apparition d'une grande surface de sol nu, et donc est défavorable à l'installation des semis. Par contre les semis arrivant à s'installer ont d'assez bonnes chances de survie, du fait de la présence de gros broyat jouant

un rôle de paillage. Comme peu de sol est découvert, les Astéracées ne s'implantent pas massivement, par contre les Poacées se développent. Le bilan reste mitigé et il faut voir si les semis ont de réelles chances de s'affranchir de la concurrence.

- **Broyage sans rémanents** : Comme le broyage avec rémanents il ne permet qu'une faible apparition de semis. Par contre la survie n'est pas améliorée car il y a peu de broyat gros. Ce traitement semble donc a priori peu efficace.
- **Témoin (absence d'intervention à part enlèvement des rémanents)** : Le couvert dense des ligneux et la quasi-absence de sol nu sont très défavorables à l'apparition des semis. Les plantules issues des graines qui arrivent à germer n'ont aucun avenir du fait de la compétition avec la végétation adventice. Les ligneux, en particulier, créent un couvert qui peut nuire fortement au développement des plantules. La compétition peut aussi intervenir sur le plan hydrique, les Poacées étant quand même bien présentes.
- **Témoin avec rémanents (absence d'intervention à part regroupement des rémanents)** : Très défavorable, il ne permet même pas l'apparition des semis. Cela peut s'expliquer par l'ombrage que créent les rémanents qui inhibe la germination. Une autre hypothèse est la consommation des graines par les prédateurs (rongeurs), protégés par le couvert des rémanents (PICHARD, 1988).

5.4 Traitements du sol et installation des semis de chêne vert et chêne pubescent

5.4.1 Comparaison entre le chêne vert et le chêne pubescent

VUILLEMIN (1980), étudiant le comportement du chêne vert et du chêne pubescent après semis dans différents milieux, a obtenu des résultats très semblables aux nôtres :

- Les taux de levée qu'il a calculés sont similaires pour les deux espèces. Dans notre cas nous avons une levée meilleure pour le chêne pubescent. Dans les milieux limitants du point de vue hydrique, VUILLEMIN constate une levée plus tardive pour les chênes verts que pour les chênes pubescents. C'est ce qui a été observé sur notre dispositif. Cela peut expliquer la prédation plus forte des chênes verts, car les modifications physiologiques dues à la germination peuvent modifier l'appétence des glands (PICHARD, 1988).
- VUILLEMIN émet l'hypothèse que le stress hydrique létal apparaît plus tardivement chez le chêne vert. Dans les milieux les plus limitants, on observe une bonne différenciation entre les deux espèces. La mortalité en fin de saison sèche est supérieure chez le chêne pubescent.

Nos résultats sont tout à fait similaires, le chêne vert présente effectivement une meilleure survie après la sécheresse estivale. De plus le chêne vert semble moins sensible que le chêne pubescent à la compétition des adventices (Poacées).

Cependant il ne faut pas oublier que la période entre l'installation des semis et les mesures de survie a été inhabituellement sèche. La discrimination entre les deux espèces ne se serait peut-être pas produite si les conditions pluviométriques avaient été plus favorables. En effet dans les milieux plus mésophiles, la germination et la survie à court terme ne constituent pas des étapes limitantes pour ces deux espèces (VUILLEMIN, 1980).

5.4.2 Conclusions quant à la méthode employée

Les résultats d'essais précédents démontrent la nécessité absolue de protection des glands contre les rongeurs (VUILLEMIN, 1978 ; VUILLEMIN 1980 ; CHAMPROUX, 1996). La technique du chausson grillagé semble donner d'assez bons résultats mais ne constitue pas une parade absolue. Dans les témoins en particulier, la prédation est très forte, les rongeurs ayant alors tout loisir de déterrer les chaussons cachés des prédateurs. PICHARD (1988) montre qu'avec un travail du sol en plein (labour), le prélèvement est inversement proportionnel à la surface semée. Les travaux du sol

(destruction de l'habitat et des abris) sont donc défavorables aux rongeurs et permettent de limiter la prédation.

Une explication du fort taux de prédation, malgré la protection, est la faible profondeur d'enfouissement des chaussons. Les rongeurs n'ont alors pas de grandes difficultés à les déterrer. La profondeur des glands en terre doit être telle qu'elle permette la germination et protège ceux-ci des différents prédateurs. PICHARD (1988) préconise une profondeur d'enfouissement allant de 2,5 à 5 cm. Pour les deuxièmes semis de chênes, les glands ont été enterrés plus profondément, et effectivement, le taux de prédation semble avoir été quasiment nul. Quelque traces de tentatives de prédation ont été relevées, mais dans tous les cas, les rongeurs se sont arrêtés de creuser en atteignant le grillage et les glands sont demeurés intacts.

Reste à voir si la présence du grillage ne risque pas d'entraver le développement des semis de chênes à plus long terme (étranglement de la tige et / ou de la racine).

5.4.3 Types de traitement du sol retenus

Les crochetages et le brûlage dirigé permettent d'améliorer significativement la survie des deux types de chênes par rapport au témoin. En effet ces traitements créent un milieu favorable par l'élimination de la végétation adventice concurrente. Les crochetages doivent en plus permettre aux racines de prospecter un volume de terre plus grand en améliorant la structure du sol. Cela, avec le meilleur contrôle de la végétation ligneuse, explique que le crochetage double soit le traitement le plus favorable à la survie des chênes, et que son action se distingue du crochetage simple. Par contre si ces techniques permettent la création d'un bon lit de semences, elles favorisent l'installation d'espèces herbacées, qui heureusement n'ont pas un pouvoir concurrentiel trop marqué.

Les broyages améliorent la survie par rapport au témoin, par l'élimination de la végétation arbustive concurrente, et par le broyat qu'ils laissent au sol, qui peut jouer un rôle de paillage. Néanmoins ces traitements restent assez peu efficaces.

Le taux de survie dans les témoins est très faible, ce qui rend nécessaire un travail du sol ou de la végétation avant semis pour au moins éliminer la végétation concurrente.

Concernant la croissance des semis, je ne conclus rien des mesures de hauteurs effectuées. En effet, d'après ROUSSEL (1972), la hauteur des plantules n'est pas bien corrélée avec d'autres variables de développement (surface foliaire, biomasse), mais dépend plutôt de l'importance du couvert végétal. Les milieux les plus fermés induisent une élongation de la tige sans que la surface foliaire augmente par exemple. La hauteur de la tige dépend donc de l'intensité lumineuse reçue par la plantule et n'est donc pas une mesure fiable du développement des semis.

Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence les traitements du sol et de la végétation qui favorisent la régénération naturelle du pin d'Alep et l'installation des chênes vert et pubescent par semis.

Concernant le pin d'Alep, la nécessité d'un travail après coupe, pour favoriser la régénération, a été démontrée : peu de semis s'installent dans les témoins et ceux qui y arrivent sont sans avenir. La combinaison broyage de la végétation plus crochetage du sol (simple ou double) est la plus efficace. Ce traitement favorise à la fois l'installation, la survie à court terme, et la croissance des semis. Le brûlage dirigé avec rémanents est également un traitement digne d'intérêt : même s'il ne modifie pas la structure du sol, il permet de découvrir une grande surface de matière minérale et élimine efficacement la végétation adventice. Ce n'est malheureusement pas une opération facilement réalisable dans le contexte d'une gestion classique.

Concernant les chênes, ce sont les mêmes traitements qui sont les plus efficaces. Le chêne vert présente une meilleure résistance au déficit hydrique que le chêne pubescent, mais semble être initialement plus sensible à la prédation.

Au vu des dynamiques de recouvrement de la végétation, l'effet bénéfique des traitements sera limité dans le temps. L'installation des semis doit donc se faire rapidement pendant la période (dont la durée est difficile à préciser pour l'instant) où les conditions favorables crées par le traitement perdurent. Les semis devront s'affranchir de la concurrence due à la végétation adventice avant que cette dernière n'ait recouvré toute sa place.

Pour l'instant (deux ans après les traitements), on ne peut pas encore parler de régénération acquise. Il serait donc prématuré de conclure de manière définitive quant à leur efficacité.

Il est donc nécessaire de continuer à suivre le dispositif, pour pouvoir établir une comparaison des traitements qui aura une réelle signification pour les gestionnaires. De plus, il sera intéressant de voir pendant combien de temps les traitements permettent l'installation des semis, et dans quelles conditions.

Une autre question qui intéresse très fortement le gestionnaire est le retour sur investissement. Lorsque l'on pourra parler de régénération acquise, la quantifier et la qualifier, il faudra voir quels sont les traitements les plus intéressants compte tenu de leur coût.

Le gestionnaire peut également être intéressé par les effets des traitements sur la biodiversité, en particulier floristique. Un suivi de flore est prévu sur le dispositif et devrait permettre d'apporter des réponses concernant cet aspect.

Au final une analyse multicritère (efficacité des traitements sur la régénération, en termes de coûts des traitements et impact sur la biodiversité) devra permettre de retenir le meilleur traitement à appliquer en fonction des objectifs du gestionnaire.

BIBLIOGRAPHIE

ABBAS (H.) – 1983 – Les forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans le sud-est méditerranéen français : recherches écologiques, production sylvicole et aménagement. – *Dipl. Doct. Ing. en Écologie, Université des Sciences et Techniques St-Jérôme, 123 p. + 50 p.*

ABBAS (H.), BARBERO (M.), LOISEL (R.) – 1984 – Réflexions sur le dynamisme actuel de la régénération naturelle du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans les pinèdes incendiées en Provence calcaire. – *Marseille. Œcologia mediterranea, t. X, (3-4), p. 85-104*

ACHERAR (M.) – 1981 – La colonisation des friches par *Pinus halepensis* Mill. : exemple des garrigues du Montpelliérais (France). – *Montpellier, U.S.T.L., Thèse de 3e cycle, 210 p.*

ACHERAR (M.), LEPART (J.) & DEBUSSCHE (M.) – 1984 – La colonisation des friches par le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller) en Languedoc méditerranéen. – *Acta Œcologica. Œcologia Plantarum, vol. 5, (19), n° 2, p. 179-189*

ALEXANDRIAN (D.) & RIGOLOT (E.) – 1992 – Sensibilité du pin d'Alep à l'incendie. – *Marseille. Forêt méditerranéenne, t. XIII, n° 3, p. 185-198*

BARBERO (M.) & LOISEL (R.) – 1980 – Le chêne vert en région méditerranéenne. – *RFF, vol. XXXII, (6), p. 531-543*

BARBERO (M.) & QUEZEL (P.) – 1990 – La déprise rurale et ses effets sur les superficies forestières dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. **–** *Bull. Soc. Linn. Provence, t. 41, p. 77-87*

BELVAUX (E.) – 1992 – Utilisation du bois de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) : présentation d'un essai de transformation. – *Marseille. Forêt méditerranéenne, t. XIII, (3), p. 257-261*

BOYAC (H.) – 1993 – Bilan des coupes de pin d'Alep en Provence **–** *Centre régional de la propriété forestière Provence-Alpes-Côte d'Azur, Rapport d'étude BTS, 25 p. + 27 p.*

BROCHIERO (F.), CHANDIOUX (O.), RIPERT (C.) & VENNETIER (M.) – 1998 – Autécologie et croissance du pin d'Alep en Provence calcaire – *Forêt méditerranéenne, t. XX, (2), p. 83-94*

CALAMASSI (R.), FALUSI (M.) & TOCCI (A.) – 1984 – Effets de la température de germination et de la stratification sur la germination des semences de *Pinus halepensis* Mill. - *Silvae Genetica, t. 33, p. 133-139*

CHAMPROUX (P.) – 1996 – Installation de chêne pubescent par semis in situ en conditions forestières méditerranéennes. – *Aix-Marseille III, Faculté des sciences et techniques de St Jérôme, (mémoire de doctorat en écologie et biologie des organismes), 139 p. + 52 p.*

CHARLES (J.-P.) – 1992 – La régression du pin d'Alep en basse Provence **–** *Bull. Soc. Linn. Provence, t. 43, p. 49-55*

CRPF PACA (Centre régional de la propriété forestière Provence-Alpes-Côte d'Azur) – 2002 – Bilan des coupes de pin d'Alep réalisées en forêt privée de 1985 à 1998.

DASKALAKOU (E.N.) & THANOS (C.A.) – 1996 – Aleppo Pine (*Pinus halepensis*) postfire regeneration: the role of canopy and soil seed banks. – *Int. J. Wildland fire, n° 6, (2), p. 59-66*

DASALAKOU (E.N.) & THANOS (C.A.) – 2004 – Postfire regeneration of Aleppo pine: the temporal pattern of seedlings recruitment. - *Plant Ecology, n° 171, p. 81-89*

DE LAS HERAS (J.), MARTINEZ-SANCHEZ (J.J.), GONZALES-OCHOA (A.I.), FERRANDIS (P.) & HERRANZ (J.M.) – 2002 – Establishment of *Pinus halepensis* Mill. Saplings following fire: effects of competition with shrub species – *Acta Oecologica, t. 23, p. 91-97*

D'HANENS (G.) – 1997 – La régénération naturelle de pin d'Alep dans les peuplements mixtes de pin d'Alep, chêne vert et chêne pubescent – *Rapport de stage de fin d'études, Mastère en Sciences Forestières, ENGREF – 88 p. + 10 p.*

DOUHERET (J.) – 1992 – Pin d'Alep. Comment choisir une sylviculture ? – *Forêt méditerranéenne, t. XIII, (3), p. 216-219*

FADY (B.), SEMERCI (H.) & VENDRAMIN (G.G.) – 2003 – EUFORGEN Technical guidelines for genetic conservation and use for Aleppo pine (*Pinus halepensis*) and Brutia pine (*Pinus brutia*). – *International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 6 p.*

FERNANDEZ (R.) – 1978 – Les peuplements de chêne pubescent des hautes garrigues du Montpelliérais. Étude dendrométrique et écologique. – *Mémoire de fin de 3e année ENITEF-CNRS-CEPE, 41 p. + annexes*

GAUSSEN, 1960 – Les gymnospermes actuelles et fossiles. – *(4), voir chap. XI : Généralités, Genre Pinus, p. 1-272*

GOUBITZ (S.), WERGER (M.J.A.) & NE'EMAN (G.) – 2003 – Germination response to fire-related factors of seeds from non-serotinous and serotinous cones. – *Plant Ecology, n° 169, p. 195-204*

GRULOIS (S.) & PEETERS (J.) – 2004 – Dynamiser la gestion du pin d'Alep en PACA – *AFOCEL, fiche informations forêt n° 682, 6 p.*

HABROUK (A.), RETANA (J.) & ESPELTA (J.M.) – 1999 – Role of heat tolerance and cone protection of seeds in the response of three pine species to wildfires. – *Plant Ecology, n° 145, p. 91-99*

IZHAKI (I.), HENIG-SEVER (N.) & NE'EMAN (G.) – 2000 – Soil seed banks in Mediterranean Aleppo pine forests: the effect of heat, cover and ash on seedling emergence. – *Journal of Ecology, n° 88, p. 667-675*

LOISEL (R.) – 1966 – Germination du pin d'Alep au niveau de certaines associations végétales de Basse-Provence. – *Bull. de la Soc. Bot. Fr., t. 113, n° 5-6, p. 324-330*

LOISEL (R.) – 1976 – Place et rôle des espèces du genre *Pinus* dans la végétation du sud-est méditerranéen français. – *Ecologia Mediterranea, (2), p. 131-152*

LOISEL (R.) – 1976 (2) – La végétation de l'étage méditerranéen dans le sud-est continental français. – *Aix-Marseille III, thèse d'Etat, 384 p. + annexes*

NAHAL, I. – 1962 – Le Pin d'Alep. Étude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. – *In* : *Annales de l'école nationale des eaux et forêts, t. XIX, (4), p. 533-627*

NATHAN (R.) & NE'EMAN (G.) – 2004 – Spatiotemporal dynamics of recruitment in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Miller) – *Plant Ecology n° 171, p. 123-137*

NATHAN (R.), SAFRIEL (U.N.), NOY-MEIR (I.) & SCHILLER (G.) – 1999 – Seed release without fire in *Pinus halepensis*, a Mediterranean serotinous wind-dispersed tree. – *Journal of Ecology, n° 87, p. 659-669*

NATHAN (R.), SAFRIEL (U.N.), NOY-MEIR (I.), SCHILLER (G.) – 2000 – Spatiotemporal variation in seed dispersal and recruitment near and far from *Pinus halepensis* trees. – *Ecological Society of America, Ecology, t. 81, (8), p. 2156-2169*

NE'EMAN (G.), GOUBITZ (S.), NATHAN (R.) – 2004 – Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire : a critical review. – *Kluwer Academic Publishers. Plant Ecology n° 171. p. 69-79*

NEVEUX (M.), DUHEN (L-M.), CORTI (J-M.), DEVALLOIS (P.), FONTANEL (J-L.) & BOISEAU (P.) – 1986 – Plaidoyer pour une sylviculture du pin d'Alep, par les techniciens de terrain. – *Forêt méditerranéenne, t. VIII, (1), p. 13-18*

OLIVA (T.) & RICARD (C.) – 1995 – Valorisation du bois de pin d'Alep. – *Aix en Provence, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 44 p.*

ONF (Office national des forêts) / AFOCEL (Association forêt cellulose) – 2005 – Analyse de la régénération dans les coupes anciennes. – *Recherches sur la régénération du pin d'Alep en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, 18 p. + 14 p.*

ONF (Office national des forêts) & CRPF PACA (Centre régional de la propriété forestière Provence-Alpes-Côte d'Azur) – 1992 – Sylviculture du Pin blanc. Le Pin blanc : une espèce provençale en plein essor. **–** *Forêt méditerranéenne, t. XIII, (3), p. 171-176*

ONF (Office national des forêts), STIR (Section technique d'investigation et de recherche) MEDITERRANNEE – 1998 – Influence d'un stress hydrique et de la densité apparente du substrat sur le développement de semis de chêne pubescent, expérimentation à la pépinière des Milles (13). – *Bulletin d'information de l'ONF, n° 5, p. 54-56.*

OUSTRIC (J.) – 1984 – Le feu et l'écologie de la germination de quelques espèces des garrigues du Bas Languedoc. – *Montpellier. Centre d'études phytosociologiques et écologiques Louis Emberger, p. 32-65*

OZENDA (P.) – 1975 – Sur les étages de végétation dans les montagnes du bassin méditerranéen. – *Doc. Cartogr. Ecol., (16), p. 1-32*

PARDÉ, J. – 1957 – La productivité des forêts de Pin d'Alep en France. – *Annales de l'école nationale du génie rural des eaux et des forêts, t. XV, (2), p. 365-414*

PAUSAS (J.G.), OUADAH (N.), FERRAN (A.), GIMENO (T.), VALLEJO (R.) – 2003 – Fire severity and seedling establishment in *Pinus halepensis* woodlands, eastern Iberian Peninsula. – *Plant Ecology, n° 169, p. 205-213*

PEETERS (J.) & THIVOLLE-CAZAT (A.) – 2005 – Le pin d'Alep en région Provence-Alpes-Côte-d'Azur : Etude prospective de la ressource et mécanisation de la récolte. – *AFOCEL, fiche informations forêt n° 717, 6 p.*

PICHARD – 1988 – Régénération artificielle des chênes par semis directs – *Cemagref Nogent-sur-Vernisson, Rapport de stage BTS, 32 p. + 13 p.*

PLAISANCE (G.) – 1965 – Eclairement optimum des semis de chêne. – *Revue scientifique du Bourbonnais, p. 33-45*

QUÉZEL (P.) – 1986 – Les pins du groupe « halepensis » : écologie, végétation, écophysiologie. – *In : Options méditerranéennes. Le pin d'Alep et le pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne. CIHEAM, 1986, t. 1, p. 11-19*

QUÉZEL (P.) & BARBERO (M.) – 1992 – Le pin d'Alep et les espèces voisines : répartition et caractères écologiques généraux, sa dynamique récente en France méditerranéenne. – *Marseille. Forêt méditerranéenne, t. XIII, (3), p. 158-170*

RIPERT (C.) & VENNETIER (M.) – 2001 – Croissance et écologie du pin d'Alep en France. Rapport final. – *Cemagref Aix-en-Provence, 38 p.*

RIPERT (C.) & VENNETIER (M.) – 2002 – Évaluation des potentialités forestières – *in Guide technique du forestier méditerranéen français, Cemagref, chap. 2 bis, 61 p.*

ROUSSEL (L.) – 1972 – Photologie forestière. – *Masson, Paris, 139 p.*

SCARASCIA MUGNOZZA (G.) – 1986 – Recherches sur l'écophysiologie de *Pinus halepensis* Mill. – *In : Options méditerranéennes. Le pin d'Alep et le pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne. CIHEAM, 1986, t. 1, p. 89-97*

THIBAUT (B.), LOUP (C.), CHANSON (B.), DILEM (A.) – 1979 – La valorisation du pin d'Alep en zone méditerranéenne française. – *Marseille. Forêt méditerranéenne, t. I, (1), p. 19-24*

THOMAS (M.) & PEETERS (J.) – 2006 – Evolution spatiotemporelle des surfaces de pin d'Alep en PACA – *AFOCEL, fiche informations forêt n° 730, 6 p.*

TRABAUD (L.) – 1994 – Postfire plant community dynamics in the Mediterranean basin. – *In MORENO (J.M) & OECHEL (C.), The role of fire in Mediterranean-type ecosystems, Springer-Verlag, Berlin, p. 1-15*

TRABAUD (L.), MARTINEZ-SANCHEZ (J.J.), FERRANDIS (P.), GONZALES-OCHOA (A.I.) & HERRANZ (J.M.) – 1997 – Végétation épigée et banque de semences du sol : leur contribution à la stabilité cyclique des pinèdes mixtes de *Pinus halepensis* et *P. pinaster*. *– Can. J. Bot., n° 75, p. 1012 -1021*

VUILLEMIN (J.) – 1978 – La régénération des chênes méditerranéens : *Quercus ilex* et *Quercus pubescens.* Données écophysiologiques. Développement des plantules dans quelques groupements végétaux des environs de Nice. *– Marseille III, rapport de DEA, 31 p. + annexes*

VUILLEMIN (J.) – 1980 – Etude expérimentale de la régénération de deux chênes méditerranéens : *Quercus pubescens* et *Quercus ilex* : Recherche d'indicateurs du développement des semis. Ecophysiologie comparée des deux espèces. *– Aix-Marseille, Faculté des sciences et techniques de St Jérôme, (thèse de doctorat en écologie méditerranéenne), 126 p. + 14 p.*

VUILLEMIN (J.) – 1980 (2) – Etude de quelques problèmes liés à la régénération naturelle des chênes méditerranéens : Quercus ilex et Quercus pubescens. *– In : Structure, dynamique et utilisation des formations à chêne pubescent en zone bioclimatique méditerranéenne. – Rapport DGRST, p. 159-169*

Contacts

AYMÉ Jean, Conseiller municipal – Mairie de Barbentane – 04 90 90 85 85 – contact.mairie@barbentane.fr

BATAILLE Sébastien, Agent – ONF – 04 90 15 46 65 – sebastien.bataille@onf.fr

BERTAUD Gilles, Entrepreneur – 04 90 95 55 92 – bertaud.gilles@wanadoo.fr

BIBIANO Régis, Ingénieur forestier – ONF STIR – 04 90 89 32 39 – regis.bibiano@onf.fr – ONF STIR, 1175, Chemin Lavarin, 84000 Avignon

BOUSQUET-MÉLOU Anne, Docteur ès sciences – IMEP – 04 91 28 88 43 – anne.bousquet-melou@up.univ-mrs.fr, Facultés des Sciences St-Jérôme, Boite 421bis, 13397 Marseille cedex 20

ESTEVE Roland, Technicien – CEMAGREF Aix-en-Provence, UR Ecosystèmes méditerranéens et risques, 3275 Route de Cézanne – CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5– 04 42 66 99 79 – roland.esteve@aix.cemagref.fr

FABRIZZIO Mazzobel, Entrepreneur – Compagnie des forestiers – 04 42 92 83 27 – contact@lacompagniedesforestiers.com – 33 avenue Jean Monet 13410 LAMBESC

FERNANDEZ Catherine, Docteur ès sciences – IMEP – 04 91 28 89 43 – Facultés des Sciences St-Jérôme, Boite 421bis, 13397 Marseille cedex 20 – catherine.fernandez@up.univ-mrs.fr

KMIEC Lionel, Technicien – Cellule brûlage dirigé, ONF Vaucluse – 04 90 04 72 91 – ONF, Unité Teritoriale du Luberon, cellule de brûlage dirigé du Vaucluse – 104, avenue des Druides 84 400 APT

MARTIN Willy, Technicien – CEMAGREF Aix-en-Provence, UR Ecosystèmes méditerranéens et risques, 3275 Route de Cézanne – CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5 – 04 42 66 99 71 – willy.martin@aix.cemagref.fr

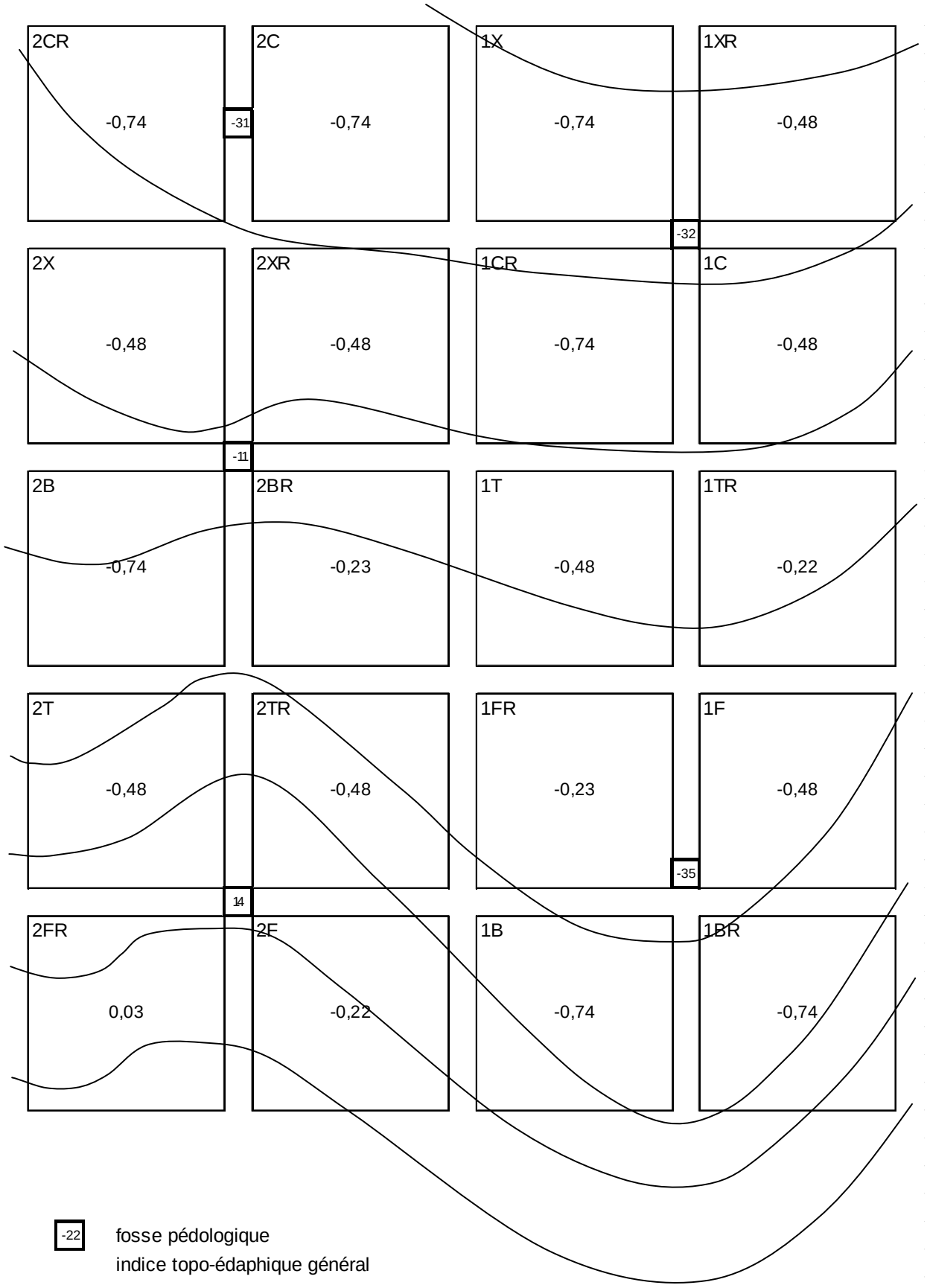
PRÉVOSTO Bernard, Ingénieur de recherche – CEMAGREF Aix-en-Provence, UR Ecosystèmes méditerranéens et risques, 3275 Route de Cézanne – CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5 – 04 42 66 99 62 – bernard.prevosto@aix.cemagref.fr

RIPERT Christian, Ingénieur de recherche – CEMAGREF Aix-en-Provence, UR Ecosystèmes méditerranéens et risques, 3275 Route de Cézanne – CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5 – 04 42 66 99 79 – christian.ripert@aix.cemagref.fr

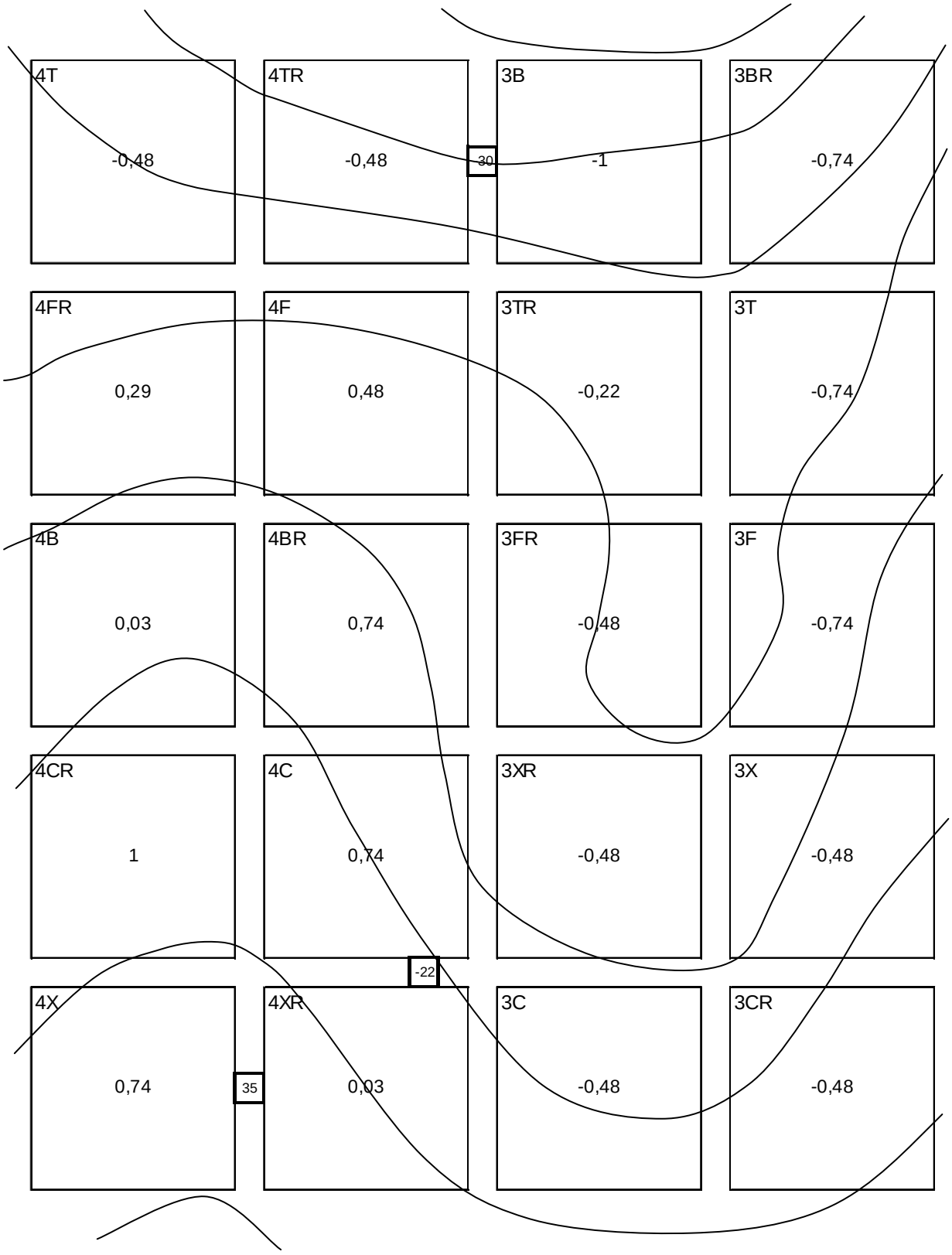
ROCHE Philip, Ingénieur de recherche – CEMAGREF Aix-en-Provence, UR Ecosystèmes méditerranéens et risques, 3275 Route de Cézanne – CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5 – 04 42 66 99 62 – philip.roche@aix.cemagref.fr

ANNEXES

Annexe 1.1 : Description stationnelle du dispositif. Blocs 1 et 2.



Annexe 1.2 : Description stationnelle du dispositif. Blocs 2 et 3.



-22 fosse pédologique

-0,48 Indice topo-édaphique relatif
indice topo-édaphique général

courbe de niveau

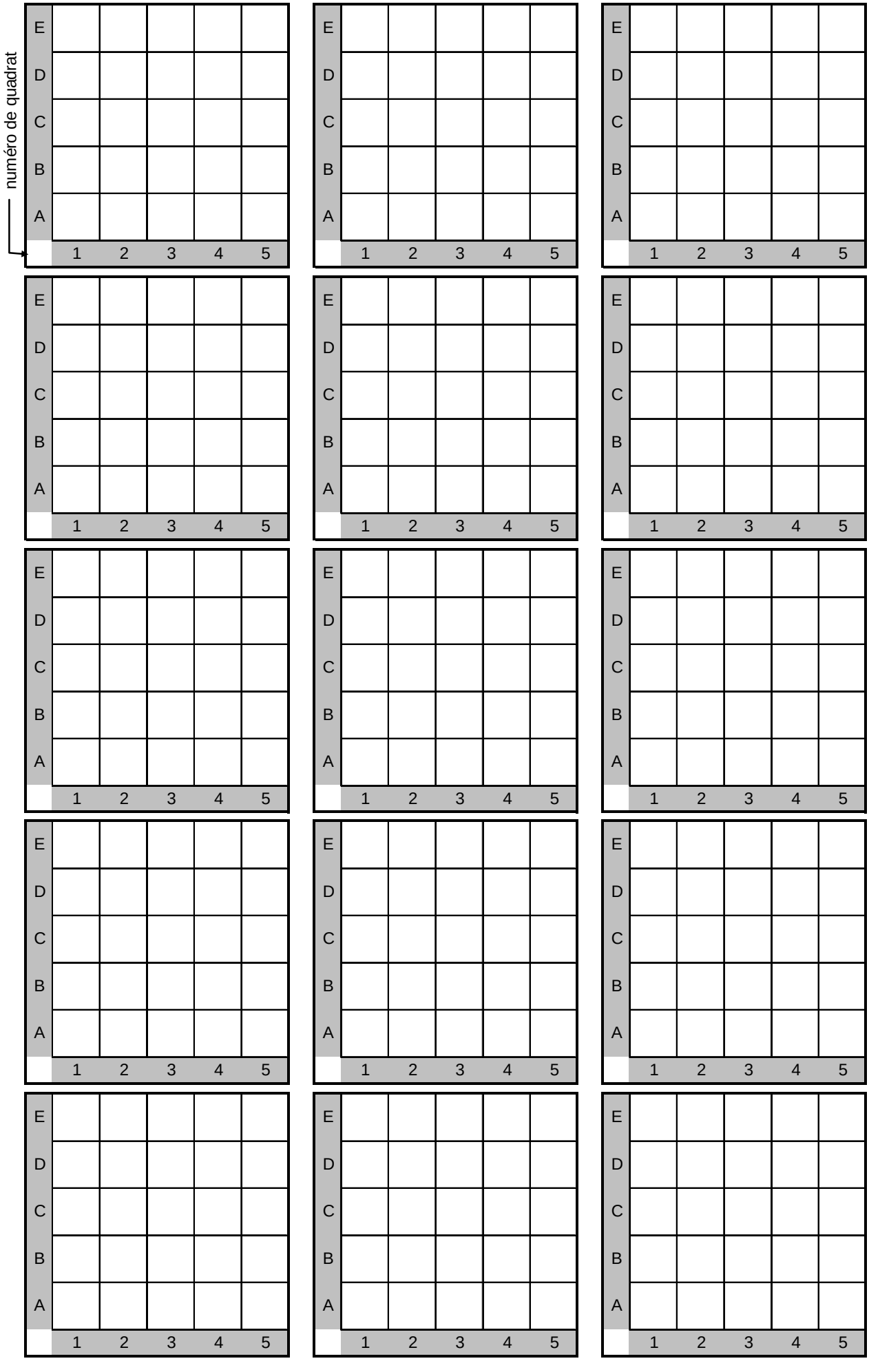
Les courbes de niveau, n'ayant qu'un rôle indicatif et construites de manière approximative, sont espacées de 2,5 m environ.

N

Annexe 2 : Fiche de terrain, cartographie des semis de pin d'Alep.

Barbentane Auteurs : date : Parcelle :

Observation des semis



Annexe 3 : Fiche de terrain, description de l'état de la surface des quadrats.

Date **Auteurs**

Recouvrement des quadrats de 1m2 (coef Braun-blanquet)

Modalité

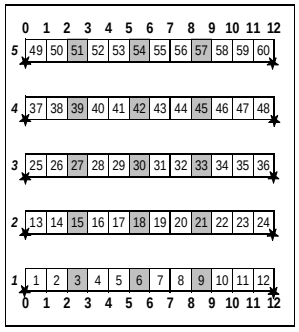
1 (présence); **2**: <5 ; **3** : [5-25[; **4** : [25-50[; **5** : [50-75[; **6** : [75-100[

1☐ 1à 6 ☐ 6 à 13 ☐ 13 à 19 ☐ 19 à 25☐

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
N°Quadrat															
brûlé															
Sol nu + couche humique															
Cailloux/roche															
Cônes nb															
Mousse															
Broyat gros >=2cm															
Litière															
Broyat fin <2cm															
Herbacée verte															
Ligneux bas vert															
Espèces [1]															
Topo Générale															
Topo Locale															
Observations															

Echantillonnage des quadrats: normalement entre 2-3m, 5-6m, 8-9m soit 3ième, 6ième, 9ième quadrat pour la ligne1
décaler si pb comme souche, arbre… cocher les quadrats choisis

repérage des quadrats : il y a un repére en début de ligne et fin de ligne, distant de 12 m, figuré ici par des étoiles ; on commence toujours par la ligne 1, le 0 du décamètre doit Toujours être côté gauche ou Est



% de brûlé : cas des modalités avec brûlage, indiquer le %
Litière: aiguilles, feuilles, herbe sèches
Broyat : morceaux ligneux, branches, troncs ; brûlé : charbon
Topographie : **générale** (versant, bas pente, haut pente, sommet/croupe, vallon)
locale (plan, convexe, concave)
Observation: noter l'épaisseur des rémanents dans témoin avec rémanents

1 : espèce : par ordre dominance

AA asperge	HS helianthème	Ql ch Vert	TV thym
AO amélanchier	HH lierre	QP ch Blanc	UP ulex p
BS buxus S	LA lavandula l	RA alaterne	VT viorne tin
CA cistus albidu	LC leuzea C	RO romarin	
CC kermes	LI lonicera imple	RC rosier	
CF clematis flam	JO cade	RP garance	
CM cistus mons	OE oléastre	Ru ronce	
Cr aubépine	PA philyrea a	SA sedum	
DP dorycnium p	PB psorelle b	TP teucrim pol	
FT fumana	PL philyrea l	SM smilax a	

Annexe 4 : Fiche de relevé des semis de chêne.

t1 : 27/06/2006	t2 : Auteur:	t3 : Auteur :	t4 : Auteur :

Modalité		Quadrat	Nb glands germés	Mortalité		nb de semis vivants				H 1 (hauteur du semis n°1 en mm)				D 1 (diamètre du semis n°1 en mm)				H 2				H 3				Observations
				P	NG	t1	t2	t3	t4	t1	t2	t3	t4	t1	t2	t3	t4	t1	t2	t3	t4	t1	t2	t3	t4	
1 B	Chêne Blanc	2	2			2				60				-				50								
		8	1			1				50				-												
		14	2			2				50				-				30								
		20	1			1				70				-												*
		26	4			3				80				-												*
		32	2			2				60				-				50								
		38	1			0				70				-												mort
		44	1			1				105				-												*
		50	2			0				180				-				70								mort
		56	2			0								-												
	Chêne Vert	5	3			3				70				-				50				40				
		11	2			2				60				-				60								
		17	2			2				40				-				35								
		23	1			1				60				-												*
		29	0		3	0								-												
		35	2			2				65				-				50								
		41	2			2				70				-				50								
		47	0		3	0								-												
		53	2			1				50				-				40								mort
		59	2		3	2				55				-				55								
1 FR	Chêne Blanc	2	1			1				70				-												
		8	2			0				80				-				30								mort
		14	2			0				80				-				60								mort
		20	3			2				55				-				50								
		26	3			3				50				-				65				80				
		32	3			3				60				-				60				50				
		38	3			3				70				-				60				50				
		44	2			2				60				-				50								
		50	2			2				50				-				40								
		56	3			3				65				-				40				45				
	Chêne Vert	5	1			1				35				-				40								
		11	2			0				40				-				55								
		17	2			0				70				-												
		23	3			2				45				-				50								
		29	3			3				80				-				70				10				
		35	3			3				30				-				50								
		41	3			3				70				-				50				50				
		47	2			2				50				-				60								
		53	2			2				50				-												
		59	3			3				50				-				50				45				

Annexe 5.1 : Fiche de description de l'environnement des chênes.

Date : Auteur : Modalité : Type de chêne : Chêne Blanc □ / Chêne vert □

ENVT LOINTAIN					
	herbacées			Quadrat :	
	esp1 :			Nb chênes vivants :	
	esp2 :				
	autre(s)				
	ligneux		**H (cm)**	**P**	**Observations**
	esp1 :				
	esp2 :				
	autre(s)				

↕ recouvrements ↓

ENVT PROCHE					
	herbacées		**sol nu**		**gros broyat**
	esp1 :		**cailloux**		**broyat fin**
	esp2 :		**mousse**		
	autre(s)				
	ligneux		**H (cm)**	**P**	**Observations**
	esp 1 :				
	esp 2 :				
	autre(s)				

ENVT LOINTAIN					
	herbacées			Quadrat :	
	esp1 :			Nb chênes vivants :	
	esp2 :				
	autre(s)				
	ligneux		**H (cm)**	**P**	**Observations**
	esp1 :				
	esp2 :				
	autre(s)				

↕ recouvrements ↓

ENVT PROCHE					
	herbacées		**sol nu**		**gros broyat**
	esp1 :		**cailloux**		**broyat fin**
	esp2 :		**mousse**		
	autre(s)				
	ligneux		**H (cm)**	**P**	**Observations**
	esp 1 :				
	esp 2 :				
	autre(s)				

ENVT LOINTAIN					
	herbacées			Quadrat :	
	esp1 :			Nb chênes vivants :	
	esp2 :				
	autre(s)				
	ligneux		**H (cm)**	**P**	**Observations**
	esp1 :				
	esp2 :				
	autre(s)				

↕ recouvrements ↓

ENVT PROCHE					
	herbacées		**sol nu**		**gros broyat**
	esp1 :		**cailloux**		**broyat fin**
	esp2 :		**mousse**		
	autre(s)				
	ligneux		**H (cm)**	**P**	**Observations**
	esp 1 :				
	esp 2 :				
	autre(s)				

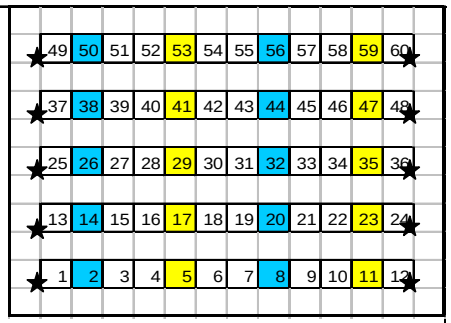
ENVT LOINTAIN					
	herbacées			Quadrat :	
	esp1 :			Nb chênes vivants :	
	esp2 :				
	autre(s)				
	ligneux		**H (cm)**	**P**	**Observations**
	esp1 :				
	esp2 :				
	autre(s)				

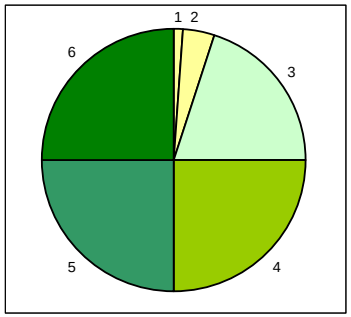
↕ recouvrements ↓

ENVT PROCHE					
	herbacées		**sol nu**		**gros broyat**
	esp1 :		**cailloux**		**broyat fin**
	esp2 :		**mousse**		
	autre(s)				
	ligneux		**H (cm)**	**P**	**Observations**
	esp 1 :				
	esp 2 :				
	autre(s)				

chêne blanc

chêne vert





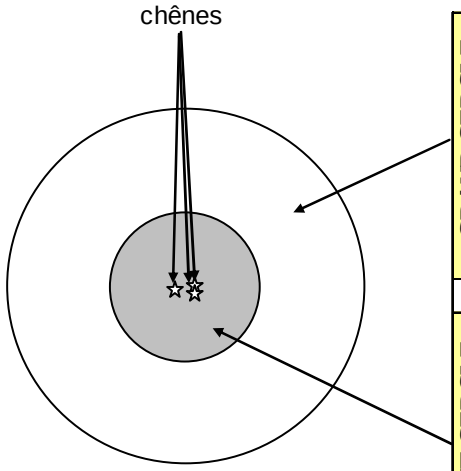
Recouvrements

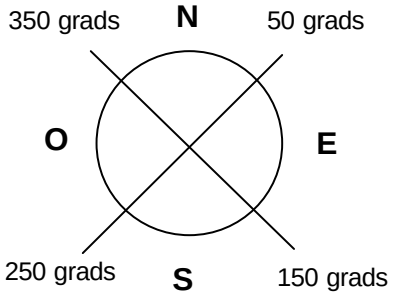
0 : absence / 1 : présence anecdotique / 2 : <5% / 3 : 5-25% / 4 : 25-50% / 5 : 50-75% / 6 : 75-100%

Annexe 5.2 : Notice explicative de la fiche de description de l'environnement des chênes.

Notice explicative fiche de description de l'environnement des chênes

Les cercles delimitant les surfaces décrites sont centrés sur le barycentre des positions des chênes.
Les cercles font 20 cm et 50 cm de diamètre.





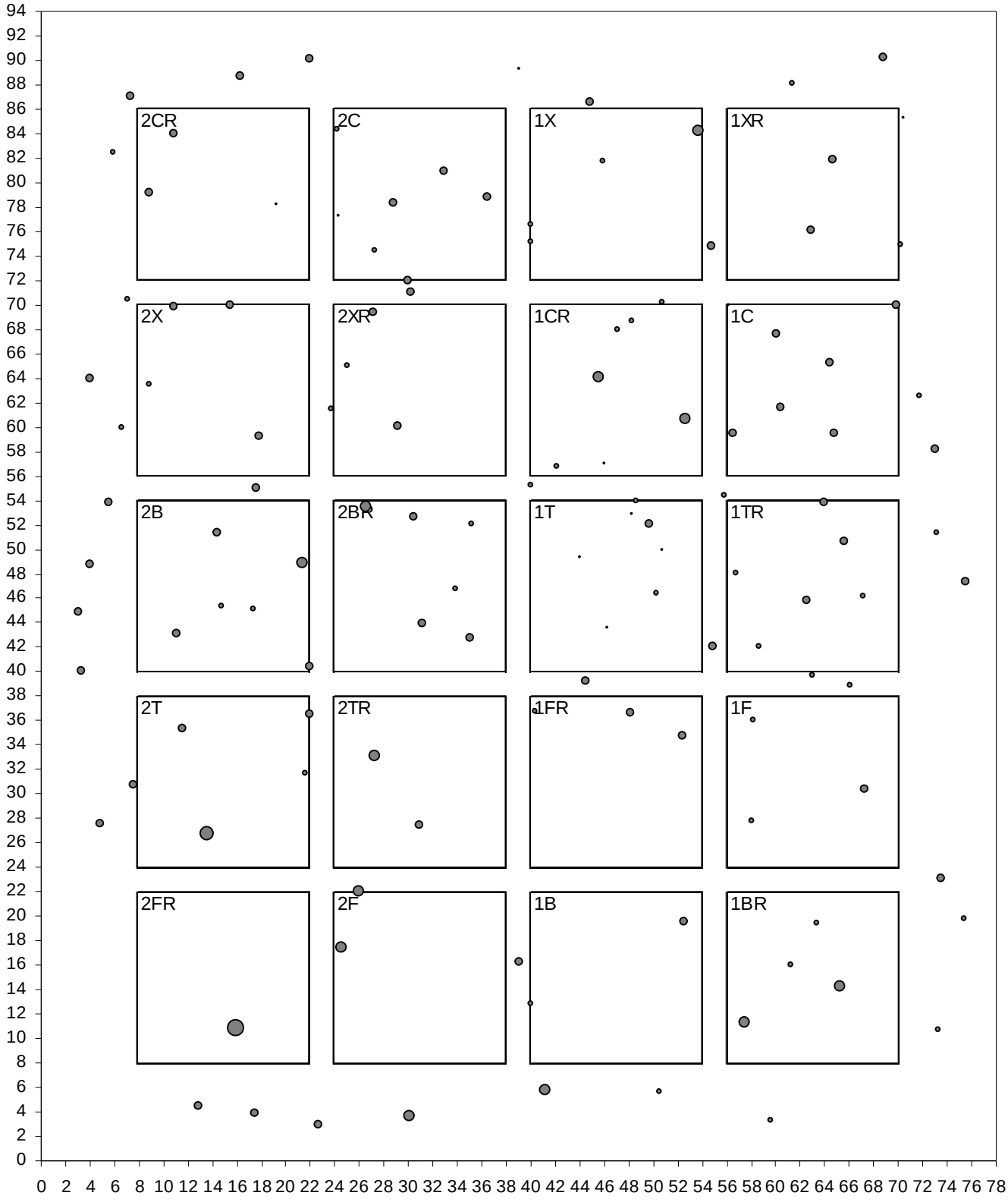
GRAND CERCLE	**herbacées**	(1)			Quadrat :	
	esp1 : (4)	(1)			Nb chênes vivants :	
	esp2 : (4)	(1)				
	autre(s)	(1)				
	ligneux	(1)	**H (cm)**	**P**	**Observations**	
	esp1 : (4)	(1)	(2)	(3)		
	esp2 : (4)	(1)	(2)	(3)		
	autre(s)	(1)	(2)	(3)		
↕ recouvrements						
PETIT CERCLE	**herbacées**	(1)				
	esp1 : (4)	(1)	**sol nu**	(1)	**gros broyat**	(1)
	esp2 : (4)	(1)	**cailloux**	(1)	**broyat fin**	(1)
	autre(s)	(1)				
	ligneux	(1)	**H (cm)**	**P**	**Observations**	
	esp1 : (4)	(1)	(2)	(3)		
	esp2 : (4)	(1)	(2)	(3)		
	autre(s)	(1)	(2)	(3)		

Exemple :

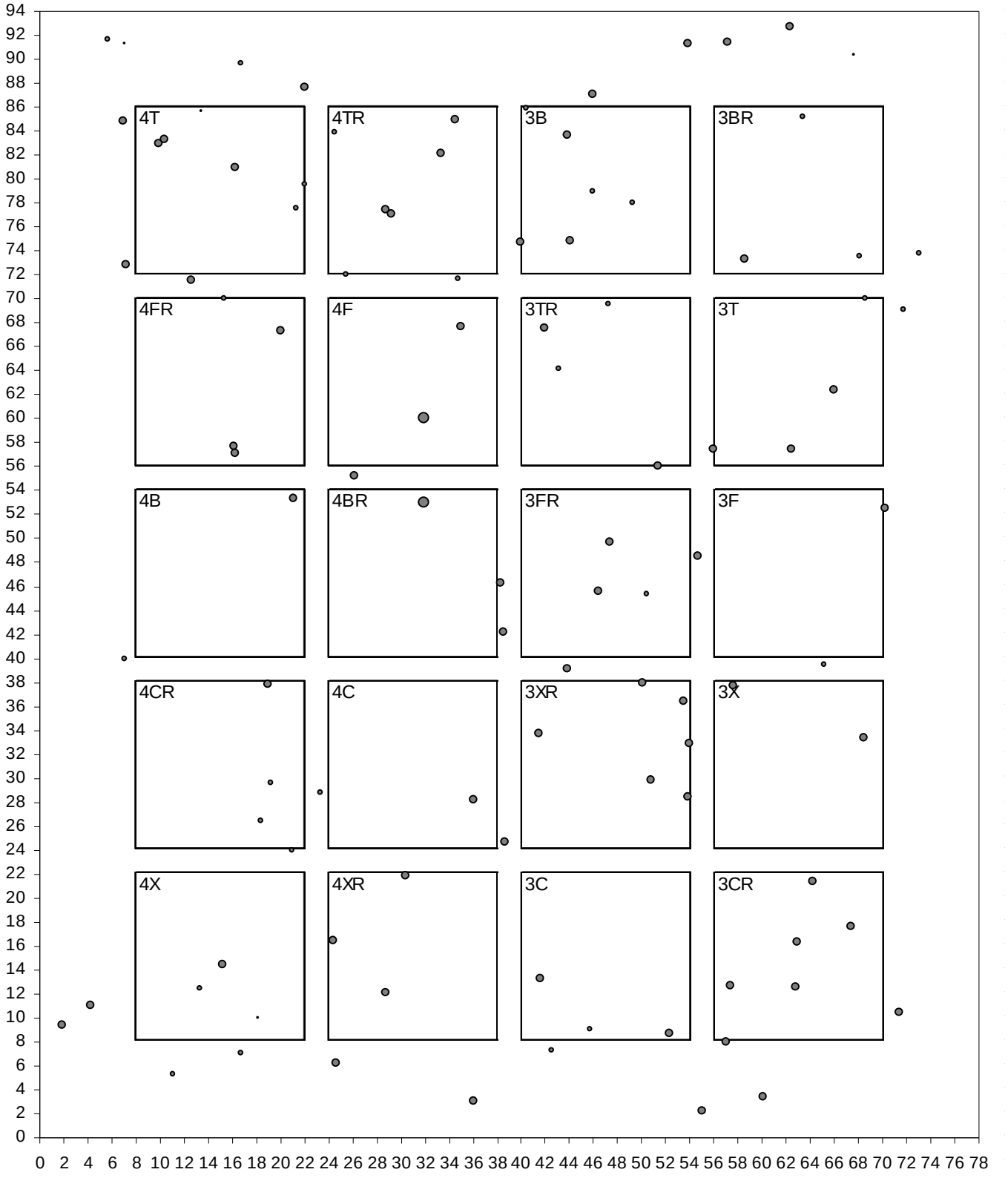
GRAND CERCLE	**herbacées**	3			Quadrat :	xx
	esp1 : BR	3			Nb chênes vivants :	2
	esp2 : -	-				
	autre(s)					
	ligneux	3	**H (cm)**	**P**	**Observations**	
	esp1 : CC	3	25	NNE		
	esp2 : RP	3	7	S		
	autre(s)	1	5	O		
↕ recouvrements						
PETIT CERCLE	**herbacées**	3				
	esp1 : BR	3	**sol nu**	1	**gros broyat**	3
	esp2 : -	-	**cailloux**	2	**broyat fin**	3
	autre(s)					
	ligneux	0	**H (cm)**	**P**	**Observations**	
	esp 1 :	-	-	-		
	esp 2 :					
	autre(s)					

(1) : pourcentage de recouvrement, en projection verticale à la suface du sol noté en utilisant les classes d'abondance - dominance
(2) : pour chaque espèce ligneuse, hauteur maximale atteinte par rapport au sol et à la verticale des surfaces considérées (disque inscrit dans le petit cercle ou surface comprise entre le grand cercle et le petit cercle)
(3) : pour chaque espèce ligneuse, position occupée par rapport aux chênes (N,S,E,O)
(4) : préciser le nom le l'epèce (code à 2-3 lettres)

Annexe 6.1 : Localisation des semenciers sur le dispositif expérimental. Blocs 1 et 2.



Annexe 6.1 : Localisation des semenciers sur le dispositif expérimental. Blocs 3 et 4.



Annexe 7.1 : Fiche de description pour l'analyse stationnelle pin d'Alep.

ANALYSE DU MILIEU fiche de relevé de terrain (Pin d'Alep)

Relevé n°	
Date: / /	
Auteurs: / /	
Carte IGN : n° / lettre	

Petite région naturelle :	
Commune (département) :	**Altitude (m) :**

Sur le terrain

Topographie générale : (circulation de l'eau)

Plaine=**1** vallée=**2** vallon=**3** plateau=**4** replat=**5** sommet=**6**
haut de pente=**7** mi-pente=**8** bas-pente=**9** croupe=**10**

Sur carte

Expo grd versant dénivelé >400-500m, pentu, crête >4-5 km

Expo petit versant

N=**1** NE=**2** E=**3** SE=**4** S=**5** SW=**6** W=**7** NW=**8** toutes=**9**

Sur carte :

Position sur le versant haut **7**, mi **8**, bas-versant **9**

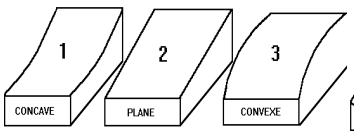
Distance à la crête, bord plateau, base falaise (10 en 10 m)

Sur le terrain

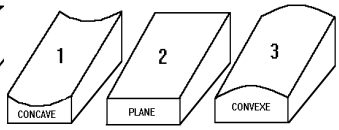
Exposition de la station : grades (500 = toutes)

Pente : degrés	**Confinement** : degré	
IKR < 0,8 froid ……..	0,95 < IKR < 1,05 neutre…….	IKR > 1,10 chaud…….

topographie stationnelle longitudinale



topographie stationnelle transversalle



Remarque :

Roche en place Nom de la Carte géologique

Roche observée (code géologique):				
Affleurement rocheux (%) : 0 = **0** 1 à 10 % = **1** 10 à 30 % = **2** 30 à 100 % =**3**				
Réaction HCl roche : nulle = **0** visible = **1** forte = **2**				
Pendage/Pente* : ? = **0** défavorable =**1** intermédiaire = **2** favorable = **3** sans objet =**9**				
Pendage/Courbe de niveau* : ? = **0** défavorable = **1** intermédiaire = **2** favorable = **3** sans objet = **9**				
Epaisseur strates* : ? = **0** jointif =**1** millimétrique =**2** centimétrique =**3** décimétrique =**4** métrique =**5** sans objet =**9**				
Epaisseur inter-strates* : ? = **0** jointif =**1** millimétrique =**2** centimétrique =**3** décimétrique =**4** métrique =**5** sans objet =**9**				
Fissuration *densité (nb/1 m)* *			Fracturation, diaclases *densité (nb/1 m)* *	
(sens des strates) *largeur*			*(⊥ aux strates)* *largeur*	

fissuration* ? =**0** absence =**1** faible 0-5 =**2** moyen 5-15 =**3** très forte >15 =**4** /// Fracturation* ? =**0** absence =**1** faible 1-2 =**2** moyen 3-4 =**3** très forte >5 =**4**

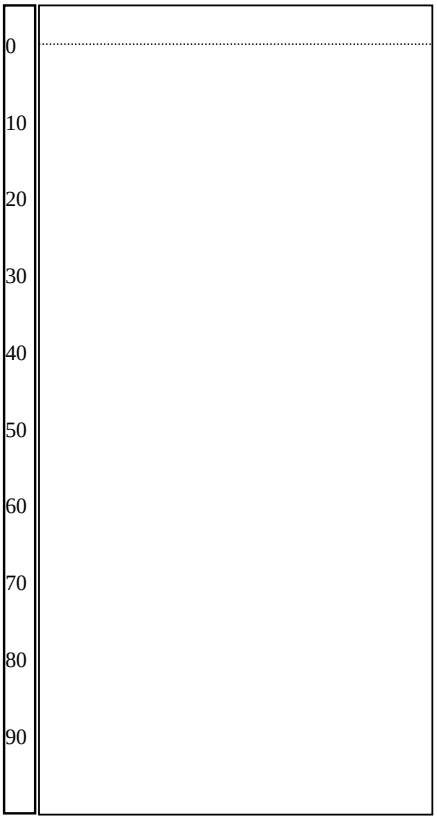
Matèriau

Formation superficielle : (roche mère nue **1** altération **2** [colluvion **3**; alluvion **4**; éboulis **5** **si >= 30 cm]** restanque =**6** lapiaz **7**			
Formation sous-jacente : roche mère =**1** altération =**2** colluvion =**3** alluvion =**4** éboulis =**5** lapiaz =**7**			
Altérite *épaisseur (cm)*		**Matériau** *nature (origine)* *	
en place *débit (voir taille des éléments grossiers)*		**Allochtone** *épaisseur (cm)*	

*Nature : calc.ind? **10**; Calc.dur **11**; calc.argileux/marneux **12**; calc gréseux **13**; Marneux **20**; Grèseux **30**; gneissique **140**; *(voir code roches)*

Affl. cailloux S/litière : 0 =**0** 1 à 10 % =**1** 10 à 30 % =**2** 30 à 100 % =**3**					
5 Tests tarières *(5 en 5 cm)*	*dessus trou::*				
Anthropisation: nuls =**0** faible (épierrage) =**1** moyen (débroussaillage)=**2** fort (banquette) =**3**					

Matériau			**Terre fine**						**Eléments grossiers**				
Type	*Epaisseur*	*Horizon*	*hcl*	*S*	*L*	*A*	*structure*	*compacité*	*taille*	*%*	*nature*	*dureté*	*racines*



Texture (*S, L, A*): absent = **0** présent = **1** dominant = **2**

Structure : non construit =**1** polyédrique = **2** grumeleux = **3**

Compacité : (enfoncement d'une lame Opinel n°10 dans les matériaux terreux) : non mesurable = **0** entière et facilement = **1** entière en forçant = **2** à ½ = **3** la pointe seulement = **4** dans les matériaux caillouteux ou rocheux : évaluation à la pioche avec la même échelle : **0 1 2 3 4**

Eléments grossiers.- **taille :** matériau fin sans élément grossier = **0** altérite de roche fluide sans élément grossier = **9** (ex : marne) G et GC = **1** C/ CP/GCP = **2** P/PB/CPB =**3** B =**4**; GCPB =**5** roche en place =**6** Plaquettes =**7** Plaques =**8** feuillets =**10**

Eléments grossiers - **%** : 0 =**0** 1-10 % =**1** 10-30 % =**2** 30-60 % =**3** 60-90 % =**4** > 90 % =**5**

Eléments grossiers - **dureté :** dur = **1** Cassable, Tendre, Altérés = **2** mixte = **3**

Racines (< 2mm) / dm²: 0 à 3 = **0** 3 à 15 = **1** 15 et + = **2**

Remarques : .....

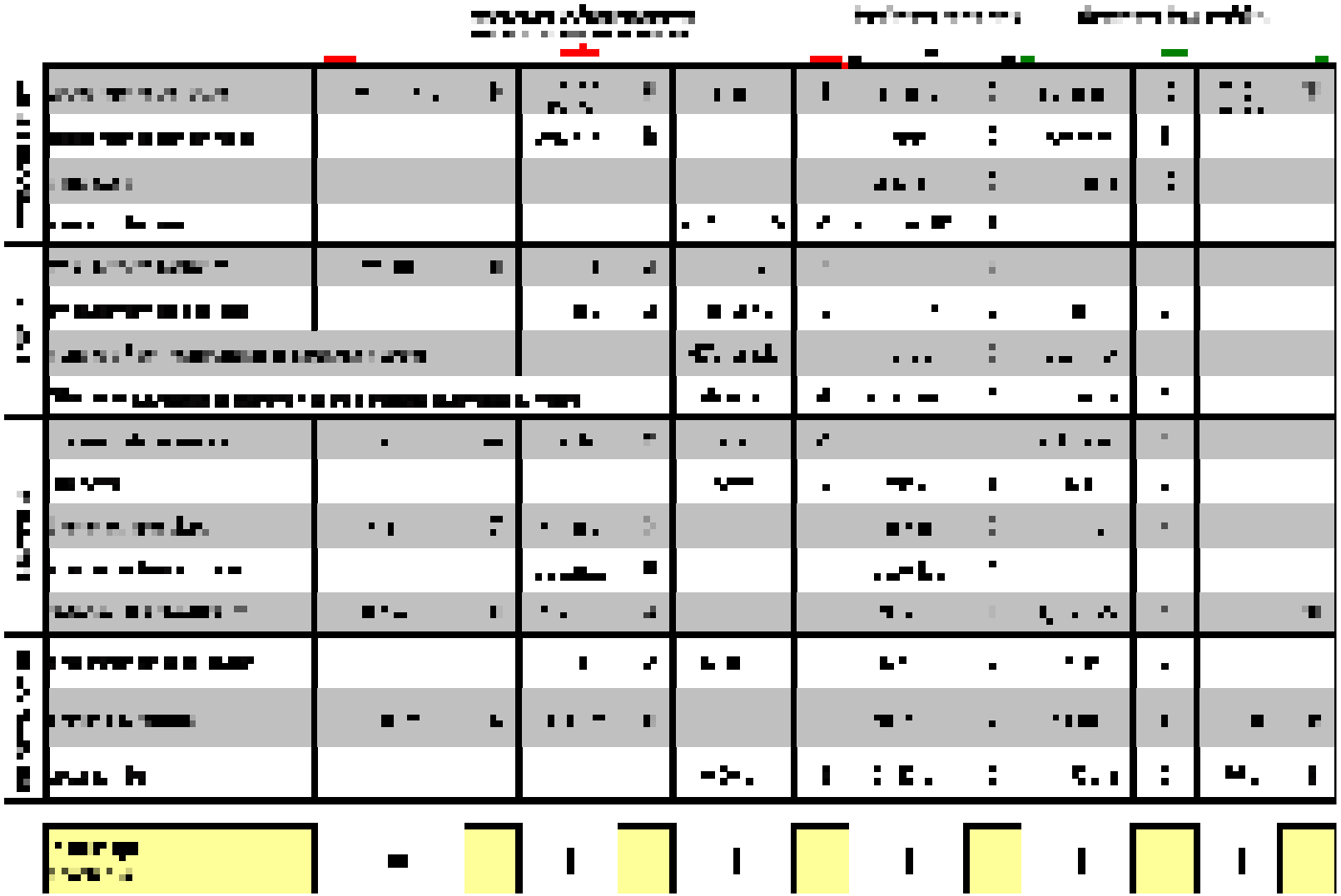
……

……

* **0** = nul, absent ou non observé **9** = sans objet

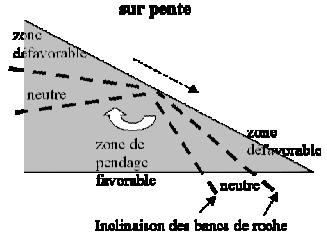
Annexe 7.2 : Fiche des coefficients permettant le calcul de l'indice topo-édaphique pour l'évaluation des potentialités forestières.

Calcul de l'Indice topo-édaphique pour l'évaluation de la productivité forestière



* détermination du pendage

sur pente



sur terrain plat

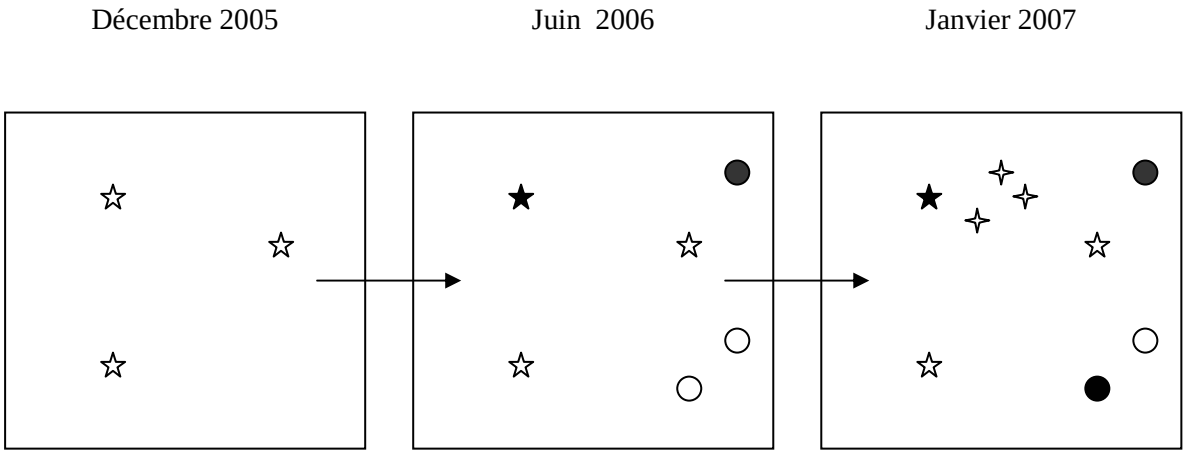


** réserve utile / texture

composition texturale			codage de la composition texturale			réserve utile en mm/cm
sable	limon	argile	S	L	A	
0	0	0				
		1				
		2	0	0	2	1.75
	1	0				
		1	0	1	1	1.85
		2	0	1	2	1.8
	2	0	0	2	0	1.5
		1	0	2	1	1.95
		2	0	2	2	1.85
1	0	0				
		1	1	0	1	1.55
		2	1	0	2	1.7
	1	0	1	1	0	1.3
		1	1	1	1	2
		2	1	1	2	1.75
	2	0	1	2	0	1.45
		1	1	2	1	1.82
		2	1	2	2	1.78
2	0	0	2	0	0	0.7
		1	2	0	1	1.35
		2	2	0	2	1.55
	1	0	2	1	0	1
		1	2	1	1	1.5
		2	2	1	2	1.6
	2	0	2	2	0	1.3
		1	2	2	1	1.6
		2	2	2	2	2

Annexe 8 : Principe de suivi des semis de pin d'Alep par cohortes.

Évolution de la régénération sur un quadrat à trois instants successifs.



Décembre 2005	Juin 2006	Janvier 2007
3 semis vivants 3 semis apparus	4 semis vivants 3 semis apparus 2 semis survivants	6 semis vivants 3 semis apparus 3 semis survivants (dont 2 de Décembre 2005)

☆ Semis déjà présent en Décembre 2005

○ Semis non présent en Décembre 2005 mais présent en Juin 2006

✧ Semis non présent en Juin 2006 mais présent en Janvier 2007

☆ Semis vivant

★ Semis mort

Résumé

Les gestionnaires rencontrent des difficultés pour régénérer les peuplements de pin d'Alep arrivés à maturité. En effet, dans ces peuplements, la régénération est souvent absente. Cette étude vise à leur fournir des solutions en testant différents travaux de la végétation et du sol après coupe : non intervention, broyage, brûlage dirigé, broyage plus crochetage simple, broyage plus crochetage double. Nous possédons également peu de connaissances sur les effets des rémanents en forêt méditerranéenne. Des sous-modalités avec et sans rémanents sont combinées avec les traitements pour tester l'impact de ces derniers. Par ailleurs, l'installation de chênes vert et pubescent dans les peuplements purs de pin d'Alep est intéressante pour le forestier. Les effets des traitements listés ci-dessus sont testés sur l'installation de semis de chênes.

Pour comprendre comment agissent les traitements sur la régénération du pin d'Alep et sur les semis de chênes, les modifications du milieu qu'ils engendrent sont prises en compte.

Abstract

Forest managers have difficulties to regenerate old *Pinus halepensis* stands. Indeed there are often no seedlings in theses stands. This study aims to find solutions by testing different reforestation techniques after thinning: control, mechanical clearing, prescribed burning, mechanical clearing plus simple scarification, mechanical clearing plus crossed scarification. Moreover, knowledge about slash effects is rare in mediterranean forests. That's why slash presence has been combined with treatments. Establishment of *Quercus ilex* and *Quercus pubescens* in monospecific stands of *Pinus halepensis* is interesting for the forester. Effects of treatments have been tested on oaks establishment by sowing.

Environment variations have been taken into account in order to understand the effects of vegetation and soil treatments.