

Projet d'élaboration d'un manuel de gestion des Pinaies à crochets

Préétude dans le contexte des Pyrénées Orientales



Etat des lieux des pratiques sylvicoles

Elaboration d'une typologie de peuplements

Proposition d'un schéma architectural de guide de gestion



Pierre DEMANGEAT
Formation des Ingénieurs Forestiers
15^{ème} promotion
2004 / 2007

Mémoire de fin d'études
Juin 2007



FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE FIF

FIF-ENGREF	TRAVAUX D'ÉLÈVES
TITRE: Projet d'élaboration d'un manuel de gestion des Pinaies à crochets, préétude dans le contexte des Pyrénées Orientales	Mots clés: Pin à crochets, guide de sylviculture, gestion multifonctionnelle, typologie de peuplements
AUTEUR(S): Pierre DEMANGEAT	Promotion: FIF 15
Caractéristiques: 51 pages, 33 figures, 19 pages d'annexes, bibliographie: 5 pages	

CADRE DU TRAVAIL		
ORGANISME PILOTE: OFFICE NATIONAL DES FORETS, Agence des Pyrénées Orientales Nom du responsable: Stéphane NOUGUIER Fonction: Responsable Unité Spécialisée Aménagement		
Nom du correspondant ENGREF: Eric LACOMBE		
Tronc commun <input checked="" type="checkbox"/>	Stage en entreprise <input type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>
Option <input type="checkbox"/>	Stage étranger <input type="checkbox"/>	
Spécialité <input type="checkbox"/>	Stage fin d'études <input checked="" type="checkbox"/>	
Date remise:		
Contrat avec GREF Service Nancy OUI NON		

SUITE A DONNER (réservé au service des études)
non confidentiel confidentiel de façon permanente confidentiel jusqu'au / / puis non confidentiel

Résumé

Le département des Pyrénées Orientales renferme à lui seul plus de la moitié des peuplements de Pins à crochets français. La gestion de ces massifs est donc un enjeu primordial pour les forestiers locaux. Or, à ce jour très peu de documents existent qui traitent de cette problématique. Il est donc de première importance de construire un manuel à cet effet, qui permettra aux sylviculteurs et à tous les gestionnaires d'espaces naturels contenant des Pins à crochets de prendre les décisions les plus pertinentes.

L'objet de ce travail consiste à mettre en route l'élaboration d'un tel guide, en recensant toutes les études qui ont contribué à améliorer les connaissances actuelles sur cette essence, en proposant un schéma architectural de guide de gestion, et enfin en construisant un modèle typologique discriminant les peuplements de *Pinus uncinata*.

Abstract

The department of Pyrénées Orientales contains more than a half of the french populations of *Pinus uncinata*. Then managing these forests is a primordial stake for the local forestors. However, very few documents exist nowadays, which deal with these problems. Therefore, it is very important to build a new guide so as to help forest managers in their job. It would allow them to make appropriate decisions to manage those natural areas better.

The object of the present work consist in starting the elaboration of the guide, by taking a census of all studies which contributed to ameliorate knowledge of this species, by offering guide's architectural schema of management and finally by building a typology model to determinate Pines' populations.

Remerciements

Avant toute chose, je remercie chaleureusement Stéphane NOUGUIER, responsable de l'Unité Spécialisée Aménagement et Développement de l'Agence ONF de Perpignan, mon maître de stage, pour son aide, son soutien et le suivi attentif de mon travail pour lequel il a consacré un temps précieux.

Merci de même à Eric LACOMBE, qui a accepté le rôle de correspondant ENGREF et qui m'a beaucoup aidé tout au long du stage grâce à ses conseils et sa disponibilité.

Je remercie également :

Stéphanie FORESTIER, responsable de l'Unité Territoriale Cerdagne-Capcir, ainsi que toute l'équipe de l'UT, pour m'avoir assisté à l'occasion de la campagne d'inventaire préalable à la réalisation de la typologie de peuplements. Un grand merci à Laurent ANGEL, Jean-Luc COEN, Marc DELABRE, Jean-Marc FAYOLLE, Alain LE MOUILLOUR, Nicolas POINT, Serge PONCY, Bruno ROBERT, Jean SERVAT, Marcel TORRES et Jacques VOLLE.

Jean-Luc MARTIN, directeur de l'agence ONF de Perpignan, pour son attention constante et l'intérêt qu'il a porté à mon travail tout au long du stage.

Jean LADIER, chargé de développement technique ONF à la Direction Forêt de la Direction Territoriale Méditerranée, pour son appui et ses précieux conseils en matière d'analyse des données.

Régis BIBIANO, chargé de recherche ONF à la Direction Forêt de la DT Méditerranée, pour le suivi de mon travail et ses conseils.

Bernard KAZANDJIAN, responsable ONF du service d'appui technique et de la qualité à l'agence de Perpignan, pour sa collaboration et ses conseils.

Toute l'équipe SIG de l'agence de Perpignan, Bertrand AUBINEAU, Emilie GRES et Richard DREISKI, pour leur aide, leur disponibilité et leur collaboration active.

Olivier CONSTANTINI, chef de projet aménagement de l'USAD de Perpignan, pour ses conseils, son aide et sa disponibilité.

Hélène CHEVALLIER, ingénieur consultante, qui a bien voulu me faire part de son expérience et de ses conseils éclairés, et qui a accepté de faire partie du jury pour ma soutenance.

Toute l'équipe de l'Agence ONF de Perpignan pour son accueil.

Sommaire

Introduction 7

Chapitre I : Le Pin à crochets, une essence marginale ?..... 8

1. <i>Caractéristiques générales</i>	8
1.1. Le Pin à crochets au cours du temps	8
1.2. Le Pin à crochets dans l'espace : répartition géographique	8
1.3. Dendrologie, principaux caractères diagnostiques	8
1.4. Une essence rustique et plastique, aux facultés hors du commun	9
<i>1.4.1. Etages de végétation, altitude</i>	9
<i>1.4.2. Préférences vis à vis de l'ensoleillement</i>	10
<i>1.4.3. Préférences vis à vis de la température</i>	10
<i>1.4.4. Préférences vis à vis de l'hygrométrie</i>	10
<i>1.4.5. Préférences topographiques</i>	10
<i>1.4.6. Préférences pédologiques</i>	11
<i>1.4.7. Cortège floristique, végétation accompagnatrice</i>	11
1.5. Le Pin à crochets face aux maladies	12
1.6. Les habitats naturels du Pin à crochets	12
2. <i>Le Pin à crochets dans la chaîne pyrénéenne</i>	12
2.1. L'essence reine des Pyrénées	12
2.2. Le cas des Pyrénées Orientales	13
2.3. Pin à crochets et économie : la filière bois dans les Pyrénées Orientales	14
<i>Conclusion</i>	14

Chapitre II : Problématique et objectifs de l'étude..... 15

1. <i>Contexte et enjeux</i>	15
2. <i>Un projet transfrontalier</i>	15
3. <i>Objectifs et étapes du stage</i>	16

Chapitre III : La sylviculture du Pin à crochets, une approche empirique et fluctuante..... 17

1. <i>Une histoire chaotique</i>	17
1.1. Du début du siècle aux années 1960 : l'âge d'or du jardinage	17
1.2. Les années 1960 : une période de doute	17
1.3. La Directive Locale d'Aménagement de 1975 et l'abandon de la futaie jardinée	18
1.4. La Directive Locale d'Aménagement de 1991 : les premiers itinéraires de gestion	18
2. <i>La gestion du Pin à crochets dans les années 1990 : Etat des lieux des pratiques sylvicoles</i>	19
2.1. Régime et traitements sylvicoles : prudence et pragmatisme	19
2.2. Le renouvellement des peuplements : privilégier la voie naturelle	19
<i>2.2.1. Renouvellement des peuplements par voie de régénération naturelle</i>	19
<i>2.2.2. Régénération artificielle et plantation</i>	20

2.3. Des travaux d'entretien réduits au minimum	20
<u>2.3.1. Les travaux préparatoires à la régénération</u>	20
<u>2.3.2. La question des dépressages</u>	20
<u>2.3.3. Pertinence des élagages de pénétration</u>	21
<u>2.3.4. Les cloisonnements d'exploitation</u>	21
2.4. Les éclaircies, des interventions instinctives	21
<u>2.4.1. Modalités d'éclaircie pratiquées</u>	21
<u>2.4.2. Etude de trois cas : Barrès, Sainte Léocadie et Clavéra</u>	22
<u>2.4.3. Esquisse de tables de production</u>	23
2.5. Cubage et croissance des peuplements	23
<u>2.5.1. Un fort accroissement dans le jeune âge</u>	23
<u>2.5.2. Tarifs de cubage</u>	24
 3. Tendances actuelles : une sylviculture empirique et intuitive.....	 24
3.1. Le Pin à crochets et les autres essences pyrénéennes	24
3.2. Traitements sylvicoles : plus de flexibilité	25
3.3. Les peuplements réguliers : une sylviculture chaotique	25
<u>3.3.1. Régénération et renouvellement</u>	25
<u>3.3.2. Des adaptations nécessaires</u>	25
3.4. Les peuplements irréguliers : une sylviculture empirique souvent mal pratiquée	26
 Conclusion.....	 26
 Chapitre IV : Un guide de gestion pour des forêts multifonctionnelles	 27
<hr/>	
Introduction.....	27
1. Les différentes vocations des Pineraies à crochets.....	27
1.1. La notion d'exploitabilité, un préalable incontournable	27
1.2. La protection physique du milieu ou des enjeux humains ou économiques	28
1.3. La protection de la biodiversité	28
1.4. Le sylvopastoralisme, un enjeu local fort	28
1.5. La conservation des paysages et l'accueil du public	29
1.6. Contexte stationnel, diagnostic écologique du milieu	29
2. Détermination et hiérarchisation des vocations d'un massif forestier.....	30
2.1. Elaboration d'un outil dichotomique	30
2.2. Choix du chapitre à utiliser	32
<u>2.2.1. Chapitre 'protection'</u>	32
<u>2.2.2. Chapitre 'biodiversité'</u>	32
<u>2.2.3. Chapitre 'pastoralisme'</u>	32
<u>2.2.4. Chapitre 'paysage et accueil du public'</u>	33
<u>2.2.5. Chapitre 'production'</u>	34
<u>2.2.5.1. Production et autres enjeux</u>	34
<u>2.2.5.2. Démarche proposée</u>	34
Conclusion.....	35

Chapitre V : Elaboration d'un premier modèle de typologie des peuplements de Pin à crochets 36

1. De l'utilité d'une typologie.....	36
1.1. Introduction	36
1.2. Choix des critères à utiliser dans une typologie de peuplements	36
<u>1.2.1. Généralités, critères principaux</u>	36
<u>1.2.2. La structure du peuplement, une donnée indispensable</u>	37
1.3. La construction d'une typologie : deux démarches possibles	37
1.4. Application au contexte des Pineraies à crochets	38
<u>1.4.1. Mode d'échantillonnage</u>	38
<u>1.4.2. Construction d'un modèle typologique 'à dire d'expert'</u>	38
2. Etapes de la construction de la typologie.....	40
2.1. Méthodologie de terrain	40
<u>2.1.1. Localisation des placetess</u>	40
<u>2.1.2. Variables récoltées</u>	41
<u>2.1.2.1. Variables estimées</u>	41
<u>2.1.2.2. Variables mesurées</u>	41
<u>2.1.2.3. Variables calculées</u>	41
2.2. Analyse des données recueillies : l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)	42
<u>2.2.1. Variables continues et variables discrètes</u>	42
<u>2.2.2. Méthodologie de traitement des données</u>	42
<u>2.2.3. Premières observations</u>	43
<u>2.2.3.1. Faible importance des variables topographiques</u>	43
<u>2.2.3.2. Interprétation des axes factoriels</u>	43
2.3. Analyse des données recueillies : la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)	45
<u>2.3.1. Identification de groupes de relevés homogènes</u>	45
<u>2.3.2. Interprétation des groupes identifiés</u>	45
2.4. Utilisation des résultats dans la conception d'une typologie de peuplements	46
<u>2.4.1. Identification des critères dendrométriques de base</u>	46
<u>2.4.2. La mesure de la densité : envisager une simple estimation ?</u>	47
<u>2.4.3. Choix concernant l'utilisation de critères de structure du peuplement</u>	48
<u>2.4.4. Appréciation du degré de régularité d'un peuplement</u>	49
<u>2.4.5. Proposition d'une méthode de détermination des types de peuplements observés</u>	49
3. Construction d'itinéraires de gestion à partir de la typologie de peuplements.....	51
3.1. Dynamique des peuplements	51
3.2. Itinéraires de gestion	52
<u>3.2.1. Contrôle de l'état des peuplements réguliers</u>	53
<u>3.2.1.1. Station peu fertile</u>	53
<u>3.2.1.2. Station moyennement fertile</u>	53
<u>3.2.1.3. Station fertile</u>	54
<u>3.2.1.4. Particularités de chacun des types de peuplement réguliers identifiés</u>	54
<u>3.2.2. Itinéraires de gestion potentiels en futaie irrégulière</u>	55
4. Typologie 'a priori' et typologie après inventaire : comparaison des deux méthodes.....	55
5. Principales conclusions.....	56
Conclusion	57

Table des annexes

Annexe 1 : L'hybridation Pin à crochets / Pin sylvestre, le Pin de Bouget	p66
Annexe 2 : Description des habitats naturels du Pin à crochets	p68
Annexe 3 : Synthèse du catalogue des stations de Decaix et Tardieu	p71
Annexe 4 : Tarif de cubage à double entrée utilisé par les forestiers catalans	p72
Annexe 5 : Protocole de relevés de terrain utilisé pour la campagne d'inventaire.....	p73
Annexe 6 : Fiche de relevé type	p81
Annexe 7 : Tableaux explicatifs des axes identifiés lors de l'AFC.....	p82
Annexe 8 : Fiches descriptives des types de peuplements identifiés.....	p85

Lexique des abréviations utilisées

ACM : Analyse des Correspondances Multiples

AFC : Analyse Factorielle des Correspondances

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

DILAM : Directive Locale d'Aménagement

DRASRA : Directive Régionale d'Aménagement, Schéma Régional d'Aménagement

DT : Direction Territoriale

ENGREF : Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts

ETP : Evapotranspiration

IFN : Inventaire Forestier National

INIA : Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia Agraria y Alimentaria

ONF : Office National des Forêts

PNR : Parc Naturel Régional

RBD : Réserve Biologique Dirigée

RN : Réserve Naturelle

USAD : Unité Spécialisée Aménagement et Développement

UT : Unité Territoriale

SIG : Système d'Information Géographique

ZICO : Zone d'Intérêt pour la Conservation des Oiseaux

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

Introduction

Bien que très peu représenté à l'échelle nationale, le Pin à crochets est la première essence forestière du département des Pyrénées-Orientales. Cet arbre montagnard, d'ordinaire observable à l'étage subalpin sous forme de bouquets peu développés, est ici présent sur de grandes surfaces, formant des futaies aux dimensions imposantes. Il est alors essentiel d'appliquer à ces forêts une gestion forestière appropriée.

Cependant, peu d'éléments existent qui traitent de la gestion des Pineraies à crochets. Si les connaissances des caractères écologiques de l'espèce sont importantes, la traduction de ce savoir en termes de sylviculture et de gestion reste à faire. Jusqu'à présent, les forestiers responsables de cette mission appliquaient des méthodes empiriques, ou tirées d'autres contextes, d'autres régions et d'autres essences. Il est donc fort utile d'envisager la réalisation d'un manuel traitant de la gestion particulière des Pineraies à crochets.

Si un tel guide doit prioritairement répondre aux questions techniques qui se posent en termes de sylviculture, son objectif se veut néanmoins plus large. Dans une région de montagne à forts enjeux patrimoniaux, écologiques et touristiques, la gestion d'espaces naturels aussi étendus que les Pineraies à crochets doit être envisagée sous différents angles propres à chacun de ces enjeux.

Ce stage a été le cadre d'une pré-étude approfondie, ayant pour but de dresser un portrait préliminaire précis du futur guide de gestion des Pineraies à crochets. La réalisation de ce guide rentre dans l'objet d'un projet transfrontalier Interreg, au travers duquel la France et l'Espagne pourront conjuguer leur expérience respective afin d'élaborer un manuel utilisable à l'échelle de toute la chaîne pyrénéenne.

J'articulerai ce rapport autour de trois parties distinctes, en présentant chronologiquement :

Une synthèse de l'état des connaissances que nous possédons actuellement sur *Pinus uncinata* Ram., tant au niveau écologique que sylvicole.

Une proposition de schéma architectural de guide de gestion, pouvant servir de base à son élaboration.

Une première typologie des peuplements forestiers de Pin à crochets, que j'ai réalisée afin de construire un modèle sylvicole sur lequel les forestiers pourraient s'appuyer à l'avenir.

Chapitre I : Le Pin à crochets, une essence marginale ?

1. Caractéristiques générales

1.1. Le Pin à crochets au cours du temps

Les premières traces écrites qui semblent se référer au Pin à crochets datent du XVII^{ème} siècle. A l'époque, Louis de Froidour, entré au service forestier en 1651 en tant que Conseiller lieutenant général des Eaux et Forêts, dirige la Réformation (1666 à 1675), c'est à dire la réorganisation des forêts de la grande maîtrise de Toulouse. Il consigne dans des procès-verbaux la distinction entre les Pins (sylvestres) et les Pins sauvages (pins à crochets).

Mais ce n'est que bien plus tard, en 1787, que ces distinctions sont ré-évoquées et mises en exergue. Louis Ramond de Carbonnières, alors conseiller du cardinal de Rohan et accessoirement fin botaniste, découvre le massif pyrénéen, auquel il décide de consacrer son œuvre littéraire et scientifique. Quelques années après, il évoque pour la première fois un pin qu'il distingue du sylvestre (alors déjà identifié), et qu'il nomme Pin de montagne.

En 1805, la flore française de Lamarck et De Candolle qualifie cette essence du nom de son découvreur :

« *Pinus uncinata* Ramond, inédit, des Pyrénées, mêlé avec le pin rouge (Pin sylvestre), plus élevé que le mugho (...) (le pin mugho avait en effet été découvert trente années auparavant). Probablement une partie des synonymes rapportés jusqu'ici au Pin mugho appartient à cette nouvelle espèce. »

D'où la dénomination complète (toujours actuelle) du pin à crochets :

Pinus uncinata Ramond in Lamk & D.C. (1805), ou plus simplement

Pinus uncinata Ram.

1.2. Le Pin à crochets dans l'espace : répartition géographique

A l'échelle européenne, on rencontre le Pin à crochets dans l'ensemble de l'arc alpin, souvent de façon diffuse, et parfois en mélange avec le Pin mugho (d'où leur appellation de Pins de montagne).

En France, cette essence est commune à l'étage subalpin des Pyrénées et des Alpes, plus rare dans le Jura, le Massif central et les Vosges. Le Pin à crochets a parfois été une essence introduite (en montagne, dans certains reboisements de protection). L'optimum de cette espèce est l'étage subalpin où il n'est concurrencé par aucune autre essence et est naturellement présent à l'état de peuplements quasi-purs.

1.3. Dendrologie, principaux caractères diagnostiques (RAMEAU et al., 1993)

On reconnaît le Pin à crochets grâce à plusieurs critères visuels qui sont les suivants :

- Les écailles du cône possèdent un écusson plus ou moins saillant.
- Cet écusson est souvent prolongé par une protubérance formant un crochet avec l'écaille.
- La cime de l'arbre est de forme pyramidale
- Les bourgeons sont cylindriques et pointus, très résineux
- Les aiguilles sont réunies par deux, de 3 à 8cm de long, vert foncé, raides et dressées et serrées.
- Les aiguilles sont peu ou non vrillées.
- Le cône est ovoïde et conique, dissymétrique, il est luisant et dressé, et mesure de 2 à 7cm de long.
- Toutes les parties de l'arbre sont très résineuses.

Quant aux caractères diagnostiques permettant de distinguer les variétés *rostrata* (forme la plus répandue) et *rotundata* (Pin à crochets présent sur faciès tourbeux) :

⇒ var *rostrata* : cône oblique, écaille à écusson recourbé en crochets.

⇒ var *rotundata* : cône non oblique, écusson pyramidal non nettement recourbé.

1.4. Une essence rustique et plastique, aux facultés hors du commun

De par son aptitude à supporter de nombreux stress, le Pin à crochets, souvent cantonné aux situations défavorables, en subit les effets. Plus encore que pour les autres essences, il convient de distinguer les situations qui lui sont optimales de celles dont il s'accommode plus ou moins bien.

1.4.1. Etages de végétation, altitude

On observe le Pin à crochets principalement dans l'étage subalpin, que ce soit dans les Alpes ou les Pyrénées. Il est également visible dans certaines stations du Montagnard, mais à cette altitude plus favorable à la forêt, il est souvent trop concurrencé par d'autres espèces plus compétitives (Pin sylvestre en soulane - ce qui favorise l'hybridation : cf annexe 1 - Sapin pectiné en ombrée).

En effet, le Pin à crochets possède une très faible résistance à la concurrence vitale et ne supporte pas la compétition avec la plupart des autres essences. De ce fait, on le trouve surtout en limite supérieure de la végétation (moins de concurrence et conditions supportables pour lui).

Comme l'illustre le graphique ci-contre (CANTEGREL, 1982), le Pin à crochets possède une grande amplitude ombrothermique. Il n'est empêché aux altitudes inférieures que par la concurrence des autres essences (Sapin, Hêtre et Pin sylvestre en soulane).

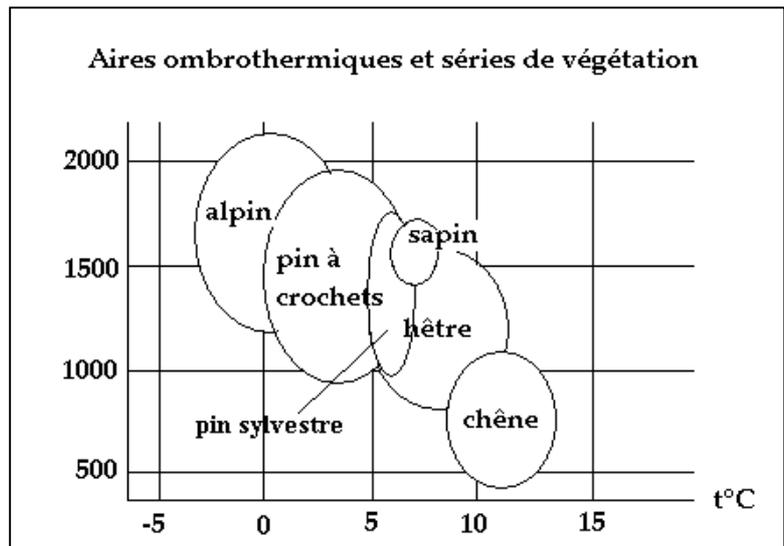


Figure 1 : Aire ombrothermique du Pin à crochets

Influence de l'altitude sur les caractéristiques intrinsèques du Pin à crochets

- En soulane, le maximum de croissance en hauteur dominante est proche de 18m (à 120 ans) à 1850m, puis diminue linéairement jusqu'à 10m à 2120m. Le diamètre maximum est peu affecté par l'altitude, voisin de 40cm environ. Il est supérieur à celui que l'on obtient en ombrée, à cause de l'ensoleillement plus important en soulane.
- En ombrée, le maximum de croissance en hauteur dominante est proche de 22m (à 120 ans également) à 1850m, puis diminue linéairement jusqu'à 14m à 2120m. La hauteur maximale est plus importante en ombrée du fait du sol plus profond et plus frais. Les diamètres maximum sont peu affectés par l'altitude, voisins de 35cm environ.

(Conclusions de l'étude réalisée en Cerdagne française par SCHUELLER et ROLLAND., 1995).

En Cerdagne-Capcir, les séries de végétation théoriques placent l'aire du Pin à crochets (peuplements fermés) en versant Sud comme en versant Nord aux altitudes de 1800 à 2100m. Au delà, jusqu'à 2300m, il se rencontre à l'état clairsemé (zone de combat), puis isolé (tree limit, jusqu'à 2800m). En deçà, il s'est étendu dans la série du Sapin (ombrées) et du Pin sylvestre (soulanes), en empiétant sur ces deux espèces.

En résumé, l'étage du Pin à crochets n'est pas homogène et regroupe des entités écobiocénétiques bien typées (Pineriaie fermée, Pineriaie claire, arbres isolés). De même, la transition entre les différents types de formations végétales à Pin à crochets ne se fait pas de façon nette, à une altitude précise. Au contraire, elle est progressive, et résulte de processus de fluctuation, de transition et d'introgession qui sont générateurs d'écotones riches en diversité biologique.

1.4.2. Préférences vis à vis de l'ensoleillement

Le Pin à crochets est une essence héliophile, qui se régénère et se développe bien mieux en pleine lumière. En conséquence, il aurait tendance à privilégier les soulanes, plus ensoleillées, aux ombrées. Cependant, il est dans ce cas concurrencé par une autre essence, le Pin sylvestre, dans les situations inférieures. Ainsi, sa niche écologique en soulane est très restreinte, car il est cantonné aux stations d'altitude trop sèches pour le Pin sylvestre, et suffisamment humides pour lui.

En tant qu'essence héliophile, le Pin à crochets peut se régénérer et adopter un cycle de vie pérenne sous un régime de faibles perturbations créant de petites clairières, immédiatement colonisées par de nouveaux individus avant que la végétation herbacée ou arbustive concurrentielle ne s'installe. Ceci explique la colonisation rapide des anciennes jasses vouées au pastoralisme par le Pin à crochets, qui se comporte ici en véritable essence pionnière. Par contre, le tapis herbacé des pelouses d'altitude est un facteur qui limite la régénération du Pin à crochets : il y est en concurrence hydrique directe avec la végétation, et l'augmentation de la température au sol peut parfois lui occasionner des brûlures au collet

1.4.3. Préférences vis à vis de la température

Le Pin à crochets, essence d'altitude, possède une très grande résistance au froid. Dans certains milieux (Préalpes calcaires, Haut-Jura) il parvient à se développer sur des sols restant gelés en profondeur toute l'année. Il peut survivre sans trop de difficulté à l'isotherme 0°C. De manière générale, il se développe très bien avec une température moyenne du mois le plus chaud de 8,5°C.

1.4.4. Préférences vis à vis de l'hygrométrie

Pluviométrie

En rapport avec son affinité pour un fort ensoleillement, le Pin à crochets supporte très bien la sécheresse, même estivale. Un indice d'aridité de Martonne minimal de 50 lui conviendrait (RAMEAU, MANSION, DUME, 1993), ce qui correspond à des précipitations moyennes annuelles allant de 500 à 900 mm environ.

Vent

Le Pin à crochets est une espèce résistante au vent (ce qui est préférable étant donné les situations dans lesquelles on le rencontre). Il a développé pour cela des aiguilles dures et un enracinement performant (bien que de type traçant). Le vent provoque un effet desséchant certain (foehn, augmentation de l'évapotranspiration) : à ce sujet, il est possible que le Pin à crochets possède un système de régulation de l'ETP et de la transpiration stomatique (CANTEGREL, 1982).

Remarque : Attention, le Pin à crochets reste sensible aux coups de vent brutaux qui peuvent occasionner périodiquement des chablis importants. Ce risque est accru dans les peuplements qui subissent des attaques parasitaires, ou ceux qui sont situés en lisières ou hauts de versant.

Neige

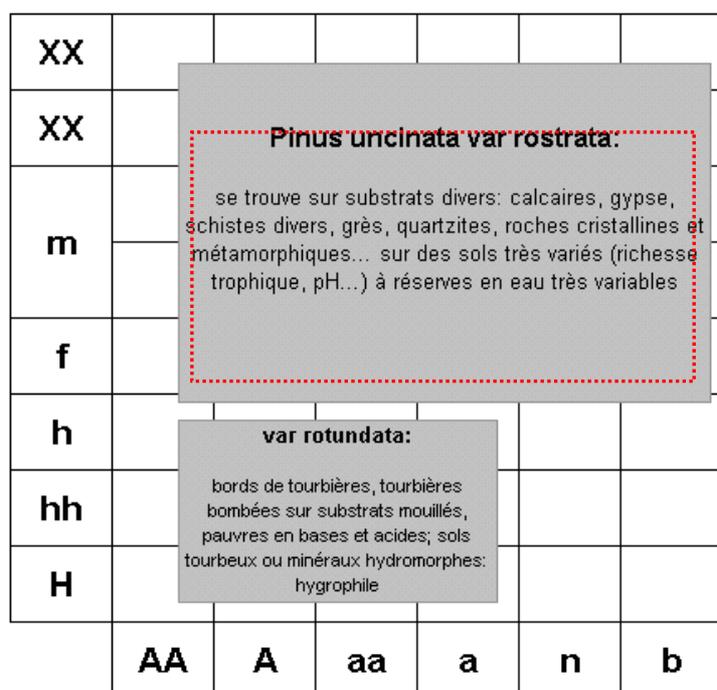
Etant donné sa situation d'espèce du subalpin, le Pin à crochets est soumis à la présence régulière et prolongée de la neige. Il y résiste bien et s'y est relativement adapté.

1.4.5. Préférences topographiques

Au vu de tout ce qui a été dit précédemment, il paraît difficile de conclure de façon tranchée sur les préférences du Pin à crochets en terme de préférence d'exposition. En relation avec son peu d'affinité pour les situations humides et peu ensoleillées, le Pin à crochets préfère les lieux dégagés et peu confinés : crêtes, croupes ou versants convexes, même sur les sols rocheux et superficiels auxquels il sait s'adapter. La pente n'est en aucun cas un facteur limitant ; il peut parfois, lorsque la concurrence est trop rude, s'installer sur des versants très raides et rocheux.

1.4.6. Préférences pédologiques

Outre sa grande rusticité par rapport aux différents facteurs topoclimatiques, le Pin à crochets est aussi une essence extrêmement plastique d'un point de vue pédologique. Capable de se développer sur des substrats minéraux pauvres en éléments nutritifs, il semble indifférent à l'acidité, à la texture, à l'humidité des sols et se contente des conditions les plus médiocres. Inversement, il supporte les sols calcaires, même caillouteux ou karstiques, les sols gypseux ou dolomitiques. On le rencontre également sur des roches dures ou superficielles, car son enracinement est constitué de grosses charpentières traçantes capable d'exploiter les moindres anfractuosités de la roche.



Remarque : en fonction du substrat, il peut y avoir modification du port de l'espèce; sur dalles calcaires, en fonction de la facilité de prospection du sol (à la faveur des diaclases...), le Pin à crochets aura un aspect nain, un port buissonnant ou un caractère trapu.

Le diagramme ci-contre combine les gradients trophique et hydrique de répartition de l'espèce. La zone grisée représente les différentes situations où l'on peut rencontrer le Pin à crochets. On remarque les deux écotypes différents de *P. uncinata* var. *rostrata* et de *P. uncinata* var. *rotundata*.

Le rectangle en pointillés rouge représente l'aire de répartition classique d'une espèce dite 'à très large amplitude écologique'.

Figure 2 : Diagramme combiné des gradients trophiques et hydriques de *Pinus uncinata* Ram.

On constate alors aisément, en comparant cette aire à celle du Pin à crochets, la formidable plasticité de cette espèce (ces données proviennent de la Flore forestière française, Tome 2 Montagnes : RAMEAU, 1989).

Le Pin à crochets d'une façon générale colonise tous les sols acides, avec une préférence pour les milieux édaphiques très peu évolués ou constamment rajeunis, ce qui fait de lui une espèce pionnière efficace. Sur ces substrats ingrats, son atout est la mycorhization avancée de son système racinaire. En effet, l'aptitude du Pin à crochets à coloniser des milieux très pauvres et acides peut s'expliquer en partie par la présence d'un cortège mycorhizien important, et qui s'installe rapidement.

1.4.7. Cortège floristique, végétation accompagnatrice

Loin de constituer un barrage à l'installation d'autres espèces, le Pin à crochets est souvent le vecteur d'une dynamique de colonisation de certains milieux par des essences dryades (sapin...). Ainsi, de nombreuses Pineraies à crochets des étages montagnard et subalpin inférieur ne seraient que la première phase sylvatique de certains milieux (zones de déprise pastorale par exemple).

Le Pin à crochets a cependant peu de compagnons dans la strate arborée, car il s'installe souvent dans des conditions trop rigoureuses pour les autres espèces. Parfois, il est mélangé avec le pin sylvestre, qu'il relaie à l'étage subalpin, ou le sapin pectiné (en ombree et en limite de l'étage montagnard). Le cortège d'arbustifs qui l'accompagne est quant à lui composé, suivant les conditions trophiques, de genévrier nain, rhododendron, *Erica carnea*, *Carex ferruginea*, ou busserolle.

1.5. Le Pin à crochets face aux maladies

De manière générale, et au regard d'autres essences forestières beaucoup plus fragiles, le Pin à crochets résiste assez bien aux infections et autres problèmes sanitaires rencontrés traditionnellement en foresterie. Deux pathogènes sont ses ennemis principaux :

- **Le Pourridié ou armillaire** (*Armillaria mellea* ou *Armillaria obscura*), qui entraîne une pourriture des racines et un dessèchement de l'appareil aérien par suite d'un trouble dans l'alimentation hydro-minérale. Cause d'un dépérissement brutal de l'arbre, le basidiomycète provoque une contamination centrifuge par extension de la maladie aux arbres voisins grâce au réseau mycélien souterrain (maladie du rond).
- **La maladie du noir** (*Herpotrichia coutleri*) chez les jeunes sujets. Symptôme : les rameaux semblent enduits de goudron. Cette maladie se développe en conditions très humides et froides, deux conditions du développement de cet ascomycète, qui peut résister à des températures de l'ordre de -3°C (combes où la neige persiste longtemps). Si l'arbre est trop petit et n'émerge pas suffisamment du manteau neigeux, l'infestation gagne tout le végétal qui dépérit car il est privé de ses capteurs chlorophylliens.

L'armillaire demeure son principal ennemi (problématique relativement spécifique aux Pyrénées-Orientales) mais il souffre également des attaques de *Peridermium pini*, *Herpotrichia nigra*, et de ravageurs corticoles (*Ips acuminatus*, *Pitogenes bistridentatus*, *Pissodes pini*, *Ernobius longicornis*, *Tomicus piniperda*).

Le Pin à crochets demeure cependant une essence résistante, qui semble en outre posséder une très bonne résistance aux attaques de xylophages *postmortem*, car sur de nombreux individus morts, hormis l'altération périphérique de l'aubier, le bois de cœur reste exempt de toute galerie, et ce parfois une vingtaine d'années après la mort de l'arbre.

1.6. Les habitats naturels du Pin à crochets

Les formations de Pins à crochets sont toutes regroupées sous l'unique code Natura 2000 : **9430-Forêt de Pin à crochets subalpine et montagnarde**. Cela correspond au code 42.4 de la typologie Corine biotope, qui le décline en plusieurs variantes suivant le substratum et l'exposition.

Ces Pineraies jouent un grand rôle patrimonial car le Pin à crochets est, selon l'avis général, l'essence phare de la chaîne pyrénéenne (surtout dans les Pyrénées-Orientales). Il faut en effet noter que la Pineraie à crochets est la formation végétale la plus répandue des forêts relevant du régime forestier dans les Pyrénées-Orientales, et qu'elle est, à l'étage subalpin où elle domine, d'intérêt communautaire (sur substrat siliceux, habitats 42.413 ou 42.4241) ou prioritaire (sur substrat calcaire, 42.4242 ou 42.425). Une description de ces habitats est présentée en annexe 2.

2. Le Pin à crochets dans la chaîne pyrénéenne

2.1. L'essence reine des Pyrénées

Le Pin à crochets règne en maître dans l'étage subalpin pyrénéen, incontesté et quasi exclusif (cela diffère des Alpes où il est remplacé aux conditions plus difficiles par le Mélèze ou le Pin mugho, voire le Pin cembro dans les Hautes-Alpes). Il peuple les forêts d'altitude quelque soit le substratum géologique. Il joue un rôle de pionnier dans la colonisation de la chaîne pyrénéenne, particulièrement dans les Pyrénées-Orientales où il atteint son plus grand développement et ses meilleures performances (car il bénéficie de l'éclairement et de la luminosité de cette région).

La surface couverte par les peuplements de Pin à crochets en France est d'environ 57 000 ha, dont environ les deux tiers sont localisés sur la chaîne pyrénéenne (Inventaire Forestier National, 1991). Sur la partie espagnole des Pyrénées, il couvre 46 703 ha en Catalogne, et 17 908 ha en Aragon. En Navarre, les peuplements de Pins indifférenciés représentent 47 820 ha.

Ces données portent la surface totale du Pin à crochets sur l'ensemble de la chaîne pyrénéenne à 89 657 ha sans compter la Navarre. On peut retenir le chiffre approximatif d'une centaine de milliers d'hectares pour l'ensemble des Pyrénées, ce qui est considérable eu égard à la faible superficie que représente l'essence dans les autres régions d'Europe occidentale.

2.2. Le cas des Pyrénées-Orientales

Le département des Pyrénées-Orientales contient à lui seul la moitié de la surface des Pinaies à crochets françaises (26 456 ha exactement). Le taux de boisement moyen des Pyrénées-orientales est de 34.1%, pour une surface forestière totale de 141 359 ha, et ce taux est en nette augmentation. Le Pin à crochets est, en terme de surface, la première essence du département (21.5% de la surface boisée), suivie par le chêne vert (17.1%) et le chêne pubescent (11.5%).

La carte ci-après illustre la répartition de l'essence dans les Pyrénées-Orientales (forêts relevant du régime forestier). On constate une nette prédominance des Pinaies à crochets dans la partie Ouest du département. Cela correspond aux trois régions naturelles d'altitude ; Cerdagne, Capcir et Conflent.

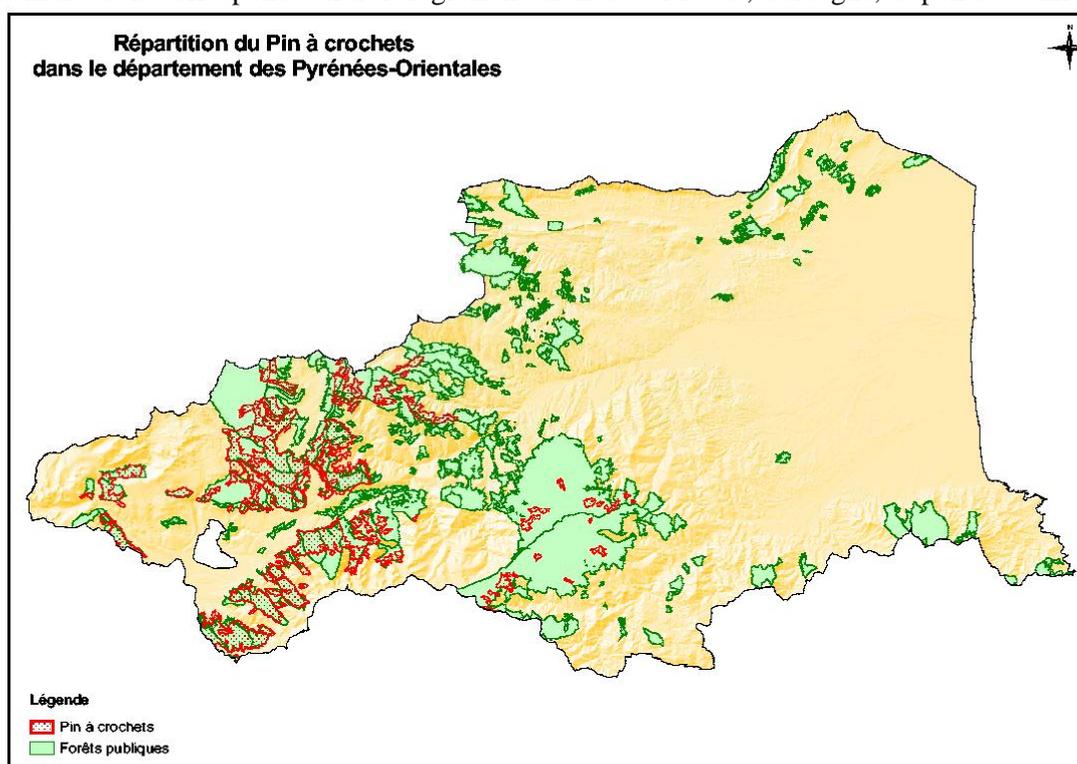


Figure 3 : Répartition du Pin à crochets dans le département des Pyrénées-Orientales

En comparant les résultats de la campagne d'inventaire IFN de 1991, la dernière en date, avec les deux précédentes (1971 et 1980), on constate que la surface occupée par les peuplements de Pin à crochets dans les Pyrénées-Orientales n'a pratiquement pas évolué :

Année d'inventaire	Surface des peuplements de Pin à crochets
1971	25500 ha
1980	25429 ha
1991	25456 ha

Les types de propriété qui renferment ces peuplements de Pin à crochets sont principalement des forêts relevant du Régime Forestier, domaniales ou communales (75 %).

Notons enfin que le Pin à crochets à l'état pur est présent dans le département des Pyrénées-Orientales à plus basse altitude que dans le reste de la chaîne pyrénéenne, ce qui s'explique par la déprise rurale importante qui a eu lieu dans le passé. Ce phénomène a favorisé la colonisation des milieux ouverts (jasses pastorales notamment) par le Pin à crochets, essence pionnière héliophile. Les limites altitudinales de l'espèce ont beaucoup évolué au cours du temps, en fonction des différentes occupations de l'espace et des utilisations locales du bois (charpente et bois de chauffage, puis bois de mine...).

2.3. Pin à crochets et économie : la filière bois dans le département des Pyrénées-Orientales

Toujours selon les statistiques de l'Inventaire Forestier National, la récolte annuelle de Pin à crochets serait de 20 506 m³ (ce qui représenterait un taux de récolte de 19 %, eu égard de la production brute annuelle, estimée à 105 200 m³). La Directive Régionale d'Aménagement (2006) avance quant à elle le chiffre de 25 000 m³/an ; ce chiffre plus récent paraît plus plausible.

Le marché du Pin à crochets a été fortement modifié, du fait principalement de la disparition de la plupart des acheteurs dans les années 2003 et 2004. Cette diminution de la demande locale (le marché actuel est désormais franchement tourné vers l'Espagne) représente un fort handicap sur les produits à faible valeur ajoutée issus de la transformation du Pin à crochets. Bien que le marché soit soumis à de fortes fluctuations, il semble aujourd'hui raisonnable de miser sur une stabilité de la demande en bois de palette, ce qui valorise peu les diamètres supérieurs à 35cm.

Il est à noter que suite à la baisse des cours depuis l'année de la tempête de 1999, le volume de Pin à crochets offert en forêt communale a baissé, du fait de la réticence des collectivités. De plus, l'analyse des aménagements et de certaines données IFN permet de prédire une prochaine diminution du volume unitaire moyen mis en marché.

Le tableau suivant donne une indication des prix pratiqués actuellement lors des ventes de coupes de Pin à crochets :

Catégories de produits	Critères de qualité	Prix des bois sur pied (année 2005, prix au m ³ /grume)	Prix des bois bord de route (année 2005, prix au m ³ /grume)
Coffrage / palette	Diamètre à 1.3m > 25cm	7 à 20 €/m ³	35 à 40 €/m ³
Trituration	Diamètre à 1.3m entre 15 et 25cm	1 à 6 €/m ³	20 à 25 €/t

Conclusion

Ces premiers éléments concernant le Pin à crochets permettent de mettre en relief quelques grands traits de l'essence : c'est un Pin typique de l'étage subalpin, connu et utilisé depuis longtemps par les montagnards. Son adaptation aux conditions climatiques rigoureuses et sa grande plasticité le rendent capable de se développer sur les terres les plus ingrates. De plus, son importance est grande sur l'ensemble du massif pyrénéen, et la ressource en bois qu'il représente est largement sous-exploitée.

Le Pin à crochets est donc une essence à valoriser, qui semble posséder de nombreux atouts pour constituer la base d'une filière bois locale pérenne, d'autant plus que ses qualités technologiques sont bonnes, proches de celles du Pin sylvestre.

Chapitre II : Problématique et objectifs de l'étude

1. Contexte et enjeux

La gestion des peuplements de Pin à crochets représente un enjeu fort pour l'agence ONF de Perpignan. Il y faut en effet concilier les objectifs de préservation de la biodiversité, de production forestière, de gestion sylvopastorale, et ce dans un contexte de forte pression touristique (nombreux sites remarquables et stations de ski). Or l'ONF n'a actuellement pas d'autre référence technique qu'une DILAM datant de 11 ans, notoirement insuffisante au vu des enjeux cités ci-dessus. De plus, le Parc Naturel Régional venant d'être créé, il est nécessaire pour l'ONF de porter de manière concertée un outil opérationnel de gestion au service des équipes de terrain faisant l'objet d'un consensus large sur des problématiques allant au-delà de la simple exploitation forestière.

La problématique principale de ce projet ambitieux, qui a constitué le cadre du travail que j'ai pu effectuer durant ce stage, se résume dans l'interrogation suivante : comment parvenir à construire un outil de gestion à la fois opérationnel (d'utilisation aisée pour les gestionnaires amenés à s'en servir) et complet, qui englobe l'intégralité des enjeux concernés par les peuplements de Pin à crochets.

Le futur guide de gestion des Pineraies à crochets devra en effet être à la fois :

- un outil opérationnel destiné aux agents patrimoniaux (reconnaissance de coupe avant martelage, réalisation d'inventaires en vue de la réalisation d'aménagements)
- un outil d'aide à la décision pour les aménagistes (phase de synthèses, établissement des objectifs prioritaires des séries et des états d'assiette)

Il devra également permettre de mieux intégrer les objectifs de pastoralisme, de biodiversité, de protection ou d'accueil du public dans les zones traditionnellement dévolues à la production de bois. Enfin, il devra répondre à la question de la gestion optimisée des espaces, nombreux, n'ayant pas de vocation de production de bois.

2. Un projet transfrontalier

Ce travail de longue haleine, qui sera vraisemblablement le cadre d'un projet Interreg, doit être l'occasion de regrouper de nombreux partenaires, acteurs locaux de la filière bois, éleveurs, gestionnaires des espaces naturels, élus... et ce de part et d'autre de la frontière franco-espagnole.

En effet, l'enjeu des Pineraies à crochets doit être appréhendé à l'échelle de la Catalogne entière, territoire où il est fortement présent.

Figure 4 : Situation de la plupart des Pineraies à crochets sur le territoire catalan, en France et en Espagne.



3. Objectifs et étapes du stage

A l'amorce de cet ambitieux projet, le stage a pour objectif de poser les bases de l'élaboration du guide de gestion du Pin à crochets dans le contexte plus restreint des Pyrénées Orientales. Il s'agira de réaliser trois opérations distinctes :

- L'état des lieux exhaustif des pratiques de gestion, préalable indispensable qui vise à recenser l'ensemble des connaissances actuelles en matière de sylviculture afin d'en tirer le meilleur parti par la suite.
- L'élaboration d'un schéma architectural de guide de gestion : ce travail a nécessiter de prendre contact avec l'ensemble des gestionnaires d'espaces naturels concernés par la problématique 'Pin à crochets', de comprendre et formaliser leurs besoins, afin d'établir un mode de raisonnement permettant à l'utilisateur du guide d'identifier la vocation principale du massif forestier.
- Concernant les peuplements de production, pour lesquels les itinéraires de gestion seront principalement d'ordre sylvicole, il est nécessaire d'utiliser un moyen de description de ces peuplements. Le troisième volet du travail qui m'a été confié durant ce stage a été d'élaborer une méthode permettant cela, en l'occurrence une typologie de peuplements.

Chapitre III : La sylviculture du Pin à crochets, une approche empirique et fluctuante

1. Une histoire chaotique

1.1. Du début du siècle aux années 1960 : l'âge d'or du jardinage

- Avant la première guerre mondiale, les débouchés restent locaux et la gestion minimaliste ; on assiste à cette époque aux premières manifestations d'aménagement, tout à fait sommaires. Le choix du traitement se porte généralement sur la futaie jardinée.
- Après 1918, de nouveaux débouchés (caisserie, emballage...) apparaissent, le prix des bois est en hausse : les aménagistes augmentent les possibilités et la gestion devient plus interventionniste.
- Jusqu'en 1925/1930, les possibilités de récolte décidées restent trop faibles au goût des populations locales. En 1940, la loi forestière du 3 août autorise le marquage de 150% de la production moyenne annuelle des peuplements.
- Avec l'adoption de tels prélèvements et la gestion en futaie jardinée, le problème dont hériteront les forestiers par la suite vient du fait qu'au lieu d'entreprendre des coupes de régénération localisées, on a éclairci brutalement toutes les forêts. Cela a des conséquences désastreuses, dont la généralisation des attaques d'armillaire.
- Ainsi, dans les années 50, on réduit considérablement les possibilités pour atténuer les futures années de 'vache maigre' (coupes sanitaires uniquement). On construit également de nombreuses routes dans certaines zones comme les forêts de Llo et Osséja, jusque là inaccessibles.
- Vers 1960, on se rend compte de la nécessité de prélever aussi des bois sains, dans un but d'amélioration, à raison de 50% au moins de la possibilité totale. Des essences plus productives (Mélèze, Epicéa) apparaissent à l'époque comme une solution alternative, et on les installe dans certaines tâches de Pin à crochets décimés par l'armillaire.

1.2. Les années 1960 : une période de doute

- Dans un premier temps, la nécessité d'exploiter par plages entières les peuplements les plus atteints par le dépérissement pousse les gestionnaires à des exploitations ressemblant de plus en plus à des exploitations de peuplements. On commence alors à parler de trouées, puis de futaie jardinée par bouquets dont la taille ne cesse d'augmenter. On tend franchement vers un traitement mixte dont l'assiette n'atteint toutefois pas l'étendue de la parcelle.
 - Les gestionnaires ont à l'époque besoin de savoir s'ils sont oui ou non habilités à intervenir énergiquement, fût-ce par coupe rase, quand l'état du peuplement l'impose.
 - En 1968, la Direction régionale de Montpellier fait le constat suivant : les forêts sont vieilles, régulières et dépérissantes, claires (100 à 150 m³/ha), peu productives (1.5 / 2.5m³/ha/an), fortement pâturées et donc de régénération difficile. La régénération est liée à une coupe brutale et en plein qui apporte beaucoup de lumière ; il faut éviter le grignotage des peuplements qui aboutit à une éclaircie généralisée et uniforme. Les conclusions de ce constat suggèrent l'application, si nécessaire, de la futaie régulière (ou irrégulière par parquets) par la méthode combinée, dans les futaies de Pin à crochets des Hauts Cantons.
- Les rotations préconisées sont de 12 à 15 ans.
 - Le diamètre d'exploitabilité : 0.35cm à 0.40cm, à 120 ou 140 ans.
 - Le volume sur pied 'normal' à rechercher: 150 à 200 m³/ha.

1.3. La Directive Locale d'Aménagement de 1975 et l'abandon de la Futaie jardinée

Les décisions prises à l'occasion de la rédaction de ce document se basent en grande partie sur les résultats de la première campagne de relevés réalisées par l'Inventaire Forestier National, dont les résultats furent communiqués la même année. Ils peuvent se résumer de la façon suivante :

- Les volumes et les accroissements/ha sont faibles : de 109m³/ha (Forêts domaniales) à 118m³/ha (Forêts communales), pour un accroissement moyen de 2.4m³/ha/an.
- L'âge moyen des peuplements est élevé (classe principale 100/120 ans), ce qui pousse à adopter des durées de survie de 35 à 40 ans.
- L'évolution des volumes en fonction des diamètres est lente (se rapproche du tarif Schaeffer Lent n°04).
- Les peuplements surannés ont une importance considérable (6000ha, soit 40% de la surface boisée à l'époque !). On constate un déficit de la régénération naturelle dans ces peuplements, qui ont un fort volume sur pied par rapport à la moyenne (132m³/ha (forêts domaniales) à 158m³/ha (forêts communales)).

Les conclusions qui s'imposent à l'époque sont une nécessité nette et urgente de récolter rapidement les peuplements surannés, ce qui se traduit par une augmentation des prélèvements. Cette récolte accélérée implique également des reboisements car des travaux de renouvellement sont nécessaires dans le cas de coupes aussi massives et rapides, surtout en forêt communale.

Pour plus de souplesse, il est préconisé d'adopter la méthode de la futaie irrégulière par parquets, qui permet au forestier une gestion appropriée à chaque type de forêt, en fonction de son état sanitaire, de la répartition des peuplements par classes d'âge et de la durée de survie des peuplements. Suite aux résultats de l'Inventaire Forestier National et aux observations réalisées, les normes suivantes sont fixées : le diamètre d'exploitabilité est de 40cm, pour un âge d'exploitabilité de 120 ans en moyenne.

Le prix des bois atteint alors 60 à 70Fr/m³ (soit 11 à 13€/m³ actuellement) pour les meilleures coupes. Les débouchés sont principalement la charpente, la caisserie, le coffrage. Une partie des bois est transporté à destination d'Afrique du Nord car, contrairement aux autres pins, le Pin à crochets ne bleuit pas (grande résistance aux champignons post-mortem, cf chapitre I, § 1.5.).

1.4. La Directive Locale d'aménagement de 1991 : les premiers itinéraires de gestion

En 1991 la nouvelle Directive Locale d'Aménagement (DILAM) définit des modèles de sylviculture plus précis qui apparaissent comme les premiers itinéraires de gestion concernant les peuplements de Pin à crochets. Les consignes suivantes sont dictées :

- Le mode de traitement de la futaie irrégulière par parquets est particulièrement adapté à l'objectif de maintien des sols et du respect des paysages. Les parquets auront la taille de quelques ares à 1 ou 2 hectares. Le tempérament de lumière des pins est bien adapté à cette sylviculture.
- Le renouvellement des peuplements sera toujours recherché prioritairement par voie naturelle. Si les semis ne s'installent pas spontanément, les forestiers auront recours au crochetage du sol dans les zones mécanisables, et en dernier recours, à la plantation manuelle. Les travaux de nettoyage seront inutiles, le pin dominant largement les autres essences.
- Les vieux peuplements seront éliminés en totalité au premier passage en coupe, quel que soit l'état d'avancement de la régénération naturelle au sol. Si les semis ne s'installent pas de manière suffisante au cours des 5 années suivantes, il conviendra d'assister la régénération par plantation de main d'homme.
- Les dépressages seront envisagés dans les meilleures stations aptes à rentabiliser l'opération.

- Gestion du mélange : dans les zones où le Pin sylvestre ou le sapin sont en station, on les favorise et on leur donne le statut d'essence objectif. Ailleurs, elles sont favorisées au titre d'essences d'accompagnement, et pour favoriser par la biodiversité.
- Gestion des attaques d'armillaire : 4 mesures principales
 - fixer un âge d'exploitabilité pas trop élevé (120/140 ans)
 - fixer des rotations courtes (12/15 ans)
 - maintenir l'irrégularité des peuplements et éliminer arbres morts et dépérissant

La DILAM s'inspire pour édicter ces règles de la typologie des stations forestières effectuée en 1980 par G. DECAIX et F. TARDIEU, qui propose également des objectifs sylvicoles pour les différents types de stations distinguées (cf annexe 3).

2. La gestion du Pin à crochets dans les années 1990 : Etat des lieux des pratiques sylvicoles

Suite à l'analyse des différents documents traitant de la sylviculture du Pin à crochets, ainsi que des itinéraires de gestion suggérés à l'occasion de la rédaction des aménagements des forêts de Pin à crochets des Hauts cantons des Pyrénées-Orientales, on peut dresser la synthèse suivante :

2.1. Régime et traitements sylvicoles : prudence et pragmatisme

Les forestiers ont su tirer les leçons d'expérience du passé, à savoir qu'il n'y a pas un seul traitement qui convienne mieux que les autres pour une essence donnée. Quoi qu'il en soit, la futaie jardinée pied par pied a été définitivement abandonnée ; les essais précédents ont largement démontré son inefficacité et ses conséquences souvent désastreuses sur les peuplements de Pin à crochets ; actuellement la plupart des forêts sont gérées en futaies irrégulières par parquets (qui permettent d'obtenir de meilleurs résultats en termes de régénération, compte-tenu du tempérament héliophile de l'essence) ou en futaies régulières.

Les chapitres qui suivent traitent de la gestion en futaie régulière des peuplements de Pin à crochets et résument les préconisations faites durant les années 1990.

2.2. Le renouvellement des peuplements : privilégier la voie naturelle

2.2.1. Renouvellement des peuplements par voie de régénération naturelle

C'est la règle générale, et on recherche autant que possible à s'affranchir des plantations et des dépenses inévitables qui s'ensuivent. La régénération naturelle se fait au moyen de coupes de régénération par la méthode des coupes progressives (2 à 4 coupes étalées sur une période de 30 à 45 ans), et de la façon suivante :

- +/- 100 ans : 1 coupe d'ensemencement qui ramène la densité à environ 400 tiges/ha. On cherchera (dans la mesure du possible) lors de cette opération à préserver les tiges présentant un avenir encore prometteur (durée de survie suffisante, bon état sanitaire, bonne conformation et capacité à croître encore en diamètre). Cette coupe est un véritable relevé de couvert qui doit permettre la germination et l'installation des semis.
- 1 ou 2 coupes secondaires, qui prélèvent environ 15% du nombre de tiges initial s'il y a deux coupes secondaires ou environ 25% s'il n'y en a qu'une. Ces coupes secondaires sont à caractère sanitaire principalement, elles veillent à récolter les arbres les plus vieux et ceux qui ne survivront pas jusqu'à la coupe définitive, en limitant ainsi le risque de dépérissement généralisé du peuplement.
- 1 coupe définitive qui prélève le reste des arbres (20 à 30% du peuplement initial), une fois la régénération acquise. On considère que c'est le cas lorsqu'il y a présence de semis de 20cm de hauteur minimum, à une densité supérieure à 2500 semis à l'hectare (soit un semis tous les 2m).

Modalité 1:					
Nature de la coupe	Age du peuplement	Rotation	Densité initiale	Densité après coupe	Prélèvement (%)
Coupe d'ensemencement	100 ans		800	400	50%
		15 ans			
Coupe secondaire	115 ans		400	280	15%
		15 ans			
Coupe secondaire	130 ans		280	160	15%
		15 ans			
Coupe définitive	145 ans		160	0	20%

Modalité 2:					
Nature de la coupe	Age du peuplement	Rotation	Densité initiale	Densité après coupe	Prélèvement (%)
Coupe d'ensemencement	100 ans		800	400	50%
		15 ans			
Coupe secondaire	115 ans		400	200	25%
		15 ans			
Coupe définitive	145 ans		200	0	25%

Figure 5 : Différentes modalités de renouvellement des peuplements réguliers de Pin à crochets.

2.2.2. Régénération artificielle et plantation

La régénération par voie artificielle, extrêmement coûteuse (et ce d'autant plus lorsque les conditions d'accessibilité sont difficiles) doit être circonscrite aux cas les plus importants. Ce n'est en aucun cas la règle ni un moyen classique de régénérer les peuplements de Pin à crochets. Normalement inutile, en tous cas marginale, elle n'est à utiliser que dans les cas suivants :

- reboisements RTM
- mise en valeur de zones non forestières
- reboisements post-incendies
- rhodoraie vigoureuse dans des zones de forte pente

2.3. Des travaux d'entretien réduits au minimum

2.3.1. Les travaux préparatoires à la régénération

Là encore, en règle générale il n'y a pas lieu d'intervenir, le Pin à crochets devant s'installer naturellement. Cependant, en cas de présence d'un important tapis herbacé, la solution à envisager est le crochetage du sol. Dans les stations à rhodoraie très développée, on peut réaliser des coupes rez-terre à la débroussailluse (intérêt supplémentaire : cela favorise les places de chant du Tétrás). Ce n'est cependant qu'un cas marginal car la rhodoraie ne se développe qu'en limite supérieure de la zone de production.

2.3.2. La question des dépressages

Dans le cas du Pin à crochets la problématique est complexe. L'utilité de cette intervention est reconnue (amélioration de la stabilité du peuplement, hiérarchisation sociale des jeunes sujets, limitation du risque d'attaques parasitaires). Cependant, les dépressages sont des travaux qui reviennent cher (environ 800 à 1200€/ha en fonction des conditions), et dont les produits sont peu ou pas valorisables. Les tiges exploitées sont de très faible diamètre (5cm), et la forte proportion d'aiguilles ne permet pas d'envisager le débouché Bois-énergie. En termes économiques, les dépressages représentent une dépense financière importante que les communes ou les propriétaires forestiers en général ne sont pas toujours prêts à supporter.

Lorsque, en connaissance de cause, le choix du dépressage est fait, l'intervention se fait de la façon suivante : un seul dépressage entre 25 et 30 ans (à 5m de haut environ), qui vise à diminuer la densité jusqu'à 2500t/ha (2*2m) en travaillant par le haut au profit des plus belles tiges.

Remarque : Lorsque les peuplements peuvent le supporter, on peut envisager des dépressages ‘retard’ ou ‘tardifs’ : lorsque les tiges mesurent de 6 à 10m de haut, on peut ramener la densité à 1500/2500t/ha, en fonction des caractères dendrométriques des tiges (diamètre, hauteur et espacement initial).

2.3.3. Pertinence de l' élagage de pénétration ?

Il présente les avantages suivants :

- facilitation du travail des ouvriers et des marteleurs et amélioration de la qualité du travail sylvicole, surtout dans les peuplements serrés et bas branchus
- limitation des risques de propagation d'incendies par feux courants (coupure de combustible verticale)
- aspect esthétique (en bordure de routes ou chemins et endroits fréquentés, évite l'effet ‘rideau de végétation impénétrable’ et le sentiment de ‘claustrophobie’)
- meilleure pénétration des bovins dans le peuplement (sylvopastoralisme)

Mais ici encore, le problème reste le même : le coût des élagages de pénétration est très important (2 à 3 €/tige élaguée) et le gain que l'on retire de cette opération somme toute minime. Ce type d'opération n'est pour ainsi dire plus pratiqué, surtout dans les peuplements de Pin à crochets des Pyrénées-Orientales et dans toutes les forêts de montagne d'ailleurs. A la demande des communes et dans un souci ‘paysager’, il est parfois réalisé à proximité des voies de circulation.

2.3.4. Les cloisonnements d'exploitation

Les cloisonnements d'exploitation, matérialisés en général lors de la première éclaircie, ont une utilité car ils facilitent le travail des ouvriers ; ils sont effectués la plupart du temps lorsque l'éclaircie est mécanisée, pour permettre le passage de l'abatteuse, ou lorsque la mauvaise desserte nécessite l'intervention d'un débardeur dans le peuplement.

2.4. Les éclaircies, des interventions instinctives

2.4.1. Modalités d'éclaircies pratiquées

Les éclaircies, ou coupes d'amélioration, sont la plupart du temps effectuées en fonction de normes de sylviculture, de façon à permettre aux arbres restants un réel gain sur la croissance en diamètre et diminuer progressivement le nombre de tiges sur pied afin de se rapprocher d'un capital/ha ‘objectif’ en fonction de l'âge ou du diamètre des arbres en place. Il faut pour cela disposer de telles normes (normes de densité en fonction de la hauteur ou normes de surface terrière/ha ou volume/ha en fonction de l'âge, du diamètre ou de la hauteur), qui n'existent pas dans le cas du Pin à crochets. Dans les peuplements qui nous intéressent, on agit jusqu'à présent de manière empirique, et la sylviculture qui est préconisée dans les années 1990 (peu souvent pratiquée faute de moyens) est la suivante :

- Unique dépressage réalisé entre 25 et 30 ans, ramenant la densité à 2500t/ha environ.
- Coupe d'amélioration 1 réalisée autour de 40 ans ; elle ramène en général le peuplement à une densité de 1600t/ha environ, mais ce chiffre est très variable
- Coupe d'amélioration 2 réalisée autour de 60 ans ; elle ramène en général le peuplement à une densité de 1200t/ha environ.
- Coupe d'amélioration 3 réalisée autour de 80 ans ; elle ramène en général le peuplement à une densité de 800t/ha environ.
- Coupe d'ensemencement réalisée vers 100 ans. (puis schéma de renouvellement décrit au § 2.2.1.)

Mais cet itinéraire reste très empirique et ne relève d'aucune étude précise. Ils n'est d'ailleurs pas toujours appliqué sur le terrain, car les gestionnaires sont souvent dans l'obligation de répondre à des situations nécessitant des arrangements particuliers.

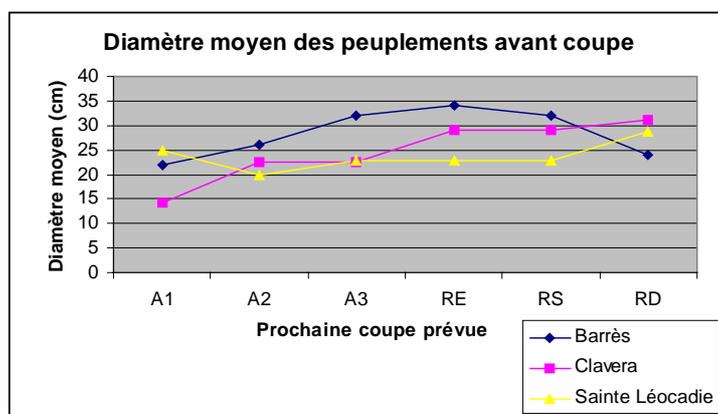
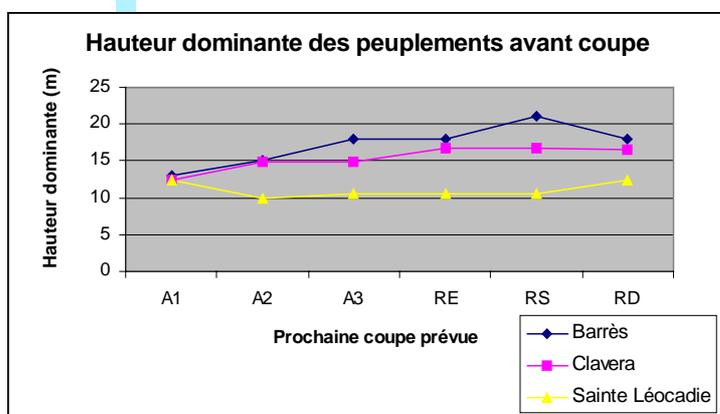
D’ailleurs, les indicateurs utilisés dans les itinéraires sylvicoles présentés ne sont pas souvent utilisés, car peu pratiques à évaluer :

- Incertitude sur l’âge : on utilise préférentiellement le diamètre dominant
- Difficulté d’estimer la densité : on se réfère alors à un prélèvement moyen en volume (en % du volume sur pied estimé ou en m³/ha, grâce au calcul de la surface terrière notamment)

2.4.2. Etude de trois cas : Barrès, Sainte Léocadie et Clavéra

En comparant les résultats d’inventaire réalisés à l’occasion de la révision d’aménagement de trois forêts - les forêts domaniales de Clavéra (2003) et Barrès (2006), et la forêt communale de Sainte Léocadie (2006), il est possible de faire apparaître certaines similitudes.

NB : Chaque point formant les trois courbes des deux graphiques ci-après représente une valeur moyenne de hauteur dominante et diamètre moyen sur les unités d’analyse passant prochainement en coupe, pour chacun des 6 types de coupe déterminés. Il n’est pas tenu compte de la date de la dernière intervention.



Légende : A1 = Première coupe d’amélioration
A2 = Seconde coupe d’amélioration
A3 = Troisième coupe d’amélioration

RE = Coupe d’ensemencement
RS = Coupe secondaire
RD = Coupe définitive

Figure 6 : Comparaison de données dendrométriques dans différentes forêts de Cerdagne et Capcir

Que ce soit pour les forêts de Barrès, Sainte Léocadie ou Clavéra, la croissance du peuplement, en hauteur comme en diamètre, est très irrégulière (elle est évidemment fortement liée aux potentialités de la station forestière). Il est difficile de dégager une quelconque tendance, comme l’illustrent bien les graphiques ci-après : la hauteur dominante comme le diamètre moyen paraissent peu évoluer au cours du temps. La **hauteur potentielle du peuplement serait atteinte rapidement**, dès avant la première éclaircie (ce que confirme le §2.5.1. du présent chapitre), et n’évoluerait que faiblement par la suite. Les différences de ces valeurs entre les trois forêts sont vraisemblablement dues à des paramètres stationnels reflétant des différences de potentialités sylvicoles.

Un fait important est à souligner : les coupes de première éclaircie interviennent pour un diamètre moyen d’environ 15 cm (respectivement 14, 22 et 25cm pour les forêts de Clavéra, Sainte Léocadie et Barrès), et 10 cm dans les cas (marginaux) les plus défavorables.

Au vu des faibles gains de croissance observés suite aux éclaircies, on peut supposer que le Pin à crochets, qui est une essence rustique à croissance lente, est capable de se hiérarchiser naturellement. Une sylviculture extensive est donc envisageable pour les situations les moins rentables économiquement.

2.4.3. Esquisse de tables de production

Plusieurs auteurs ont voulu proposer des modèles de croissance relatifs au Pin à crochets. Il est intéressant, entre autres, de comparer deux de ces modèles :

- un premier modèle construit d'après l'étude de COQUILLAS, qui fait référence aux Pineraias catalanes situées au Sud de la frontière franco-espagnole.
- Un second modèle, proposé par DECAIX et TARDIEU (auteurs du premier catalogue des stations de Cerdagne et Capcir), réalisé pour la partie Nord de la Catalogne (Cerdagne française et Capcir).

Le graphique ci-contre superpose les courbes de croissance du premier modèle (en pointillés) et du second (traits pleins).

F1, F3 et F4 correspondent aux trois classes de fertilité identifiées côté français, et Q1, Q2, Q3 correspondent aux classes de qualité (fertilité) espagnoles.

On peut faire deux remarques principales suite à l'observation de ces courbes :

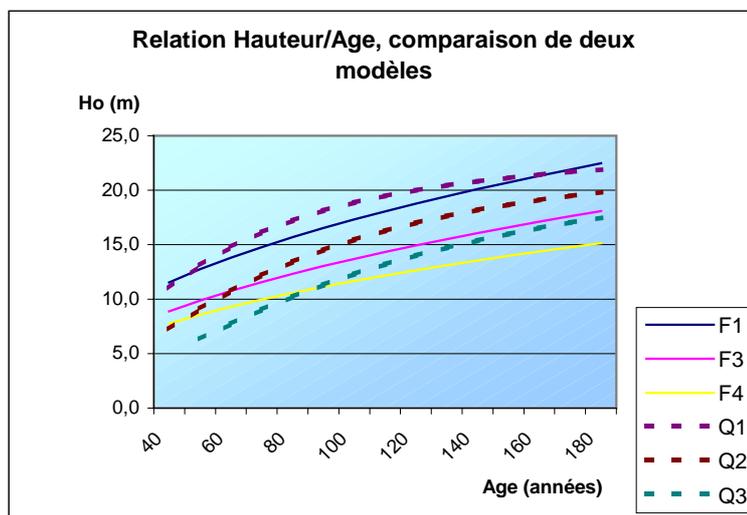


Figure 7 : Esquisses de relations Hauteur / Âge des peuplements de Pin à crochets dans les Pyrénées catalanes

- La pente des courbes françaises est plus régulière que celle des courbes espagnoles, et en particulier moins forte dans le jeune âge. Ceci traduit des différences d'accroissement courant au cours du temps (accroissement courant quasi constant pour les courbes françaises).
- Les deux dernières classes de fertilité proposées sont plus faibles côté français (respectivement 18,1 m et 15,2 m pour F3 et F4 contre 19,8 m et 17,4 m pour Q2 et Q3 à 180 ans).

2.5. Cubage et croissance des peuplements

2.5.1. Un fort accroissement dans le jeune âge

A l'occasion d'une ancienne étude par sondages à la tarière de Pressler (mai 1966), l'Ingénieur des Travaux de Prades parvient à mettre en évidence, sur 4 forêts cerdanes, la diminution linéaire de l'accroissement courant des arbres en fonction de leur diamètre. D'après les résultats obtenus, il paraîtrait que le maximum de l'accroissement individuel du Pin à crochets soit obtenu très rapidement, avant que l'arbre ait atteint le diamètre de 20cm.

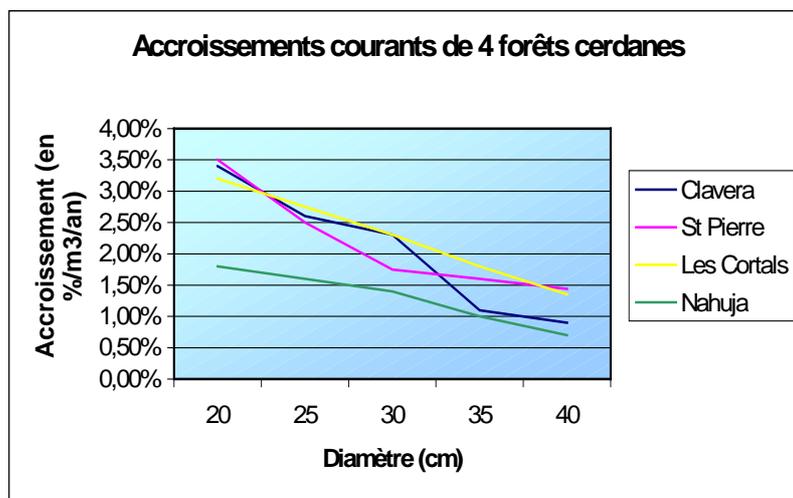


Figure 8 : Comparaison des accroissements courants de différentes forêts de Cerdagne

Les productivités du Pin à crochets sont, au regard d'autres essences résineuses, très faibles, ce qui provient en partie du fait que la plupart des peuplements sont souvent relégués aux stations les plus médiocres.

De manière générale, l'accroissement des peuplements de Pin à crochets, très variable, peut osciller entre 1 et 8m³/ha/an, dans certains cas extrêmes. Quoi qu'il en soit, c'est dans les Pyrénées-Orientales que le Pin à crochets semble avoir les plus forts accroissements. Les chiffres donnés par l'Inventaire Forestier National (données de 1991) sont éloquentes :

L'accroissement courant du Pin à crochets, toutes forêts confondues, est de **3.77m³/ha/an**, et la production brute (accroissement courant + passage à la futaie) de **3.97m³/ha/an**.

2.5.2. Tarifs de cubage

Communément, le tarif de cubage Schaeffer lent n°5 est utilisé pour cuber sur pied les Pins à crochets. Le tarif 4 est utilisé pour les peuplements les moins productifs.

Dans une étude plus approfondie réalisée par l'INIA (Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia Agraria y Alimentaria), un tarif à double entrée (diamètre et hauteur) a été construit. Il est consultable en annexe 4.

3. Tendances actuelles : une sylviculture empirique et intuitive

Dans le département des Pyrénées-Orientales encore plus qu'ailleurs, la sylviculture doit se faire en gardant à l'esprit que la forêt est d'abord un patrimoine, paysager et écologique. En n'importe quel lieu que ce soit, les enjeux s'entrecroisent sur le territoire forestier. Dans de nombreux cas de figure, les enjeux économiques (production et vente de bois) sont couplés à d'autres vocations (protection de l'environnement, pastoralisme, tourisme), qui deviennent même parfois prépondérantes.

C'est ce qui explique la gestion actuelle des forêts de Pins à crochets pyrénéennes : une gestion où aucune règle n'est universelle, chaque cas étant particulier, et où les forestiers s'efforcent de répondre aux attentes des différents usagers, sans pouvoir se référer à des documents de gestion reconnus (sylvicoles ou autres).

3.1. Le Pin à crochets et les autres essences pyrénéennes

A l'étage montagnard, où sa présence est principalement due à l'abandon d'anciennes zones pastorales, il est recommandé de favoriser le retour des essences post-pionnières ou « climaciques » que sont le sapin pectiné en ombrée et le pin sylvestre en soulane, en travaillant à leur profit lors des martelages ou travaux sylvicoles.

La concurrence la plus visible concerne le couple pin à crochets/pin sylvestre dans les stations les plus sèches du bas du subalpin. Dans les séries de production et production/protection en dessous de 1850 m, il conviendra de favoriser autant que faire se peut le pin sylvestre dans les dépressages.

Dans le haut de l'étage montagnard, lorsque le Pin à crochets constitue la première génération, la transition par voie de régénération naturelle passe par le sapin ou le hêtre. Il conviendra d'accompagner cette dynamique lorsqu'elle s'exprime. Notons cependant que la pression des cervidés et/ou des bovins peut compromettre la régénération naturelle de ces deux essences et maintenir artificiellement le Pin à crochets, du fait de sa moindre appétence. La décision impactant donc le plus l'évolution de ce type de station est le maintien ou non de cette forte pression pastorale ou cynégétique.

3.2. Traitements sylvicoles : plus de flexibilité

Les traitements à appliquer sont à déterminer en fonction de l'objectif et l'enjeu de la série.

- Dans les séries de production, il est recommandé par la Directive Régionale d'Aménagement des Montagnes Pyrénéennes (2006) de conduire les peuplements conformément à leur structure actuelle. Dans certains cas, cela implique la mise en place d'une sylviculture de conversion vers la futaie irrégulière (contextes particuliers : difficulté à suivre les rotations indiquées, dépérissements).

- Dans les séries de production et protection physique des sols, il est recommandé de préférer la gestion en futaie irrégulière par bouquets ou parquets. La futaie régulière pourra être maintenue à titre transitoire dans le cas de peuplements trop jeunes pour être irrégularisés sans sacrifices d'exploitabilité excessifs.

- Dans les séries de protection physique des sols, d'intérêt écologique particulier, d'intérêt pastoral, de protection des milieux naturels et des paysages ou d'accueil du public, il est simplement recommandé, pour tous les stades d'évolution pouvant être rencontrés, d'accompagner la dynamique naturelle des peuplements tout en adoptant les mesures en lien avec les objectifs particuliers associés à ces séries.

3.3. Les peuplements réguliers : une sylviculture chaotique

3.3.1. Régénération et renouvellement

La régénération naturelle est relativement facile à obtenir dans les peuplements de Pin à crochets. Elle ne doit donc pas conduire à des sacrifices d'exploitabilité : si le diamètre d'exploitabilité n'est pas atteint, le peuplement ne doit pas être classé dans le groupe de régénération. Quant à l'âge d'exploitabilité, ce n'est qu'un critère indicatif, rarement connu, qui ne sert en tout cas pas de base à l'établissement des itinéraires sylvicoles.

NB : Les critères d'exploitabilité actuels (donnés dans la DRASRA 'Montagnes pyrénéennes') ne sont basés sur aucune étude précise et relèvent de constatations faites par le passé. Etant donné l'éclectisme des demande de la filière bois locale, il semble plus prudent de conserver des diamètres d'exploitabilité suffisamment élevés pour satisfaire les différents besoins des acheteurs.

Par contre, les modalités de renouvellement effectivement appliquées montrent une tendance à la disparition des coupes secondaires : en réalité, la période de rotation entre la coupe d'ensemencement et la première coupe secondaire étant très étendue, soit la régénération est acquise et la coupe définitive peut être réalisée directement, soit les arbres en place sont trop vieux et dépérissent, auquel cas leur récolte devient urgente, et le processus de régénération doit être accéléré. L'attitude qui pourrait être adoptée pour remédier à cela est d'avancer le processus de régénération (au moins pour certaines stations) afin d'éviter les risques de dépérissement.

3.3.2. Des adaptations nécessaires

Par rapport au schéma présenté dans le §2, la sylviculture est devenue progressivement plus extensive, en raison des difficultés d'exploitation, des prix de commercialisation plus que modestes et de la multifonctionnalité des forêts, problématique évoquée précédemment. Cela a engendré :

- Une diminution du nombre de coupes au cours de la révolution d'un peuplement : les premières interventions sylvicoles en particulier sont peu effectuées (dépressages et premières éclaircies) faute de débouchés en aval, et sont réalisées avec un retard conséquent, de même que les éclaircies. On se trouve souvent dans le cas d'une sylviculture de rattrapage.
- De forts prélèvements censés favoriser la vente des coupes en les rendant attractives. La DRASRA de 2006 enjoint d'ailleurs de diminuer le nombre de passages en coupes, chose incontournable dans de tels peuplements de productivité réduite, de façon à mobiliser des volumes à l'hectare suffisants pour être attractifs.
- Les seuls travaux susceptibles d'être mis en œuvre sont les dépressages, et il convient de les réserver aux meilleures stations.

3.4. Les peuplements irréguliers : une sylviculture empirique souvent mal pratiquée

Le cas des forêts traitées selon la méthode de la futaie irrégulière par bouquets est problématique. La règle qui est fixée en théorie, pour le calcul du nombre de trouées à mettre en place et de la surface de ces trouées, est présentée dans l'encart suivant :

$$St \text{ (ha)} = \frac{r}{A} \times S$$

St = surface totale des trouées à réaliser (ha)
r = rotation théorique entre chaque coupe (années)
A = âge d'exploitabilité (années)
S = surface réduite de la série (ha)

Puis, en préconisant une taille de trouée égale à un cercle de rayon identique à la hauteur potentielle estimée sur la série, on obtient :

$$N = \frac{St}{\pi r Ho^2} \times \frac{1}{10\,000}$$

N = nombre de trouées à réaliser
St = surface totale des trouées à réaliser (ha)
Ho = hauteur potentielle estimée sur la série (m)

Et *N/ha* (nombre de trouées à réaliser à l'hectare, en moyenne) = *N* / *S*

Figure 9 : Méthode de calcul de la surface à régénérer en futaie irrégulière

Cette méthode est fastidieuse à appliquer, car elle passe par un contrôle rigoureux et régulier de la surface régénérée. De plus, elle est applicable dans le cas de peuplements possédant une structure irrégulière à la base (surface des peuplements non précomptables et des vides boisables compris entre 10 et 35% de la surface de l'unité de gestion).

En pratique, il est souvent réalisé des opérations d'amélioration dans les peuplements, avec réalisation de trouées de régénération de façon plus ou moins opportune, en récoltant en règle générale trop peu de bois mûrs. Il paraît judicieux de formaliser des itinéraires sylvicoles alternatifs pour ce type de sylviculture, qui peut si elle est mal menée conduire à des sacrifices d'exploitabilité et des dépérissements massifs comme ce fut le cas auparavant.

La volonté de rechercher l'équilibre des futaies irrégulières et jardinées par surface est certainement le problème principal. Il paraît plus cohérent de s'affranchir, dans ces cas-là, de la notion de suivi surfacique du renouvellement, notion qui doit être circonscrite aux traitements de futaie régulière. En futaie irrégulière (pied à pied ou par parquets) et jardinée, l'équilibre doit être caractérisé par les valeurs cibles de certains critères :

- le capital sur pied (en surface terrière) ;
- la répartition par catégories de grosseur de bois (en surface terrière, en effectif ou en fonction de types de peuplements définis au préalable dans une typologie) ;
- le taux de renouvellement (passage à la futaie, stock de régénération).

Il est important de souligner que la notion d'équilibre vise surtout à éviter le genre de désagrément que représente par exemple le vieillissement généralisé des peuplements. L'équilibre absolu ne doit pas être recherché à tout prix ; c'est simplement un 'état idéal' vers lequel on doit tendre.

Conclusion

Suite à ce rapide bilan, on constate l'évident besoin pour les forestiers d'un référentiel précis en matière de sylviculture du Pin à crochets. Ce document devra bien sûr intégrer les acquis et les enseignements du passé. Ces connaissances n'étant pas suffisantes, il conviendra de réaliser certaines études dans le but de compléter ces lacunes. De plus, l'interaction complexe de nombreux enjeux sur ces forêts nécessite que ce référentiel de gestion intègre les différentes vocations possibles des Pineraies à crochets, et propose des consignes de gestion en relation avec chacune d'entre elles.

Introduction

Comme toutes les formations végétales et peut-être plus encore, les Pinaies à crochets remplissent des fonctions multiples, qui vont bien au-delà de la gestion forestière 'traditionnelle', c'est-à-dire la production et la commercialisation de bois. Un des défis majeurs du projet de la création d'un manuel de conduite des peuplements forestiers de Pin à crochets est en l'occurrence d'intégrer tous ces enjeux différents.

1. Les différentes vocations des Pinaies à crochets

Le guide de gestion du Pin à crochets dans le département des Pyrénées-Orientales a pour but de proposer des consignes sylvicoles adaptées à tous les types de peuplements forestiers composés de Pin à crochets. Ceci suppose au préalable la définition, la distinction et la détermination de ces types, mais également l'identification des facteurs capables d'influer sur les méthodes et les règles de gestion. Dans le contexte de cette première étude, les principaux sont les suivants :

1.1. La notion d'exploitabilité, un préalable incontournable

La notion d'exploitabilité d'un peuplement forestier est capitale, car elle détermine (souvent par défaut) la gestion sylvicole effective de ce peuplement. L'exploitabilité du peuplement dépend de deux facteurs principaux qui sont la pente et la proximité du réseau routier. Mais cette notion fluctue car elle est intimement liée au prix de vente estimé des bois sur pied. De façon schématique, on considère qu'un peuplement forestier (ou une unité d'analyse, qui devient alors unité de vidange) est exploitable à partir du moment où le coût d'exploitation des bois est supérieur à son prix de vente :

$$\text{PV} - \text{CE} > \text{B}$$

PV = Prix de vente des bois sur pied
CE = Coût d'exploitation des bois
B = Bénéfice souhaité (≥ 0)

Cependant, dans un contexte donnée, il est possible de fixer certaines normes pour éviter un raisonnement aussi casuel. Dans le contexte considéré (celui des futaies de Pin à crochets des Pyrénées-Orientales), on admet de façon générale qu'une coupe doit répondre aux standards de commercialisation suivants pour pouvoir être normalement vendable :

⇒ **Pour les coupes dans lesquelles le diamètre moyen des bois est compris entre 25 et 50 cm :**

- La coupe doit être exploitable dans des conditions normales au tracteur débusqueur, c'est à dire aucun bois situé à plus de 50 m à l'amont et 100 m à l'aval d'une voie de vidange.
- La pente générale doit être inférieure à 100 %.
- Le prélèvement doit être supérieur à 50 m³/ha (selon la dispersion des points de prélèvement)
- La distance de traînage des bois après débusquage doit être inférieure à 1000 m.

⇒ **Pour les coupes dans lesquelles le diamètre moyen des bois est compris entre 15 et 20 cm :**

- Lorsque la pente est inférieure à 30 % et le traînage inférieur à 500 m :
 - Le prélèvement doit être supérieur à 50 m³/ha (selon la qualité et la dispersion des points de prélèvement)
- Lorsque la pente est supérieure à 30 % et le traînage inférieur à 500 m :
 - La coupe doit être exploitable dans des conditions normales au tracteur débusqueur, c'est-à-dire aucun bois situé à plus de 25 m à l'amont et 50 m à l'aval d'une voie de vidange.
 - La pente générale doit être inférieure à 100 %
 - Le prélèvement doit être supérieur à 50 m³/ha (selon la dispersion des points de prélèvement)

1.2. La protection physique du milieu et des enjeux humains ou économiques

En tant que massif montagneux, la chaîne pyrénéenne présente un certain nombre de risques inhérents à son relief accidenté. Dans le cas du département des Pyrénées-Orientales, ces risques, bien que d'occurrence et d'importance faible au regard d'autres régions alpines par exemple, sont principalement relatifs aux avalanches, aux crues torrentielles et à l'érosion en général.

Dans le chapitre qui doit traiter de la protection physique du milieu, on peut légitimement se baser sur le travail réalisé dans le cadre de l'élaboration du Guide des Sylvicultures de Montagne des Alpes du Nord françaises, lui-même inspiré en partie du Guide des Soins minimaux suisse. ou éventuellement menacés par différents aléas (érosion, avalanches, chute de blocs...). Ces guides proposent une approche particulière de ces aspects ainsi que de nombreuses propositions de gestion des forêts ayant un rôle potentiel dans la lutte contre ces différents dangers.

1.3. La protection de la biodiversité

Comme nous l'avons vu précédemment, les habitats naturels que constituent les Pinaies à crochets sont d'une importance d'autant plus grande qu'ils sont rares à l'échelle nationale et européenne. Il est indispensable de les préserver dans le paysage de Cerdagne et Capcir dont ils sont une caractéristique majeure. Il est également fondamental de respecter et veiller au maintien de l'alternance entre les différents habitats, c'est-à-dire les mosaïques de peuplements forestiers. Cette approche plus globale est nécessaire pour atteindre les objectifs de biodiversité optimale, ce qui nécessite parfois des interventions particulières.

Deux enjeux particuliers doivent être cités, car ils concernent de façon sensible les Pinaies à crochets. L'enjeu de conservation des biotopes favorables au grand Tétrás (ce gallinacé, présent de façon importante dans le département, affectionne particulièrement les Pinaies ouvertes) et l'enjeu de protection des zones humides ou tourbeuses, parce qu'elles constituent des habitats favorables à certaines espèces rares, voire menacées de disparition.



Figure 10 : Le Grand Tétrás, un oiseau rare affectionnant les Pinaies d'altitude claires

1.4. Le sylvopastoralisme, un enjeu local fort

Même si, depuis la fin du XIX^{ème} siècle, l'action des services forestiers et l'exode rural ont entraîné une nette diminution des pratiques d'élevage, on constate un certain regain de l'activité pastorale depuis une vingtaine d'années, avec certes des différences entre les filières bovines, ovines et chevalines. L'organisation administrative et juridique de cette activité est encore en cours de structuration. Les aides et subventions se multiplient et forment un tissu juridique assez complexe. En forêt communale, la situation est d'autant plus floue compte-tenu de l'existence de droits d'usage pour le compte des habitants.

De façon générale, les communes n'ont jamais vu d'un bon œil l'intervention des services forestiers concernant la réglementation de l'activité pastorale sur leur territoire. Plus que jamais, il est nécessaire d'harmoniser les activités d'élevage et de foresterie et de définir les zones où chacun de ces aspects est à privilégier par rapport à l'autre.

1.5. La conservation des paysages et l'accueil du public

L'ensemble des forêts du département, et particulièrement les forêts de Pin à crochets de la région naturelle Cerdagne-Capcir, jouent un rôle capital en matière d'accueil du public. Ce rôle est intimement couplé à la qualité des paysages que l'on peut y observer, lesquels doivent faire l'objet d'attentions particulières.

Il convient dès lors de développer, à l'occasion de la réalisation d'un guide de gestion des forêts de pin à crochets des Pyrénées, un volet permettant de distinguer les forêts les plus concernées par cet enjeu. Pour celles-ci et pour les autres, on proposera également des consignes de gestion (sylvicoles en particulier) relatives au maintien de la qualité paysagère des peuplements forestiers et aux dispositions à prendre vis-à-vis de la fréquentation de ces massifs.

1.6. Contexte stationnel, diagnostic écologique du milieu

En fonction de différents facteurs (richesse du substrat, exposition, altitude, hygrométrie, pluviométrie...), la fertilité de la station sera plus ou moins bonne, et la qualité des produits que l'on peut espérer obtenir découle inévitablement de ce paramètre. La gestion du peuplement doit également tenir compte de cet aspect, l'investissement envisageable dans tel ou tel cas étant subordonné au prix de vente escompté des bois.

Les connaissances actuelles dans ce domaine sont lacunaires. L'étude menée par H. CHEVALLIER durant les années 2000 (dont le résultat a été la parution du catalogue des stations forestières intitulé Forêts et milieux remarquables associés dans les Pyrénées Catalanes, et qui constitue le référentiel technique le plus actuel en la matière) a permis d'identifier les différentes stations du Pin à crochets. Cependant, elle ne permet pas d'aboutir à des conclusions suffisamment précises en termes de fertilité ou de relation station-production (relations âge-hauteur, âge-diamètre dominant...). Le tableau ci-dessous synthétise les caractéristiques principales des stations privilégiées du Pin à crochets dans le département :

Code	Nom de la station	Facteurs favorables	Facteurs défavorables	Fertilité de la station
Sub1a	Station subalpine d'ombrée, mésohygrophile froide	Humidité	vent, froid, altitude	Moyenne
Sub1b	Station du subalpin inférieur en ombrée, mésohygrophile froide	Exposition, rétention en eau, altitude		Bonne
Sub2a	Station mésophile froide du subalpin supérieur		Altitude, vent, froid	Moyenne
Sub2b	Station mésophile à tendance froide du subalpin	Conditions thermiques tamponnées, sol morainique ou schisteux, bonne rétention en eau		Bonne
Sub3	Station d'ombrée sèche du subalpin		Sol superficiel, ETP forte, station sèche	Moyenne
Sub4	Station en ombrée froide du subalpin sur sols très superficiels à rocheux		Percolation rapide, substrat filtrant, vent	Mauvaise
Sub5	Station de soulane du subalpin à tendance sèche	Situation topographique	Altitude, conditions thermoxérophiles, position topographique	Moyenne
Sub6	Station sèche du subalpin et montagnard supérieur		Approvisionnement en eau, percolation, substrat filtrant	Moyenne
Sub7	Station mésoxérophile du subalpin sur sols très superficiels à rocheux		Approvisionnement en eau, percolation, position topographique	Mauvaise
Calc4	Station d'ombrée du montagnard-subalpin inférieur sur calcaire et sol moyennement profond à profond	Profondeur du sol, exposition fraîche	Altitude, pente	Bonne
Calc5	Station sèche du subalpin sur calcaire et sol superficiel		Approvisionnement en eau, sol superficiel	Mauvaise
Calc6	Station moyenne du subalpin sur calcaire	Sol assez profond pour l'altitude	Altitude	Moyenne
Calc7	Station acidiline à neutrophile du subalpin sur calcaschistes et cailloutis mélangés	Profondeur et composition du sol	Altitude, position topographique	Moyenne

Figure 11 : Tableau de synthèse des principales stations forestières du Pin à crochets

2.1. Elaboration d'un outil dichotomique

Afin d'établir entre les enjeux cités ci-dessus une hiérarchisation précise et déterminer lequel doit prévaloir sur les autres, il est plus commode de proposer un outil dichotomique, aussi simple que possible. La 'clé de détermination de la vocation principale d'un massif forestier' proposée ci-après, est un exemple de ce que l'on pourrait imaginer.

Cette clé dichotomique ne fait apparaître que l'enjeu dominant ; il est cependant fort probable que d'autres enjeux, secondaires, soient associés à la vocation première identifiée grâce à cet outil. Ainsi, de nombreux cas sont potentiellement observables (protection-pastoralisme, biodiversité-protection, tourisme-pastoralisme...). Pour ne pas complexifier le guide en conséquence, il est préférable d'identifier clairement la vocation principale du massif forestier (qui en toute logique apparaîtra dans l'intitulé de la série de l'aménagement forestier). Quant aux fonctions secondaires associées, on préconisera pour y répondre de se référer aux chapitres correspondants. Les actions à mener devront alors répondre en priorité à l'objectif principal identifié, puis à l'objectif secondaire.

***NB :** L'élaboration de cette clé, ainsi que l'ensemble des paragraphes qui suivent sont le résultat de concertations répétées avec différentes personnes ressources, à qui j'ai pu soumettre successivement différents projets intermédiaires, corrigés à plusieurs reprises par chacune d'entre elles. La version la plus aboutie du résultat de ces concertations est proposée dans le présent chapitre.*

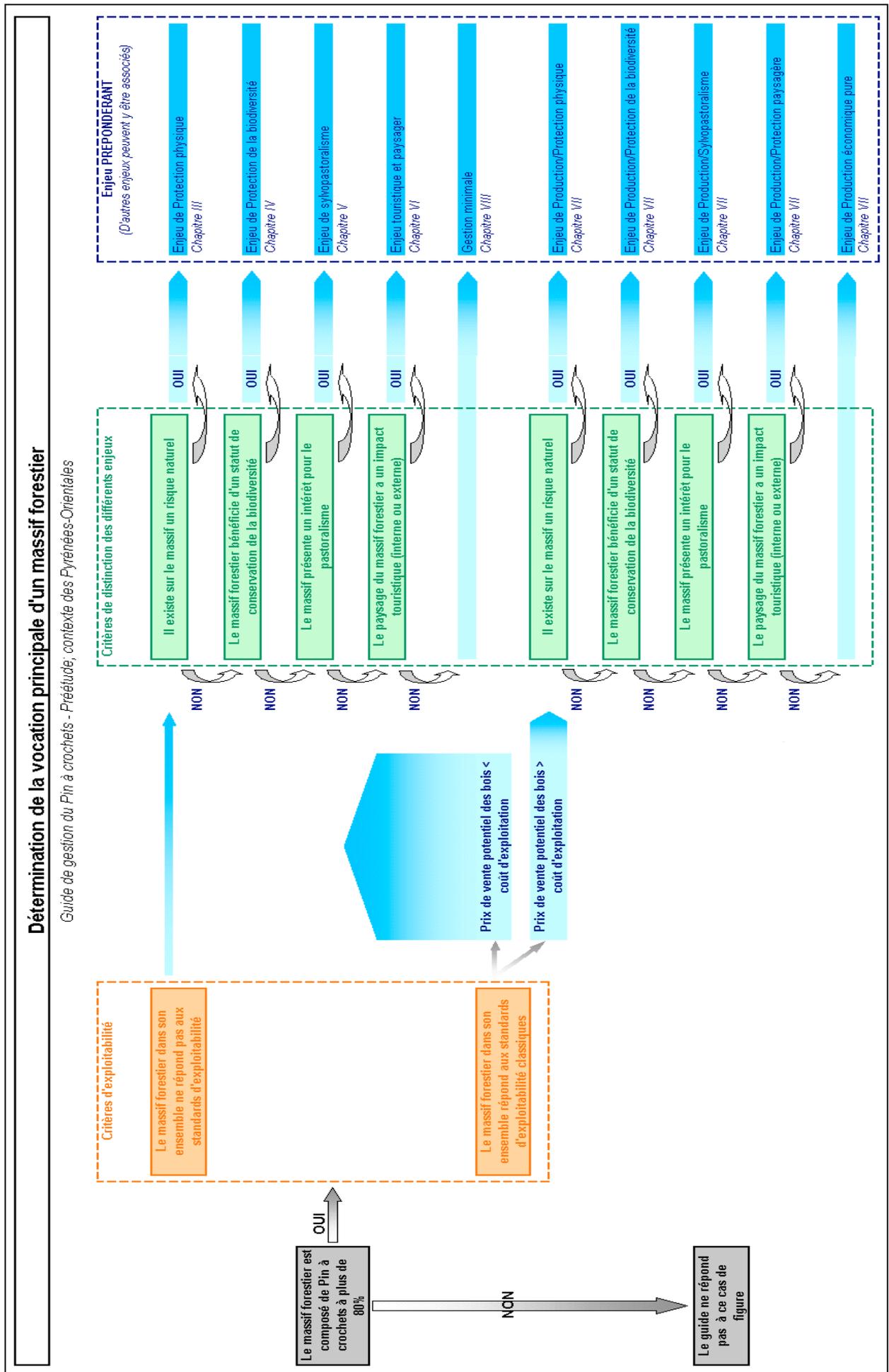
Dans la clé ci-après, l'ordre des enjeux listés dans l'encadré vert répond à une logique simple ; on essaie de placer en amont les enjeux susceptibles d'influencer le plus la gestion forestière :

- ⇒ On place en premier lieu la vocation de protection physique de la forêt, car elle concerne la sauvegarde d'enjeux humains (même si cette vocation n'est souvent pas celle qui domine dans le contexte des Pyrénées-Orientales).
- ⇒ On observera ensuite le massif forestier sous l'angle de la protection des enjeux environnementaux, qui revêtent une importance capitale et doivent être considérés avec la plus grande attention.
- ⇒ Le pastoralisme est l'enjeu que l'on observe par la suite ; la gestion des espaces forestiers et celle des estives sont étroitement imbriquées, c'est pourquoi cet enjeu est placé en troisième position.
- ⇒ L'enjeu paysager et touristique arrive ensuite ; non pas que cet enjeu soit de faible importance (au contraire, son impact est considérable dans le secteur concerné), mais parce qu'il est nécessaire de résoudre les problèmes posés par les trois premiers cités avant de pouvoir se consacrer à celui-ci en ne risquant pas d'effectuer des aménagements inappropriés.
- ⇒ Enfin, on s'intéresse à l'enjeu de production de bois. Ici encore le raisonnement est le même que pour l'enjeu touristique ; on ne peut répondre aux problématiques sylvicoles et économiques que lorsqu'on s'est affranchi des diverses autres contraintes qui pèsent sur le milieu forestier.

Ainsi, la seconde partie de la clé ci-après permet de déterminer selon cette logique l'enjeu prédominant sur le massif forestier considéré.

Cette première distinction permet de se rapporter à l'un des chapitres du futur guide ; lorsque d'autres enjeux coexistent sur un même massif, l'attitude à adopter est de répondre prioritairement aux problèmes posés par l'enjeu prépondérant, puis d'adapter la gestion en fonction des autres enjeux (se rapporter aux chapitres correspondants).

Figure 12 : Clé de détermination de la vocation principale d'un massif forestier



2.2. Choix du chapitre à utiliser

Par souci de simplification, cette clé de détermination ne réunit pas le détail de tous les processus et critères qui permettent d'orienter l'utilisateur vers tel ou tel chapitre. Les paragraphes qui suivent proposent quelques moyens d'y parvenir.

2.2.1. Chapitre 'protection'

Comme il a été évoqué précédemment, il est possible de s'inspirer dans ce cas des méthodes proposées dans le guide des Sylvicultures de Montagne du contexte alpin. On se référera particulièrement aux chapitres traitant des problématiques de l'érosion, des crues torrentielles et des avalanches.

Outre des consignes de gestion précises et exhaustives, ce guide propose des moyens d'identifier précisément la présence de ces différents risques, moyens qui peuvent être réutilisés dans le cas du Pin à crochets.

2.2.2. Chapitre 'biodiversité'

Etant donné le caractère particulier des habitats du Pin à crochets, qui présentent dans tous les cas un fort intérêt écologique, on peut envisager de concentrer les efforts pour le maintien de cette qualité de biodiversité dans les zones possédant un statut de protection particulier, et se référer pour la gestion de ces espaces naturels aux documents de référence suivants :



Figure 13 : Gestion de la biodiversité et documents de référence

Pour plus de précision, on peut également envisager d'utiliser une méthode basée sur le calcul d'indices de biodiversité. Selon le tableau ci-dessous, tiré de l'ouvrage Bois morts et à cavités ; une clé pour des forêts vivantes (VALLAURI et al., 2005), on peut établir la classification ci-contre :

Indices de biodiversité des forêts tempérées	
De façon schématique et simplificatrice, on peut établir le classement suivant:	
Forêts présentant moins de 10m ³ /ha de bois mort <i>forêts gérées de façon intensive</i>	Biodiversité 'faible'
Forêts présentant de 10 à 20m ³ /ha de bois mort <i>forêts gérées de façon extensive</i>	Biodiversité 'moyenne'
Forêts présentant de 20 à 40m ³ /ha de bois mort <i>forêts gérées par une sylviculture proche de la nature</i>	Biodiversité 'forte'
Forêts présentant plus de 40m ³ /ha de bois mort <i>forêts non gérées</i>	Biodiversité 'très forte'

Figure 14 : Indices de biodiversité

2.2.3. Chapitre 'sylvopastoralisme'

Les corrélations entre l'activité pastorale et les autres vocations des formations forestières de Pin à crochets sont souvent ambivalentes. Comme l'illustre le tableau ci-après, le sylvopastoralisme présente de nombreux avantages, mais aussi certains inconvénients au regard d'autres enjeux :

Interactions	Conséquences positives	Conséquences négatives
Pastoralisme/Production de bois	Les conséquences sont neutres si le pâturage est suffisamment extensif	Si la pression pastorale est trop importante (échec de la régénération du fait du piétinement répété, ou du moins nécessité de clôturer)
Pastoralisme/Faune sauvage	Entretien de zones de gagnage pour les cervidés et les sangliers, entretien de milieux ouverts indispensables à certaines espèces (perdrix)	Compétition directe dans le cas de surpâturage, gêne occasionnée par les clôtures pour certaines espèces de l'avifaune
Pastoralisme/Risques naturels	Maintien d'une végétation rase, limite le risque de glissement du manteau neigeux. Limite le risque de départ d'incendies	Empêche la croissance d'une végétation arbustive et arborescente favorable à la stabilisation des sols
Pastoralisme/Paysage	Crée un paysage ouvert ou tout au moins une mosaïque de paysages différents en alternance, empêche la fermeture du couvert forestier	
Pastoralisme/Protection de la biodiversité	Augmente l'occurrence des écotones et favorise la diversification des cortèges floristiques et faunistiques	A proscrire dans les zones de présence d'espèces floristiques rares ou protégées (cas exceptionnels et très ponctuels). Proscrire également l'écobuage dans le cas de milieux fragiles ou à protéger

Figure 15 : Interactions entre le pastoralisme et les autres vocations des Pineraies à crochets

Pour présumer de l'intérêt pastoral d'un massif forestier, on peut adopter un raisonnement pouvant être synthétisé sur le schéma ci-dessous. Celui-ci fait référence à un manuel pastoral, en cours d'élaboration par le Parc Naturel Régional des Pyrénées Catalanes et qui devrait répondre à la plupart des questions relatives au sylvo-pastoralisme :

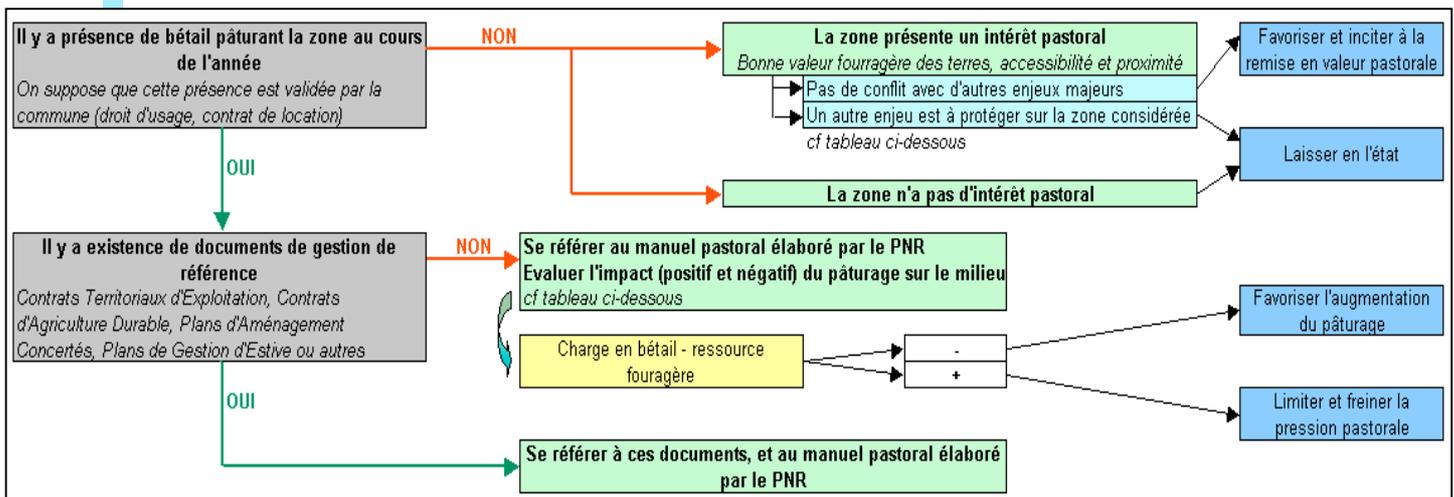


Figure 16 : Détermination de l'enjeu pastoral

2.2.4. Chapitre 'paysage et accueil du public'

De la même façon, le tableau ci-dessous propose une méthode de détermination de ce double enjeu selon un raisonnement dichotomique simple :

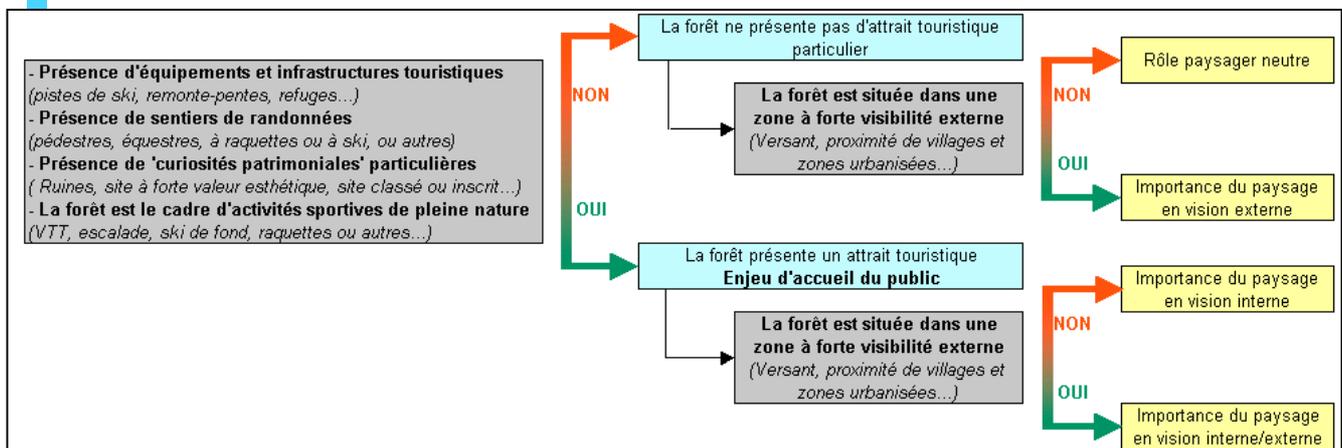


Figure 17 : Détermination de l'enjeu paysager et touristique

2.2.5. Chapitre 'Production'

On accède à ce chapitre central une fois tous les autres enjeux potentiels passés en revue. Ainsi, mis à part les critères d'exploitabilité du peuplement, il n'y a pas d'indices précis permettant de parvenir directement à la partie 'production de bois'. Cette façon de procéder témoigne d'une volonté de traiter à égalité tous les enjeux qui sont envisageables dans les Pinaies à crochets.

C'est le chapitre du guide qui intéresse le plus les gestionnaires forestiers : il permet de définir le type de peuplement forestier dans lequel on se trouve, et donne les consignes de gestion sylvicoles en fonction de chaque type de peuplement et de ses déclinaisons possibles.

2.2.5.1. Production et autres enjeux

Lorsque la vocation de production de bois d'un massif forestier est assortie d'autres enjeux (protection physique, biodiversité, pastoralisme, tourisme), il convient d'appliquer une gestion harmonisée des différents rôles identifiés.

Les chapitres présentés précédemment proposent quelques indices permettant d'apprécier l'importance de chacun de ces enjeux. Grâce à cela, l'utilisateur du guide de gestion peut établir entre eux une hiérarchie précise, mais cette démarche préliminaire demande inévitablement une part de réflexion. Il est en effet peut-être préférable de laisser à l'appréciation de l'utilisateur la tâche d'ordonner chacun des enjeux entrant en compte. Les chapitres de ce guide doivent être des outils permettant d'aider le gestionnaire à établir cette distinction : ils ne seront volontairement pas directifs.

2.2.5.2. Démarche proposée

Une fois la fonction de production du massif avérée, on procède par étapes (*cf schéma ci-après*)

- **Etape 1** : Réalisation, par photo-interprétation, d'une première carte des peuplements supposés, par grands ensembles homogènes ressortant de la photographie aérienne.
- **Etape 2** : Vérification sur le terrain de cette première carte et modifications éventuelles. Sur les zones représentant le plus d'intérêt (pour la production par exemple), on applique une méthode de description pour établir une carte des peuplements (couplée à la mesure des variables dendrométriques retenues pour les calculs d'aménagement). On réalise également, sur ces mêmes zones, une cartographie des stations.
- **Etape 3** : Réalisation de la carte des unités de gestion (agrégation éventuelle de certains peuplements représentant, à l'échelle de la parcelle, une très faible surface).

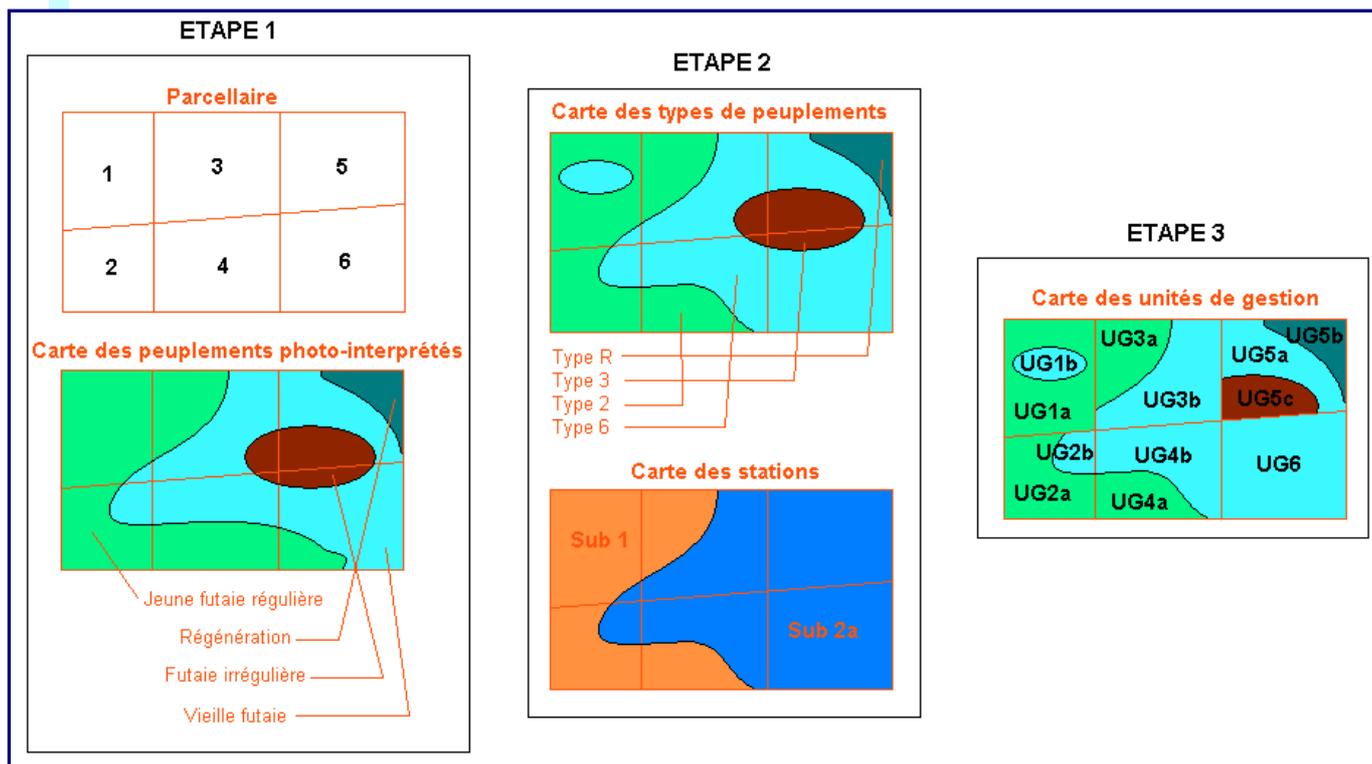


Figure 18 : *Processus d'analyse permettant d'obtenir une carte des unités de gestion*

Conclusion

Les peuplements de production paraissent vraisemblablement ceux qui nécessitent d'être décrits le plus précisément possible. C'est en effet de cette précision que dépend la pertinence des itinéraires de gestion qu'on décidera d'y appliquer.

Inversement, il est judicieux de rechercher à limiter le temps nécessaire au recueil de ces données. Bien entendu, le choix de la nature et du nombre des critères de description à privilégier est primordial, mais la méthode de description des peuplements ciblés après photo interprétation l'est tout autant.

L'une d'entre elles possède le double avantage d'être rapide, facile à mettre en œuvre et relativement précise dans la nature des résultats obtenus : la typologie de peuplements. Nous avons donc opté pour cette méthode, et le troisième volet de cette pré-étude a été l'élaboration d'un premier modèle typologique. Les étapes de cette élaboration et les conclusions que j'ai pu en tirer font l'objet du chapitre qui suit.

Chapitre V : Elaboration d'un premier modèle de typologie des peuplements de Pin à crochets

1. De l'utilité d'une typologie

1.1. Introduction

En préalable essentiel à la démarche d'établissement de directives de gestion sylvicole, la description des peuplements s'avère être une étape incontournable et primordiale ; la méthode employée, les critères retenus influenceront directement les consignes de sylviculture finales. Pourquoi choisir l'outil typologique, dans le cas précis du Pin à crochets ?

Car il présente plusieurs avantages :

- Il permet d'identifier les peuplements, c'est à dire les déclarer identiques à un référent (le type) sur la base de critères forts mais limités en nombre. L'intérêt de cette identification réside dans le caractère synthétique, objectif et consensuel du référent, qui facilite le dialogue et la compréhension entre spécialistes et novices de domaines complexes comme la forêt.
- Il permet de cartographier facilement des informations géographiques multiples. Toutefois, le seuil de perception du type de peuplement sur le terrain, fortement dépendant de la densité d'échantillonnage, de même que la notion de type « moyen » au niveau d'une unité parcellaire par exemple, pose des problèmes encore non résolus.
- Il permet, lorsque les critères utilisés pour la classification des types sont d'ordre quantitatif et de précision équivalente à celle obtenue avec des techniques d'inventaires plus classiques, d'estimer statistiquement certaines variables dendrométriques, couplant alors l'utilité de l'outil typologique à celle de l'inventaire.
- Il permet de situer le peuplement dans un contexte de dynamique d'évolution présumée. Le type est une photo du peuplement à l'instant t, et l'étude globale nécessaire à la construction de la typologie doit pouvoir reconstituer le cycle sylvigénétique du peuplement, à partir de l'identification de ses différentes phases de vie. Le prolongement logique de l'outil typologique est alors de proposer plusieurs schémas d'évolution possible pour le peuplement identifié, naturels ou induits par l'action de l'homme.
- Il permet également de découvrir les relations qui peuvent exister entre chaque type et les variables de l'écosystème forestier, lorsque celles-ci ne sont pas déjà intégrées à la typologie (la productivité, la qualité des bois, la biodiversité, la stabilité, le peuplement non précomptable).
- Enfin, l'inventaire typologique devrait pouvoir permettre d'établir, en relation avec l'étude de la dynamique des peuplements qu'il analyse, des itinéraires de gestion **préconçus** pour chaque type de peuplement (la typologie de peuplements devient alors couplée à un guide de sylviculture). L'outil descriptif devient alors outil de diagnostic, ce qui double son intérêt.

1.2. Choix des critères à utiliser dans une typologie de peuplements

1.2.1. Généralités, critères principaux

Lors de la construction d'une typologie de peuplements se pose la question du choix des variables, qui doivent être susceptibles de donner une image fidèle quoique simplifiée de la réalité.

Les variables choisies doivent rendre compte de trois éléments principaux :

- le capital sur pied, c'est à dire la quantité de bois (en volume) présente sur l'unité décrite. Cette donnée est primordiale pour déterminer, entre autres, l'urgence des interventions à réaliser.
- l'organisation sociale des arbres, en faisant référence soit à la hauteur, soit au diamètre (soit aux deux) des individus
- l'organisation horizontale, qui reflète les ruptures significatives au niveau du « toit » du peuplement (trouées, bouquets, arbres uniformément répartis).

Les données dendrométriques viendront compléter ou renseigner ces informations. Il apparaît souvent, à l'issue de l'étude de terrain préalable à l'élaboration d'une typologie de peuplements, que certaines variables contribuent de façon prédominante et presque systématique à la variabilité des peuplements. Ces facteurs sont identifiés, lors d'une analyse multivariée, comme les axes principaux expliquant la diversité des relevés effectués. Ils sont naturellement choisis comme descripteurs prioritaires (premiers « nœuds » dans la classification hiérarchique ascendante).

Les facteurs retenus doivent par ailleurs faire preuve de deux qualités supplémentaires :

- *robustesse* : notation identique pour des opérateurs différents, basée sur des descripteurs objectifs clairement définis
- *'rusticité'* : facilité de prise de données ne nécessitant pas d'opérations longues et trop fastidieuses, surtout en zone de montagne.

Répondant à ces exigences, on retrouve souvent les paramètres suivants :

- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • la surface terrière, • la répartition des tiges en catégories de diamètre, • la répartition des tiges en catégories de hauteur, • la répartition de la régénération | } | <p><i>Où ces mêmes éléments mesurés en pourcentage du nombre total de tiges (cas des peuplements peu denses)</i></p> |
|--|---|--|

D'autres données quantitatives sont également importantes pour la pertinence de la typologie : composition en essences, perches, régénération, taillis. Quant aux critères qualitatifs tels l'état sanitaire, la qualité des bois, ils sont un bon complément d'information pour connaître la valeur réelle et l'avenir d'un peuplement, mais ne sauraient constituer des critères discriminants de typologie. Ces critères sont à considérer comme des renseignements devant être cartographiés plutôt que des critères rentrant en compte dans le processus de détermination des types de peuplements.

1.2.2. La structure du peuplement : une donnée indispensable

A l'occasion de la table d'hôtes sur la futaie irrégulière, qui s'est déroulé à Nancy les 23 et 24 novembre 1999, la question des typologies de peuplements, largement employées pour la gestion de ces forêts, a été évoquée. Malgré certaines divergences d'opinion, un consensus a pu être dégagé sur différents points, et notamment le fait que les critères de structure et de capital sont deux paramètres essentiels qui apparaissent même indispensables comme premiers critères d'entrée dans toutes les typologies existantes. Ils représentent **le niveau de base d'une typologie**, permettant de réaliser un juste compromis entre une typologie simpliste donnant trop peu de renseignements, et une autre comportant de nombreux critères supplémentaires rendant la typologie complexe et inutilisable.

1.3. La construction d'une typologie : deux démarches possibles

Lors de l'élaboration d'une typologie, on se trouve face à deux écueils envisageables :

- la description de l'existant : on court alors le risque qu'un certain nombre de nouveaux types issus de l'évolution des peuplements ne soient pas inclus dans la typologie d'origine.
- une démarche purement théorique, où les types sont décrits de manière intellectuelle, a priori : dans ce cas, certains types n'existent pas sur le terrain et les limites entre types sont souvent difficiles à intégrer par le praticien sur le terrain, d'où une perte de l'aspect opérationnel de la typologie et son discrédit.

Il apparaît désormais que la construction d'une typologie se fait suite à l'étude statistique d'un certain nombre de placettes de terrain, sur lesquels on aura procédé à différentes mesures dendrométriques supposées influencer la discrimination des types.

1.4. Application au contexte des Pineraies à crochets

1.4.1. Mode d'échantillonnage

L'outil final que l'on souhaite obtenir doit regrouper l'ensemble des types de peuplement potentiellement observables pour être utilisé efficacement. Un écueil majeur doit absolument être évité : omettre des types de peuplement quasi absents aujourd'hui (pour des raisons historiques et sylvicoles) mais qui sont appelés à prendre de l'importance plus tard.

En l'occurrence, les peuplements mûrs sont actuellement sous-représentés ; en toute logique, leur surface est amenée à augmenter significativement dans les années à venir. Il est donc primordial de les représenter correctement dans la typologie.

Pour pallier ce risque, il paraît essentiel, surtout dans le contexte présent, de procéder à un échantillonnage raisonné lors de la campagne de relevés préalable à la construction de la typologie. En effet, il est important de tirer parti de l'expérience de terrain des forestiers en rendant participative la démarche de choix des placettes d'étude.

1.4.2. Construction d'un modèle typologique 'à dire d'expert'

En prenant acte des connaissances empiriques accumulées au cours des dernières années sur la sylviculture du Pin à crochets, il est envisageable de bâtir un modèle de typologie de peuplement a priori, qui différencierait les faciès forestiers que l'on s'attend à identifier en utilisant les critères de distinction qui paraissent les plus plausibles.

Après plusieurs essais successifs, voici, sous forme d'une clé de détermination, la méthode typologique 'a priori' qui a été retenue (voir page suivante). Elle semble correspondre, au premier abord (c'est à dire sans étude statistique consécutive à une campagne de relevés dendrométriques) aux différents peuplements forestiers que l'on observe ou que l'on pense pouvoir observer dans le contexte Cerdagne Capcir Haut-Conflent. Sa construction a été l'objet de multiples concertations au sein des services techniques de l'agence ONF de Perpignan (personnel de l'Unité Spécialisée Aménagement Développement et de l'Unité Territoriale Cerdagne-Capcir notamment). Je me suis également appuyé sur plusieurs typologies existantes, (Typologie de la Hêtraie Sapinière des Pyrénées, Typologie du massif vosgien).

Cette approche ne doit pas faire oublier la démarche à adopter :
Il s'agit en premier lieu de distinguer les types qui apparaissent effectivement sur le terrain (phase d'analyse ou d'inventaire), puis de trouver les critères qui permettent de les identifier et les discriminer, et non l'inverse. La clé de détermination des types de peuplements doit être réalisée à posteriori ; en effet comme il a été dit précédemment, la construire a priori induit le risque d'imaginer des types qui n'existeraient pas (ou au contraire en omettre qui peuvent exister), et donc à employer des critères pour les distinguer qui ne sont pas forcément les plus pertinents.

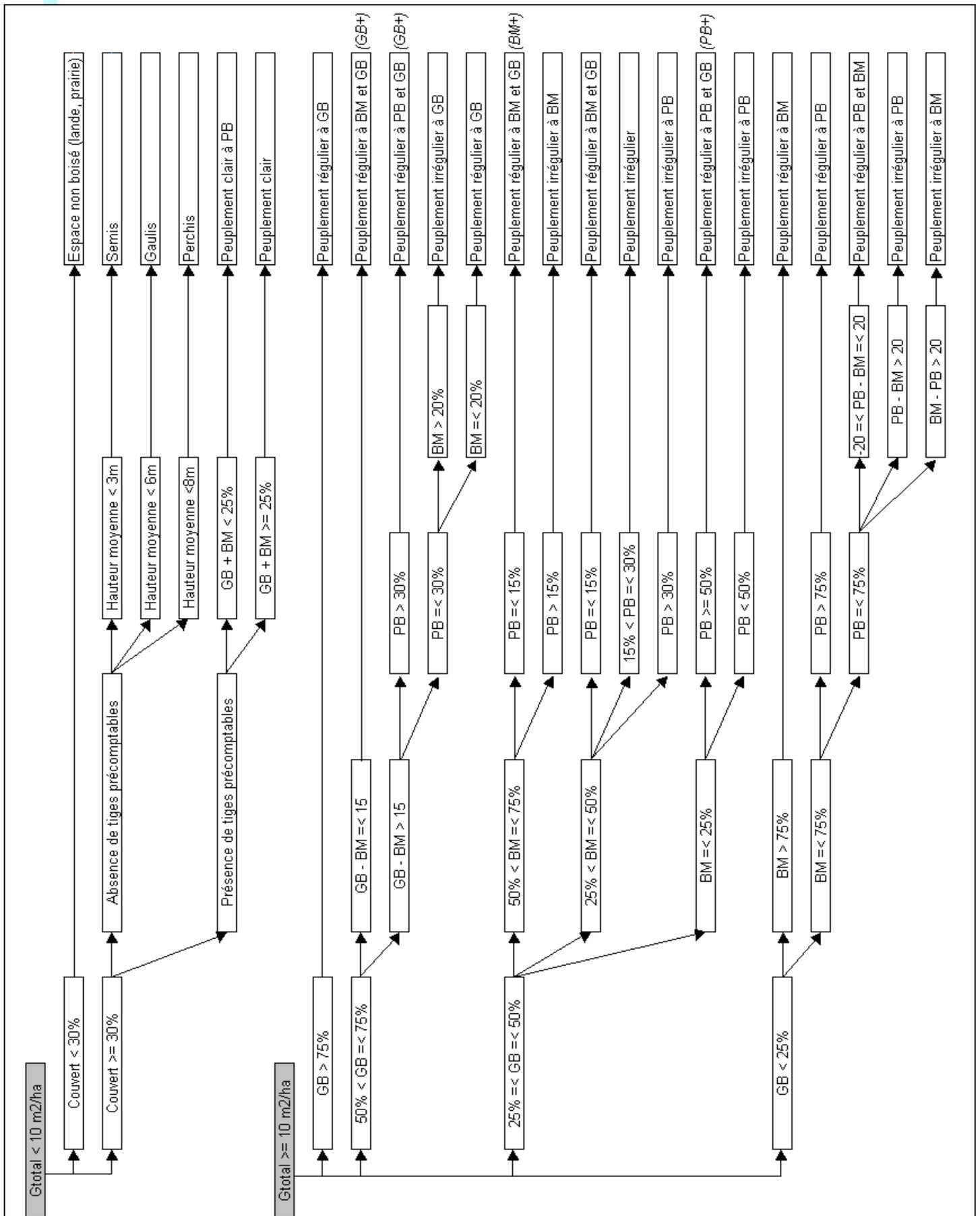
Les pourcentages indiqués dans cette clé sont donnés par rapport à la surface terrière totale.

Ici ; PB = 15/20cm de diamètre

BM = 25/30cm de diamètre

GB = 35cm de diamètre et plus

Figure 19 : clé de détermination des types peuplements de Pin à crochets réalisée 'à dire d'expert'.



2. Etapes de la construction de la typologie

Afin de construire un modèle typologique rigoureux et de le comparer à celui établi ci-dessus, une campagne de relevés a été effectuée durant les mois de mai et juin 2007. Cela a permis de recueillir un jeu de données dendrométriques relatives aux peuplements de Pin à crochets de la zone Cerdagne-Capcir. A partir de cette base, a pu être construite, grâce à une analyse multivariée, une typologie de peuplements des Pineraies à crochets. Le détail du processus de construction de cette typologie est expliqué dans le présent chapitre.

On peut distinguer trois étapes dans ce travail :

- **Première étape** : L'Analyse Factorielle des Correspondances. Cette première phase de l'étude de la base de données consiste à dégager les critères de description les plus pertinents pour la distinction des types de peuplements.
- **Seconde étape** : La Classification Ascendante Hiérarchique. Dans cette deuxième phase de l'analyse multivariée, on regroupe les placettes d'étude en différents ensembles homogènes, et on identifie les critères qui rendent ces placettes semblables entre elles.
- **Dernière étape** : L'élaboration d'une clé de détermination des types de peuplements. Chaque ensemble identifié à l'étape précédente constitue un type de peuplement potentiel. Il s'agit ici d'élaborer, à l'aide des critères identifiés à l'étape 1, une méthode dichotomique de détermination du type de peuplement.

2.1. Méthodologie de terrain

2.1.1. Localisation des placettes

Lors de cette campagne de mesures, 114 placettes ont été réalisées, sur l'ensemble de la zone Cerdagne-Capcir. Le choix de l'emplacement des placettes a été entièrement subjectif, laissé à l'appréciation des forestiers. Cette volonté délibérée répond à deux objectifs liés :

- Une contrainte de temps ; rentrant dans le cadre d'une préétude au guide de gestion des forêts de Pin à crochets, cette première campagne de relevés ne peut être réalisée sur une période trop longue.
- L'échantillonnage du maximum de variabilité observable ; il est préférable, dans ces conditions, d'échantillonner de façon ciblée les peuplements forestiers afin de recueillir des données intégrant le plus de fluctuations possibles (y compris – mais de façon subjective – stationnelles) dans les peuplements de Pins à crochets. L'inventaire à choix raisonné présente un avantage en ce sens, car les opérateurs choisissent en connaissance de cause les lieux susceptibles de représenter cette variabilité.

La carte ci-contre représente la répartition des placettes réalisées sur l'ensemble de la zone d'étude :

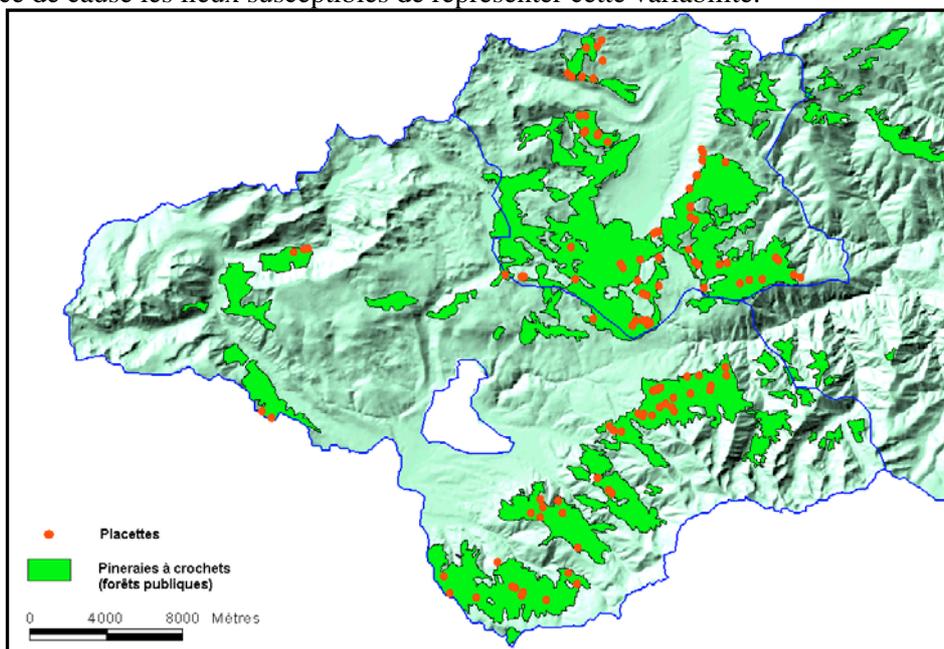


Figure 20 : Carte de situation des placettes de relevés dendrométriques en vue de la construction de la typologie

Comme on l'observe sur cette carte, certaines zones, par manque de temps ou d'intérêt pour la construction de la typologie, ont été peu inventoriées.

Rappelons les critères que devaient remplir les peuplements forestiers pour être englobés dans la zone d'inventaire de l'analyse :

- Peuplements exploitables (proximité de la desserte)
- Peuplements monospécifiques de Pin à crochets (PX > 90% de la composition en essences)

Zones de production de bois (séries de production ou de production-protection)

2.1.2. Variables récoltées

Les données recueillies l'ont été durant le mois de juin 2007, selon un protocole précis défini et remanié suite à plusieurs tests dans la période ayant précédé la campagne de relevés.

(Le protocole complet ainsi qu'un exemplaire de fiche de relevé sont proposés en annexes 5 et 6).

L'objectif initial, qui explique en partie le nombre et la nature des variables décrites, était de réaliser le plus grand nombre de mesures dendrométriques possibles sur un premier échantillon de placettes, afin d'établir avec plus de sûreté l'importance individuelle de chacune de ces variables ; ceci dans le but d'effectuer par la suite, à l'occasion d'une seconde phase d'inventaire (qui sera réalisée courant 2008), un nombre de mesures plus restreint sur un échantillon plus vaste.

Il est en effet possible, en relevant et en étudiant des critères de description variés, d'établir précisément quels sont ceux qui décrivent le mieux les peuplements forestiers de Pin à crochet dans le contexte de l'étude. Les variables retenues pour cette première campagne sont les suivantes :

2.1.2.1. Variables estimées

- Estimation de la hauteur potentielle
- Estimation du couvert total du peuplement
- Estimation du couvert individuel de chacune des strates composant le peuplement
(*scindement vertical du peuplement en trois strates distinctes*)
- Estimation de l'importance (en pourcentage du nombre de tiges total sur une placette à rayon fixe) de chacune des classes de diamètre définies
(*définition de quatre classes de diamètre : 10, 15/20, 25/30, 35 et +*)
- Estimation de la densité du peuplement environnant (en nombre de tiges)
- Couvert approximatif de la régénération
- Classe de régénération (cf base de données 'Jeunes peuplements', annexe 5 §4.2.6., p80)
- Estimation de l'état sanitaire global
- Estimation du diamètre moyen
- Estimation de la structure du peuplement (régulière ou irrégulière)

2.1.2.2. Variables mesurées

- Hauteur moyenne du peuplement
- Hauteur dominante du peuplement
- Effectif de chaque classe de diamètre sur une placette à rayon fixe
- Effectif de chaque classe de diamètre sur une placette relascopique (surface terrière par classe de diamètre)

2.1.2.3. Variables calculées

- Densité du peuplement (rapportée à l'hectare, calculée sur la surface de la placette)
- Pourcentage du nombre de tiges de chaque classe de diamètre (10, 15/20, 25/30, 35 et +)
- Pourcentage de la surface terrière de chaque classe de diamètre (10, 15/20, 25/30, 35 et +)
- Surface terrière totale

L'objectif de la comparaison de variables estimées et des mêmes variables mesurées (ou calculées suite à des mesures) est de déterminer si de simples appréciations visuelles ont suffisamment de précision pour être retenues comme descripteurs à part entière d'un peuplement.

2.2. Analyse des données recueillies : l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)

2.2.1. Variables continues et variables discrètes

Lors de la collecte des données, chaque variable était notée selon les unités de mesure correspondantes : hauteurs en mètres (arrondies à 0.5m près), surface terrière en m²/ha (arrondie à 0.5m²/ha près), densités en nombre de tiges à l'hectare (arrondies à 50 tiges/ha près), nombre de tiges par classes de diamètre, etc...

Cependant, toutes ces données, quantitatives comme qualitatives, ont ensuite été fragmentées en classes et converties selon le langage binaire. En effet, le logiciel d'analyse factorielle des correspondances employé ne considère que les variables discrètes à deux valeurs possibles, 0 et 1.

Par exemple : La variable initiale 'hauteur moyenne' prend différentes valeurs allant de 0 à 20m environ. Avec le logiciel d'analyse de données utilisé, on fractionne cette donnée en 4 classes. Pour chaque placette, on donnera à la classe dans laquelle se situe la hauteur moyenne observée la valeur 1, et à toutes les autres la valeur 0. Il en va de même pour toutes les autres variables considérées.

NB : Il aurait sans doute été préférable d'utiliser la méthode de l'analyse des correspondances multiples (ACM) pour traiter ce type de données, mais le choix de la méthode a dépendu des logiciels mis à disposition. De plus, comme on le verra par la suite, les résultats ont été assez facilement interprétables, ce qui plaide en faveur de la non préjudiciabilité de l'emploi de l'AFC dans le cas présent.

2.2.2. Méthodologie de traitement des données

L'ensemble des données recueillies à l'occasion de cette campagne a été traité selon la méthode de l'analyse factorielle des correspondances ou analyse des correspondances simples (AFC). C'est une méthode exploratoire d'analyse des tableaux de contingence, qui permet de traiter simultanément les variables lignes et colonnes de l'ensemble de la base de données considérée.

L'application de la méthode permet: d'obtenir des images des nuages d'individus-lignes et d'individus-colonnes de départ. On recherche alors les directions de plus grande dispersion dans ces nuages de points images, ce qui consiste mathématiquement à rechercher les valeurs propres et vecteurs propres d'une matrice calculée à partir du tableau de base.

Le choix du nombre d'axes factoriels (vecteurs propres) à conserver est un compromis qui se fait en observant les valeurs propres de ces axes : il s'agit que la somme des valeurs propres retenues soit proche de 1 (c'est à dire qu'elle permette d'expliquer au maximum la répartition géométrique du nuage de points), mais le nombre d'axes retenus doit être limité pour que la signification de chaque axe soit la plus évidente possible. Ici, on observe une décroissance des valeurs propres entre la 1^{ère} et la 2^{ème} valeur propre. Néanmoins, il est intéressant de conserver également la 3^{ème} valeur propre dans l'analyse graphique du nuage de points. Par sûreté, on a extrait également la représentation graphique du nuage de points selon les axes 1 et 4. Aucune signification n'ayant pu être donnée à cette représentation, on n'a retenu que les trois premiers axes factoriels.

Dans le tableau ci-dessous sont représentées les valeurs propres des 20 premiers axes de l'AFC. On observe les trois premiers décrochements qui induisent le choix de ne retenir que les trois premiers axes factoriels pour l'interprétation des données.

LES VALEURS PROPRES	VAL(1)=	1.00000

NUM!	VALPROPRE!	POURC.!
CUMUL !	HISTOGRAMME DES VALEURS PROPRES	

12 !	.37177 !	13.514!
13 !	.23818 !	8.658!
14 !	.17109 !	6.219!
15 !	.13925 !	5.062!
16 !	.12618 !	4.587!
17 !	.11870 !	4.315!
18 !	.10461 !	3.803!
19 !	.09500 !	3.453!
20 !	.08933 !	3.247!
	.08508 !	3.093!
	.07936 !	2.885!
	.07456 !	2.710!
	.06923 !	2.517!
	.06362 !	2.313!
	.06148 !	2.235!
	.06018 !	2.188!
	.05628 !	2.046!
	.05348 !	1.944!
	.05032 !	1.829!

Figure 21 : Identification des axes majeurs de l'AFC

Les graphiques résultant de l'analyse sont étudiés en parallèle avec un tableau récapitulatif qui présente, pour chaque variable étudiée (dans un premier tableau) et pour chaque placette réalisée (dans un second tableau) leur contribution à chacun des axes. C'est la valeur qui est principalement considérée.

La somme des contributions de toutes les variables (ou de toutes les placettes) est égale à 1000 ; plus la contribution de chacune des variables (ou placettes) est élevée, plus la variable (ou placette) revêt d'importance pour la construction de l'axe factoriel considéré. Ici, il y a 114 placettes, soit une contribution moyenne de $1000/114=8.77$. Les placettes dont la contribution à chacun de ces axes est largement supérieure à cette moyenne doivent être étudiées en particulier pour interpréter la signification de l'axe en question. Il en va de même pour les contributions individuelles de chaque variable (83 variables, soit une contribution moyenne de $1000/83=12.05$).

2.2.3. Premières observations

2.2.3.1. Faible importance des variables topographiques

La première remarque que l'on peut faire, suite à l'observation du tableau présentant les contributions de chaque variable de l'analyse, est celle de **l'infime importance revêtue par les variables de topographie** : aussi bien l'exposition que la pente ou l'altitude des placettes n'ont qu'une contribution très faible, proche de 0, sur les trois premiers axes de l'AFC. Suite à cette première observation, il était intéressant et judicieux de réaliser une autre analyse sans ces variables (qui figurent tout de même sur les graphiques en tant que variables secondaires).

2.2.3.2. Interprétation des axes factoriels

Les trois tableaux présentés en annexe 7 regroupent, pour chacun des trois premiers axes factoriels, les placettes qui ont le plus de contribution à ces axes, et des coordonnées extrêmes selon l'axe considéré. On peut donc, pour chaque axe, comparer les valeurs moyennes des différentes variables des deux groupes homogènes ainsi formés et observer ce qui oppose ces deux groupes de placettes. Ceci nous amène à déterminer la signification la plus probable de l'axe factoriel considéré.

L'observation de ces trois tableaux permet de dégager plus sûrement des hypothèses concernant la signification réelle des axes factoriels construits dans l'AFC. On peut avancer les propositions suivantes :

- **L'axe 1 correspond selon toute probabilité à un gradient de densité des peuplements** ; en effet, on observe que les placettes situées à l'extrémité supérieure de cet axe (coordonnée moyenne sur l'axe 1 = 845), et dont la contribution à l'analyse factorielle est importante (contribution moyenne = 17) ont une densité moyenne calculée de 1758 tiges à l'hectare. Inversement, les placettes opposées sur l'axe 1 (coordonnée moyenne = -1023 et contribution moyenne = 25) ont une densité moyenne de 340 tiges à l'hectare. L'identification d'un gradient de densité implique d'autres relations concernant certaines autres variables, mais qui ne sont en fait que des conséquences de ce gradient de densité. Par exemple, on observe qu'à l'extrémité supérieure de l'axe, le nombre moyen par hectare d'arbres de la classe 35cm et + est de 0, alors qu'il est de 61 à l'autre extrémité. Ceci est évidemment corrélé avec la variable densité, qui est selon toute logique inversement proportionnelle au diamètre moyen.

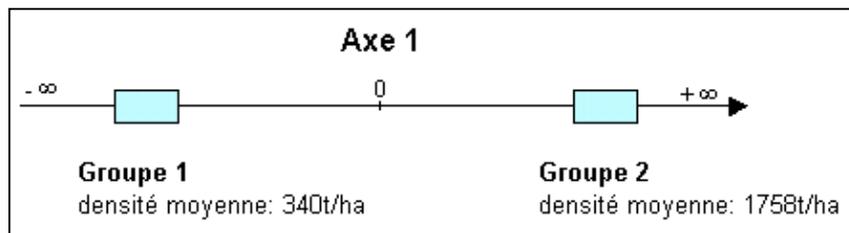


Figure 22 : Illustration de la signification de l'axe 1 de l'AFC

- **L'axe 2 semble quant à lui indiquer un gradient de structure des peuplements** ; plusieurs variables permettent d'identifier ce paramètre (répartition du nombre de tiges par classes de diamètre, surface terrière par classes de diamètre, couvert des strates du peuplement). Mais la variable la mieux représentée parmi les trois citées semble être le **couvert du peuplement**. L'axe 2 représente donc un gradient de **structure verticale** des peuplements. On semble retrouver à son extrémité supérieure les peuplements jeunes (fort couvert de la strate inférieure), et inversement, à l'autre extrémité, les peuplements plus âgés (fort couvert de la strate supérieure).

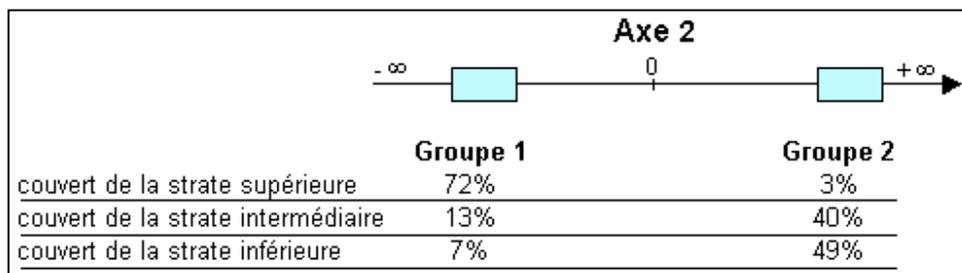


Figure 23 : Illustration de la signification de l'axe 2 de l'AFC

- **L'axe 3 enfin correspond à un gradient de régularité des peuplements**. En effet, on peut observer à l'extrémité supérieure de cet axe les placettes où le peuplement présente un aspect régulier 'typique', en général régularisé vers la classe de diamètre 25/30cm. Par contre, à l'extrémité opposée, on observe des peuplements plus contrastés, où chaque strate de couvert est représentée à part quasiment égale en moyenne. Ces peuplements avaient d'ailleurs été identifiés pour la plupart comme irréguliers 'à vue d'œil'.

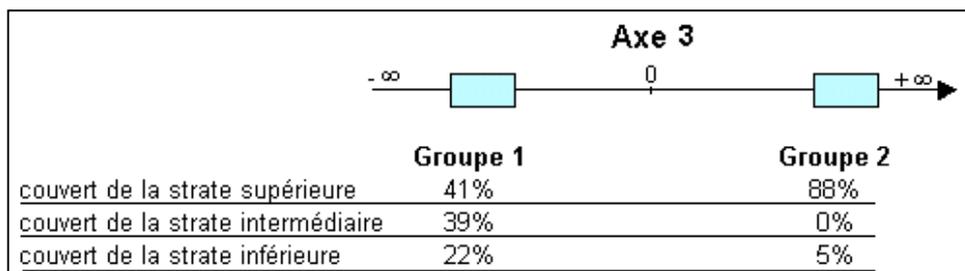


Figure 24 : Illustration de la signification de l'axe 3 de l'AFC

2.3. Analyse des données recueillies : La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

2.3.1. Identification de groupes de relevés homogènes

Une fois les axes de l'analyse identifiés, il est nécessaire de procéder à l'étape suivante : la détermination de groupes de placettes homogènes : les diverses techniques de classification visent toutes à répartir n individus, caractérisés par p variables, en un certain nombre de sous groupes aussi homogènes que possible.

L'avantage de la classification hiérarchique, par rapport à une méthode non hiérarchique dite de 'partitionnement', est d'obtenir des groupes d'individus établis selon un niveau de précision donné : pour un même niveau de précision, deux individus peuvent être dans le même groupe, alors qu'à un niveau de précision plus élevé, ils seront distingués et appartiendront à deux sous groupes différents. Grâce à cette méthode, 6 groupes de placettes homogènes ont pu être distingués et expliqués. En reportant ces groupes sur les graphiques issus de l'AFC, on obtient les schémas ci-dessous (à gauche, selon les axes 1 et 2, à droite, selon les axes 1 et 3).

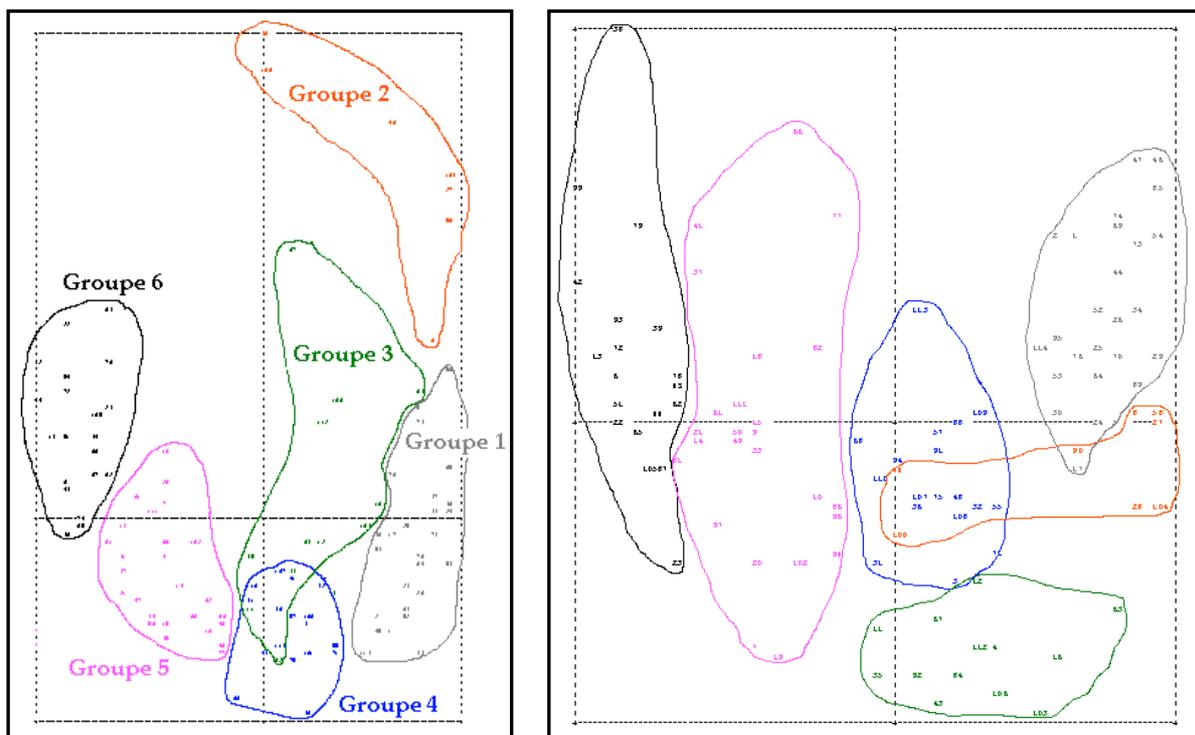


Figure 25 : Visualisation des groupes de placettes identifiés lors de la CAH

2.3.2. Interprétation des groupes identifiés

• Groupe de placettes numéro 1 :

Au vu des placettes qui composent ce groupe et de leurs particularités, on remarque qu'elles concernent des peuplements denses, au couvert très fermé (et à une seule strate, en l'occurrence la strate supérieure) et dont la majorité des arbres sont situés dans la classe de diamètre 15/20. La surface terrière totale y est forte (fréquemment supérieure à 50m²/ha).

Ce premier groupe englobe donc les *jeunes futaies régulières* de diamètre moyen 15/20.

• Groupe de placettes numéro 2 :

Dans ce second groupe, la strate supérieure est quasiment absente. La densité moyenne est très importante (1300t/ha) et la régénération est très présente. Ce sont les *plus jeunes peuplements réguliers* de l'inventaire qui y sont regroupés.

Il conviendrait cependant de distinguer, au sein de ce deuxième ensemble, deux sous groupes, le premier englobant les peuplements de *perchis* (hauteur moyenne supérieure à 8m environ, classe de régénération égale à 0) et le second les peuplements encore au stade de la *régénération* (classe de régénération égale à 3, hauteur moyenne inférieure à 8m).

Groupe 2a : perchis

Groupe 2b : régénération (semis, gaulis)

• Groupe de placettes numéro 3 :

Ce groupe de placettes isole les peuplements dont la structure, pied par pied ou par petits bouquets étroitement imbriqués (car englobés dans la placette de mesures dendrométriques), est *irrégulière* (à des degrés variés). En effet, le couvert forestier est réparti de façon égale entre les trois strates du peuplement, et aucune catégorie de diamètre n'y est largement prépondérante. Attention, ces peuplements ne présentent pas pour autant une structure irrégulière 'idéale' ou 'typique' au sens où on l'entend, et ne correspondent pas toujours à des états stables, mais plutôt à des phases dynamiques (reboisements d'anciens pâturages, peuplements laissés à l'abandon ou déperissants...)

• Groupe de placettes numéro 4 :

Ce groupe englobe les placettes de structure régulière dont le diamètre moyen se situe dans la classe 25/30cm, qui domine par rapport aux autres classes de diamètre. Le couvert y est fermé et cantonné dans la strate supérieure. Il est donc logique de supposer que ce quatrième groupe concerne les *futaies régulières adultes, encore en croissance*.

• Groupe de placettes numéro 5 :

Dans ce groupe se trouvent des placettes où l'on observe une forte proportion de Gros Bois (35cm de diamètre et +), qui représentent en moyenne 52% de la surface terrière totale. La densité y est moyenne à faible (de l'ordre de 450 tiges à l'hectare) et la surface terrière atteint la valeur moyenne de 30m²/ha. La régénération y est présente (classe 1 en moyenne) mais peu importante (elle représente un couvert au sol de l'ordre de 15%). Ce groupe renferme très probablement les *peuplements réguliers adultes en phase de maturation*, régularisés autour de la classe 35cm en moyenne.

• Groupe de placettes numéro 6 :

Ce groupe ressemble fortement au précédent, à deux détails près ; d'une part, la densité y est encore plus faible (300 tiges/ha en moyenne), et d'autre part la régénération y est sensiblement plus importante (classe 2 en moyenne, couvert de 35% environ). Quasiment 90% de la surface terrière est représentée par des tiges appartenant aux classes 25 et +, et 67% par des tiges appartenant aux classes 35 et +. Ce groupe est donc celui des *futaies régulières vieilles, en cours de régénération*.

2.4. Utilisation des résultats dans la conception d'une typologie de peuplements

2.4.1. Identification des critères dendrométriques de base

Grâce à l'analyse factorielle des correspondances, nous avons pu dégager trois axes majeurs : chacun de ces axes représente un paramètre particulier, assimilable à une variable dendrométrique, et les coordonnées de chaque point d'inventaire selon ces trois axes permettent d'identifier les caractéristiques générales du relevé effectué.

En toute logique, ces trois critères seront les clés d'entrée principales de la typologie de peuplements que l'on souhaite créer ; en effet, ils ont été reconnus comme les variables qui discriminaient le plus les différents peuplements inventoriés.

La méthode de détermination des peuplements doit donc se baser sur :

- la densité
- la structure verticale
- la régularité du peuplement, indiquée par la répartition des classes de diamètre

Cependant, au delà de toute considération statistique, les paramètres de description que l'on privilégiera doivent répondre à d'autres exigences et d'autres considérations plus prosaïques. En particulier, ils ne doivent pas nécessiter un temps de mesure trop important, ce qui rendrait l'opération d'inventaire typologique trop coûteuse.

2.4.2. La mesure de la densité : envisager une simple estimation ?

Parmi les trois paramètres cités, la densité semble être le plus problématique : en effet, la mesure de ce critère est assez fastidieuse. Elle nécessite le comptage exhaustif des tiges sur une placette à rayon fixe qu'il faut implanter. Deux solutions alternatives sont envisageables :

• **Le calcul de la densité via la surface terrière**

Il est possible, grâce à un calcul mathématique rapide, d'obtenir à partir de la surface terrière ventilée par classes de diamètre, une valeur de la densité correspondante à l'hectare.

Par exemple : (valable pour l'utilisation du facteur relascope 1, avec correction de la pente) une tige appartenant à la classe 20cm est comptable, en moyenne, à une distance inférieure à 10m du centre de la placette relascope. Lorsqu'on inventorie la surface terrière des arbres de cette classe, on le fait donc sur une placette d'une surface $S_{20} = \pi \times 10^2 = 314,2m^2$

La densité à l'hectare de tiges de la classe 20 est donc $d_{20} = N_{20} \times 10000/314,2$

Où d_{20} = densité à l'hectare des tiges de la classe de diamètre 20cm.

Et N_{20} = nombre de tiges de la classe 20 comptées dans la surface terrière mesurée.

En procédant de la même manière pour les autres classes de diamètre, on obtient une valeur approchée de la densité à l'hectare du peuplement. Cette valeur reste cependant approximative ; en effet, elle est calculée d'après la surface terrière mesurée au moyen d'un relascope, qui contient son propre lot d'incertitudes (erreurs d'estimation, mauvaises visées). De plus, ce calcul considère une surface de référence variable suivant la classe de diamètre.

• **L'estimation visuelle de la densité du peuplement**

Cette estimation était demandée lors de la campagne d'inventaire. En comparant les densités estimées avec celles observées (sur la placette à rayon fixe), on constate un écart moyen de 27% environ. Cela cache de fortes disparités, car les taux d'écart constatés vont de 0 à 134%. Les écarts observés entre la mesure de la densité sur la placette et son estimation visuelle se répartissent comme indiqué ci-contre :

Ecart observé (en %)	Nombre de placettes
<10%	28
de 10 à 20%	30
de 20 à 50%	43
>50%	13

Figure 26 : Fiabilité des estimations de densité

Il n'est en outre pas évident d'identifier la nature et les caractéristiques des peuplements les moins bien estimés ; on peut citer les peuplements irréguliers entre autres, mais parmi les peuplements réguliers, les jeunes futaies comme les plus vieilles (et les plus denses comme les plus claires) présentent des taux d'écart d'estimation voisins, et les mêmes extrêmes.

Comparons les taux d'écart moyens des trois méthodes de mesure de la densité des peuplements :

Écarts entre différentes méthodes	Densité calculée avec la surface terrière / densité calculée sur la placette	Estimation visuelle de la densité / densité calculée sur la placette	Estimation visuelle de la densité / densité calculée avec la surface terrière
Valeur de l'écart	25%	32%	27%

Figure 27 : Comparaison de différentes méthodes d'estimation de la densité

Pour conclure sur ce point, il est peut-être possible d'utiliser une estimation de la densité dans le processus de détermination du type de peuplement décrit, **à condition que les classes de densité utilisées dans la clé de détermination soient suffisamment larges pour limiter le risque d'erreurs** (cf clé de détermination, figure 27).

2.4.3. Choix concernant l'utilisation de critères de structure du peuplement

Dans un sens très général, la structure est l'organisation dans l'espace des éléments d'un peuplement forestier, considérés du point de vue des âges et des dimensions de ce peuplement. Elle peut être examinée dans un plan vertical (selon les hauteurs et la répartition du couvert des houppiers dans l'espace vertical) ou horizontal (selon les diamètres).

Le choix qui doit être fait ici est crucial ; la détermination de la structure est au centre de la démarche typologique, car c'est le critère le plus largement utilisé pour décrire un peuplement et le rattacher à un type particulier.

Là encore, trois possibilités sont à étudier :

- une estimation visuelle de la répartition des classes des diamètres selon 4 grandes classes : 10cm, 15/20cm, 25/30cm, 35cm et plus (voire, après constatation des résultats de l'inventaire, ajout d'une cinquième classe pour les diamètres supérieurs à 45cm). Cette estimation doit être circonscrite à une surface donnée.
- une mesure, sur une placette à rayon fixe, du diamètre de tous les arbres présents (par classes de 5cm ou selon les classes indiquées ci-dessus)
- une mesure de la surface terrière ventilée par classes de 5cm de diamètre, ou par catégories de grosseur de bois (identiques à celles proposée plus haut)

Grâce aux mesures effectuées durant la première campagne de relevés, il est possible de comparer les résultats obtenus suivant chacune des méthodes proposées ; on en fait le bilan suivant :

Estimations et mesures

- l'estimation visuelle de la répartition des diamètres par classes est assez fiable ; on observe un écart moyen de 8.8% entre la valeur estimée et la valeur mesurée. Quelques forts écarts sont parfois observables (jusqu'à 40%), mais cela reste marginal.
- Les écarts observés correspondent souvent à une mauvaise appréciation de deux classes de diamètre adjacentes (par exemple, confusion entre les arbres de diamètre 20cm et ceux de 25cm).
- C'est la plus petite classe de diamètre qui est la mieux estimée (5.6% d'écart en moyenne pour les arbres de diamètre 10, 10.2% pour les 15/20, 10.9% pour les 25/30 et 8.4% pour les 35 et +).

Surface terrière et placettes à rayon fixe

- De façon générale et en toute logique, la mesure de la surface terrière par classes de diamètre a tendance à augmenter la proportion des tiges de gros diamètre au détriment des plus petites tiges.
- Dans le cas présent, le nombre de tiges de la classe 10 est en moyenne 8% inférieur lorsqu'il est mesuré en surface terrière. Il est de 7% inférieur pour la classe 15/20. Le phénomène inverse s'observe pour les classes supérieures : le nombre de tiges de la classe 25/30 est 7% supérieur lorsqu'il est mesuré en surface terrière, et 8% supérieur pour les tiges de la classe 35 et +.

Conclusion

Sans tenir compte de l'éventualité d'estimer certains paramètres, les deux méthodes (structure en surface terrière et structure en nombre de tiges par catégories de diamètre) ont chacune leur atout :

- D'une part, la détermination de la structure en pourcentages de nombre de tiges appartenant à chaque classe de diamètre permet la mesure précise et simultanée de la densité du peuplement.
- D'autre part, la mesure relascopique de la structure du peuplement permet par la même occasion, grâce à d'autres données annexes (coefficient de forme, hauteurs) d'accéder à des mesures de capital et de volume sur pied, très intéressantes à de nombreux titres (comparaison d'inventaires, estimation du volume d'une coupe).

Compte-tenu de cet avantage certain, il semble préférable de privilégier cette seconde solution.

Pour éventuellement accélérer le temps de mesure, il est possible de relever visuellement l'appartenance de tel ou tel arbre à une classe de diamètre (10, 15/20, 25/30, 35 et +) lors de la mesure de la surface terrière. Etant donné l'assez bonne fiabilité des estimations visuelles par classes de diamètre (voir résultats énoncés ci-dessus, § *Estimations et mesures*), la réalisation d'estimations similaires lors de la mesure de la surface terrière peut être envisagée. Cette méthode demande néanmoins à être testée plus rigoureusement avant d'être appliquée.

NB : la mesure de la structure verticale du peuplement, utilisée largement dans le contexte des Alpes (typologie des structures du massif alpin) est également un moyen d'évaluer le type de peuplement auquel on est confronté. Dans le cas présent, cette mesure peut être utilisée comme entrée dans une clé de détermination ; elle doit néanmoins être complétée par d'autres types de données plus quantitatives, qui permettront de préciser la nature du peuplement (diamètres dominant, densité).

En effet, on a constaté lors de cette campagne de mesures que la répartition du couvert des strates se fait d'une façon particulière : étant donné, dans le cas du Pin à crochets, les hauteurs relativement limitées atteintes par les plus gros arbres (hauteurs potentielles maximales de l'ordre de 22m environ), il est plus difficile d'établir précisément le couvert de 4 strates distinctes (d'où le choix de réduire à trois strates la répartition verticale des houppiers lors de la campagne de mesures).

Par ailleurs, on observe peu d'arbres dans la strate intermédiaire, car la croissance en hauteur est initialement forte chez cette essence ; les arbres atteignent rapidement la strate supérieure, ce qui explique le peu de peuplements dont la hauteur plafonne dans la strate intermédiaire.

C'est pourquoi, dans le cas du Pin à crochets, on ne peut limiter la description des peuplements à une seule estimation du couvert vertical en fonction des strates observées, trop imprécise et peu représentative de l'état du peuplement en place.

2.4.4. Appréciation du degré de régularité d'un peuplement

C'est l'association de différents facteurs conjugués qui permet de conclure quant à l'irrégularité d'un peuplement. La structure est le principal critère qui permet de conclure sur cet aspect ; en effet, la condition essentielle pour qu'un peuplement forestier puisse être qualifié d'irrégulier est la présence simultanée d'un très large panel de classes de diamètre.

2.4.5. Proposition d'une méthode de détermination des types de peuplements observés

La clé de détermination présentée ci-après permet d'identifier les 6 groupes de placettes homogènes mis en évidence par la classification ascendante hiérarchique. Elle utilise pour cela les critères dendrométriques décrits ci-dessus, qui correspondent aux trois axes principaux de l'AFC. Ces trois critères sont utilisés de façon à ce que les groupes de placettes identifiés lors de la CAH soient individualisés du mieux que possible.

Rappel important :

Cette méthode de détermination ne concerne que les peuplements purs de Pin à crochets, c'est pourquoi n'y apparaît aucune notion de composition en essences. On suppose que la totalité du peuplement (ou au moins un pourcentage supérieur à 80%, seuil utilisé dans le protocole d'inventaire) est composé de Pin à crochets. En pratique, les autres essences observées seront comptabilisées et assimilées à des Pins à crochets, de façon à tenir compte de leur rôle dans la structuration du peuplement.

Les pourcentages indiqués en rouge à droite de la clé représentent le taux d'explication de la clé pour chacun des groupes identifiés : c'est le rapport entre le nombre de placettes du groupe considéré qui sont correctement identifiées grâce à cette clé et le nombre total de placettes de ce groupe. Ce taux doit être le plus proche possible de 100%.

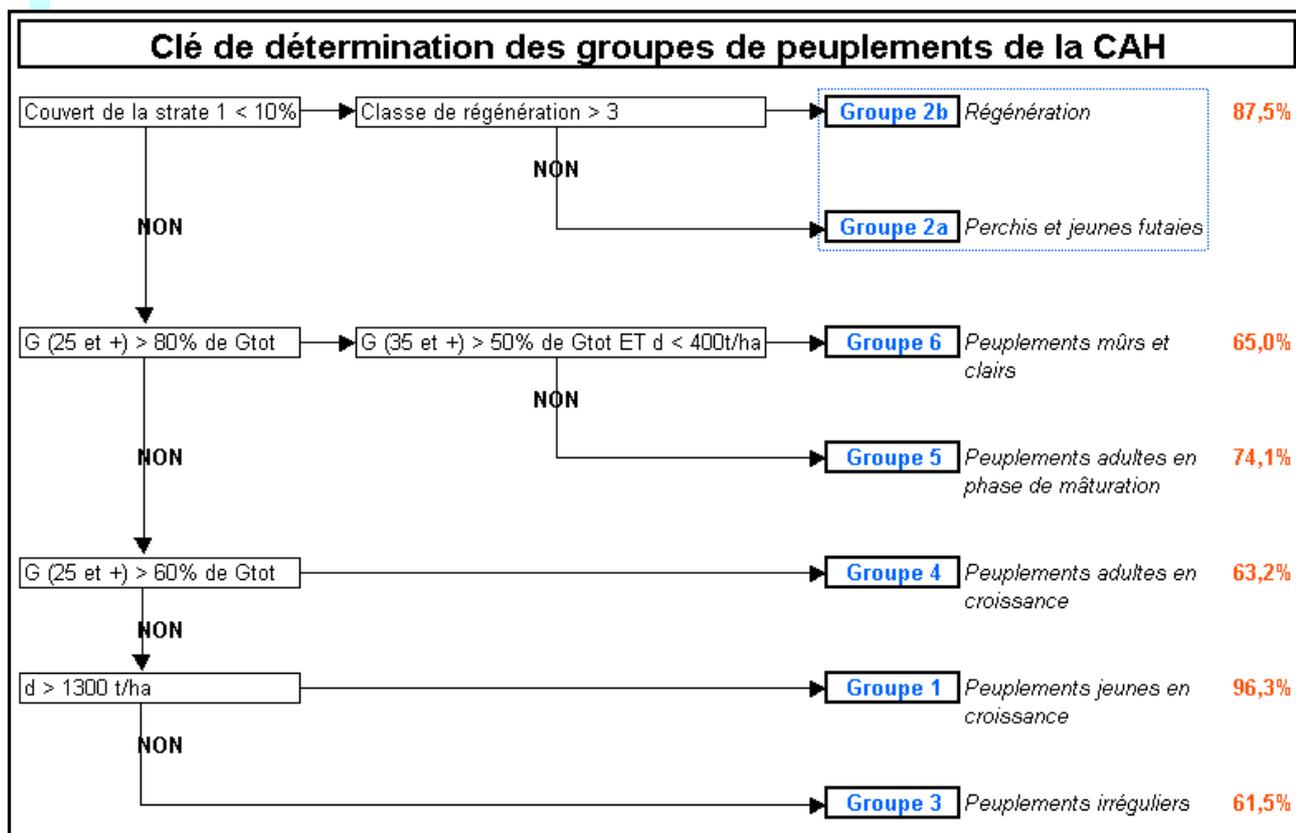


Figure 28 : Clé de détermination des types de peuplements

On remarque au premier abord les faibles taux d'explication de certains groupes. Il y a deux réponses à cela :

- Concernant les groupes 5 et 6, qui concernent tous deux des peuplements âgés et régularisés dans les 25cm et +, les quelques placettes qui sortent de ce groupe suite à l'application de la clé de détermination ne sont pas forcément 'redirigées' vers un groupe aberrant.

- 4 placettes du groupe 5 sont redirigées vers le groupe 6 en raison de la faible densité et l'importance de la classe 35cm et +, et 3 placettes le sont vers le groupe 4 car la surface terrière des 25cm et + est inférieure (de très peu) à la valeur seuil de 80% de la surface terrière totale.
- 6 placettes du groupe 6 sont redirigées vers le groupe 5 car elles ne réunissent pas les conditions de densité ou de surface terrière nécessaires, et une placette est redirigée vers le groupe 3, car la surface terrière des classes de diamètre excédant 25cm est inférieure à la valeur seuil de 80% de la surface terrière totale.

⇒ Ces quelques changements, bien qu'ils conduisent à l'obtention d'un faible taux d'explication (74.1% pour le groupe 6 et 65% pour le groupe 5), semblent cependant justifiés.

- Il n'en est pas de même pour les groupes 3 et 4 : bien qu'ici aussi, certains des changements qui s'opèrent suite à l'application de la clé puissent être justifiés, on ne peut nier que la mise en place d'une condition supplémentaire soit nécessaire pour améliorer le tri des peuplements grâce à la clé.

Avec les premières données disponibles (consécutives à la campagne de relevés de juin 2007), il est difficile voire impossible de déterminer la nature de cette condition à rajouter. Pour cela, il serait très bénéfique de réaliser d'autres mesures d'inventaire, principalement sur peuplements irréguliers ; ceci afin de constater plus précisément quels sont les critères qui permettent de différencier les placettes des groupes 1, 3 et 4, et de modifier la méthode de leur détermination en conséquence (cf clé proposée ci-après).

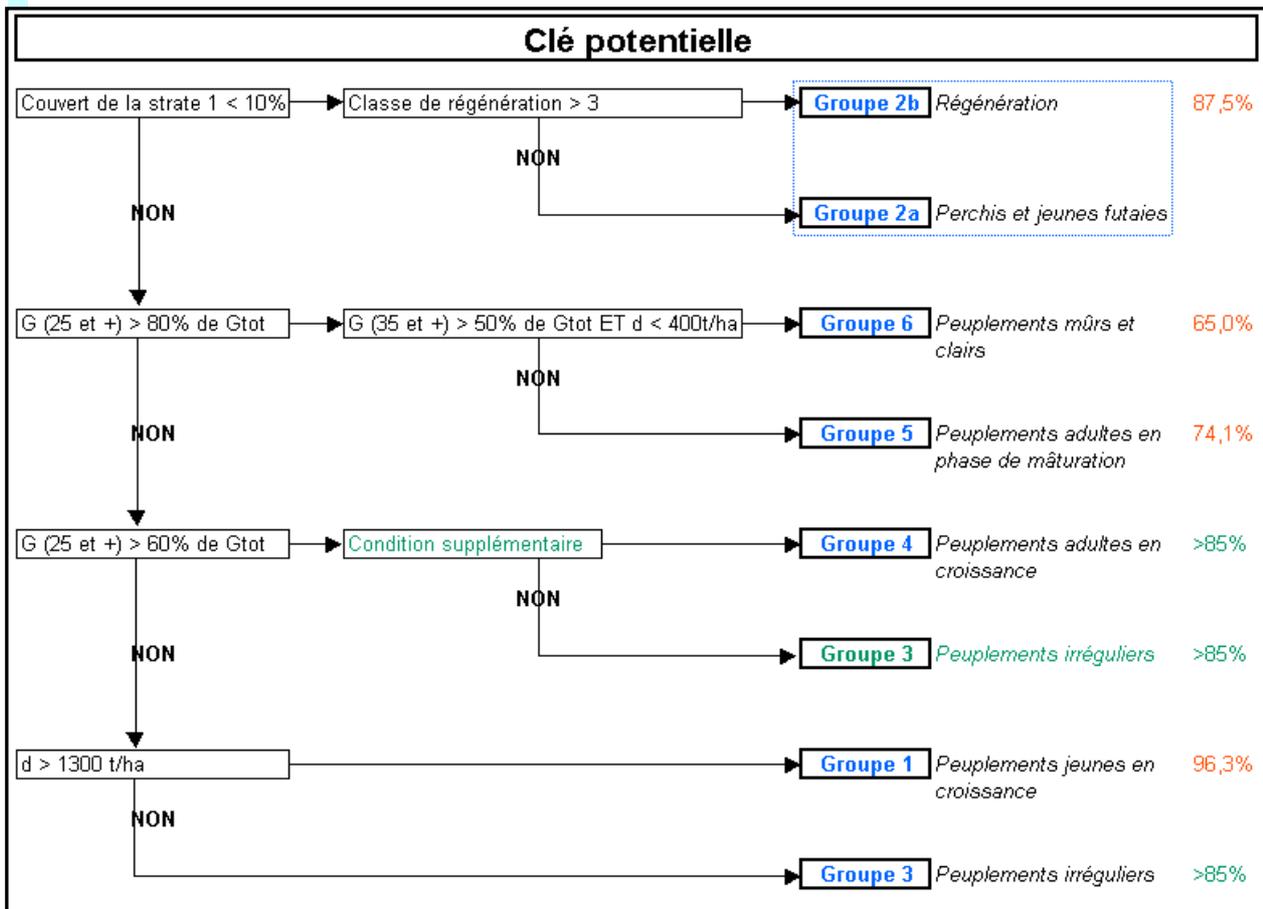


Figure 29 : Modifications potentielles de la clé de détermination des types de peuplements

NB : Des fiches descriptives de chacun des types identifiés sont apposées en annexe 8.

Dans l'idéal, cette clé ne devrait pas combiner des informations aussi différentes que la densité et la surface terrière. Néanmoins, les axes identifiés lors de l'AFC ont démontré l'importance primordiale de chacune de ces variables dans l'établissement de groupes homogènes. Une seconde campagne d'inventaire permettra peut-être d'opter pour l'un ou l'autre de ces critères.

3. Construction d'itinéraires de gestion à partir de la typologie de peuplements

3.1. Dynamique des peuplements

Le schéma ci-après présente l'évolution supposée des différents peuplements de la typologie entre eux. En vert sont figurées les évolutions qui ont naturellement lieu (avec ou sans intervention humaine), les flèches en traits pleins illustrant les évolutions les plus probables (par rapport aux flèches en pointillés). Les flèches rouges montrent les évolutions qu'il est possible d'obtenir grâce à différentes interventions humaines (coupes) visant à orienter le peuplement vers le type voulu.

Ce schéma est assez simple du fait du peu de types identifiés lors de l'élaboration de la typologie. On distingue en premier lieu une évolution classique des peuplements réguliers entre eux (types formant un cercle sur le schéma), évolution que certaines perturbations peuvent modifier légèrement. On observe ensuite un type isolé, qui représente l'ensemble des peuplements irréguliers. L'analyse des données n'a pas permis d'identifier différents types irréguliers, d'où la simplicité de ce schéma également. Néanmoins, la rareté actuelle des peuplements irréguliers de Pin à crochets rend difficile l'établissement de plusieurs types irréguliers. Les flèches rouges, qui illustrent les différentes façons d'évoluer vers cet état irrégulier sont des suppositions qui méritent d'être vérifiées.

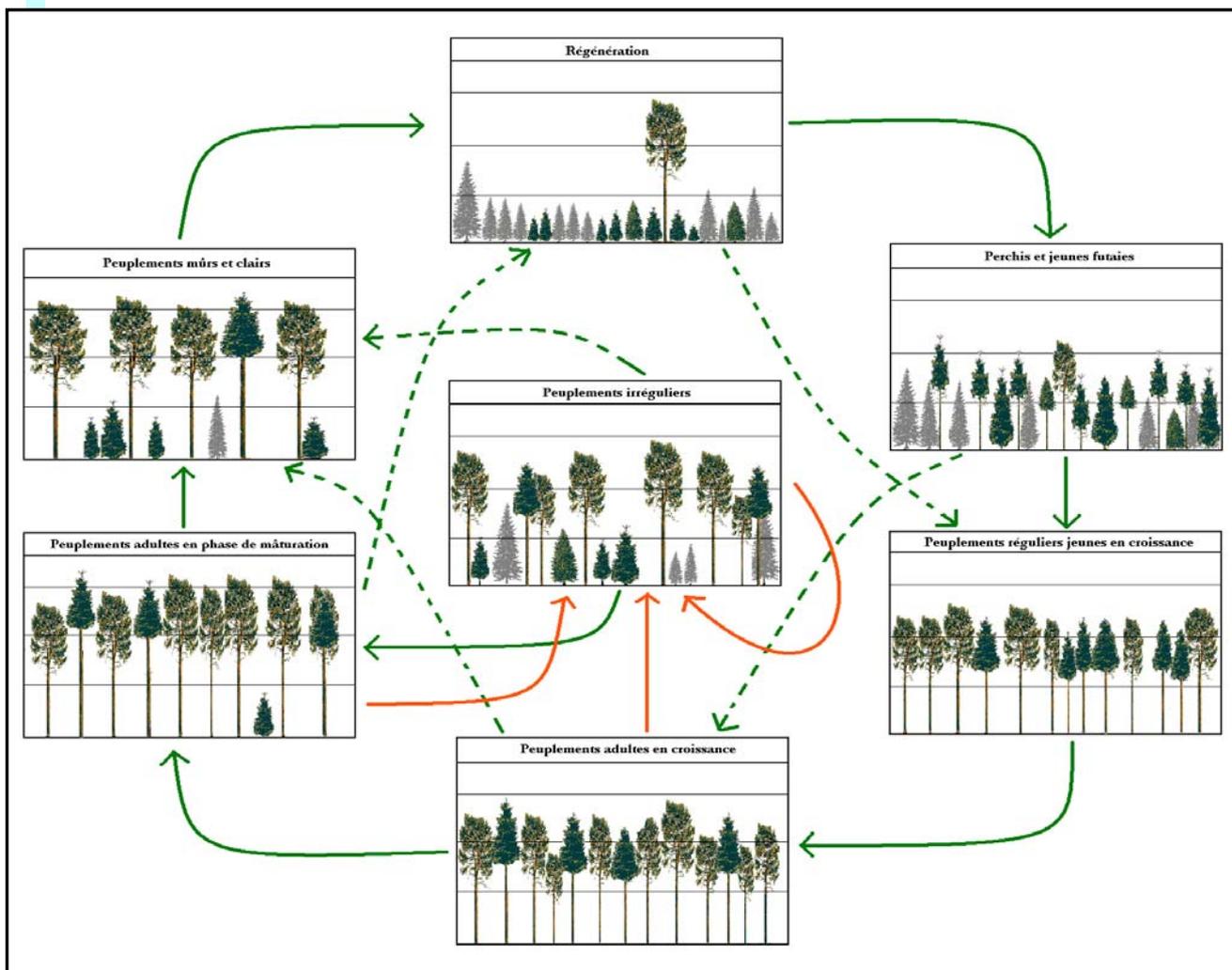


Figure 30 : Dynamique d'évolution supposée des types de peuplements identifiés

Remarque : la méthode typologique ne permet d'appréhender la structure irrégulière des peuplements qu'à une échelle assez fine ; les peuplements présentant une structure irrégulière par bouquets dont la surface dépasse le quart d'hectare sont identifiés, lors du diagnostic typologique, comme des peuplements réguliers. C'est la cartographie globale de l'unité de gestion qui permet d'observer l'irrégularité de la structure à une échelle de perception plus grande.

3.2. Itinéraires de gestion

La détermination du type de peuplement, si elle est établie selon la méthode proposée ci-dessus, permet d'obtenir, pour chaque peuplement :

- la surface terrière, **totale et ventilée par classes de diamètre**
 - le couvert de la strate supérieure (on peut envisager l'estimation du couvert total et de chacune des strates, ce qui ne constitue pas une perte de temps considérable même si ces valeurs ne sont pas explicitement nécessaires)
 -
- ⇒ Si la mesure de la surface terrière est estimée visuellement, le temps nécessaire à la détermination du type de peuplement devient très limité (environ 5 à 10 minutes).

Afin de construire des itinéraires sylvicoles cohérents avec la typologie établie, il est nécessaire de se baser sur les mêmes critères qui permettent de parvenir aux types décrits auparavant. Ainsi, un indicateur fiable semble être la surface terrière, qui donne une idée du capital du peuplement, et qui est mesurée lors de la description.

L'objectif est d'identifier différentes valeurs seuils de surface terrière, à partir desquelles on préconiserait des interventions ciblées en fonction du type concerné. Les tableaux ci-après illustrent cet objectif de façon simplifiée (chiffres donnés à dire d'expert).

3.2.1. Contrôle de l'état des peuplements réguliers

Il convient de distinguer trois cas dépendants du niveau de fertilité de la station, appréhendé ici par la notion de hauteur potentielle :

3.2.1.1. Station peu fertile ($H_{potentielle} = 12m$ environ)

On cherche dans ce cas de figure à gérer le peuplement en futaie irrégulière (par bouquets, parquets, voire pied à pied), ce qui passe souvent par un traitement transitoire de conversion. On peut envisager d'appliquer des rotations assez longues à longues, jusqu'à 30 ans. On intervient lorsque la surface terrière dépasse la valeur de $30m^2/ha$.

3.2.1.2. Station moyennement fertile ($H_{potentielle} = 15m$ environ)

On applique dans ce cas une sylviculture à moindres frais en limitant les interventions coûteuses, en particulier dans le jeune âge (pas de dépressage, première éclaircie retardée). Cette solution comporte des risques (mortalité, bris de neige, chablis) mais elle est souvent pratiquée faute de moyens. De plus, on observe empiriquement que la hiérarchisation naturelle du peuplement se fait relativement bien.

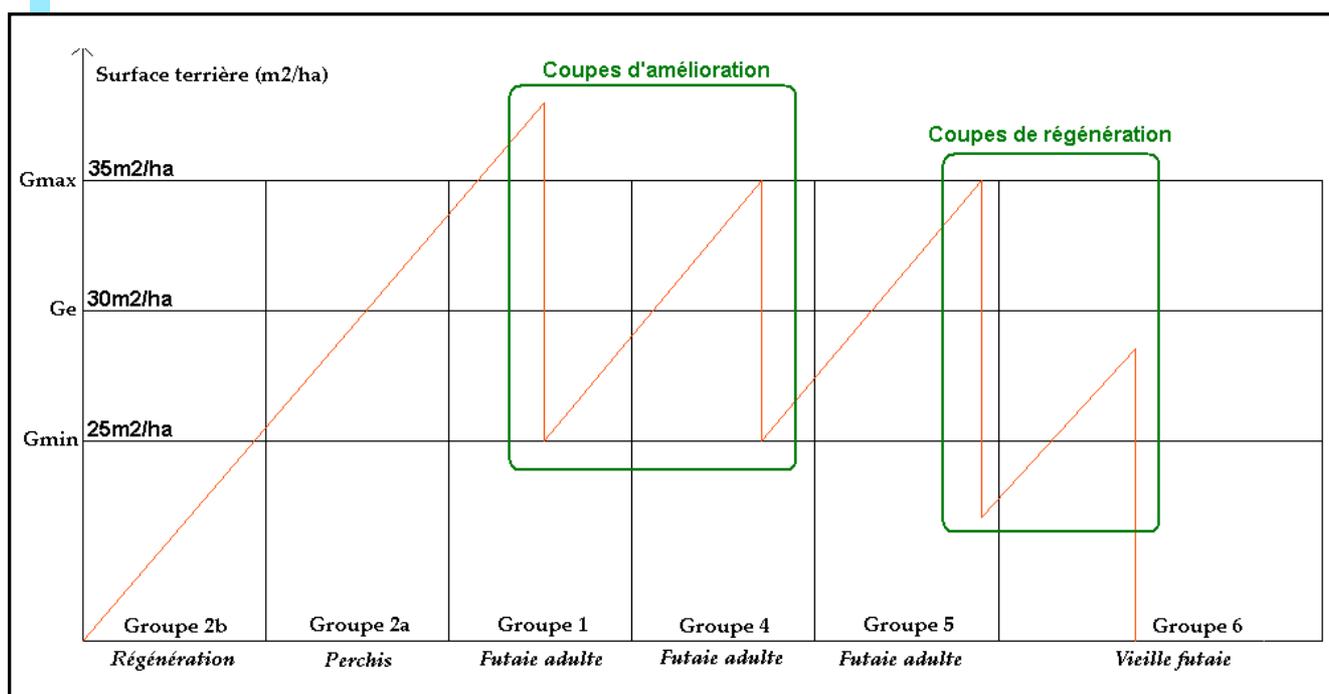


Figure 31 : Cycle de vie du peuplement en futaie régulière, stations moyennement fertiles

On remarque sur ce schéma qu'avant la première éclaircie, la surface terrière maximale théorique est dépassée, car on laisse croître le peuplement sans intervention pendant une longue durée. Les chiffres de surface terrière d'équilibre, maximale et minimale sont donnés à dire d'expert.

Grâce à un tel tableau, il est possible de déterminer rapidement, en fonction du type observé et de la valeur du capital, la nature de la prochaine intervention à réaliser et, si l'on connaît l'accroissement du peuplement (qui détermine la pente de la courbe), la date de cette intervention.

3.2.1.3. Station fertile ($H_{potentielle} > 15m$)

Le schéma prend alors la forme suivante :

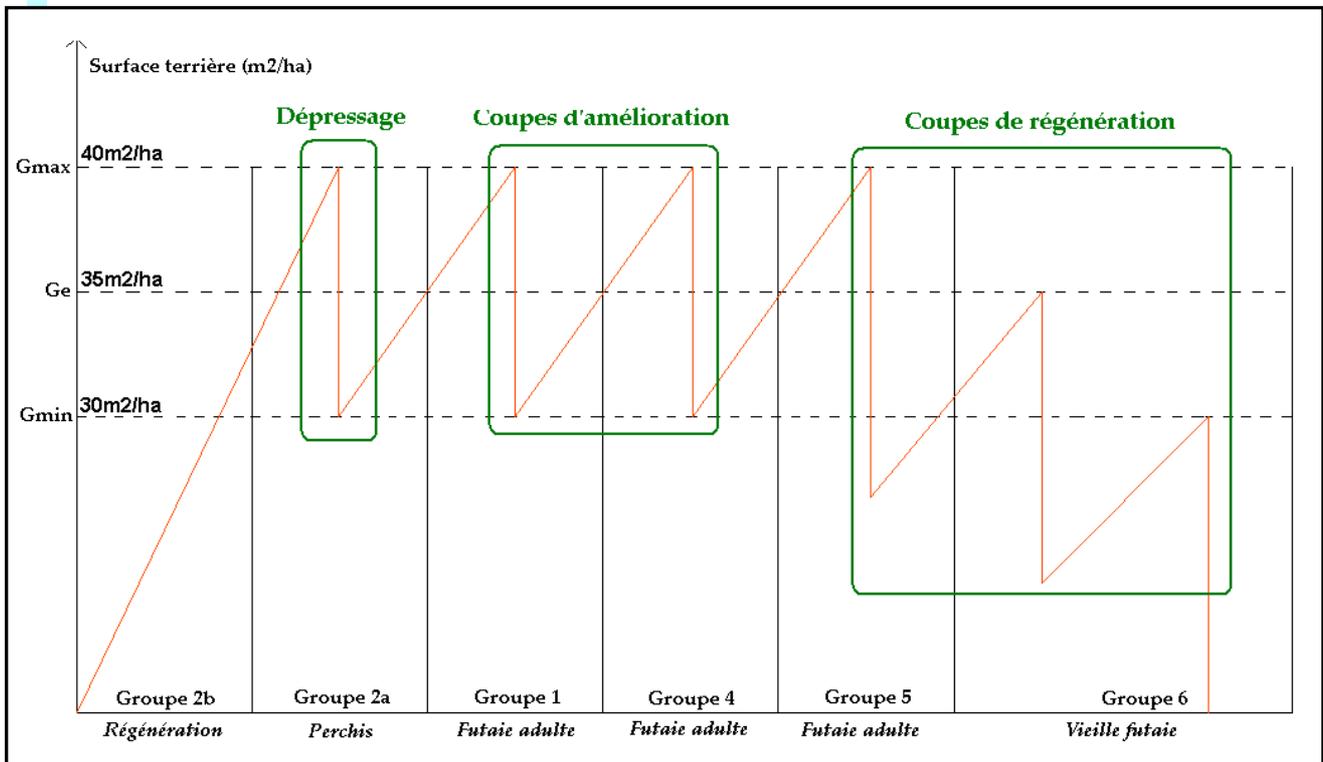


Figure 32 : Cycle de vie du peuplement en futaie régulière, stations fertiles

On observe deux différences principales : premièrement, les seuils de surface terrière sont revus à la hausse (chiffres donnés à dire d'expert). Deuxièmement, on peut envisager un nombre d'interventions plus important. Cette sylviculture plus interventionniste se justifie dans la mesure où l'on espère obtenir un gain de qualité du peuplement final.

3.2.1.4. Particularités de chacun des types de peuplement réguliers identifiés

Pour chaque groupe, il convient d'étudier plus précisément les critères suivants :

- **Groupe 1** (*Peuplements jeunes en croissance*) :

L'attention doit être focalisée sur la valeur de la surface terrière totale, qui détermine l'opportunité de passer en coupe, la date idéale de la coupe ainsi que l'intensité du prélèvement à réaliser.

- **Groupe 2a** (*Perchis et jeunes futaies*) :

C'est a priori au sein de ce groupe que va se décider l'opportunité de la réalisation d'un dépressage. Pour pouvoir prendre cette décision en tout état de cause, il est nécessaire d'étudier la hauteur du peuplement, la densité des tiges et l'état sanitaire.

- **Groupe 2b** (*Régénération*) :

Ces peuplements sont des semis ou gaulis au dessus desquels peuvent éventuellement subsister quelques Gros bois, qui doivent être enlevés. Dans ce genre de peuplements, il faut constamment vérifier l'évolution de la régénération (hauteur, état sanitaire, conformation des tiges, densité) pour éventuellement décider d'opérations d'entretien (élagages ou dépressages).

• **Groupe 4** (*Peuplements adultes en croissance*) :

L'attention doit être focalisée sur la valeur de la surface terrière totale, qui détermine de l'opportunité de passer en coupe, et le cas échéant, de la date idéale de la coupe ainsi que de l'intensité des prélèvements à réaliser.

• **Groupe 5** (*Peuplements adultes en phase de maturation*) :

Normalement, ces peuplements sont censés pouvoir subir une dernière rotation avant d'être récoltés. Le cas échéant, la mise en place du processus de récolte et renouvellement du peuplement dépend de plusieurs facteurs qu'il convient de considérer attentivement : les potentialités stationnelles du milieu, l'état sanitaire des arbres en place et leur durée de survie, le capital sur pied. Il n'est pas nécessaire que des semis soient présents pour décider d'engager les coupes de régénération.

• **Groupe 6** (*Peuplements mûrs et clairs*) :

Ces peuplements doivent être récoltés prochainement. Pour pouvoir décider du nombre et de l'étalement dans le temps des coupes de régénération, trois paramètres sont à prendre en compte ;

- L'état de la régénération
- La durée de survie des arbres en place
- Le capital sur pied

⇒ ces trois critères influent de façon particulière sur le nombre et la périodicité des coupes de régénération.

3.2.2. Itinéraires de gestion potentiels en futaie irrégulière

De la même façon, on peut distinguer trois cas en fonction de la fertilité de la station :

→ **Hauteur potentielle > 15m :**

- Si les enjeux de biodiversité (Tétras notamment) sont faibles, on peut envisager la conversion en futaie régulière du peuplement.
- Si les enjeux de biodiversité sont forts, on doit conserver l'aspect irrégulier. On applique des coupes de jardinage avec des rotations de l'ordre de 15 ans. On intervient lorsque G atteint la valeur maximale de 35m²/ha (valeur d'équilibre de 30m²/ha), pour ramener le peuplement vers un capital sur pied de 25m²/ha.

→ **Hauteur potentielle = 15m environ :**

- Si les enjeux de biodiversité (Tétras notamment) sont faibles, on peut envisager la conversion en futaie régulière du peuplement.
- Si les enjeux de biodiversité sont forts, on doit conserver l'aspect irrégulier. On applique des coupes de jardinage avec des rotations de l'ordre de 20 ans. On intervient lorsque G atteint la valeur maximale de 30m²/ha (valeur d'équilibre de 25m²/ha), pour ramener le peuplement vers un capital sur pied de 20m²/ha.

→ **Hauteur potentielle = 12m environ :**

On applique des coupes de jardinage avec des rotations de l'ordre de 25 ans. On intervient lorsque G atteint la valeur maximale de 30m²/ha (valeur d'équilibre de 25m²/ha), pour ramener le peuplement vers un capital sur pied de 20m²/ha.

4. Typologie a priori et typologie après inventaire : comparaison des deux méthodes

La méthode de détermination établie 'à dire d'expert' (cf § 1.4.2. du présent chapitre) faisait ressortir un nombre bien plus important de types de peuplements. Elle ressemble peu à celle construite suite à l'analyse des données issues de l'inventaire. On peut faire deux remarques pour expliquer cela :

- Tout d'abord, l'entrée générale de cette clé repose sur la valeur de la surface terrière totale, supérieure ou inférieure à 10m²/ha. Cette entrée est à reconsidérer, car en effet, sur les 114 placettes réalisées, seules 2 entrent dans la catégorie 'G_{tot} < 10m²/ha' (ce sont deux placettes de régénération). Ce seuil peut être reconsidéré, mais cela ne résoudra pas pour autant la question ; en effet, le tableau suivant est éloquent. Il présente le nombre de placettes en fonction de différentes fourchettes de surface terrière totale:

Valeur de G _{tot}	G<15m ² /ha	G<25m ² /ha	G<35m ² /ha	G<45m ² /ha	G>45m ² /ha
Nombre de placettes	4	19	38	27	26
Pourcentage	3.5%	16.7%	33.3%	23.7%	22.8%

On remarque que près de 80% des placettes présentent une surface terrière supérieure à 25m²/ha, et pour plus de 45% d'entre elles, G_{tot} est supérieure à 35m²/ha. Ce sont des valeurs très fortes, observées en priorité sur tous types de peuplements, et qui témoignent soit du retard d'éclaircie de nombreuses parcelles, soit de la grande tolérance des peuplements vis à vis des fortes densités (houppiers des Pins à crochets naturellement étriqués). (Il est vrai que le choix raisonné des placettes ne permet pas de conclure définitivement sur ce point, malgré l'effort de réflexion réalisé pour inventorier le maximum de variabilité possible).

- Par ailleurs, le degré de détail de cette typologie réalisée 'a priori' est trop important pour apparaître dans les groupes de placettes identifiés grâce à la CAH. Ceci s'explique entre autres par le faible nombre de placettes réalisées. Cependant, il est fort probable que la variabilité réelle des peuplements de Pin à crochets ne soit pas aussi forte, particulièrement en ce qui concerne les peuplements irréguliers (4 types décrits dans la clé de détermination a priori, pour seulement 13 placettes appartenant au groupe qualifié d'irrégulier suite à la CAH).

5. Principales conclusions

L'analyse de cette première base de données récoltées dans les peuplements de Pin à crochets de Cerdagne et Capcir a permis d'élaborer un premier modèle typologique, première étape dans la construction d'une typologie de peuplements plus exhaustive, qui reprendra les résultats présentés tout au long de ce rapport en les complétant par une autre série de mesures, à effectuer sur un périmètre plus vaste et dans certains types de peuplements particuliers (peuplements irréguliers par exemple).

Même si le travail réalisé ne constitue qu'une amorce, il a néanmoins permis d'apporter de nouveaux éléments aux connaissances actuelles concernant la sylviculture ou les caractéristiques des peuplements de Pins à crochets. Récapitulons les conclusions les plus intéressantes :

- Faible importance des variables topographiques dans l'aspect des peuplements (aussi bien en termes de structure que de hauteur potentielle, donc probablement faible effet sur la productivité)
- Critères de description les plus discriminants : densité, étagement des houppiers dans l'espace et structure des peuplements
- Fiabilité de l'estimation visuelle de la répartition des classes de diamètre (erreur moyenne d'environ 10%)
- Capital important de la plupart des peuplements (quasiment la moitié des peuplements inventoriés ont une surface terrière supérieure à 35m²/ha)
- Clé de détermination établie après analyse des données beaucoup plus concise que celle élaborée à dire d'expert.

Les études complémentaires à venir devront corroborer ou infirmer ces constatations. Elles devront surtout permettre de transformer les postulats établis durant cette préétude en bases sylvicoles de référence sur lesquelles viendront se greffer des modèles de sylviculture rigoureux et applicables par tous les gestionnaires forestiers amenés à régir des massifs de Pins à crochets.

Conclusion

Les connaissances en matière de sylviculture des peuplements de Pin à crochets sont manifestement lacunaires. On serait en droit de penser qu'une essence aussi marginale ne nécessite pas de mesures de gestion particulières. En ce qui concerne le département des Pyrénées Orientales dont il représente l'essence majoritairement représentée, il n'en est rien.

L'utilité de créer un guide de gestion spécifiquement dédié au Pin à crochets est donc avérée. Quant à l'approche présentée dans ce rapport, elle s'efforce de répondre à la multiplicité des enjeux qui s'entrecroisent sur de tels espaces naturels. Elle résulte d'un compromis entre exhaustivité et simplicité, et propose d'identifier l'enjeu majeur présent sur un massif forestier (ce qui correspond approximativement à l'objectif d'une série). Les directives de gestion répondent alors prioritairement à cet enjeu, et sont pondérées par les éventuels enjeux secondaires rencontrés sur le massif.

En matière de sylviculture, l'analyse de la base de données récoltée dans les peuplements de Pin à crochets de Cerdagne et Capcir a permis d'élaborer un premier modèle typologique, première étape dans la construction d'une typologie de peuplements plus exhaustive, qui reprendra les résultats présentés tout au long de ce rapport en les complétant par une autre série de mesures, à effectuer sur un périmètre plus vaste, selon un échantillonnage plus dense et en ciblant certains types de peuplement particuliers (notamment les peuplements présentant un faciès irrégulier).

En se fiant au modèle proposé dans le troisième chapitre du présent rapport, on peut établir une liste des variables devant être relevées et qui, selon ce modèle, permettent d'obtenir une image suffisamment précise du peuplement et de discriminer chacun des types identifiés. Le diagnostic du type nécessite les mesures suivantes :

Surface terrière	Gtotal en m ² /ha Mesuré au relascope, facteur 1
Structure du peuplement	Répartition de G par catégories de diamètre ⇒ G de la classe 10 en m ² /ha ⇒ G de la classe 15/20 en m ² /ha ⇒ G de la classe 25/30 en m ² /ha ⇒ G de la classe 35 et + en m ² /ha Mesure de la surface terrière faite au relascope, facteur 1 Estimation visuelle des diamètres
Densité	Classer la densité dans une des trois fourchettes suivantes : d > 1200 t/ha d > 800 t/ha d < 800t/ha Estimation visuelle
Hauteur potentielle	Estimation visuelle (en rapport avec l'état sanitaire et la fertilité de la station) Hp = 12m ou Hp = 15m ou Hp = 18m ou Hp = 21m
Structure verticale	Couvert de la strate supérieure (strate 1 = 1/3 supérieur de la hauteur potentielle estimée) Estimée visuellement en %.
Régénération	Classe de régénération Classe 0, 1, 2, 3 ou 4. Détermination selon la clé présentée en annexe 5, § 4.2.6.

Figure 33 : Liste de mesures à réaliser afin de déterminer le type de peuplement

Il est incontournable également de réaliser en parallèle une étude précise de la relation station-production : l'obtention de résultats chiffrés dans ce domaine permettrait d'approcher plus précisément les caractéristiques dendrométriques à rechercher pour chacun des types de peuplement identifiés : surface terrière, hauteur ou diamètre moyen en fonction des classes de fertilité qui seraient établies. Cette étude est le dernier maillon qui manque encore pour finaliser des itinéraires de gestion précis adaptés à l'essence particulière qu'est le Pin à crochets.

Même si le travail réalisé ne constitue qu'une amorce, il a néanmoins permis d'apporter de nouveaux éléments aux connaissances actuelles concernant la sylviculture ou les caractéristiques des peuplements de Pins à crochets. Récapitulons les conclusions les plus intéressantes :

- Faible importance des variables topographiques (exposition, pente, altitude) dans l'aspect des peuplements (aussi bien en termes de structure que de hauteur potentielle, donc vraisemblablement faible effet sur la productivité)
- Critères de description les plus discriminants : densité, étagement des houppiers dans l'espace et structure des peuplements
- Fiabilité de l'estimation visuelle de la répartition des classes de diamètre (erreur moyenne d'environ 10%)
- Capital important de la plupart des peuplements (quasiment la moitié des peuplements inventoriés ont une surface terrière supérieure à 35m²/ha)
- Clé de détermination établie après analyse des données beaucoup plus simple que celle élaborée à dire d'expert
- Importance égale (selon les résultats de l'analyse des données) des critères de densité et de structure (surface terrière des PB, BM et GB). La clé de détermination combine ces deux informations, mais l'idéal serait de s'affranchir de la donnée 'densité', dont l'estimation reste délicate et qui ne présente qu'un intérêt limité dans l'établissement d'itinéraires de gestion. La campagne de relevés de l'année 2008 et la seconde analyse qui suivra devraient essayer de parvenir à contourner cette donnée 'gênante'.

Les études complémentaires à venir devront corroborer ou infirmer ces constatations. Elles devront surtout permettre de transformer les postulats établis durant cette pré-étude en bases sylvicoles de référence sur lesquelles viendront se greffer des modèles de sylviculture rigoureux et applicables par tous les gestionnaires forestiers amenés à régir des massifs de Pins à crochets.

Bibliographie consultée

- ◆ ALAMANY O., de JUAN MONZON A., 1983 – Un oiseau forestier (Grand Tétrás), un oiseau supra-forestier (Lagopède) en Pyrénées-Orientales ibériques, in Biocénoses d'altitude I, la forêt subalpine des Pyrénées, pp 363 – 382.
- ◆ BARTOLI M., TIERLE G., 1996 - Dynamiques et usages des Espaces forestiers montagnards : l'exemple des Pyrénées françaises, Revue Forestière Française, numéro spécial 1996, vol. 50, p 37 à 45.
- ◆ BASTIEN Y., 2002 – Futaie jardinée. Eléments de cours. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, 28p.
- ◆ BOSCH G., GINE L., RAMADORI D., BERNAT A., GUTIERREZ E., 1992 – Disturbance and size structures in stands of Pinus uncinata Ram. Pireneos, 140,p 5 à 14.
- ◆ CAMARERO J.-J., GUERRERO J., GUTIERREZ E., 1997 – Formacion del anillo de crecimiento y clima : un ejemplo de modelos para P. uncinata y P. sylvestris en los Pireneos Centrales. Ecologia, n°11, p 235 à 254.
- ◆ CANTEGREL R., 1983 – Contribution à l'étude la variabilité biologique et biochimique du Pin à crochets dans les Pyrénées. 27p.
- ◆ CANTEGREL R., 1983 – Le Pin à crochets pyrénéen : Biologie, Biochimie, Sylviculture. Mémoire de troisième cycle, Université de Pau, 244p.
- ◆ CANTEGREL R., 1986 – Seuils écologiques et organisation biologique des pineraies alticoles de Pinus uncinata : Nouvelles perspectives en Néouvielle. Colloque international de botanique pyrénéenne. 15p.
- ◆ CANTEGREL R., 1987 – Productivité ligneuse et organisation des marges forestières à Pinus uncinata en Pyrénées occidentales. Pireneos, 130, p 3 à 27.
- ◆ CANTEGREL R., 1999 – Esquisse biographique d'un conifère oropyrénéen : Pinus uncinata Ramond. Les feuilles du Pin à crochets, p 13 à 27, vol.1.
- ◆ CHEVALLIER H. et al., 2001 – Approche dynamique et intégrée d'un territoire forestier dans les Pyrénées catalanes, Revue Forestière Française, numéro spécial 2001, vol. 53, p. 226 à 234.
- ◆ CHEVALLIER H., 2003 – Forêt et milieux remarquables associés. Manuel pratique. Parc Naturel régional des Pyrénées Catalanes. 370p.
- ◆ CEMAGREF., CRPF., ONF., 2006 – Guide des sylvicultures de montagne, Alpes du Nord françaises. Projet Interreg III A, Gestion des Forêts de Montagne. 289p.
- ◆ CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, 1988 – Bioécologie des Pyrénées de l'Ouest. Recherches pyrénéennes, Bulletin n°13, 139p.
- ◆ COLLEGI OFICIAL D'ENGINYERS TECNICS FORESTALS DE CATALUNYA., 2006 – Projecte d'ordenacio de la forest 'Muntanya de Pi', Num 45 del cup –L. 171p + annexes.
- ◆ COQUILLAS V, 2002 – Caractérisation sylvicole des peuplements forestiers à partir des données de l'Inventaire Forestier National 2. Rapport de DESS environnement et développement sylvicole. 42p.

- ◆ CRPF de Lorraine Alsace, ONF, Directions Régionales d'Alsace et de Lorraine., 1999 – Peuplements forestiers du massif Vosgien, Typologie et Sylvicultures. 51p.
- ◆ DEBAZAC E-F., 1977 – Manuel des Conifères. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. 220p.
- ◆ DECAIX G., TARDIEU F., 1980 - Etude écologique et définition des stations forestières en Capcir, Cerdagne et Haut Conflent, mémoire de troisième année ENITEF, 71p + annexes.
- ◆ DEL RIO M., 2005 – Modelos de calidad de estacion y de perfil de fuste para masas de Pinus uncinata Ram. En el Pirineo espanol. 33p.
- ◆ DENDALETCHÉ C., 1983 – Une biocénose forestière de haute altitude : la Pinaie à crochets. Acta biologica montana, p 19 à 33.
- ◆ DE TURCKHEIM B., BRUCIAMACCHIE M., 2005 – La Futaie Irrégulière. Théorie et pratique de la sylviculture irrégulière, continue et proche de la nature. 286p.
- ◆ DUBOURDIEU J., 1997 – Manuel d'aménagement forestier, planification de la gestion forestière. Office National des Forêts. 243p.
- ◆ ECOLE NATIONALE DU GENIE RURAL DES EAUX ET DES FORETS, 1999 – Typologie des peuplements : actes de la table d'hôte sur la sylviculture des peuplements en futaie irrégulière. 191p.
- ◆ FERREIRA T., 2006 – Le renouvellement naturel des forêts de Pin à crochets à rôle de protection contre les risques naturels dans les Alpes du Sud, Mémoire de Master Environnement-Ecologie, 36p + annexes.
- ◆ FLORENCE-SCHUELLER., ROLLAND., 1995 – Influence de l'altitude, de l'exposition et du climat sur la croissance du Pin à crochets en Cerdagne française. Pireneos, 145-146, p 23 à 34.
- ◆ GAUDIN S., 1997 – L'approche typologique et son utilité en foresterie. CFPPA/CFAA de Châteaufarine, Besançon. 22p.
- ◆ GAUDIN S., 1996 – Dendrométrie des peuplements. CFPPA/CFAA de Châteaufarine, Besançon. 66p.
- ◆ GIL-PELEGRIN., VILLAR-PEREZ., 1988 – Structure of mountain pine populations as its upper limit in central Pyrenes. Pireneos, revista de ecologia, n°131, 42p.
- ◆ GONIN-REINA P., 1988 – Contribution à l'étude de l'évolution des forêts non-exploitées dans les Pyrénées. Association Forêts pyrénéennes. 44p + annexes.
- ◆ HOULLIER F., GEGOUT J.C., 1994 – Introduction à l'analyse de données, support de cours. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. 31p.
- ◆ INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL, 1994 – Inventaire Forestier Départemental, 3^{ème} cycle d'inventaire sur le département des Pyrénées-Orientales, 1990 ; 172p.
- ◆ LEBOURGEOIS F., 2000 – Autécologie de quelques essences résineuses. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. 120p.
- ◆ MENONI E., 2003 – Gestion cynégétique du Grand Tétrás. Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage. 25p.

- ◆ MILLOT M., 2001 – Conception de schémas de desserte forestière. CEMAGREF de Grenoble, Unité de recherche Ecosystème et paysages montagnards. 75p.
- ◆ NOVOA C., JACOB C., 1985 – Le Grand Tétrás (Tetrao urogallus) dans les forêts de Pins à crochets des Pyrénées-Orientales. Eléments d'écologie et mesures conservatoires. 12p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1959 – Nouvelles considérations sur l'aménagement et l'évolution des forêts de Pin à crochets. Rapport, 8p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1961 – Attaques d'armillaire dans les peuplements de Pin à crochets des Pyrénées-Orientales, incidences sur les aménagements. Note technique. 10p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1966 – Note sur les méthodes d'aménagement des forêts de Pin à crochets. Note technique, 15p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1966 – Traitement des forêts de Pin à crochets des Pyrénées-Orientales, directives d'aménagement. Note technique. 5p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1966 – Calcul de temps de passage et d'accroissements sur quatre forêts de Cerdagne. Note technique, 6p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1972 – Le Pin à crochets des Pyrénées Orientales, étude interne du centre de cantonnement de Prades – Mont Louis. 8p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1975 - Forêts de Pin à crochets des Hauts cantons des Pyrénées Orientales : Directives Régionales d'aménagement forestier. 250p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1991 – Directive Locale d'Aménagement, région IFN Cerdagne-Capcir. Pyrénées-Orientales. Agence de perpignan. 130p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS., 1994 – Guide pour la prise en compte du Grand Tétrás dans l'aménagement et la gestion des forêts des Pyrénées. 37p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1995 – Gestion forestière et Grand Tétrás, Pyrénées. Guide pour la prise en compte du Grand Tétrás dans l'aménagement et la gestion des forêts des Pyrénées. 37p + annexes.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1997 – Guide des sylvicultures du Hêtre, massif pyrénéen. Directions Régionales Aquitaine, Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon. 70p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1997 – Guide de sylviculture pour la forêt de montagne. Région Rhône-Alpes, Direction Régionale de Lyon, STIR Alpes. 250p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS., 1998 – Le Pin à crochets, réunion du groupe de travail Pyrénées Orientales. Document interne, 9p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1999 – Guide des sylvicultures du Sapin, massif pyrénéen. Directions Régionales Aquitaine, Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon. 80p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 2000 – Identification des habitats naturels en Forêt publique du Languedoc Roussillon. Guide pratique Natura 2000, 180p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS., 2003 – Typologie des structures du Massif alpin, guide de reconnaissance. 51p.

- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 2004 – Dépressage d'une plantation de Pin noir d'Autriche en forêt domaniale du Cousson, document interne. 11p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS., 2004 – La typologie des peuplements de Hêtraie-Sapinière des Pyrénées et du Sud du Massif Central. 34p + annexes.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 2004 – Guide d'accompagnement paysager des actions forestières. Agence interdépartementale Bouches du Rhône – Vaucluse, Unité Etudes-Expertise. 95p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 2005 – Sylviculture du Pin sylvestre en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, document provisoire. 41p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 2006 – Aménagement forestier de la forêt domaniale de Barrès, document interne, 67p + annexes.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS , 2006 – Schéma de desserte et de mobilisation des bois en forêt de montagne : référentiel de mise en œuvre dans la réalisation des aménagements forestiers. Document interne DT Rhône-Alpes. 18p.
- ◆ OFFICE NATIONAL DES FORETS, 2006 - Directive Régionale d'aménagement Montagnes pyrénéennes ; juillet 2006 ; 115 p.
- ◆ PARC NATUREL REGIONAL DES PYRENEES CATALANES., 2004 – Charte du Parc Naturel Régional des Pyrénées catalanes, Diagnostic socio-économique. 115p.
- ◆ PARC NATUREL REGIONAL DES PYRENEES CATALANES., 2004 – Charte du Parc Naturel Régional des Pyrénées catalanes, Rapport. 170p.
- ◆ PARC NATUREL REGIONAL DES PYRENEES CATALANES., 2004 – Charte du Parc Naturel Régional des Pyrénées catalanes, Inventaire du patrimoine. 115p.
- ◆ PARDE J., BOUCHON J., - Dendrométrie. Ecole Nationale du Genie Rural, des Eaux et des Forêts, 2^{ème} édition. 328p.
- ◆ PAULY H., 2004 – Essai d'intégration de la qualité des bois dans une typologie de peuplements forestiers. Mémoire de fin d'études, Formation des Ingénieurs Forestiers 12^{ème} promotion. 74p.
- ◆ PETITCOLAS V., 1998 – Dendroécologie comparée de l'Epicéa, du Mélèze, du Pin cembro et du Pin à crochets en limite supérieure de la forêt dans les Alpes françaises. Thèse de doctorat, 186p.
- ◆ PLAISANCE G., 1977 – Pin à crochets, Revue forestière européenne. La Forêt Privée, n°124, p 39 à 42.
- ◆ PURROY J.F., ALVAREZ A., 1983 – Communautés aviaires des bois de Pins des Montagnes ouest-européennes, in Biocénoses d'altitude I, la forêt subalpine des Pyrénées, pp 349 – 362.
- ◆ RAMEAU J.C., MANSION D., DUME G., 1991 – Flore Forestière Française, guide écologique illustré. Tome 2 : Montagnes. Institut pour le Développement Forestier. 2421p.
- ◆ RAMEAU J.C., GAUBERVILLE C., DRAPIER N., 2001 – Gestion forestière et diversité biologique. Identification et gestion intégrée des habitats et espèces d'intérêt communautaires, 300p.
- ◆ ROLLAND C., CADEL G., SCHUELLER J., 1995 – Typologie forestière des Pinèdes à crochets du Briançonnais et intérêt dendroécologique, Ecologie, t. 26(4), p 195 à 213.

- ◆ ROLLAND C., 1990 – Dendroclimatologie du Pin à crochets : étude comparative de 15 pinèdes du Briançonnais. 12p.
- ◆ ROLLAND C., SCHUELLER J., COOPER J., 1995 – Croissance comparée du Pin à crochets et de l'Epicéa en dalle calcaire karstifiée en moyenne montagne tempérée (Vercors). Revue géographique alpine, n°1, p 17 à 32.
- ◆ ROLLAND C., 1996 – Long-term changes in the radial growth of the mountain pine in the french Alps as influenced by climate. Dendrochronologia, 14, p 255 à 262.
- ◆ SOCIETE FORESTIERE DE FRANCHE-COMTE, 2002 – Vade-Mecum du Forestier, XIIIème édition. 450p + annexes.
- ◆ UNIVERSITE PAUL SABATIER – TOULOUSE, Laboratoire d'Ecologie terrestre, UMR 9964., 1995 – Etude sur le Pin de Bouget, synthèse bibliographique, caractérisation du Pin de Bouget et clé de détermination. 16p + annexes.

Annexes



Annexe 1 : L'hybridation Pin à crochets / Pin sylvestre, le Pin de Bouget

Depuis la découverte de *Pinus uncinata* Ram. et son identification précise, de nombreuses études ont été réalisées quant à ses caractères morphogénétiques, études consécutives aux découvertes plus tardives des phénomènes d'hybridation et d'introgession. Ces particularismes génétiques se produisent fréquemment dans les peuplements où cohabitent différentes espèces. Dans le cas du Pin à crochets, l'exemple le plus souvent cité est celui du Pin de Bouget, hybride désormais reconnu entre le Pin sylvestre et le Pin à crochets.

Sans rentrer dans des considérations trop techniques, nous nous contenterons ici de présenter brièvement les conséquences phénotypiques les plus visibles de l'hybridation, qui permettent de différencier ces trois pins.

En premier lieu, il convient de préciser qu'entre ces trois pins, de nombreux degrés d'hybridation existent, qui engendrent autant d'individus plus ou moins différents. En effet, un Pin de Bouget, défini dès 1933 par FLOUS comme l'hybride de première génération entre le Pin sylvestre et le Pin à crochets, peut lui-même s'hybrider avec un Pin sylvestre ou un Pin à crochets (mais les Pins de Bouget sont interstériles, ils ne peuvent se reproduire entre eux) ce qui engendre des hybrides de seconde ou troisième génération, voire plus. Autant d'hybrides différents pour des caractéristiques morphologiques très variables

Par extension, tous les hybrides sont regroupés sous le nom de Pin de Bouget, qu'ils soient ou non de première génération. Les critères morphologiques visuels retenus pour la détermination des Pins de Bouget sont relatifs à trois parties apparentes de l'arbre:

- L'écorce :

La partie basale de l'écorce est utilisée comme premier critère pour la détermination. On distingue différents types d'écorce de Pins de Bouget :

Types intermédiaires entre les espèces parentes :

- L'écorce du tronc a la structure de celle du Pin à crochets, écailleuse, mais de couleur saumonée à la base ou dans les parties hautes de l'arbre.
- L'écorce a la couleur de celle du Pin sylvestre mais en formant des lanières et non des plaques disjointes.

Types éloignés des deux espèces parentes :

- L'écorce de la partie basale du tronc est crevassée, plus que le Pin sylvestre, de couleur rouge sombre à gris foncé, la partie supérieure devenant ou non de couleur saumonée.

- Le port :

Bien que forcément influencé par les conditions environnementales, l'observation de la silhouette des arbres au sein d'une forêt peut permettre de distinguer deux espèces. En forêt, le port du Pin sylvestre est triangulaire, tandis que celui du Pin à crochets est fusiforme.

La plupart des Pins de Bouget observés ont un port en fuseau même s'ils possèdent de nombreux caractères de Pin sylvestre. L'observation des cônes de ces arbres confirme que ce sont des hybrides.

- Les cônes :

Critères essentiels de reconnaissance, ils sont peu utilisés par les forestiers du fait des difficultés de prélèvement.

Les cônes de Pin de Bouget sont intermédiaires entre ceux de leurs parents. Toujours luisants, ils possèdent de petits crochets, devenant de plus en plus prononcés au fur et à mesure que les caractères généraux de l'arbre se rapprochent du Pin à crochets. Cependant la longueur des cônes hybrides est souvent supérieure à celle des parents. Comme le remarque FLOUS (1933), certains cônes hybrides ressemblent aux cônes du Pin laricio.

Mise en garde contre l'abâtardissement des races locales

De nombreux chercheurs et scientifiques soulignent dans les conclusions de leurs recherches l'importance de la conservation des ressources génétiques particulières des biotopes originaux que sont les Pîneraies à crochets. En effet, l'introduction de génotypes allochtones par plantations de provenances éloignées constitue un haut risque de melting-pot qui peut perturber profondément et durablement la dynamique sylvatique locale. Il ne faut plus verser dans le travers qui consiste à penser que les races locales n'ont pas légitimité dans leur zone géographique d'origine si elles ne sont pas considérées comme des essences nobles d'un point de vue forestier.

Face à cela, une règle simple mais stricte s'impose : ne régénérer ou n'étendre les peuplements de Pin à crochets qu'à partir des génotypes les plus proches.

Annexe 2 : Description des habitats naturels du Pin à crochets

Description rapide de chacun de ces habitats annexe

1 – Pineraies calcicoles d’ombrée au montagnard supérieur ou au subalpin inférieur :

Il est possible que cet habitat d’ombrée ne corresponde qu’à une phase provisoire de reconquête et s’enrichisse fortement en sapin voire en hybrides de Pin sylvestre et Pin à crochets.

Situation : dans les ubacs ombragés, entre 1500 et 1800m, sur des pentes moyennes à fortes et sur calcaires.

xx						
x						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

- ubacs les plus ombragés
- forte hygrosciaphilité
- sols variables : plus ou moins carbonatés, beaucoup de graviers.
- grande richesse floristique liée à sa situation d’ombrée
- participe à des mosaïques d’habitats de grand intérêt.

Cet habitat n’a jusqu’à présent pas fait l’objet de coupes, du fait de sa très faible productivité, des mauvaises conditions d’exploitabilité et de la mauvaise conformation des arbres qui s’y trouvent.

2- Pineraies mélangées xéroclines acidiphiles de Pin sylvestre – Pin à crochets du montagnard supérieur

Une grande partie des Pins y sont introgressés (Pin de Bouget).

Cet habitat, anciennement souvent pâturé, se reconstitue suite à la déprise pastorale ; ainsi, on observe souvent deux classes d’âge, de gros pins épars et des semis et perchis qui recolonisent l’espace. La xéricité rend cet habitat peu productif, mais quelques individus sont quelquefois bienvenus. Le Pin local, plus ou moins introgressé, donne des résultats similaires à tous les essais d’introduction ayant été réalisés.

Situation : étage montagnard et subalpin inférieur (1400/1800m, 1700/1800m pour le Pin à crochets), sur soulanes et roches siliceuses, sols de type ranker avec une couche de matière organique pure en surface.

xx						
x						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

- occupe diverses situations topographiques sur les soulanes
- sols peu profonds et acidifiés, riches en cailloux
- matière organique et terre fine très liées

Type d’habitat tendant à se reconstituer sur les espaces pastoraux abandonnés, par l’intermédiaire de fruticées à Genévrier. Participe à des mosaïques d’habitats de grand intérêt. Intérêt pour la protection des sols et le paysage.

Potentialités forestières très médiocres.

3 – Pineraies de Pin à crochets d’ombrée du subalpin à Rhododendron

Ces peuplements sont présents en grande quantité à cause d’une forte dynamique récente de reconquête.

L’âge est souvent uniforme et il apparaît nécessaire de régénérer assez rapidement certaines parcelles sous peine de voir se développer des attaques d’armillaire et des dépérissements à grande échelle. De plus, cette tendance à la régularisation met en danger certains biotopes à tétras.

Situation : Etage subalpin, de 1700 à 2450m, sur ombrée en situation froide, sur roches calcaires ou siliceuses.

xx						
x						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

- sols pouvant être très épais (1m) avec mélange de cailloux, ou au contraire superficiels
- les débris végétaux qui s’accumulent forment une épaisse couche de matière organique.
- Habitat assez répandu qui recolonise les anciens espaces pastoraux par l’intermédiaire de la rhodoraie
- Présence d’espèces de l’annexe II de la directive, et du Grand tétras (cet habitat lui est très favorable)

Les potentialités forestières sont très faibles à nulles pour les variantes alticoles de cet habitat, moyennes pour les altitudes les plus basses (surtout pour sapin, épicéa et mélèze)

4 – Pineraies à Raisin d’ours sur soulanes subalpines sèches calcaires

La productivité de cet habitat au couvert sporadique est très faible, car il a anciennement été pâturé et écobué. La récolte y reste marginale.

Situation : Etage subalpin, de 1700 à 2400m, sur versants ensoleillés et roches calcaires et sols de type rendzine ou humocarbonatés.

xx						
x						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

- supporte une sécheresse importante, surtout estivale, et des températures très froides (-30°C), même si déneigement précoce
- sols peu profonds, riches en matière organique incorporée dans la terre fine (rendzines, sols humo-carbonatés ou humo-calciques)
- souvent en surface un horizon de matière organique pure (OH)
- tend à se reconstituer sur les espaces pastoraux abandonnés, par l’intermédiaire de fruticées à genévrier
- participe à des mosaïques d’habitats du plus grand intérêt
- favorable au grand tétras

Potentialités forestières très faibles voire nulles.

5 – Pineraies subalpines de soulane à raisin d’ours sur silice

D’une productivité très faible car anciennement pâturé et écobué, cet habitat se reconstitue très lentement à cause de la xéricité du milieu. Il comprend souvent de nombreux arbres morts et est composé de 2 strates, l’une jeune (recolonisation) et l’autre très vieille, ce qui lui donne un certain aspect moribond.

Situation : Etage subalpin, de 1700m à 2450m, en soulane, sur roches siliceuses et sols peu profonds riches en matière organique, horizon OH de surface.

xx						
x						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

- Sur cet habitat le Pin à crochets supporte une sécheresse estivale importante et est capable de résister au déneigement précoce et aux $t^{\circ} < -30^{\circ}\text{C}$.

- sols en général peu profonds (rankers)

- tend à se reconstituer sur les espaces pastoraux abandonnés par l’intermédiaire de fruticées à genévrier

- participe à des mosaïques d’habitats très intéressants

- habitat abritant le grand tétras

Potentialités forestières très faibles.

Recommandations sur ces habitats en faveur de la gestion durable

Recommandations préconisées par la Directive Habitats :

- Les opérations sylvicoles chercheront à maintenir la diversité latérale (classes d’âge) à l’échelle des versants.
- Préserver les mosaïques avec les habitats adjacents et l’hétérogénéité naturelle des peuplements, pour maintenir les écotones favorables au Grand Tétrás.
- Eviter à tout prix l’introduction de génotypes d’origine non locale (vigilance lors des éventuelles plantations)

**Annexe 3 : Relation station/production, synthèse du catalogue
de Decaix et Tardieu (1980)**

Région	Station forestière	Critères d'exploitabilité	
		Age	Diamètre
Capcir	B-Versant Nord-Ouest à Nord-est, altitude 1650 à 1750m, station mésophile d'altitude moyenne	120/140 ans	35/40cm
	E-Versant Sud-Est à Sud-Ouest, altitude 1800m et au delà, Pinaie thermophile	120/140 ans	30/40cm
	F-Versant Nord-est à Nord-Ouest, altitude 1750 à 1850m, Pinaie ombrophile	120/140 ans	35/40cm
	G-Tourbières	100/120 ans	25/35cm
	H-Sol superficiel, rochers	100/120 ans	25/35cm
Cerdagne	A2-Altitude supérieure à 1800m, Pinaie thermophile	120/140 ans	30/40cm
	B2-Altitude comprise entre 1800m et 1900m, versant Nord à Nord-Ouest, Pinaie ombrophile	120/140 ans	30/40cm
	B3-Altitude supérieure à 1900m, Pinaie ombrophile	120/140 ans	30/40cm
	C-Station sèche sur roches ou lithosols	100/120 ans	25/35cm

Annexe 5 : Protocole de relevés de terrain utilisé pour la campagne d'inventaire

Introduction

Cette campagne de mesures a pour objet la réalisation d'une première typologie de peuplements des Pineraies à crochets dans le contexte des Pyrénées-Orientales. Il ne faut pas perdre de vue que la typologie élaborée suite à ces mesures ne sera que le résultat intermédiaire d'un outil qui se veut plus vaste et étendu. En effet, la contrainte de temps fixée pour ce premier travail ne permettra pas de disposer d'un nombre de données suffisamment grand pour pouvoir conclure définitivement quant à la typologie obtenue.

Cet inventaire devra donc vraisemblablement être poursuivi durant l'année à venir, par la réalisation de placettes supplémentaires, voire le recueil de données différentes. Ce second travail d'affinage sera à déterminer en fonction des premières conclusions que l'on pourra tirer de l'analyse de la première campagne de mesures.

1. Localisation des relevés – Plan d'échantillonnage

Dans un premier temps, on cherche à déterminer de façon précise les types de peuplement situés dans les zones à vocation de production de bois, c'est à dire là où l'enjeu économique justifie cet investissement. Ainsi, la campagne de relevés se fera :

- dans les peuplements de Pin à crochets (Toutes autres essences confondues < 15% du peuplement)
- dans les séries de production
- sur des points situés à une distance maximale de 100m de la voie de desserte la plus proche

Dans un second temps (lors de l'inventaire qui viendra compléter ces premiers résultats), il sera judicieux de réaliser des placettes dans des zones actuellement non desservies, mais qui sont susceptibles d'être exploitées dans l'avenir, et qui présentent un certain intérêt économique.

Un minimum de 100 placettes devra être échantillonné pour pouvoir néanmoins disposer de données interprétables statistiquement.

En termes de temps de terrain, cela se traduit de la manière suivante :

- Deux opérateurs sont nécessaires pour la réalisation d'une placette
- On peut raisonnablement miser sur la réalisation de 7 placettes par binôme et par jour
- Soit un coût de : $100/7 \times 2 = 30\text{HJ}$ environ.

S'il s'avère que le quota de 7 placettes par jour et par binôme est dépassé, il serait envisageable de prévoir un certain nombre de placettes supplémentaires 'facultatives'. C'est pourquoi les estimations faites ci-dessous portent sur le nombre de 135 placettes.

Etant donné le peu de temps disponible et donc le faible nombre de placettes envisagées, il est préférable, sur une surface aussi grande (environ 5000 ha de peuplements de Pin à crochets situés à moins de 100m d'une voie de desserte dans les séries de production, en Cerdagne Capcir), d'opter pour un échantillonnage à choix raisonné de la situation des placettes.

La typologie de peuplements réalisée a priori propose une dizaine de types différents, supposés recouvrir au maximum la variabilité des peuplements observables. On s'efforcera alors de réaliser environ dix ou douze placettes pour chaque type décrit, ce qui devrait théoriquement permettre d'inventorier la plupart des peuplements.

2. Peuplements recherchés

- Semis, régénération : environ 15 placettes
- Perchis et jeune futaie régulière (diamètre 15/20) : environ 25 placettes
- Futaie régulière adulte (diamètre 25/30) : environ 20 placettes
- Futaie régulière mûre (diamètre 35 et +) : environ 15 placettes
- Peuplement clair ($G_{total} < 15 \text{ m}^2/\text{ha}$) : environ 10 placettes
- Futaie irrégulière (par bouquets ou pied par pied) : environ 20 placettes
- Futaie irrégulière enrichie en 'gros bois' : environ 15 placettes
- Futaie à deux étages distincts : environ 15 placettes

Total : environ 135 placettes

On répartira également, du mieux possible, les placettes sur les différents massifs forestiers :

- **Premier massif :**

Osséja / Palau de Cerdagne / Valcebollère / Sainte Léocadie / Err

Descripteurs potentiels : Marcel Torres, Jacques Volle

+/- 20 placettes

- **Second massif :**

Porté-Puymorens / Latour de Carol

Descripteurs potentiels : Marcel Torres, Jacques Volle

+/- 15 placettes

- **Troisième massif :**

Eyne / St Pierre dels Forcats / Planès

Descripteurs potentiels : Alain le Mouillour, Jean-Luc Coen

+/- 15 placettes

- **Quatrième massif :**

Bolquère / Font Romeu / Egat

Descripteurs potentiels : Bruno Robert, Alain le Mouillour (Jean-Marc Fayolle)

+/- 15 placettes

- **Cinquième massif :**

Barrès / Les Angles / La Llagonne

Descripteurs potentiels : Jean Servat, Pierre Demangeat (Patrick Vacher)

+/- 20 placettes

- **Sixième massif :**

Formiguères / Rieutort / Camporeys / Fontrabieuse

Descripteurs potentiels : Serge Poncy, Marc Delabre, (Olivier Constantini ?)

+/- 15 placettes

- **Septième massif :**

Clavera / Caudiès de Conflent / Ayguatébia / Les Llançades / Coume de Lègue

Descripteurs potentiels : Laurent Angel, Jean Servat

+/- 15 placettes

- **Huitième massif :**

Chemin Ramadé / Coume de Pontails / Sansa / Réal Odeillo / Villeneuve / Matemale

Descripteurs potentiels : Marc Delabre, Nicolas Point, (Jean-Marc Fayolle)

+/- 20 placettes

Total : 135 placettes environ

Les premiers jours, les opérateurs se rendront sur les lieux en ayant au préalable déterminé les parcelles dans lesquelles ils vont faire les placettes. Les placettes choisies seront matérialisées sur le terrain (arbre le plus proche du centre cerclé à la peinture et numéro de la placette inscrit sur l'arbre à la peinture également) et repérées sur une carte (soit par un repérage direct sur une carte, soit par un relevé au GPS).

Au fur et à mesure de la collecte des résultats, en fonction des types de peuplement déjà inventoriés, le réalisateur de la typologie demande d'aller inventorier plus particulièrement tel ou tel type de peuplement, en fonction de ceux déjà inventoriés et de ceux restant à étudier. Les opérateurs s'efforceront alors de répondre à cette demande, dans un souci d'exhaustivité vis à vis de l'inventaire global, et afin de pouvoir traiter au mieux les données collectées (fiabilité de l'analyse statistique).

3. Emploi du temps

En raison de la forte contrainte de temps due au stage, il est essentiel que cet inventaire soit réalisé dans les plus brefs délais, et finalisé début juillet.

D'ores et déjà, les journées du lundi de chaque semaine sont bloquées pour l'inventaire, et les mercredi dans la mesure du possible. Si le matériel nécessaire à la réalisation des placettes est disponible en quantités suffisantes, on peut envisager de faire travailler 3 binômes en même temps chaque lundi. A raison d'une moyenne journalière de 7 placettes par binôme, la réalisation de 120 placettes devrait prendre environ 3 semaines (si les mercredi et lundi sont tous occupés à cette tâche par au moins 6 agents, et si ces 6 agents sont effectivement disponibles... prévoir une semaine de plus).

Semaine 1		Semaine 2		Semaine 3		Semaine 4		Semaine 5	
21 mai	23 mai	28 mai	30 mai	4 juin	6 juin	11 juin	13 juin	18 juin	20 juin
Journée de calage	3 groupes	Pentecôte	3 groupes	Rattrapage du retard éventuel	Rattrapage du retard éventuel				
	20 placettes		20 placettes						

4. Variables de l'inventaire

Elles seront de deux ordres :

1. Les variables écologiques, qui seront déterminées par avance. L'aspect stationnel sera volontairement négligé : il ne s'agit pas de refaire une typologie de stations, mais plutôt d'utiliser la typologie existante pour essayer de déterminer l'impact éventuel de certains paramètres écologiques sur le type de peuplement observé.
2. Les variables dendrométriques, sur lesquelles on se focalisera plus amplement. On relèvera différents critères dans le but de déterminer précisément mais rapidement le peuplement considéré.

On notera également certains renseignements généraux relatifs à la situation de la placette notamment, mais également la date de l'observation, le nom des observateurs présents, le numéro de la parcelle, etc... (cf fiche).

Le nom de la placette sera donné conventionnellement de la façon suivante :

- Les trois lettres du code aménagement attribué à chaque forêt
- Le numéro de la série (1, 2 ou 3..)
- Le numéro de la parcelle
- Le numéro de la placette

Forêt	Abrév	Forêt	Abrév	Forêt	Abrév
Angoustrine	ANG	Fontrabieuse	FOB	Planès	PLA
Ayguatébia	AYG	Font-Romeu	FOM	Porta	POR
Barrès	BAR	Formiguères	FOR	Porté-Puymorens	POT
Bolquère	BOL	La Llagonne	LLA	Puyvalador	PUY
Caudiès de Conflent	CAU	Latour de Carol	LAT	Railleu	RAI
Chemin Ramadé	RAM	Les Angles	LAN	Réal Odeillo	REA
Clavera	CLA	Les Campilles	CAM	Rieutort	RIE
Coume de Lègue	COU	Les Camporeys	CAP	Saillagouse	SAI
Coume de Pontails	COP	Les Cortals	COR	Sainte-Léocadie	SAI
Dorrès	DOR	Les Llançades	LLA	Saint-Pierre	SAP
Egat	EGA	Llo	LLO	Sansa	SAN
Err	ERR	Matemale	MAT	Targasonne	TAR
Espousouille	ESP	Nahuja	NAH	Valcebollère	VAL
Eyne	EYN	Osséja	OSS	Védignans	VED
Fontpédrouse	FON	Palau de Cerdagne	PAL	Villeneuve	VIL

Exemple : Forêt de Valcebollère, série 1, parcelle 4, placette numéro 2 :

Le nom complet de la placette est : VAL010402

En premier lieu, les observateurs devront également réaliser une description visuelle rapide du peuplement, en termes résumés. Dans cette description doivent figurer trois caractéristiques :

- L'état de la futaie (régulière ou irrégulière ou à 2 étages distincts)
- La classe de diamètre a priori prépondérante (pour un peuplement régulier)
- Les deux classes de diamètre a priori prépondérantes (pour un peuplement à deux étages)
- La classe de diamètre vers laquelle le peuplement s'est régularisé (dans le cas d'une futaie irrégulière déséquilibrée)
- Si le peuplement est plutôt dense ou clair
- La présence de régénération (éventuellement)

Par exemple : Futaie régulière dense de Pin à crochets, régularisée dans les diamètres 25/30, sans régénération.

4.1. Variables écologiques

4.1.1. Exposition dominante

Calculée d'après le modèle numérique de terrain, elle est exprimée en grades, puis éventuellement reconvertie en 8 valeurs : N / NE / E / SE / S / SO / O / NO

4.1.2. Pente

Calculée d'après le modèle numérique de terrain, elle est exprimée en %, puis éventuellement reconvertie en classes de 5 en 5.

4.1.3. Altitude

Calculée d'après le modèle numérique de terrain, donnée en msnm.

4.2. Variables dendrométriques

4.2.1. Hauteur dominante et hauteur moyenne du peuplement

Par convention, la hauteur dominante est définie comme la moyenne des hauteurs des 100 plus gros arbres à l'hectare. C'est une donnée souvent mal appréciée sur le terrain (on se contente généralement de mesurer la hauteur du plus gros arbre du peuplement) et qui induit certaines erreurs (ne reflète pas la réalité). C'est pourquoi l'on mesurera également la hauteur moyenne du peuplement, en mesurant celle de l'arbre de diamètre moyen.

- Hauteur dominante : mesure de la hauteur de l'arbre de plus gros diamètre inventorié dans le calcul de la surface terrière
- Hauteur moyenne : hauteur moyenne des arbres de la classe de diamètre prépondérante inventoriés dans le calcul de la surface terrière

Ces hauteurs seront calculées au moyen d'un clisimètre après mise à distance, et elles seront appréciées à 0.5m près.

4.2.2. Structuration verticale des houppiers

On peut envisager une description verticale du peuplement, comme déjà expérimenté dans la typologie de peuplements des Alpes du Nord. Cependant, étant donné le peu d'informations disponibles par rapport à la hauteur potentielle des différents peuplements selon le contexte stationnel, on décidera du découpage des strates en fonction de la hauteur potentielle supposée :

- Si Hpot supposée = 18m
 - strate 1 : 0/6m de haut
 - strate 2 : 6/12m de haut
 - strate 3 : 12/18m de haut

- Si Hpot supposée = 15m
 - strate 1 : 0/5m de haut
 - strate 2 : 5/10m de haut
 - strate 3 : 10/15m de haut

- Si Hpot supposée = 12m
 - strate 1 : 0/4m de haut
 - strate 2 : 4/8m de haut
 - strate 3 : 8/12m de haut

On suppose pour la plupart des peuplements que leur hauteur potentielle ne dépasse pas 18 m. Trois découpages sont proposés de façon à apprécier la dynamique du peuplement : il n'est pas cohérent de fixer une hauteur potentielle unique arbitrairement puisque dans les cas les moins favorables, le peuplement ne peut atteindre cette hauteur.

On relèvera le pourcentage du couvert occupé par chaque strate (attention : le total peut excéder 100%, car les houppiers peuvent se superposer). Il n'y a ici aucune notion de diamètre de précomptage ; toute tige dont le houppier est situé dans la strate est englobée dans l'estimation.

Cette mesure présente deux inconvénients : sa subjectivité d'une part (l'appréciation du couvert de chaque strate peut varier suivant les descripteurs), et d'autre part, dans le cas du Pin à crochets elle ne semble pas forcément adaptée au contexte local (essence de faible production, hauteur potentielle limitée donc le découpage en 3 ou 4 strates devient très fin, et l'estimation du couvert de chaque strate est rendue plus difficile).

Néanmoins, il peut être intéressant de réaliser quand même cette mesure, afin d'évaluer de manière rigoureuse son inadaptation au contexte du Pin à crochets.

L'estimation du couvert de chaque strate fera donc tout de même partie du protocole de mesures de terrain ; la précision que l'on recherche lors de cette mesure ne doit pas être à l'origine de trop grandes hésitations : le but est de parvenir à hiérarchiser l'importance relative de chaque strate par rapport aux autres. Cette mesure sera réalisée à l'échelle du peuplement environnant : on ne se restreindra pas à la surface de la placette.

4.2.3. Répartition du nombre de tiges en fonction de leur diamètre

4.2.3.1. Estimation visuelle de la répartition des tiges en classes de diamètre

Avant toute mesure, chacun des descripteurs jugera de la structuration du peuplement, en estimant à l'œil la proportion (en nombre de tiges) représentée, sur une placette fictive de 8m de rayon (2 ares) ou 11.3m de rayon (4 ares), par chacune des classes de diamètre listées ci-dessous :

<15cm de diamètre
15/20cm de diamètre
25/30cm de diamètre
35cm de diamètre et plus

Ici aussi, le but recherché n'est que de hiérarchiser l'importance de chacune de ces classes les unes par rapport aux autres : la valeur en elle-même des pourcentages estimés compte moins que le rapport de ces valeurs entre elles.

Le choix de la surface de la placette (2 ou 4 ares) est fait suivant la densité du peuplement ; si le peuplement est très dense (futaie régulière au stade de la première éclaircie par exemple), on réalisera une placette de 2 ares seulement. Dans le doute, par une appréciation visuelle rapide, s'assurer qu'au moins 20 tiges sont situées dans la placette de 2 ares. Si ce n'est pas le cas, étendre la surface de la placette à 4 ares.

4.2.3.2. Mesure de la répartition des tiges en classes de diamètre

On relèvera ensuite, autour du centre de la placette, toutes les tiges dont le diamètre est supérieur ou égal à 7.5cm de diamètre, en annonçant leur diamètre par classes de 5cm. La mesure du diamètre sera effectuée au compas forestier à la hauteur de 1m30. On calculera par la suite (au bureau) le pourcentage représenté par chaque classe de diamètre, ainsi que par les groupes suivants :

<15cm de diamètre
15/20cm de diamètre
25/30cm de diamètre
35cm de diamètre et plus
qui sont supposés regrouper des types de produits homogènes.

En pratique, pendant que l'opérateur n°1 relève au compas le diamètre de chacun des arbres situé à l'intérieur de la placette, le second pointe dans un troisième tableau les arbres dénombrés.

Pour mesurer la distance entre les tiges et le centre de la placette, deux méthodes sont possibles:

- Soit on dispose d'un télémètre et la mesure de distance, rapide, est faite directement.
- Soit on matérialise, grâce à la mire Pardé, le cercle figurant la placette (au sol à la bombe de peinture), et on compte toutes les tiges rentrant dans ce cercle.

4.2.3.3. Observation de la surface terrière par classes de diamètre

On réalisera ensuite, au moyen d'un relascope, une mesure de la surface terrière du peuplement (sans notion de surface fixe, on comptabilise tous les arbres entrant dans le facteur 1 du relascope) en séparant chaque classe de diamètre (répartition de la surface terrière globale par classes de diamètre de 5cm).

Pour cela, le premier opérateur se place au centre de la placette et réalise un tour d'horizon relascope. Le second opérateur mesure le diamètre de chaque arbre comptabilisé par l'opérateur placé au centre et le lui annonce. Celui-ci note chaque arbre mesuré, puis relève sur la fiche le total du nombre de tiges par classe de diamètre : au final, on obtient un tableau donnant la répartition de la surface terrière par classe de diamètre. Durant cet inventaire, on relève toutes les tiges **à partir de 7.5cm de diamètre (classes 10 et +)**.

4.2.4. Densité du peuplement

Ici encore, les descripteurs devront d'abord, en premier lieu, estimer la densité globale du peuplement (tiges de diamètre 12.5cm et plus) avant tout calcul (**le calcul de la densité réelle observée sur la placette se fait d'ailleurs au bureau**).

Densité calculée :

Dès lors que l'on a dénombré les tiges présentes sur la placette, il est rapide d'obtenir une valeur de la densité sur la placette ramenée à l'hectare.

Ex : si $n = 20$ tiges sur la placette (de 8m de rayon), alors $n/ha = 10000 * 20 / (3.14 * 8^2) = 994$ t/ha

La densité prendra en compte les tiges de 12.5cm de diamètre et plus ; on n'englobe pas les perches dans cette mesure.

4.2.5. Etat sanitaire global du peuplement

On appliquera une 'note' globale pour évaluer l'état sanitaire du peuplement. Pour ne pas compliquer cette notation et faire intervenir trop de subjectivité dans cette évaluation, on se contentera de déterminer si :

- 1 : l'état sanitaire du peuplement est satisfaisant
- 2 : l'état sanitaire du peuplement est préoccupant

On observera pour cela les critères 'classiques' :

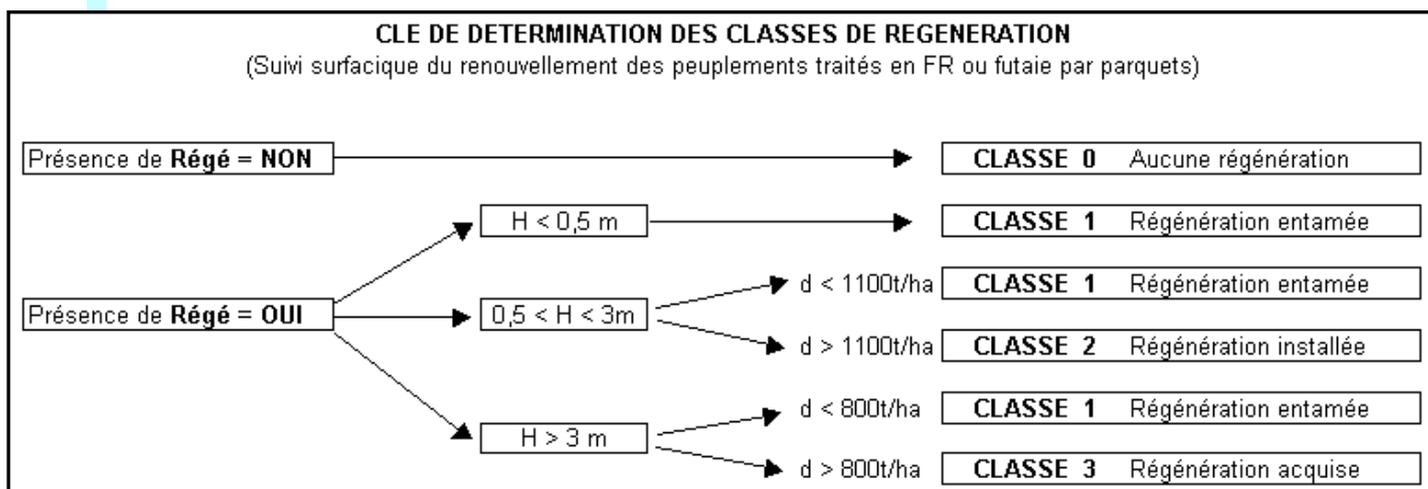
- présence d'arbres secs sur pied ou d'arbres dépérissant (écorce se desquamant)
- aspect des houppiers (proportion de branches mortes, taille du houppier, couleur et aspect des aiguilles...)

...

4.2.6. Evaluation de la régénération

Concernant la régénération (tiges de diamètre 7.5cm et moins), on relèvera les variables suivantes :

- L'**estimation** du couvert de la régénération en %
- La classe de régénération : la détermination de cette classe se fait au moyen de la clé ci-après :



Ce critère, important surtout pour les semis, gaulis et perchis ou pour les futaies irrégulières, permet d'apporter des éléments complémentaires sur l'état et le stade d'avancement de la régénération .

NB (important) : on considère qu'il y a présence de régénération si cette présence est significative, c'est à dire qu'elle représente une surface et un couvert non négligeables à l'échelle du peuplement environnant (ne pas se restreindre à l'observation de la régénération sur la surface de la placette de 2 ou 4 ares).

Annexe 6 : Fiche de relevé type

Fiche de relevé: première campagne de mesures pour la typologie de peuplements			
Placette n°			
Date			
Descripteur 1			
Descripteur 2			
Nom de la forêt			Domaniale Communale
Numéro de la série	Nom de la série	Protection/production	Production
Numéro de la parcelle			
Numéro point GPS (facultatif)			

Description visuelle du peuplement	
Dernière intervention pratiquée (année et nature de l'intervention)	
Année	Nature

Hauteur moyenne du peuplement environnant (m)		
Hauteur dominante du peuplement environnant (m)		
Couvert approximatif de la régénération (peuplement environnant) en %		
Classe de régénération (0, 1, 2 ou 3) cf clé de détermination		
Etat sanitaire global (peuplement environnant)	Bon	Mauvais

Structuration verticale des houppiers (à l'échelle du peuplement environnant)		Hauteur potentielle estimée		
Nom de la strate	% de couvert	12m	15m	18m
Strate 1 (supérieure)		8/12m	10/15m	12/18m
Strate 2 (intermédiaire)		4/8m	5/10m	6/12m
Strate 3 (inférieure)		0/4m	0/5m	0/6m
Vides				
Total				

Répartition des tiges selon leur diamètre

Placette à surface fixe			2 ares	4 ares	Placette relascopique (surface terrière)			
Estimation visuelle		Mesure				Facteur utilisé		
Diamètre à 1,3m	Nombre de tiges vivantes (en pourcentage du nombre de tiges total)	Diamètre à 1,3m	Nombre de tiges vivantes		Diamètre à 1,3m	Surface terrière (m2/ha)		
Essence	PX	PS	Essence	PX	PS	Essence	PX	PS
10			10			10		
15			15			15		
20			20			20		
25			25			25		
30			30			30		
35			35			35		
40			40			40		
45			45			45		
50			50			50		
55			55			55		
60			60			60		
65			65			65		
70			70			70		
Total			Total			Total		
Total général		100%	Total général			Total général		

Estimation de la densité (nb tiges/ha) du peuplement environnant (tiges de diam 15cm et plus)	
---	--

Annexe 7 : Tableaux explicatifs des axes identifiés lors de l'AFC

Placettes ayant les plus fortes contributions sur l'axe 1																																							
n_id	n_idafc	n_plac	contribution à l'axe 1	coordonnée sur l'axe 1	alti_m	pte_prc	expo_degrees	aspect_trait	aspect_dens	aspect_diam	h_moy	h_dom	etat_san	h_pot	strat1	strat2	strat3	couv_tot	surf_plac	vis_10	vis_15et20	vis_25et30	vis_35+	mes_cl10	mes_cl15	mes_cl20	mes_cl25	mes_cl30	mes_cl35	mes_cl40	mes_cl45	mes_cl50	mes_cl55	mes_cl60	nb_tiges				
Placettes aux coordonnées les plus grandes sur l'axe 1	11	8	BOL021701	15	789	1750	5	85FR	0	15/20	11	11,5	1	18	0	70	0	70	2	0	100	0	0	0	2	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27		
	86	29	CRA010902	17	829	1910	15	0FR	1	20	12	13,5	1	18	50	50	0	100	2	10	60	30	0	0	6	16	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31		
	24	46	FOR021401	17	846	1770	25	135FR	0	15/20	12,5	16	1	15	86	15	0	100	4	15	75	10	0	29	30	24	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89		
	62	54	FTRO20203	17	857	2160	20	345FR	1	20	12	13	1	15	90	0	0	90	2	5	55	40	0	6	14	18	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	48		
	79	56	LAT011302	17	840	1690	25	35FR	1	10/15	10,5	12	1	15	90	0	0	90	2	40	50	10	0	18	16	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	
	46	85	PAL01J03	20	907	1660	30	25FR	1	15	12	15,5	1	18	80	30	0	110	2	35	60	5	0	17	18	8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	
Placettes aux coordonnées les plus petites sur l'axe 1	17	845	1823	20	104				1	18	12	14	1	17	66	28	0	93	2	18	67	16	0	13	17	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46		
	47	6	BAR012001	22	-971	1750	5	175FR	0	35	17	18	1	18	35	0	5	40	4	0	0	50	50	0	0	0	0	0	8	3	4	0	0	0	0	0	15		
	54	13	CAU010601	23	-1005	1930	0	45FR	0	30	17	17,5	0	18	35	5	15	55	4	0	10	25	65	0	1	2	1	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	12	
	95	42	FOB010201	29	-1108	1760	35	35FR	0	35	19	25,5	1	18	40	0	10	50	4	5	0	10	85	1	0	0	0	2	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	8
	87	72	MAT011101	22	-972	1870	30	285FR	0	35	17,5	18	1	18	40	0	15	55	4	0	10	10	80	0	1	0	0	1	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	9
	93	99	RIE010901	27	-1058	1780	20	65FR	0	35	21	22,5	1	18	60	0	30	90	4	0	5	30	65	0	2	0	0	3	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	15
			25	-1023	1818	18	121		0	34	18	20	1	18	42	1	15	58	4	1	5	25	69	0	1	0	0	3	3	4	1	0	0	0	0	0	12		

n_id	n_idafc	n_plac	nb_ha	nb_ha10excl	mes_10	mes_15et20	mes_25et30	mes_35+	facteur_rel	g_10	g_15	g_20	g_25	g_30	g_35	g_40	g_45	g_50	g_55	g_60	g_65	g_70	g_75	g_tot	g_10excl	g_15et20	g_25et30	g_35+	estim_dens	regl_couv	regl_classe	mélange	Type_mél		
Placettes aux coordonnées les plus grandes sur l'axe 1	11	8	BOL021701	1350	1250	7	93	0	1	2	16	14	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	37	35	5	81	11	3	1150	0	0	1	PS
	86	29	CRA010902	1550	1250	19	71	10	1	1	10	18	10	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	47	46	2	60	32	6	1500	0	0	0	0	
	24	46	FOR021401	2225	1500	33	61	7	0	1	6	11	21	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	46	12	62	27	0	2000	0	0	0	0	
	62	54	FTRO20203	2400	2100	13	67	21	0	1	0	9	21	12	4	1	0	0	0	0	0	0	0	47	47	0	64	34	2	1600	0	0	0	0	
	79	56	LAT011302	1850	950	49	49	3	0	2	22	22	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	49	27	45	51	4	0	2000	0	0	0	0	
	46	85	PAL01J03	2250	1400	38	58	4	0	1	9	17	16	10	2	1	0	0	0	0	0	0	0	55	46	16	60	22	2	2300	0	0	0	0	
Placettes aux coordonnées les plus petites sur l'axe 1	1938	1408	26	66	7	0	1	7	14	16	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	41	13	63	22	2	1758	0	0	0	0	
	47	6	BAR012001	375	375	0	0	53	47	1	0	0	1	5	6	6	1	0	0	0	0	0	0	19	19	0	0	32	68	250	10	1	0	0	0
	54	13	CAU010601	300	300	0	25	50	1	0	1	2	1	4	5	5	1	0	0	0	0	0	0	19	19	0	16	26	58	300	15	1	0	0	0
	95	42	FOB010201	200	175	13	0	25	63	1	1	0	0	2	5	2	5	0	0	0	0	0	0	15	14	7	0	13	80	250	10	1	0	0	0
	87	72	MAT011101	225	225	0	11	11	78	1	0	1	0	0	2	6	2	2	1	0	0	0	0	16	16	0	6	13	81	250	15	1	0	0	0
	93	99	RIE010901	375	375	0	13	20	67	1	0	2	0	0	7	18	12	7	1	2	0	0	0	49	49	0	4	14	82	650	30	3	0	0	0
			295	290	3	10	27	61	1	0	1	0	0	4	7	6	3	1	1	1	0	0	24	23	1	5	20	74	340	16	1	0	0	0	

Au vu de cette analyse, le gradient qui apparaît de façon la plus évidente qui soit est celui de la densité des peuplements. Les peuplements les plus denses sont situés à l'extrémité supérieure de l'axe 1, et les plus clairs à l'extrémité inférieure.

Placettes ayant les plus fortes contributions sur l'axe 2																																								
n_id	n_idafc	n_plac	contribution à l'axe 2	coordonnée sur l'axe 2	alti_m	pte_prc	expo_degrees	aspect_trait	aspect_dens	aspect_diam	h_moy	h_dom	etat_san	h_pot	strat1	strat2	strat3	couv_tot	surf_plac	vis_10	vis_15et20	vis_25et30	vis_35+	mes_c110	mes_c115	mes_c120	mes_c125	mes_c130	mes_c135	mes_c140	mes_c145	mes_c150	mes_c155	mes_c160	nb_tiges					
Placettes aux coordonnées les plus grandes sur l'axe 2			89	27	CRAQ10702	56	1230	1850	15	335	FR	0	10/15	8	10	1	15	0	75	5	80	2	40	60	0	0	20	18	1	1	0	0	0	0	0	0	0	40		
			15	40	EYND11201	122	1820	1900	40	325	FR	1	5	3	5	1	18	0	100	100	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			34	68	LE0010602	44	1096	1890	15	0	FR	1	10/15	6,5	9	1	15	0	80	20	100	4	30	60	10	0	12	20	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	37	
			30	67	LL0011701	34	984	2050	45	55	FI	0	6	16	0	15	10	25	50	85	4	20	20	10	50	9	6	4	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	24	
			109	90	PLA010801	79	1460	1830	25	45	FR	1	10/15	7	9	1	18	0	40	50	90	2	90	10	0	0	18	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
			99	100	RIE011301	103	1670	2030	25	55	FR	1	15/10	3	6	1	15	10	10	75	95	4	5	5	40	50	4	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	9	
			32	104	SPD011701	60	1277	1980	30	25	FR	0	15	7	9,5	1	15	0	50	40	90	2	30	70	0	0	14	18	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	
						71	1362	1933	28	120		1	7	6	9	1	16	3	40	49	91	3	31	32	9	14	11	10	3	1	1	0	0	0	0	0	0	26		
Placettes aux coordonnées les plus petites sur l'axe 2			20	48	FOR021901	20	-728	1910	10	125	FR	1	25/30	18	1	18	70	5	0	75	4	5	5	85	5	4	11	4	21	6	1	0	0	0	0	0	0	0	47	
			29	68	LL0011702	18	-690	2040	45	55	FR	1	30	17,5	18	1	18	70	0	10	80	4	0	15	55	30	2	5	1	8	7	3	1	0	0	0	0	0	0	27
			6	75	MA020602	11	-549	1640	15	315	FR	0	25/30	15	17	1	18	70	5	5	80	2	5	5	80	10	4	5	4	5	4	3	0	0	0	0	0	0	0	25
			37	77	OSS010207	10	-514	?	?	?	FR	1	25	17,5	18,5	1	18	80	20	0	100	2	0	10	50	40	0	1	1	2	5	4	1	0	0	0	0	0	14	
			111	92	PLA012001	11	-534	1670	40	325	FI	0	0	16,5	17	1	18	50	30	15	95	2	10	30	50	10	3	4	5	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	19
			76	94	POR010101	9	-519	1740	10	335	FR	0	25	14,5	16	0	15	90	20	10	120	3	10	30	40	20	1	3	3	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	17
						13	569	1800	24	231		1	20	17	1	18	72	13	7	92	3	5	16	60	19	2	5	3	8	5	2	0	0	0	0	0	0	25		

n_id	n_idafc	n_plac	nb_ha	nb_ha10excl	mes_10	mes_15et20	mes_25et30	mes_35+	facteur_rel	g_10	g_15	g_20	g_25	g_30	g_35	g_40	g_45	g_50	g_55	g_60	g_65	g_70	g_75	g_tot	g_10excl	g%_10	g%_15et20	g%_25et30	g%_35+	estim_dens	regé_couv	regé_classe	mélange	Type_mél			
Placettes aux coordonnées les plus grandes sur l'axe 2			89	27	CRAQ10702	2000	1000	50	48	3	0	1	12	16	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	34	22	35	59	6	0	1200	5	1	0	0	0	
			15	40	EYND11201	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			34	68	LE0010602	1860	1250	32	62	5	0	1	12	29	5	5	3	0	0	0	0	0	0	54	42	22	63	15	0	1150	20	3	1	PS	0	0	
			30	67	LL0011701	600	375	38	42	13	8	1	0	4	5	1	3	1	2	1	0	0	0	17	17	0	53	24	24	550	50	3	0	0	0	0	
			109	90	PLA010801	1450	560	62	38	0	0	1	7	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	17	10	41	59	0	1800	80	3	0	0	0	0	0	
			99	100	RIE011301	225	125	44	11	33	11	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	2	33	0	67	0	20000	75	3	0	0	0	0	
			32	104	SPD011701	2050	1350	34	66	0	0	2	4	24	10	0	0	0	0	0	0	0	0	38	34	11	89	0	2500	40	3	0	0	0	0	0	
						1168	664	37	38	8	3	1	5	12	4	1	0	23	18	20	46	16	3	3886	39	3	0	0	0								
Placettes aux coordonnées les plus petites sur l'axe 2			20	48	FOR021901	1175	1075	9	32	57	2	1	0	3	7	19	16	14	3	0	0	0	0	62	62	0	16	56	27	1100	0	0	0	0	0	0	
			29	68	LL0011702	675	625	7	22	56	15	1	0	2	4	10	18	4	6	3	0	0	0	47	47	0	13	60	28	1100	0	0	0	0	0	0	
			6	75	MA020602	1250	1050	16	36	36	12	1	1	4	10	9	11	7	1	0	0	0	0	43	42	2	33	47	19	800	5	0	0	0	0	0	0
			37	77	OSS010207	700	700	0	14	50	36	1	0	2	3	12	19	18	3	0	0	0	0	57	57	0	9	54	37	800	0	0	0	0	0	0	0
			111	92	PLA012001	950	800	16	47	32	5	1	2	5	4	7	9	4	3	0	0	0	0	34	32	6	26	47	21	1100	10	1	0	0	0	0	0
			76	94	POR010101	561	528	6	35	47	12	1	1	2	5	10	5	4	1	0	0	0	0	28	27	4	25	54	18	500	0	0	0	0	0	0	
						885	796	9	31	46	14	1	3	6	11	13	9	3	1	0	0	0	0	45	45	2	20	53	25	900	3	0	0	0	0		

Plusieurs gradients apparaissent sur ce tableau comparatif, des gradients exprimant la structure du peuplement en général.

=> un gradient selon le pourcentage de couvert de chaque strate 1, 2 ou 3

=> un gradient selon la répartition des tiges par classes de diamètre sur la placette à rayon fixe

=> un gradient selon la répartition des tiges par classes de diamètre sur la placette relascopique

=> les deux derniers gradients sont cependant moins marqués; en effet, les peuplements les plus gros et les plus petits n'apparaissent pas forcément aux extrémités des axes. Il n'y a pas non plus de gradient de densité qui soit observable.

Placettes ayant une forte contribution sur l'axe 3

n_id	n_idarc	n_plac	contribution a l'axe 3	coordonnée sur l'axe 3	alti_m	pte_prc	expo_degrees	aspect_trait	aspect_dens	h_moy	h_dom	etat_san	h_pot	strat1	strat2	strat3	conv_tot	surf_plac	vis_10	vis_15e120	vis_25e130	vis_35+	mes_c110	mes_c115	mes_c120	mes_c125	mes_c130	mes_c135	mes_c140	mes_c145	mes_c150	mes_c155	mes_c160	nb_tiges		
17	38	EYND10801	74	1202	1960	30	335	FR	1	40	20	22	1	18	90	0	10	100	4	0	5	15	80	0	1	1	2	3	6	8	1	1	0	24		
28	66	LL0011201	39	869	1900	45	305	FR	0	30	17	1	18	86	0	0	85	4	0	0	60	40	0	0	1	5	5	7	3	0	0	0	21			
24	46	FOR021401	32	793	1770	25	195	FR	0	15/20	12,5	16	1	15	86	15	0	100	4	15	75	10	0	29	30	24	6	0	0	0	0	0	0	89		
23	47	FOR021402	32	785	1780	25	195	FR	1	15/20	14,5	14	1	15	95	5	0	100	2	10	80	10	0	21	24	24	3	1	0	0	0	0	0	73		
46	85	PAL01J03	27	725	1660	30	25	FR	1	15	12	15,5	1	18	80	30	0	110	2	35	60	5	0	17	18	8	1	1	0	0	0	0	0	45		
93	99	RIE010901	25	702	1780	20	65	FR	0	35	21	22,5	1	18	60	0	30	90	4	0	5	30	65	0	2	0	0	3	6	3	1	0	0	0	15	
			57	1036	1930	38	320		1	35	19	22	1	18	88	0	5	93	4	0	3	38	60	0	1	1	4	4	7	6	1	1	0	23		
52	16	CLA013701	24	-683	1770	20	335	FR	0	20	13	14	1	18	10	70	15	95	2	15	65	20	0	1	5	6	6	1	0	0	0	0	0	0	19	
101	19	CLA022701	24	-684	1910	20	335	FI	0	0	11	18	1	15	30	25	25	80	4	20	20	40	4	6	2	5	2	0	1	1	1	0	0	0	22	
42	35	ERR012902	29	-754	1900	25	65	FR	0	30	15	15	1	15	60	30	40	130	2	10	20	20	50	2	2	1	4	4	2	1	0	0	0	0	16	
44	84	PAL01B01	29	-756	1850	30	35	FI	0	0	15	16	1	15	55	35	20	110	2	25	20	55	0	5	4	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	17
111	92	PLA012001	29	-753	1670	40	325	FI	0	0	17	17	1	18	50	30	15	95	2	10	30	50	10	3	4	5	3	3	1	0	0	0	0	0	0	19
40	112	VAL011403	23	-664	2100	20	305	FI	1	0	10	9	1	12	60	40	20	120	2	30	40	20	10	6	4	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18
97	43	FOB011701	36	-839	1940	45	195	FI	0	30	13	16	1	15	60	15	25	100	2	50	5	65	25	6	2	3	5	4	0	0	0	0	0	0	0	20
73	103	SPD011501	37	-849	1790	15	285	FI	0	25	15	16	1	15	20	40	30	90	2	20	30	50	0	5	2	4	5	4	0	0	0	0	0	0	0	22
69	106	SPD012301	34	-813	1790	15	335	FI	0	15/20	15	12	1	15	20	70	10	100	3	30	60	10	0	9	6	6	5	0	1	0	0	0	0	0	0	27
			29	-755	1858	26	246		0	13	14	15	1	15	41	39	22	102	2	23	32	34	15	5	4	4	2	1	0	0	0	0	0	20		

Placettes aux coordonnées les plus grandes sur l'axe 3

Placettes aux coordonnées les plus petites sur l'axe 3

n_id	n_idarc	n_plac	nb_ha	nb_ha1excl	mes_10	mes_15e120	mes_25e130	mes_35+	facteur_rel	g_10	g_15	g_20	g_25	g_30	g_35	g_40	g_45	g_50	g_55	g_60	g_70	g_75	g_tot	g_10excl	g%_10	g%_15e120	g%_25e130	g%_35+	estim_dens	regé_couv	regé_classe	mélange	Type_mél	
17	38	EYND10801	600	600	0	8	21	71	1	0	0	1	2	9	9	14	5	2	2	0	0	0	0	44	44	0	2	25	73	700	10	1	0	0
28	66	LL0011201	525	525	0	5	48	48	1	0	0	1	6	8	15	12	0	0	0	0	0	0	42	42	0	2	33	64	900	0	0	0	0	0
24	46	FOR021401	2225	1500	33	67	0	1	6	11	21	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	46	12	62	27	0	2000	0	0	0	0	0
23	47	FOR021402	3650	2600	29	66	5	0	1	5	6	24	14	4	0	0	0	0	0	0	0	0	53	48	9	57	34	0	3250	0	0	0	0	0
46	85	PAL01J03	2250	1400	38	58	4	0	1	9	17	16	10	2	1	0	0	0	0	0	0	0	55	46	16	60	22	2	2300	0	0	0	0	0
93	99	RIE010901	375	375	0	13	20	67	1	0	2	0	0	7	18	12	7	1	2	0	0	0	49	49	0	4	14	82	650	30	3	0	0	
			563	563	0	7	34	59	1	0	0	1	4	9	12	13	3	1	1	0	0	0	43	43	0	2	29	69	800	5	1	0	0	
52	16	CLA013701	950	900	5	58	37	0	1	2	5	7	8	3	1	0	0	0	0	0	0	0	26	24	8	46	42	4	1200	15	1	0	0	0
101	19	CLA022701	550	450	18	36	32	14	1	0	2	3	6	5	5	2	1	1	1	1	1	0	28	28	0	18	39	43	550	25	1	0	0	0
42	35	ERR012902	800	700	13	19	50	19	1	2	7	4	5	7	2	4	0	0	0	0	0	0	31	29	6	36	39	19	600	80	3	0	0	0
44	84	PAL01B01	850	600	29	35	35	0	1	4	3	2	8	2	3	4	0	0	0	0	0	0	26	22	15	19	38	27	600	60	3	0	0	0
111	92	PLA012001	950	800	16	47	32	5	1	2	5	4	7	9	4	3	0	0	0	0	0	0	34	32	6	26	47	21	1100	10	1	0	0	0
40	112	VAL011403	900	600	33	56	6	6	1	6	4	10	9	4	2	2	0	0	0	1	0	0	38	32	16	37	34	13	1100	0	0	0	0	0
97	43	FOB011701	1100	800	27	18	36	18	1	3	4	3	10	7	6	3	0	0	0	0	0	0	36	33	8	19	47	25	500	25	3	0	0	0
73	103	SPD011501	1000	750	25	30	45	0	1	3	4	8	8	9	1	1	0	0	0	0	0	0	34	31	9	36	50	6	850	30	1	0	0	0
69	106	SPD012301	891	594	33	44	19	4	1	1	7	7	8	1	2	1	1	0	0	0	0	0	28	27	4	50	32	14	800	50	3	0	0	0
			888	688	22	38	32	7	1	3	5	5	8	5	3	2	0	0	0	0	0	0	31	29	8	32	41	19	811	33	2	0	0	

Placettes aux coordonnées les plus grandes sur l'axe 3

Placettes aux coordonnées les plus petites sur l'axe 3

Le gradient qui ressort de ce tableau est celui de la **régularité des peuplements**: à l'extrémité supérieure de l'axe 3, on observe les peuplements qui ont un aspect régulier typique (une seule strate observable, des classes de diamètres très resserrées). Inversement, on observe à l'extrémité inférieure les peuplements dont les classes de diamètre sont plus réparties, de même que le couvert des strates, et qui présentent à première vue une allure plus irrégulière.



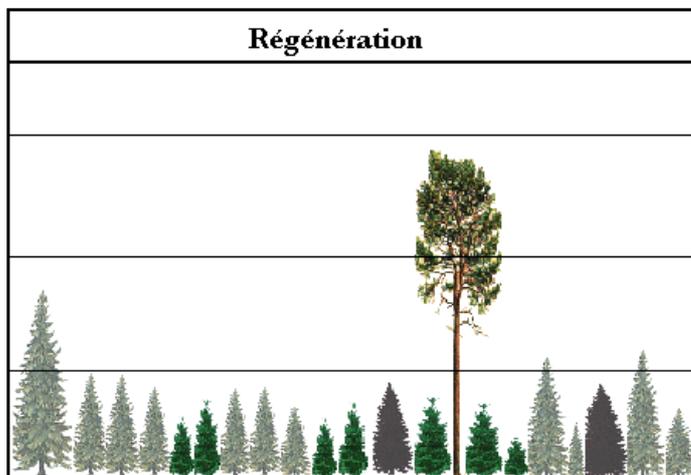
Régénération

⇒ Aspect général

Surface terrière et structure :
Surface terrière très faible, peu de tiges ont atteint le diamètre 10.

Densité du peuplement :
Peuplement généralement très dense car régénération serrée.

Structuration verticale :
Couvert de la strate inférieure largement dominant, et proche de 100%.
Couvert des autres strates déficitaire (parfois présence de quelques vieux arbres, semenciers non exploités dans la strate 1).



Régénération :
Acquise (plus ou moins abondante).

⇒ Caractéristiques dendrométriques consécutives à la clé

Couvert de la strate 1 < 10%
Classe de régénération = 3 (en moyenne sur la placette d'inventaire)
($d > 800$ t/ha et $H > 3$ m)

⇒ Itinéraires de gestion

Station fertile

($H_{potentielle} > 15$ m)

$N < 3000$ t/ha :

Pas d'intervention

$N > 3000$ t/ha :

Dépressage ou détournage sélectif du peuplement

Station peu fertile

($H_{potentielle} < 15$ m)

Aucune intervention

⇒ Indications supplémentaires relatives aux autres enjeux

Enjeu de protection : favoriser les peuplements multi-strates et résilients, maintenir un couvert boisé > 60%.

Enjeu de biodiversité : maintenir des zones ouvertes, favoriser le mélange d'essences et l'irrégularité, limiter l'impact des interventions

Enjeu pastoral : clôturer ou interdire au pâturage les zones de régénération, contrôler la pression pastorale, gérer les espaces ouverts

Enjeu paysager et touristique : Limiter les interventions sur de grandes surfaces d'un seul tenant, veiller à l'entretien des lisières et des abords de voies fréquentées

Cet encart n'est qu'une esquisse, il doit être complété par des informations précises et constituera le verso de la présente fiche

Perchis et jeunes futaies

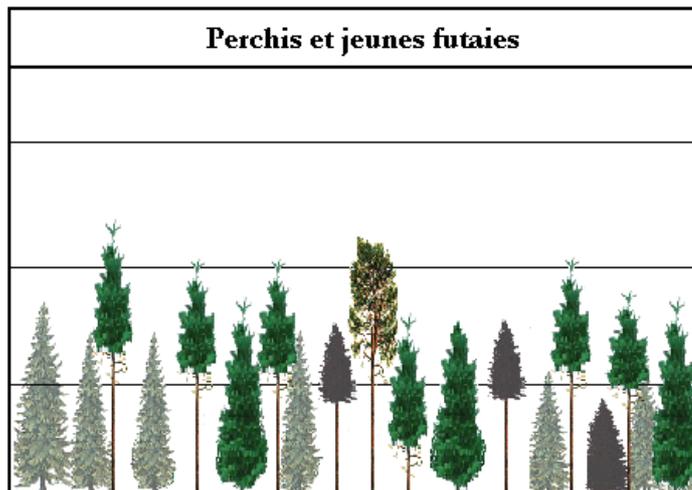
⇒ Aspect général

Surface terrière et structure :
Surface terrière variable, comprise entre 25 et 40 m²/ha en général. Classes de diamètre 10 et 15/20 largement prépondérantes.

Densité du peuplement :
Peuplement très dense, perches serrées.

Structuration verticale :
Couvert de la strate 2 dominant, couvert de la strate supérieure très faible, et couvert de la strate inférieure également.

Régénération :
Absente (perchis dont la hauteur moyenne dépasse celle de la strate inférieure).



⇒ Caractéristiques dendrométriques consécutives à la clé

Couvert de la strate 1 < 10%
Classe de régénération < 3 (classe 0)

⇒ Itinéraires de gestion

Station fertile

Hauteur comprise entre 4 et 6m :
→N<3000t/ha : aucune intervention
→N>3000t/ha : dépressage ou détournage

H>6m :
→G(15 et +)<30m²/ha : aucune intervention
→G(15 et +)>30m²/ha : première éclaircie

Station peu fertile

G(15 et +)>30m²/ha : première éclaircie
G(15 et +)<30m²/ha : aucune intervention

Enjeu de protection : favoriser les peuplements multi-strates et résilients, maintenir un couvert boisé > 60%.

Enjeu de biodiversité : maintenir des zones ouvertes, favoriser le mélange d'essences et l'irrégularité, limiter l'impact des interventions

Enjeu pastoral : clôturer ou interdire au pâturage les zones de régénération, contrôler la pression pastorale, gérer les espaces ouverts

Enjeu paysager et touristique : Limiter les interventions sur de grandes surfaces d'un seul tenant, veiller à l'entretien des lisières et des abords de voies fréquentées

Cet encart n'est qu'une esquisse, il doit être complété par des informations précises et constituera le verso de la présente fiche

Peuplements jeunes en croissance

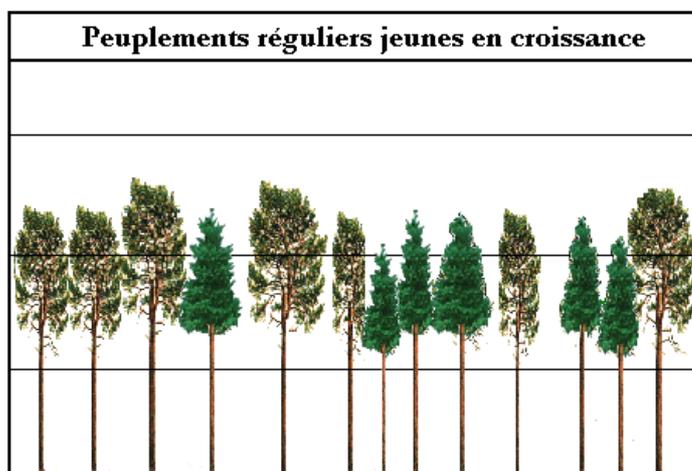
⇒ Aspect général

Surface terrière et structure :
Surface terrière variable, comprise entre 30 et 60 m²/ha en général. Classe de diamètre 15/20 largement prépondérante, présence de quelques arbres de la classe 25.

Densité du peuplement :
Peuplement dense (> 1300 t/ha).

Structuration verticale :
Les strates 1 et 2 représentent la grande majorité du couvert, qui est très fermé.

Régénération :
Absente.



⇒ Caractéristiques dendrométriques consécutives à la clé

Couvert de la strate 1 > 10%
G(25 et +) < 60% de G total
d > 1300t/ha

⇒ Itinéraires de gestion

Station fertile

Si Gtotal > 35m²/ha, première éclaircie.
Si Gtotal < 35m²/ha, aucune intervention.

Station peu fertile

Hauteur potentielle < 15m : aucune intervention
Hauteur potentielle > 15m :
→ Si Gtotal > 30m²/ha, première éclaircie
→ si Gtotal < 30m²/ha, aucune intervention

⇒ Indications supplémentaires relatives aux autres enjeux

Enjeu de protection : favoriser les peuplements multi-strates et résilients, maintenir un couvert boisé > 60%.

Enjeu de biodiversité : maintenir des zones ouvertes, favoriser le mélange d'essences et l'irrégularité, limiter l'impact des interventions

Enjeu pastoral : clôturer ou interdire au pâturage les zones de régénération, contrôler la pression pastorale, gérer les espaces ouverts

Enjeu paysager et touristique : Limiter les interventions sur de grandes surfaces d'un seul tenant, veiller à l'entretien des lisières et des abords de voies fréquentées

Cet encart n'est qu'une esquisse, il doit être complété par des informations précises et constituera le verso de la présente fiche

Peuplements adultes en croissance

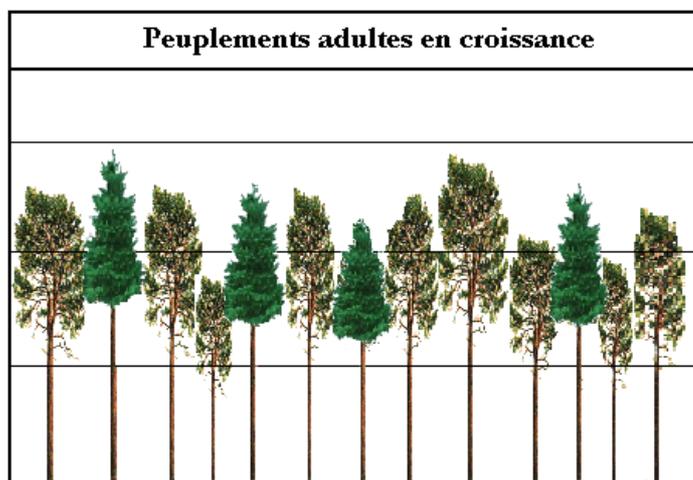
⇒ Aspect général

Surface terrière et structure :
Surface terrière variable, comprise entre 25 et 50 m²/ha en général. Classe de diamètre 15/20 prépondérante, présence ponctuelle d'arbres de la classe 25 voire 30.

Densité du peuplement :
Peuplement généralement dense.

Structuration verticale :
La strate 1 représente la grande majorité du couvert, qui est assez fermé.

Régénération :
Absente ou négligeable.



⇒ Caractéristiques dendrométriques consécutives à la clé

Couvert de S1 > 10%
G (25 et +) compris entre 60 et 80% de G total

⇒ Itinéraires de gestion

Station fertile

- Si $G_{tot} > 35 \text{ m}^2/\text{ha}$, coupe d'amélioration
- Si $G_{tot} < 35 \text{ m}^2/\text{ha}$, aucune intervention

Station peu fertile

- Si $G_{tot} > 30 \text{ m}^2/\text{ha}$, coupe d'amélioration
- Si $G_{tot} < 30 \text{ m}^2/\text{ha}$, aucune intervention

⇒ Indications supplémentaires relatives aux autres enjeux

Enjeu de protection : favoriser les peuplements multi-strates et résilients, maintenir un couvert boisé > 60%.

Enjeu de biodiversité : maintenir des zones ouvertes, favoriser le mélange d'essences et l'irrégularité, limiter l'impact des interventions

Enjeu pastoral : clôturer ou interdire au pâturage les zones de régénération, contrôler la pression pastorale, gérer les espaces ouverts

Enjeu paysager et touristique : Limiter les interventions sur de grandes surfaces d'un seul tenant, veiller à l'entretien des lisières et des abords de voies fréquentées

Cet encart n'est qu'une esquisse, il doit être complété par des informations précises et constituera le verso de la présente fiche

Peuplements adultes en maturation

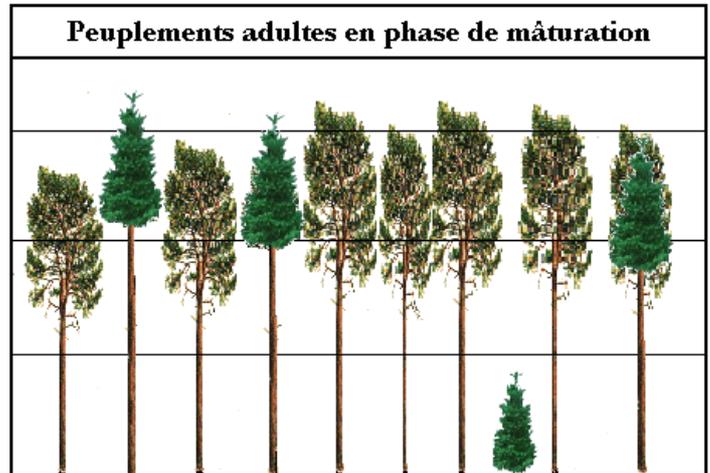
⇒ Aspect général

Surface terrière et structure :
Surface terrière variable, comprise entre 25 et 50 m²/ha en général. Classe de diamètre 25/30 = classe modale, présence ponctuelle d'arbres des classes 35 ou 15/20.

Densité du peuplement :
Peuplement généralement assez dense.

Structuration verticale :
La strate 1 représente la grande majorité du couvert, qui est assez fermé.

Régénération :
Absente ou négligeable.



⇒ Caractéristiques dendrométriques consécutives à la clé

Couvert de S1 > 10%
G (25 et +) > 80% de G total
G (35 et +) < 50% de G total
d > 400 t/ha

⇒ Itinéraires de gestion

Station fertile

→ Si $G_{tot} > 35 \text{ m}^2/\text{ha}$, coupe d'amélioration
→ Si $G_{tot} < 35 \text{ m}^2/\text{ha}$, aucune intervention

Station peu fertile

→ Si $G_{tot} > 30 \text{ m}^2/\text{ha}$, coupe d'amélioration
→ Si $G_{tot} < 30 \text{ m}^2/\text{ha}$, aucune intervention

⇒ Indications supplémentaires relatives aux autres enjeux

Enjeu de protection : favoriser les peuplements multi-strates et résilients, maintenir un couvert boisé > 60%.

Enjeu de biodiversité : maintenir des zones ouvertes, favoriser le mélange d'essences et l'irrégularité, limiter l'impact des interventions

Enjeu pastoral : clôturer ou interdire au pâturage les zones de régénération, contrôler la pression pastorale, gérer les espaces ouverts

Enjeu paysager et touristique : Limiter les interventions sur de grandes surfaces d'un seul tenant, veiller à l'entretien des lisières et des abords de voies fréquentées

Cet encart n'est qu'une esquisse, il doit être complété par des informations précises et constituera le verso de la présente fiche

Peuplements mûrs et clairs

⇒ Aspect général

Surface terrière et structure :

Surface terrière très variable, comprise entre 15 et 40 m²/ha en général. La classe de diamètre des 35 et + est prépondérante, parfois quelques arbres de la classe 25/30.

Densité du peuplement :

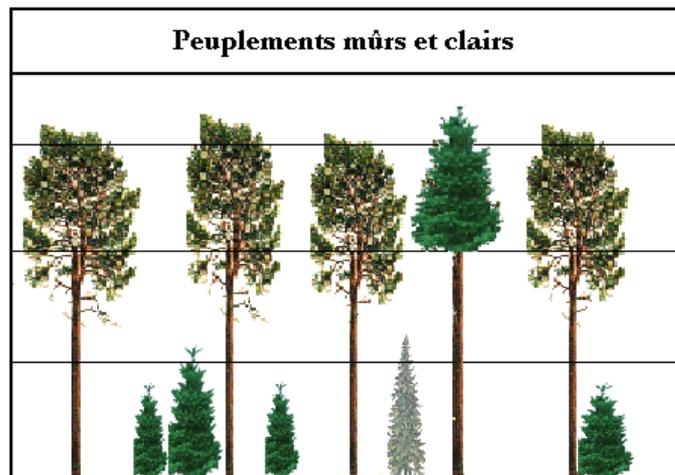
Peuplement généralement modérément dense à clair.

Structuration verticale :

La strate 1 représente la grande majorité du couvert, qui est assez ouvert.

Régénération :

Présente ou absente.



⇒ Caractéristiques dendrométriques consécutives à la clé

Couvert de S1 > 10%

G (25 et +) > 80% de G total

G (35 et +) > 50% de G total

d < 400t/ha

⇒ Itinéraires de gestion

Station fertile

G(45 et +) > 50% de Gtot :

→ G < 15m²/ha : Coupe définitive

→ 15 < G < 25m²/ha : Coupe secondaire

→ G > 25m²/ha : Coupe d'ensemencement

G(45 et +) < 50% de Gtot :

→ G > 35m²/ha : Coupe d'amélioration

→ G < 35m²/ha : Aucune intervention

Station peu fertile

Hpotentielle < 15m :

conversion en futaie irrégulière

Hpotentielle > 15m :

→ G < 15m²/ha : Coupe définitive

→ 15 < G < 25m²/ha : Coupe secondaire

→ G > 25m²/ha : Coupe d'ensemencement

⇒ Indications supplémentaires relatives aux autres enjeux

Enjeu de protection : favoriser les peuplements multi-strates et résilients, maintenir un couvert boisé > 60%.

Enjeu de biodiversité : maintenir des zones ouvertes, favoriser le mélange d'essences et l'irrégularité, limiter l'impact des interventions

Enjeu pastoral : clôturer ou interdire au pâturage les zones de régénération, contrôler la pression pastorale, gérer les espaces ouverts

Enjeu paysager et touristique : Limiter les interventions sur de grandes surfaces d'un seul tenant, veiller à l'entretien des lisières et des abords de voies fréquentées

Cet encart n'est qu'une esquisse, il doit être complété par des informations précises et constituera le verso de la présente fiche

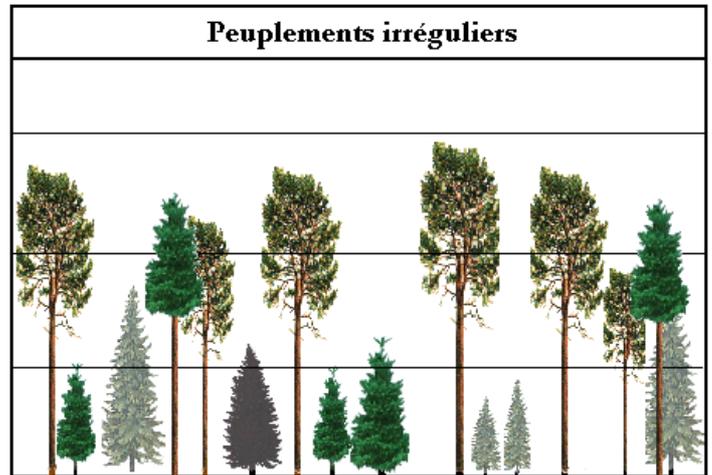
Peuplements irréguliers

⇒ Aspect général

Surface terrière et structure :
Surface terrière variable, comprise entre 20 et 40 m²/ha en général. G est répartie dans toutes les classes de diamètre, parfois l'une des classes prédomine, mais de façon non flagrante.

Densité du peuplement :
Peuplement généralement modérément dense à clair.

Structuration verticale :
La strate 1 représente en généra la majorité du couvert, mais les autres strates sont présentes également. Le couvert de la strate supérieure n'est pas fermé.



Régénération :
Présente, souvent répartie par bouquets.

⇒ Caractéristiques dendrométriques consécutives à la clé

Couvert de S1 > 10%
G (25 et +) < 60% de G total
d < 1300 t/ha

⇒ Itinéraires de gestion

Station fertile

G < 30 m²/ha : Coupe à caractère jardinatoire
G > 30 m²/ha : Aucune intervention
Rotation des coupes : 15 ans

Station peu fertile

G < 30 m²/ha : Coupe à caractère jardinatoire
G > 30 m²/ha : Aucune intervention
Rotation des coupes : 20 à 30 ans

⇒ Indications supplémentaires relatives aux autres enjeux

Enjeu de protection : favoriser les peuplements multi-strates et résilients, maintenir un couvert boisé > 60%.

Enjeu de biodiversité : maintenir des zones ouvertes, favoriser le mélange d'essences et l'irrégularité, limiter l'impact des interventions

Enjeu pastoral : clôturer ou interdire au pâturage les zones de régénération, contrôler la pression pastorale, gérer les espaces ouverts

Enjeu paysager et touristique : Limiter les interventions sur de grandes surfaces d'un seul tenant, veiller à l'entretien des lisières et des abords de voies fréquentées

Cet encart n'est qu'une esquisse, il doit être complété par des informations précises et constituera le verso de la présente fiche

Résumé

Le département des Pyrénées Orientales renferme à lui seul plus de la moitié des peuplements de Pins à crochets français. La gestion de ces massifs est donc un enjeu primordial pour les forestiers locaux. Or, à ce jour très peu de documents existent qui traitent de cette problématique. Il est donc de première importance de construire un manuel à cet effet, qui permettra aux sylviculteurs et à tous les gestionnaires d'espaces naturels contenant des Pins à crochets de prendre les décisions les plus pertinentes.

L'objet de ce travail consiste à mettre en route l'élaboration d'un tel guide, en recensant toutes les études qui ont contribué à améliorer les connaissances actuelles sur cette essence, en proposant un schéma architectural de guide de gestion, et enfin en construisant un modèle typologique discriminant les peuplements de *Pinus uncinata*.

Abstract

The department of Pyrénées Orientales contains more than a half of the french populations of *Pinus uncinata*. Then managing these forests is a primordial stake for the local forestors. However, very few documents exist nowadays, which deal with these problems. Therefore, it is very important to build a new guide so as to help forest managers in their job. It would allow them to make appropriate decisions to manage those natural areas better.

The object of the present work consist in starting the elaboration of the guide, by taking a census of all studies which contributed to ameliorate knowledge of this species, by offering guide's architectural schema of management and finally by building a typology model to determinate Pines' populations