

**Universidad Pública de Navarra**

***Nafarroako Unibertsitate Publikoa***

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

**« INFLUENCE DES ÉCLAIRCIES FORESTIÈRES SUR LA CROISSANCE ET LA STRUCTURE D'UN  
PEUPEMENT DE PIN SYLVESTRE ET DE HÊTRE AUX PRE-PYRÉNÉES DE NAVARRE »**

présenté par

Iñigo Arozarena González

*(e)k*

*aurkeztua*

**GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL  
GRADUA NEKAZARITZAKO ELIKAGAIEN ETA LANDA INGURUNEAREN INGENIARITZAN**

Juin, 2018 / 2018, Ekaina



Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO

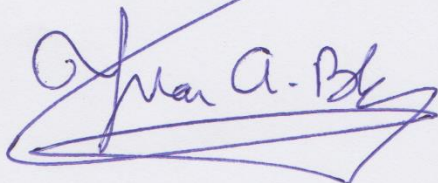
TRABAJO FIN DE GRADO

“INFLUENCIA DE LAS CLARAS FORESTALES EN EL CRECIMIENTO Y ESTRUCTURA DE UN  
RODAL DE PINO SILVESTRE Y HAYA EN EL PRE-PIRINEO NAVARRO”

Trabajo Fin de Grado presentado por Iñigo Arozarena González para optar al título de Graduado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural, siendo su director Juan Antonio Blanco Vaca, profesor del Departamento de Ciencias de la Universidad Pública de Navarra.

Director del Trabajo Fin de Grado:

Autor:



Juan Antonio Blanco Vaca



Iñigo Arozarena González



## REMERCIEMENTS

Je voudrais remercier à mon directeur du travail, Juan A. Blanco Vaca, de m'avoir aidé pendant la réalisation de ce travail, en se montrant très disponible pour les corrections et les réunions, et pour tout ce qu'il m'a montré des forêts. Sans lui, rien de ça aurait pu être possible.

Je voudrais aussi remercier Bosco, Ester, Miguel et les étudiants de l'école d'Agroforestier de Villava pour m'avoir aidé avec les prises des mesures et surtout pour les bons moments qu'on a passé pendant les journées de prises des mesures, et les voyages dans le Terrano.

Je remercie aussi à tous et toutes qui ont fait possible que je sois en finissant mon degré : mes amis et amies, ma famille, mes copains du degré et les profs qui ont fait possible que cette formation puisse être réalisée.

Je remercie aussi à l'Université Publique de Navarre pour m'avoir donné l'opportunité d'étudier cette formation.



## **RESUMÉ**

**Titre du travail :** Influence des éclaircies forestières sur la croissance et la structure d'un peuplement de pin sylvestre et de hêtre aux Pre-Pyrénées de Navarre

**DIRECTEUR :**

Juan A. Blanco Vaca

**DÉPARTEMENT:**

Ciencias del Medio Natural. Área de Ecología.

**ÉTUDIANT:**

Iñigo Arozarena González

**RESUMÉ :**

Le travail présent est centré dans l'étude des effets des éclaircies forestières dans une forêt mixte de pin sylvestre et hêtre sur les pins sylvestres à Aspurz, aux Pyrénées de Navarre. L'étude a commencé en 1999 quand la surface du bois qui allait être éclairée a été choisie. Elle a été divisée par 3 blocs avec 3 répétitions de traitements d'éclairage : 0%, 20% et 30 % (en 1999) - 40% (en 2009) de la surface basale extraites dans un total de 9 parcelles.

L'objectif général de ce projet est de déterminer si les intensités d'éclaircies ont eu un effet significatif différent aux parcelles témoin sur la croissance des pins sylvestres ou si elles sont disparues. Pendant le travail sur champs, les arbres ont été marqués, et les diamètres de tous les arbres et les hauteurs de cinq arbres de chaque classe sociologique et chaque parcelle ont été mesurés.

Après une analyse des différents paramètres (nombre d'arbres, diamètre moyen des arbres, hauteur moyenne des arbres et surface basale moyenne par traitement) et une analyse statistique de variance pour tester l'influence du traitement forestier ont été faits avec les programmes « Excel » et « JMP ».

Des différences significatives ont été obtenues pour certaines variables en fonction du traitement et de la classe sociologique mais en gros il a été prouvé que les éclaircies n'ont plus d'effet sur cette forêt 9 ans après la dernière et deuxième intervention.

**MOTS CLÉS :** Éclaircie, intervention forestière, pin sylvestre, forêt, forêt tempérée, diamètre, hauteur, surface basale, traitement.

**ABSTRACT :**

The following work is focused in the study of the effects of forest management on a mixed forest of *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* on the pines growth at Aspurz, in the Pyrenees of Navarra. This study started in 1999 when the forest area that was going to be managed was chosen. The zone was divided in 3 blocs of 3 treatment repetitions: 0%, 20% and 30% (in 1999) – 40% (in 2009) of the basal area extracted from the forest in 9 different plots.

The final objective of this study is to determine whether the thinning intensity has had any significant effects on the scots pine growth, how they keep after 9 years from the second and last thinning. During the field work, the trees were marked, and the diameters of all the trees and the height of five of each social class and plot were measured.

After an analysis of the different parameters (number of trees, mean diameter, mean height and mean basal area of the different treatments) and a variance analysis to test the influence of the forest management treatment and the tree social class were performed through the programs “Excel” and “JMP”.

Significant differences were obtained for some variables due to the treatment and the social class, but the main tendency of the results and the analysis proved that the thinning treatments were not anymore effective 9 years after the last and second intervention.

**KEYWORDS:** thinning, temperate forest, mean diameter, mean height, basal area, forest intervention, scots pine.



## Indexe

1.	Introduction .....	1
1.1.	Forêts.....	1
1.1.1.	Importance des forêts dans l'espace agraire .....	2
1.1.2.	Situation en Europe.....	2
1.1.3.	Types de forêts.....	3
1.1.4.	Influence du changement climatique.....	5
1.2.	Importance des forêts.....	6
1.3.	Situation dans la Communauté Forale de Navarre .....	6
1.4.	Développement de la masse forestière .....	7
1.4.1.	Arbres dominants : prédominants et dominants.....	8
1.4.2.	Arbres codominants .....	8
1.4.3.	Arbres intermédiaies.....	9
1.4.4.	Arbres occlus/dominés : submergés et morts .....	9
1.5.	La silviculture.....	9
1.5.1.	Éclaircies.....	10
1.6.	Le pin sylvestre comme espèce d'importance sylvicole .....	18
1.6.1.	Distribution de <i>Pinus sylvestris</i> .....	18
1.6.2.	Importance de la culture du pin sylvestre.....	19
1.7.	Antécédents du travail .....	20
1.7.1.	Histoire de la forêt d'Aspurz .....	20
1.7.2.	Hypothèse .....	21
2.	Objectifs .....	23
3.	Matériaux et méthodologie .....	24
3.1.	Caractérisation de la zone.....	24
3.1.1.	Localisation.....	24
3.1.2.	Caractéristiques des parcelles.....	25
3.1.3.	Géographie .....	25
3.1.4.	Géologie et géomorphologie.....	26
3.1.5.	Caractérisation climatologique .....	27
3.1.6.	Végétation .....	30
3.2.	Matériel végétal. Pin sylvestre .....	32
3.2.1.	Description botanique.....	32

3.2.2.	Morphologie.....	32
3.2.3.	Cycle végétatif.....	33
3.2.4.	Exigences pour la germination et l'établissement.....	34
3.2.5.	Pestes et maladies à Aspurz.....	34
3.3.	Réalisation des inventaires forestiers.....	36
3.3.1.	Identification et numération des pins.....	36
3.3.2.	Mesure des diamètres.....	37
3.3.3.	Mesure des hauteurs.....	37
3.4.	Analyse réalisée.....	38
3.4.1.	Traitement des chiffres (Excel).....	38
3.4.2.	Analyse statistique.....	38
4.	Résultats.....	40
4.1.	Nombre d'arbres et leur état dans les différents traitements dans la masse.....	40
4.2.	Hauteur moyenne des classes sociologiques en fonction du traitement.....	42
4.3.	Diamètres des classes sociologiques en fonction du traitement.....	43
4.4.	Surface basale des différentes interventions forestières.....	45
5.	Discussion.....	48
5.1.	Nombre d'arbres.....	48
5.2.	Hauteur moyenne des classes sociologiques selon le traitement.....	50
5.3.	Diamètres des classes sociologiques en fonction du traitement.....	53
5.4.	Surface basale des différentes interventions forestières.....	54
5.5.	Approche sur l'avenir de la forêt.....	57
6.	Conclusion.....	59
6.1.	Recommandations.....	59
7.	Références bibliographiques.....	61

## 1. Introduction

### 1.1. Forêts

Les forêts sont des écosystèmes, ce sont des groupements d'êtres vivants qui habitent dans un endroit déterminé et qui interagissent entre eux-mêmes et avec le milieu où ils habitent. Les éléments d'un écosystème forestier sont relationnés entre eux-mêmes, plus fortement qu'entre les éléments qui sont hors du système. Cependant, ils y existent des relations entre le système et l'environnement dans le flux de nutriments, l'énergie et l'information génétique.

Les écosystèmes forestiers (Pretzsch, 2010) sont rangés par catégories (voir table 1.1) en commençant par les réactions biochimiques dans les cellules et le sol de la surface minérale, dans le niveau « -3 » (par exemple, la photosynthèse ou la formation des zones tampon). Le niveau suivant, « -2 », considère les réponses comme l'assimilation et respiration, l'émission ou fixation de dioxyde de carbone, ou l'effet de la minéralisation dans l'équilibre chimique de la solution du sol. Le niveau d'après, « -1 », est formé par les structures humiques formées par les décomposeurs et herbivores dans le cycle de la matière organique, le processus de fixation du carbone et le développement des parties des plantes (patrons de ramage et foliation). Dans le niveau « 0 » il se trouvent le cycle de nutriments annuel et les patrons de croissance des arbres et ses voisins. Le niveau « 1 » est formé par le développement de la masse forestière. Le système de régénération de la forêt forme le niveau suivant, et la succession le niveau 3. Le patron spécifique de l'espèce ou génotype forme le niveau 4. Cette catégorisation est aussi organisée en suivant des critères de durée temporelle, en étant dans le niveau « -3 » des processus avec des durées millénaires. Les processus qui peuvent être observés dans les niveaux plus hauts sont les conséquences des petits processus.

Table 1.1 Classification par niveaux des processus et patrons d'un écosystème forestier (Pretzsch, 2010)

NIVEAU	DURÉE DU PROCÈS	COMPARTIMENT SPATIAL	PROCÈS, PATRONS
+4	Millénaires	Continents	Evolution. Espèce ou génotype
+3	Siècles	Paysage	Succession de l'écosystème
+2	Décades-siècles	Écosystèmes	Système de régénération de la forêt
+1	Décades	Masses forestières	Développement de la masse forestière
0	An	Groupes Arbre-arbre	Cycle de nutriments annuel et patrons de croissance d'arbres et voisins
-1	Semaines-mois	Arbre + Végétation du sol de la forêt	Structures humiques : décomposeurs et herbivores (cycle de la matière organique)
-2	Heures-semaines	Feuille-racine et agrégés du sol (minéralisation)	Assimilation, respiration, émission/fixation de CO <sub>2</sub> ,

			minéralisation dans l'équilibre chimique de la solution du sol
-3	Minutes-secondes	Cellules (réactions biochimiques) et surfaces minérales (réactions chimiques du sol)	Réactions biochimiques dans les cellules et dans le sol de la Surface minérale

### 1.1.1. Importance des forêts dans l'espace agricole

L'arbre constitue un élément productif (bois, fruits, aliment pour les animaux comme fourrage ou des glandes, liège, nourrissant pour les abeilles), qui déroule d'autres fonctions. Il aussi protège le bétail et les champs contre les rigueurs du climat, il donne du foyer aux animaux bénéficiaux pour les cultures et contribue à maintenir un haut niveau de diversité dans l'espace agricole.

Les espèces forestières peuvent éliminer une partie de la pollution et peuvent proportionner une meilleure régulation des régimes hydriques, en sachant qu'il y a des limites car il y a des facteurs incontrôlables (quantités trop hautes de nitrogène, de phosphate, de pesticides, de dessèchement des rivières, etc.). L'implantation d'arbres aide à améliorer l'infiltration des excès d'eau et elle réduit l'érosion du terrain, grâce à la sujétion que les racines réalisent (en pente, dans les lits des rivières en régulant les traînages d'eau dans les crues). Elles aident aussi à maintenir la qualité biologique et chimique des eaux souterraines et en surface, en éliminant, par exemple, une partie des fluxes de nitrogène et de phosphate. Elles limitent le colmatage des réservoirs d'eau (de Miguel, Pointereau, Meiffren, Steiner, & Hickie, 2000).

### 1.1.2. Situation en Europe

Au début des années 60, avec les innovations agricoles, l'introduction de la mécanisation dans l'espace agricole, l'introduction de machinerie lourde continûment a pesé un changement dans territoire. Pour l'usage optimisé de cette machinerie il s'est procédé (et se procède) à cultiver dans des parcelles encore plus grandes à chaque fois, avec des drains artificiels qui permettent de cultiver dans les prairies humides.

Il y a eu alors une série de conséquences. La longueur des haies s'est réduite fortement, et les systèmes plus extensifs où l'arbre coexistait ont été abandonnés. Tout ça a généré une absence d'espèces arbores dans les régions où le climat est plus propice pour le développement d'une agriculture de céréale, d'horticoles, etc. Par l'autre côté, dans des climats plus restrictifs (des sols pauvres, des terrains accidentés, des zones avec beaucoup de vent, des zones avec moins de disponibilité d'eau, etc.), leur présence est plus grande (dans des zones plus venteuses ils plantent des arbres et des haies dans les limites des cultures pour faire de coupe-vent). Dans des régions nordiques ou de montagne, ils suivent à cultiver des espèces forestières.

Dans les régions humides atlantiques et de montagne, il s'opte à cultiver des espèces arbores dans les limites des parcelles pour favoriser le drainage et pour accélérer l'infiltration d'eau excédentaire, et aussi pour assurer une production de bois de chauffage et bois pour d'autres usages. Dans les régions du sud de l'Europe soumises à la sécheresse estivale (Europe méditerranée), il s'opte pour des systèmes de sylvopastoralisme, qui combinent des zones de pâturage avec des arbres dispersés et taillés avec des formes ouvertes pour protéger le sol et la pâture contre l'insolation et l'évaporation excessive. Dans les régions froides (le nord de

l'Europe et les zones de montagne) les forêts et les haies sont cultivés dans les limites forestières pour augmenter légèrement les températures dans la parcelle de culture d'herbe (de Miguel, Pointereau, Meiffren, Steiner, & Hickie, 2000).

Le Règlement 2080 de la PAC (1992) avait comme objectif de promouvoir, avec les subventions, la forestation des terres agraires qui fournissaient jusqu'à la date des produits avec des excédents, comme le lait, par exemple. Le Règlement laissait certaine marge d'adaptation dans chaque État Membre, en avant dans des communautés comme Navarre et comme le Pays Basque de la compétence aussi pour adapter la législation étatique aux conditions locales (Puertas Tricas & Rivas Vicuña, 1997).

### 1.1.3. Types de forêts

Les forêts peuvent être classifiées en fonction de différentes caractéristiques comme le type de végétation qui y habite, le climat où ils se génèrent et la latitude où ils se trouvent, leur degré de conservation ou le caractère saisonnier de leur feuillage. Les forêts classifiées par rapport au climat et la latitude sont les suivants : forêt tempérée, forêt boréale, forêt tropicale et forêt subtropicale.

La forêt boréale ou taïga est constituée par des formations boisées de conifères (dû aux conditions climatiques, car elles peuvent se protéger de se congeler) et des environnements frais. Elle est moins froide que la toundra, bien qu'en hiver elle peut arriver jusqu'à températures inférieures à -54°C. En été, les températures peuvent arriver à un maximum de 19°C, en étant la température moyenne entre les 0 et les 5°C. Les précipitations ne sont pas abondantes, mais l'humidité reste en grandes quantités. La décomposition se déroule lentement dû aux conditions climatiques (températures très basses). Elle se distribue par des régions du nord de la Russie, le Canada, l'Europe et Alaska.

La forêt tropicale est un écosystème très riche en biodiversité de plantes, d'animaux, de microorganismes, etc., du aux conditions climatologiques. Les températures oscillent entre 20 et 25 °C, d'une façon constante pendant toute l'année. Les précipitations sont abondantes. Elles sont placées près de l'Equateur.

La forêt subtropicale se place dans les régions tempérées et est formé par les forêts de feuillus et les espèces de la forêt tropicale qui résistent mieux le froid. Le climat est humide, sans avoir une saison sèche, avec des températures modérées. Elles se distribuent en Chine, en Corée du Sud, au sud du Japon, dans le quadrant du sud-est des États-Unis, dans certaines zones de l'Afrique et des côtes de l'Australie et de la Nouvelle Zélande.

Dans cette étude, le travail s'est déroulé dans une forêt tempérée, qui est décrite à la suite.

#### 1.1.3.1. Forêt tempérée

Elle a une présence au nord des États-Unis et au Canada, à l'ouest de l'Europe et en Europe centrale, à l'est de la Russie, en Chine, etc. (voir figure 1.1). Elles sont des forêts formées par des hêtraies, des chênaies, des conifères et des forêts mixtes. Dans ces forêts mixtes, les hêtres, les sapins, les châtaigniers, les chênes, les peupliers, et un sous-bois peu dense formé par des fougères, des ronces, des espèces arbustives come le buis, etc., partagent l'espace. Ses caractéristiques environnementales sont très variées, en avant des moyens chaleureux et semiarides jusqu'à des moyens froids et humides. Les fluctuations de température saisonnières et par jour génèrent du stress physiologique dans les organismes qui y habitent.

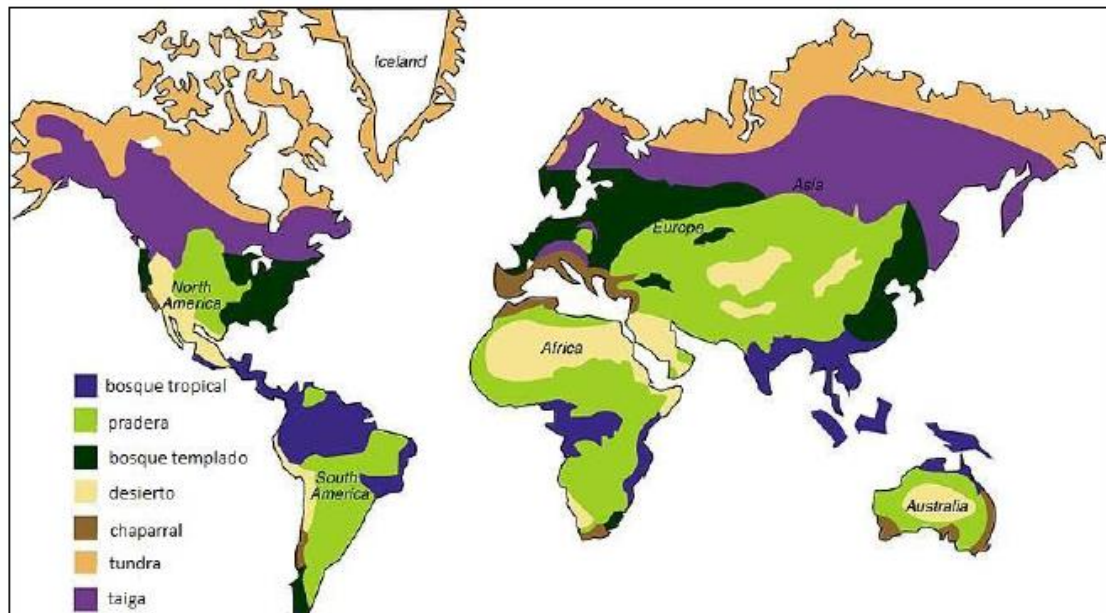


Figure 1.1 Distribution mondiale des différents types d'écosystèmes associées principalement à leur climatologie (Asociación Nacional de Maestros de Ciencias de la Tierra, 2012).

#### 1.1.3.2. Forêts mixtes

Les forêts mixtes sont des forêts avec plusieurs espèces forestières qui cohabitent dans le même endroit, interagissant entre eux. Les interactions écologiques plus importantes entre les espèces dans un mélange sont la compétence, la réduction compétitive, et la facilitation. Les deux dernières entraînent des effets complémentaires. Le degré de compétence ou complémentarité est dépendant des caractères fonctionnels des espèces participantes et la diversité fonctionnelle de la communauté. Donc, il est assumé que s'il y a une diversité fonctionnelle très simple et pauvre, il y aura plus de compétence et moins de complémentarité entre les espèces (Pretzsch, 2010).

Les caractères fonctionnels sont une expression du niche fondamental et réalisé de l'espèce. Par un côté, la niche fondamentale est la niche écologique potentiel d'une espèce, c'est-à-dire, les caractéristiques écosystémiques qui peut tolérer cette espèce pour survivre, sans inclure les effets des interactions physicochimiques qui limitent son existence. La niche réalisée, par l'autre côté, est la niche écologique qui comprend aussi les conditions réalistes des interactions physicochimiques qui déterminent la distribution d'une espèce dans la biosphère. Définitivement, la niche réalisée est la réalité de la niche écologique de l'espèce, et la niche fondamentale est la niche écologique potentielle.

Beaucoup d'espèces forestières sont des espèces fondatrices dans les écosystèmes forestiers, qui ont une forte influence dans la diversité des autres groupes taxonomiques. Alors, au cours de la complexité croissante des réseaux écologiques, il y aura une influence dans les propriétés et dans les procès dans l'écosystème a beaucoup de niveaux de hiérarchie de l'écosystème (Pretzsch, Forrester, & Bauhus, 2017). Quand il y existe plus d'une espèce dominante dans la couverte, les variations environnementales peuvent affecter de manière différente la survivance et la croissance des plantules des différentes espèces, en altérant de cette façon leur future incorporation à la canopée de la forêt (Espelta, Retana, Gené, & Riba, 1993).

Dans des bois mixtes avec une âge de plantation homogène, les performances intermédiaires en pourcentage de 50-81% sont clairement plus hautes que dans des monocultures forestières (Pretzsch, 2010).

Les effets de diversité dans les communautés mixtes ne sont pas constants dans l'espace et dans le temps. Ils pourraient être plus prononcés dans des zones infertiles, où les interactions entre les espèces améliorent la nutrition des espèces individuelles, ou pourraient être plus prononcées dans des endroits où la disponibilité de nutriments et d'eau est meilleure. L'importance relative des différents mécanismes des interactions entre les espèces change après avec le développement de la masse forestière. Cette variation spatiale et temporaire dans les interactions, même dans le mélange d'espèces ou communauté fait difficile de généraliser et prédire les événements des mélanges spécifiques des espèces forestières (Pretzsch, Forrester, & Bauhus, 2017).

Dans des situations de compétence d'eau et de nutriments, le mélange entre des hêtres et des pins peut nuire au pin, mais une correcte gestion des interventions d'éclaircie peut réguler cette problématique, bien qu'il faille tester la croissance des arbres après les éclaircies et mesures suivantes (Primicia I. , y otros, 2016).

#### 1.1.4. Influence du changement climatique

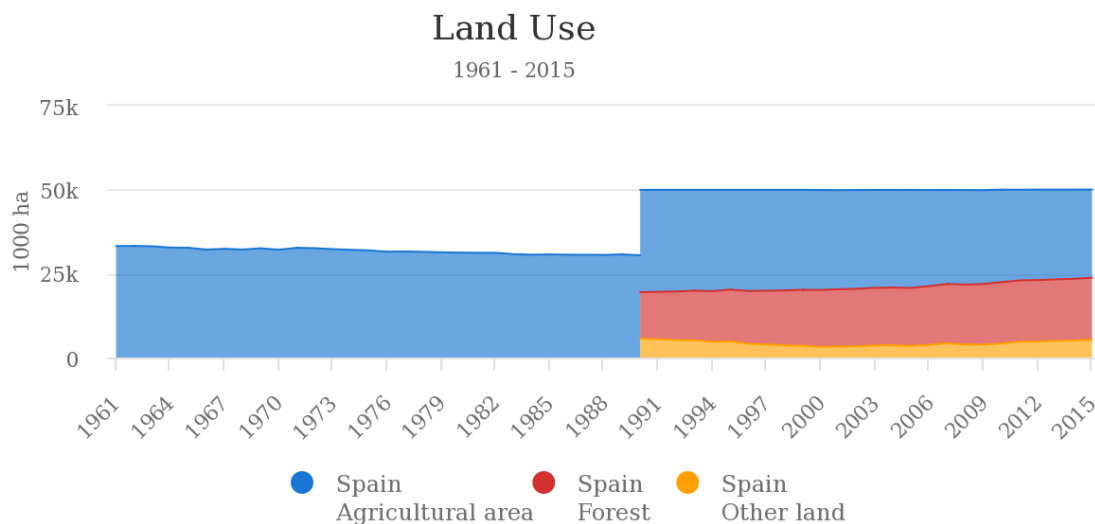
Une augmentation de la quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère accélérerait le processus photosynthétique, spécialement dans des plantes jeunes, en augmentant la quantité de carbone que les arbres pourraient fixer, donc il s'espérerait des arbres avec une croissance plus grande. D'un autre côté pour le processus photosynthétique il faut avoir une quantité déterminée d'eau, donc une hausse des températures et une réduction des précipitations diminuerait la vitesse du processus, car l'évapotranspiration serait limitée (en réduisant l'absorption de CO<sub>2</sub>). Cette absence d'eau a aussi une influence sur la vitesse de minéralisation de la matière organique dans le sol, et conséquemment, sur la disponibilité des nutriments pour les arbres (Mohren, Kramer, & Sabaté, 1997).

Les réponses de croissance d'après une augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique ont plus d'importance dans les endroits avec beaucoup de ressources (nitrogène, phosphate, potassium, eau, etc.) et dépend des espèces. Dans les hêtres, cette augmentation de CO<sub>2</sub> a une influence plus remarquable que dans les châtaigniers, en étant les deux moins significatives que dans les pins sylvestres, car les différences de concentration de CO<sub>2</sub> et d'autres nutriments génèrent une augmentation considérable dans la croissance de cette espèce (Blanco, Imbert, & Castillo, 2015).

Il faut, donc, analyser l'écosystème dans son ensemble pour objecter sur l'influence qu'ils auront sur une forêt les changements dérivés du changement climatique (Mohren, Kramer, & Sabaté, 1997).

## 1.2. Importance des forêts

Comme il peut être regardé dans la Figure 1.2, la surface forestière en Espagne a augmenté dans les dernières années. La tendance est d'augmenter cette surface, car dans le monde rural il y a un clair abandonnement des pâturages où avant il y avait du bétail, et où il y a eu une reforestation naturelle.



Source: FAOSTAT (Apr 16, 2018)

Figure 1.2 Historique des usages de la terre en Espagne. De 1961 à 1991 il n'y a pas d'information sur les surfaces, et c'est à cause de ça qu'il y a un saut dans la figure à ce moment-là. Il faut regarder après cette date. Extraite de (FAO, 2017).

La production forestière, déterminée dans les procès productifs utilisés (coupes, espèces, roulements, etc.) est un élément décisif dans la conservation de la flore et la faune, la maintenance du paysage, absorption de CO<sub>2</sub>, l'amélioration de la qualité et quantité de ressources hydriques, réduction de bruit, vitesse du vent et stabilité des températures. Cette production forestière permet aux visiteurs de développer des activités de loisir, en le transformant en lieux de visite pour un nombre croissant de gens, majoritairement urbaine, qui cherche des endroits naturels ou naturalisés où se recréer (Puertas Tricas & Rivas Vicuña, 1997).

La législation qui est apparue dans les dernières années dans les différentes communautés autonomiques, en prestant plus d'attention à l'output sans marché (bénéfice récréatif, culturel, etc.) à l'aide d'une meilleure définition des droits de propriété et une gestion forestière au moyen et long terme, tient plus en compte l'output de non-marché (qui ne génère pas de bénéfice économique exclusivement par la vente du bois) et va vers la création d'un cadre institutionnel similaire aux pays européens de notre environnement (Puertas Tricas & Rivas Vicuña, 1997).

## 1.3. Situation dans la Communauté Forale de Navarre

La stratégie forestière de Navarre a adopté une position intégratrice, en défendant que l'exploitation forestière des ressources est parfaitement compatible avec la conservation de ceux. Il s'établit dans le Plan Forestier que la viabilité environnementale doit aussi être économique et sociale. Elle doit être environnementale, en assurant une correcte conservation de la diversité biologique, économique, assurant des revenus pour les propriétaires des forêts et l'industrie, et sociale, à l'aide de la génération d'emploi et la maintenance de la population



rurale. Du Plan Forestier (Gobierno de Navarra, 2018) le pari est clair : conserver en gérant et en générant de la richesse.

Quand on parle de gestion forestière, on inclut une série d'activités variées (Gobierno de Navarra, 2018) : silviculture, évaluation et conservation des richesses forestières et de la biodiversité, contrôle de croissance des espèces, planification et aménagement des monts, préparation et gestion des sols et de ressources hydriques, nettoyage, plantation et régénération des espèces, exploitation du bois, contrôles de production et de performance viable, prévention des feux, prévention des pestes et des maladies, etc.

#### 1.4. Développement de la masse forestière

Les écosystèmes, au même temps que n'importe quel être vivant, n'ont pas de capacité de croissance de biomasse indéfinie ou illimitée. Cette croissance se déroule en suivant une courbe nommée sigmoïde, qui relie la biomasse produite et le temps qui utilise à se produire et son apparence est similaire à une « s » tournée quatre vent degrés. Dans la figure 1.3, ils s'observent trois points remarquables : le maximum ou capacité de charge, le point tangent de l'origine où la croissance moyenne arrive à son maximum par unité de temps, et le point d'inflexion où l'augmentation de biomasse par unité de temps devient maximum.

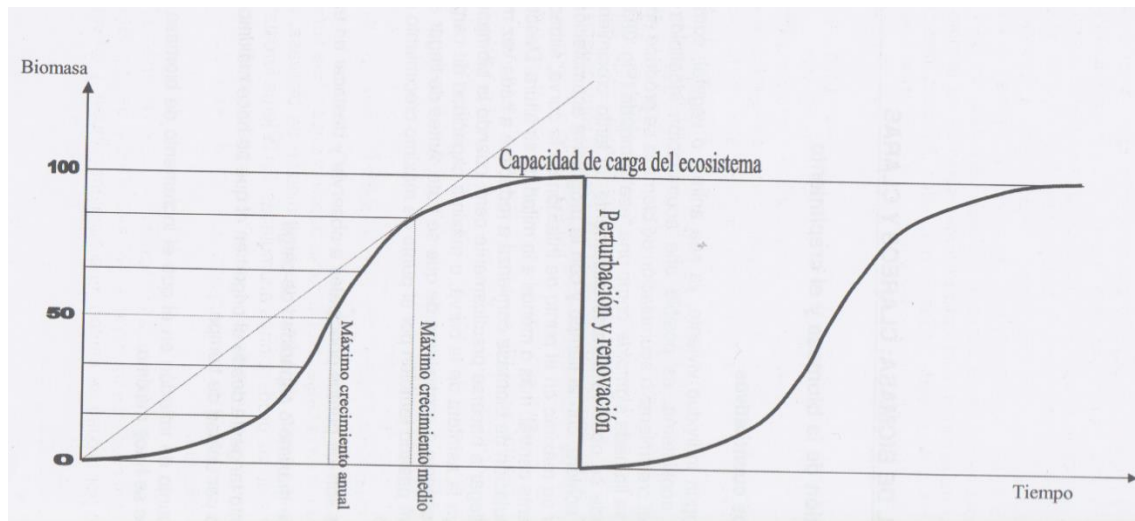


Figure 1.3 Sigmoïde de l'évolution naturelle de la biomasse (Montoya Oliver & Mesón García, 2004)

Dans cette figure il peut être observé comment la croissance initiale est lente, qui s'accroît après avec le temps, jusqu'à arriver au maximum au point d'inflexion de la courbe (à la moitié de sa hauteur à peu près). Après ce point, la décroissance commence à réduire jusqu'à arriver à la capacité de charge où elle devient zéro. Désormais il se produit une perturbation dans l'écosystème (morte et chute du nombre d'arbres morts, perte de résistance aux pestes qui attaquent les arbres en affectant à une partie d'eux, etc.). Ce processus prend lieu de manière naturelle.

Dans la production de biomasse forestière, l'objectif est de ne pas arriver à ce point maximum pour éviter les pertes économiques. Il peut être acquis en intervenant dans la forêt quand la croissance annuelle est égale à la croissance moyenne, car après ce point-là, la croissance se voit réduite progressivement jusqu'à arriver au minimum (zéro) (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

Dans la masse forestière, les arbres sont soumis à divers facteurs qui influencent et qui conditionnent leur développement. Ces facteurs sont la disponibilité de lumière, d'eau, d'espace et de nutriments. Ces facteurs sont relationnés entre eux-mêmes.

Un des facteurs qui déterminent la performance (associée à la disponibilité d'espace) du mont est l'épaisseur. Ce concept est défini pour une masse forestière comme la densité référée à la relation de compétence qui existe entre ses arbres, et au recouvrement total des canopées sur le sol. L'épaisseur diffère de la densité de la forêt en soi-même, car la densité ne se réfère pas au nombre d'arbres par unité de surface, mais à la qualité ou intensité de leur ombre, leur frondaison, etc. (Montoya Oliver & Mesón García, 2004) (Smith, Larson, Kelty, & Anthon, 1996).

Les arbres ont entre eux des relations de compétence qui fait qu'ils croissent de manière verticale, cylindrique, etc. Ces relations peuvent être détectées en regardant leurs canopées. Elles sont une conséquence de la lutte vers la lumière qu'ils expérimentent. Celui qui n'arrive pas à maintenir certain niveau se voit réduit jusqu'à la suffocation dans l'ombre, spécialement certaines espèces qui ne croissent pas dans l'ombre comme le pin sylvestre (Montoya Oliver & Mesón García, 2004). Les différents types de canopées s'expriment à la suite (voir figure 1.4).

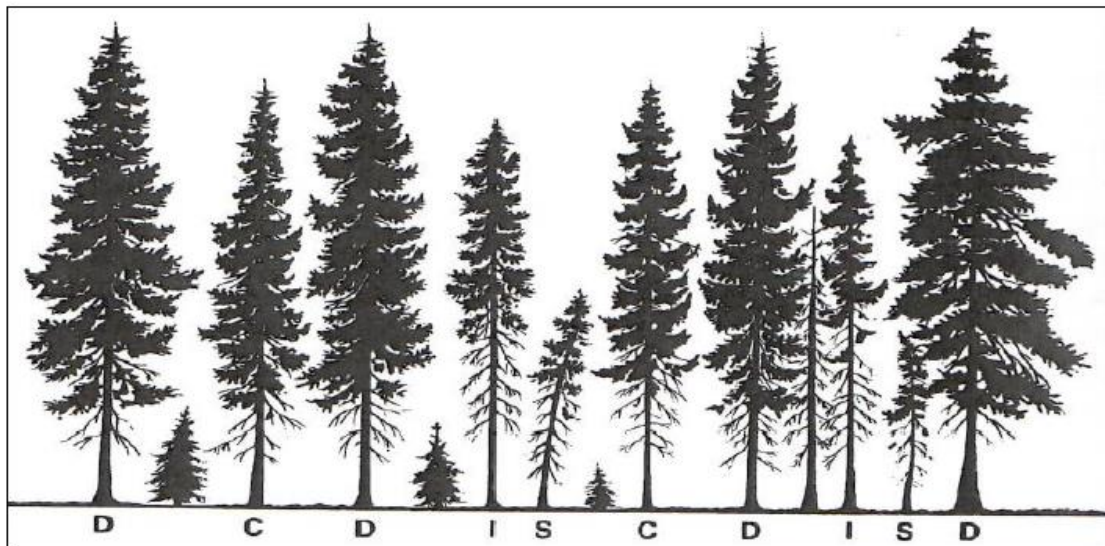


Figure 1.4 Masse forestière avec ses différentes classes sociologiques (D : dominant ; C : codominant ; I : intermédiaire ; S : occlus). Obtenue de (Thomas & Packham, 2007)

#### 1.4.1. Arbres dominants : prédominants et dominants

Ils sont les arbres plus hauts d'un bois, en débordant en hauteur aux autres et en recevant de la lumière par le haut et par les côtés. Ils deviennent gros et ramifiés rapidement, et maintiennent une croissance rapide et une bonne vitalité. Dans cette classe, les arbres prédominants sont ceux qui sont clairement plus grands, et les dominants, qui sont ceux qui ne sont autant remarquables que les prédominants dans cette classe (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

#### 1.4.2. Arbres codominants

Ils ont une hauteur plus basse que les dominants, car ils reçoivent de la lumière par le haut mais ne pas par les côtés. Dû à la compétence à laquelle ils sont soumis, ils ont une canopée moins profonde et un développement de branches plus bas, car elles reçoivent peu de lumière. Ils croissent vite, mais un peu plus lentement que les dominants. Leur tronc est assez

cylindrique. À cause de ça, ils ont l'habitude d'avoir des meilleurs fûts que les dominants. Ils réagissent plutôt aux éclaircies, spécialement quand ils sont jeunes car ils maintiennent leur potentiel de croissance intact, et la libération de l'espace des environs leur favorise considérablement (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

#### 1.4.3. Arbres intermédiaires

Ils ont une hauteur plus basse que les classes déjà décrites. Ils reçoivent peu de lumière par le haut et pratiquement rien par les côtés. Ils ont perdu la course vers la lumière, bien que dans certaines espèces d'ombre, elles peuvent maintenir la compétence et se voir favorisées par une libération (spécialement des exemplaires jeunes). Les espèces de lumière ne se voient pas favorisées car elles ont perdu la capacité de réaction et même, elles peuvent mourir après un changement fort de conditions de lumière (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

#### 1.4.4. Arbres occlus/dominés : submergés et morts

Ils sont des arbres submergés dans la masse forestière, et qui ont une hauteur très inférieure aux autres classes. C'est habituel qu'elles soient mourantes et dans un mauvais état, et n'ont aucune capacité de réaction après une libération, qui pourrait les tuer dans un coucher de soleil. Ceux qui sont encore vivants peuvent être distingués de ceux qui sont déjà morts. Quelquefois, ils sont connectés aux racines d'autres pieds meilleurs qu'eux, et peuvent survivre comme des « parasites » (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

Plusieurs fois, l'arbre qui s'impose est plus fort uniquement par des phénomènes d'hasard, et ne pas nécessairement par des qualités génétiques spéciales : naissance précoce, il a eu plus de chance, il procédait d'une semence plus grande, il n'avait pas d'autres arbres en compétition avec lui, il n'y a pas été mordu par un autre animal, etc. (Smith, Larson, Kelty, & Anthon, 1996).

### 1.5. La sylviculture

La sylviculture a été définie plusieurs fois comme l'art de produire et soigner une forêt, l'application des connaissances de bio écologie sylvicole dans le traitement d'une forêt, ou la théorie et la pratique de contrôler l'établissement d'une forêt, sa composition, sa structure et sa croissance (Smith, Larson, Kelty, & Anthon, 1996).

Les objectifs peuvent être très variés. Il y a des masses forestières fondamentalement destinées à la production de bois pour l'industrie (fourniture, papier, éléments de construction, charpenterie, etc.), et d'autres pour l'usage récréatif dans les parcs publics, les parcs naturels et réserves naturelles, réserves de chasse, etc.

Ses pratiques consistent en des traitements appliqués aux forêts pour maintenir et améliorer leur utilité pour n'importe quel propos. Les devoirs du sylviculteur sont d'analyser les facteurs sociaux et naturels de chaque masse forestière, et concevoir et conduire le traitement plus approprié pour réussir à l'objectif pour lequel cette masse est produite. La sylviculture est désignée à créer et maintenir le type de forêt qui accomplira les objectifs du propriétaire ou de la société. Entre les différents travaux qui peuvent être réalisés, une des plus importantes est le contrôle de la densité du peuplement pour contrôler la compétition pour les ressources. Une des principaux outils pour accomplir ça, sont les éclaircies.

### 1.5.1. Éclaircies

#### 1.5.1.1. Définition et fondement

Les éclaircies se définissent comme des coupes de contrôle de l'épaisseur de la masse forestière qui ne génère pas beaucoup de bénéfices économiques car les arbres extraits sont des pieds petits mais qui peuvent être exploités comme bois de chauffage, comme piquets, bois trituré (celluloses, planches, etc.) et au cas où d'avoir des diamètres supérieurs, les applications pourraient inclure : bois scié pour des emballages ( $\varnothing > 15\text{cm}$  et droites), brutes de déroulage pour des emballages ( $\varnothing > 20\text{cm}$  droites), bois scié pour la construction et charpenterie ( $\varnothing > 25\text{cm}$  droites), et déroulage pour construction et charpenterie ( $\varnothing > 35\text{cm}$  droites). Les éclaircies consistent à la taille de certains individus de la masse pour permettre d'avoir une croissance continuée de la biomasse des arbres persistants et réguler correctement les relations de compétence entre les arbres. De cette façon, l'étape de maximum croissance annuelle se prolonge jusqu'à accomplir un maximum, où on fait une éclaircie, en évitant que la masse se débilité ou s'envieillie. On arrive à une production beaucoup plus haute par unité de temps après plusieurs éclaircies et une régénération forestière finale (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

De manière conventionnelle, quand on parle d'éclaircies, on se réfère au contrôle d'épaisseur des bois avec un diamètre plus grand que les 10 centimètres.

Ces pratiques sont basées sur la Loi d'Eichhorn, qui affirme que « la croissance totale d'une masse forestière dans une saison donnée – pendant que les conditions de fertilité et la qualité de la saison ne varient pas – est indépendante du nombre total de pieds, dans un grand intervalle d'épaisseurs ». Si une coupe de pieds est faite, ceux qui restent vont croître plus vite et la croissance totale ne se verra pas réduite. En plus, les arbres coupés peuvent avoir de l'utilité à la scierie, comme bois de chauffage ou d'autres usages du bois, par lesquels un revenu est perçu.

Même si après les éclaircies des revenus sont perçus quand on vend le bois extrait de la forêt, après les premières éclaircies, généralement, les revenus ne couvrent pas les coûts de réalisation dû aux caractéristiques de taille et forme des arbres (ce sont des arbres marginaux). Ces éclaircies sont appelées « pré-commerciaux », en étant déjà commerciales celles qui dû aux dimensions du bois coupé et leur qualité, des revenus plus grands que les coûts sont accomplis. Donc, le revenu perçu après la gestion des ressources forestières extraits de la masse forestière après les éclaircies est l'indicateur de rentabilité de ces pratiques, qui est notablement important pour le propriétaire.

#### 1.5.1.2. Objectifs

Les objectifs des éclaircies sont les suivants :

- Maintenir qualitativement l'épaisseur des forêts dans des niveaux correctes (biomasse/unité de surface, pour chaque âge et dimension, selon les différentes espèces, qualités saisonnières, types de production voulus, etc.). De cette façon, la gestion s'avance aux effets et risques d'une forte compétence entre les arbres, ainsi que les pires individus s'éliminent pour favoriser les meilleurs, en les détruisant comme un résidu, en les utilisant comme bois de chauffage ou d'autres, et en prévenant de futurs dommages du mont en cas où il y ait des feux, etc.
- Développer la biomasse des meilleures qualités possibles, des meilleures espèces, des meilleures dimensions, formes, potentialités, etc., pour

pouvoir obtenir le maximum bénéfique possible. Pour obtenir le maximum bénéfique aussi il faut maintenir certain degré de compétence, car comme ça les troncs croissent tout droits et cylindriques, et se nettoient des branches grâce aux arbres cravache, qui sont des arbres subordonnés à d'autres meilleurs, qu'avec leurs mouvements dans des forts vents et leur ombre, nettoient les branches des autres sans compétir significativement entre eux. Aussi, il est positif de maintenir certaine compétence car cette croissance permet de développer une ombre plus dense qui empêche le sous-bois de se développer, en améliorant l'accessibilité dans la forêt et en réduisant le risque de propagation des feux.

Donc, l'objectif est de maintenir une épaisseur telle qu'elle n'arrive pas aux niveaux excessifs pour éviter que la capacité de charge de l'écosystème soit acquise, et qu'elle permette de développer une croissance correcte de la masse forestière, c'est-à-dire, des arbres cylindriques et droits sans des branches importantes dans les côtés (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

#### 1.5.1.3. Procès

À l'heure de planifier la gestion forestière, des « classes naturelles d'âge » sont établies en fonction de l'état de développement des arbres. La durée est particulière de chaque espèce, des saisons et de la densité de plantation. Elles y trouvent les classes suivantes :

- Disséminé : plantes germinées récemment qui n'arrivent pas aux 25 cm de hauteur.
- Repeuplé : pieds qui surpassent la classe « disséminé » jusqu'à la tangence des canopées entre eux. Hauteur limite : 1,30 mètres.
- Mont brave : entre le début de la tangence entre canopées et le début de l'autotaille ou taille naturelle des branches inférieures débilisées, ne pas illuminées.
- Perches : entre l'autotaille et le point dont le diamètre arrive aux 20 cm. Dans cette classe il y a deux sous-classes : perche basse (diamètre < 10 cm) et perche haute (10 cm < diamètre < 20 cm).
- Fouet : à partir du diamètre normal de 20 cm, qui aussi se divise en trois sous-classes : fouet bas (20 cm < diamètre < 35 cm), fouet moyen (35 cm < diamètre < 50 cm) et fouet haut (diamètre > 50 cm).

Pour la réalisation des éclaircies, les actions suivantes sont suivies au terrain. D'abord, le « déboisement de la masse forestière » est réalisé, qui consiste à la coupe des individus sélectionnés et son transport dès le pied jusqu'à la rue d'entraînement, où les troncs sont pilés. Ensuite, prend lieu « l'entraînement jusqu'à le chargeur », qui consiste à la sortie de la forêt par les rues sans défrichement jusqu'au chargeur. Après, « l'extrait hors du mont » est faite, qui est l'extraction des produits forestières au cours des pistes forestières. En dernier, les produits sont transportés jusqu'à l'usine en camions (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

#### 1.5.1.4. Types d'éclaircies

Quand on parle d'éclaircies, on parle des coupes d'une partie de la forêt, qui sont faites chaque certain temps, on ne se réfère pas à la coupe finale qui provoque la régénération totale de la forêt. Dans les éclaircies, ils existent des différents types en fonction du type de critère appliqué à l'heure de couper certains arbres. Le type d'éclaircie recommandée varie en fonction du moment de développement de la forêt.

#### 1.5.1.4.1. Éclaircies systématiques et rues d'entraînement

Aussi appelées géométriques, elles s'utilisent dans les masses où des repeuplements très homogènes du bois ou des masses naturelles trop denses avec de difficile pénétration ont été exécutés. Elles sont effectuées aux âges précoces de la masse et ne sont pas considérées comme des éclaircies (car le diamètre est moins de 10 cm). Elle consiste à tracer des rues droites sur le terrain où tous les arbres qui sont dans ces rues sont coupés. On coupe chaque 2, 3 ou 4 rangées. Quand l'intervention est répétée, il est recommandé de couper les rangées perpendiculaires à celles qui ont été coupées la fois d'avant.

Cette éclaircie ne sélectionne pas les meilleurs individus et retire les pires, mais suit un schéma de coupe, donc, elle n'est pas utilisée pour des cas où les prix des produits finaux à obtenir dépendent des qualités individuelles du conjoint (Figure 1.5). Elle est aussi bien adaptée pour des cas où il est prétendu d'introduire de la machinerie lourde dans la forêt dans un futur, car elle permet d'avoir des rues plus larges destinées à l'entraînement d'arbres jusqu'au chargeur (en entraînements mécanisés, les rues d'entraînement occupent un 15-20% de la surface du mont). À peu près, la moitié des arbres établis sont coupés car les pieds en doute se laissent comme protection pour la masse voisine contre les dommages qui cause l'entraînement.

L'approche décrite est nommée « rigide », et de l'autre côté il existe une approche « flexible », qui diffère du premier car il priorise la persistance des bons arbres des rues à couper en coupant les pires arbres qui sont proches, même s'ils ne correspondent pas exactement. À la suite, un schéma de la situation initiale et finale est présenté.

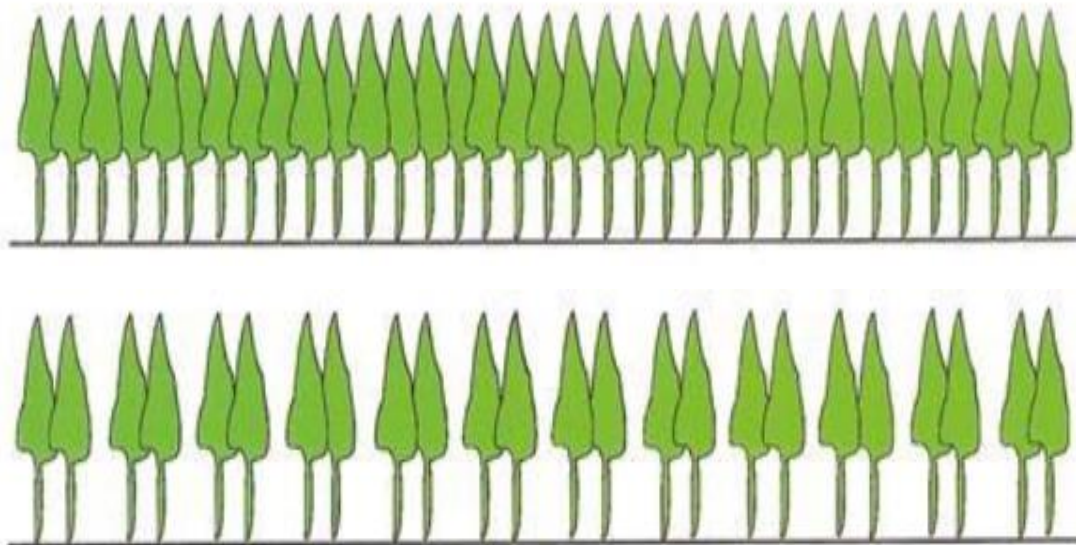


Figure 1.5 En haut se trouve la situation typique initiale de la masse forestière, et en bas, la situation typique finale après une éclaircie systématique où des rangées en entier ont été retirées (33% des pieds). Obtenu à (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

#### 1.5.1.4.2. Éclaircies allemandes ou éclaircies basses

Elle est utilisée dans des masses basées plutôt dans leur longévité et vigueur individuel des arbres que dans leur forme (fruits, lièges, résines...). Elles sont appliquées aux étapes préparatoires des coupes de régénération (coupes finales, quand les arbres arrivent à diamètres supérieurs aux 30 cm à 1,3 m de hauteur du tronc). La réalité est qu'elles se réalisent de manière abusive en Espagne dû à sa facile compréhension et à l'amélioration visuelle du mont après son application. Même elles ont été présentées comme les meilleures et uniques éclaircies

recommandables (conséquemment beaucoup de forêts espagnoles ne sont pas viables et finissent par se laisser sans gestion, spécialement les pinèdes de gestion publique). D'un autre côté, il est fort recommandé de les réaliser en sylviculture urbaine quand il ne se prétend pas d'extraire du bois pour un bénéfice économique, mais de donner un usage récréatif au bois.

On part de la situation initiale de la figure 1.6 et on coupe tous les pieds morts, noyés et dominés de la masse, et plusieurs fois même les pires codominés, avec l'objectif de favoriser le développement et la croissance du reste des arbres (individus dominants et codominants de qualité) (voir figure 1.6). Cette éclaircie se sous-divise en trois différentes :

- Légère : affecte seulement aux arbres morts et noyés.
- Moyenne : les arbres morts, noyés et dominés s'éliminent.
- Intense : aussi, les arbres codominants de mauvaise qualité s'éliminent.

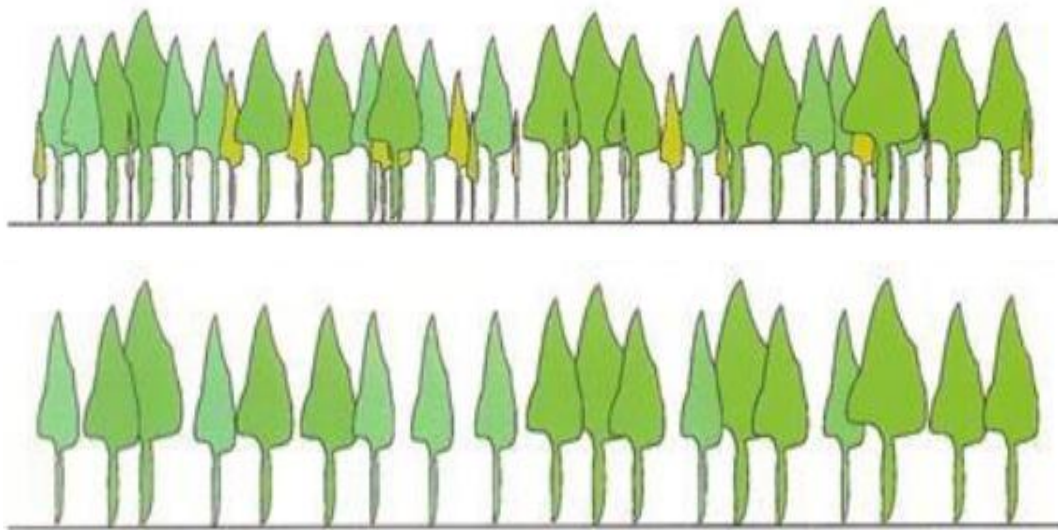


Figure 1.6 Situation typique initiale de la masse forestière (en haut) et situation typique finale de la masse forestière après une éclaircie base ou allemande (en bas) où ils ont été coupés les arbres morts, noyés, occlus et même quelques codominants de mauvaise qualité. Obtenu de (Montoya Oliver & Mesón García, 2004)

L'avantage qu'elles présentent est que leur coût est très bas et il n'y a pas besoin d'une assistance technique très importante, donc elle peut être réalisée par le producteur. Cependant, elle présente des inconvénients. Elle extrait du bois de petite dimension du mont, qui n'est pas économique du tout et peu d'arbres sont extraits de la masse. Les arbres retirés ne compètent pas trop avec les dominants car ils sont dans les strates inférieures de la forêt, donc, elle n'a pas d'effet significative dans la masse persistante. En plus, ceux pourraient servir pour nettoyer les branches basses des arbres qui restent, et alors ça pourrait diminuer la qualité future à extraire.

#### 1.5.1.4.3. Éclaircies françaises ou éclaircies hautes

Cette éclaircie se pratique précédemment ou accompagnée de l'établissement ou densément des rues d'entraînement, et des éclaircies systématiques. Il est recommandé de les appliquer dans les premiers âges des forêts (la première éclaircie devrait être celle-ci), pour sélectionner les meilleurs arbres dominants et codominants. Elle résulte aussi positive dans des masses pauvres et avec des risques sanitaires élevés, de feux ou de sécheresse, obtenues par propriétaires privés avec un repeuplement artificiel, qui a été beaucoup fait dans des pinèdes de pin carrasco (*Pinus halepensis* Mill.).

Cette pratique consiste à couper les arbres dominants et codominants en pire forme, qualité et future, avec l'objectif d'améliorer les dominants et codominants persistants, qui seront les meilleurs de la masse. De cette façon, on extrait de la forêt du bois qui proportionne certain bénéfice dû à sa taille et qualité (individus avec le double de volume que les extraits dans les éclaircies basses), et qui générerait une intense compétition entre les individus de la masse (les meilleurs concrètement). La prochaine éclaircie se réalisera en coupant les arbres qui avant étaient codominants et maintenant sont dominants en ayant arrivé à un diamètre de vente.

Ce procès ne peut pas être appliqué indéfiniment dans une même masse forestière, car elle pourrait finir par se composer des pires arbres quand on retire les pires des meilleurs, en favorisant la croissance des arbres médiocres de pire qualité.

Les avantages que cette pratique a sont, par un côté, le bénéfice des meilleurs dominants et codominants, et par l'autre côté, l'important bénéfice des arbres jeunes des espèces d'ombre qui amélioreraient leurs conditions de lumière dans le bois. Elle permet d'éclaircir et améliorer la sylviculture des monts relativement jeunes d'une façon plus économique.

Cette éclaircie n'a pas d'inconvénients sylvicoles, mais, dans le court terme, le relatif isolement initial des meilleurs pieds peut les laisser trop exposés aux forts vents. Dans le long terme ce phénomène se corrige e même s'inverse. Aussi est possible que, surtout en espèces de lumière, avec l'âge elle finisse par réfectionner malheureusement au coucher du soleil et que la croissance globale décroisse. Dans la figure 1.7 se montre l'évolution de la masse d'après cette pratique.

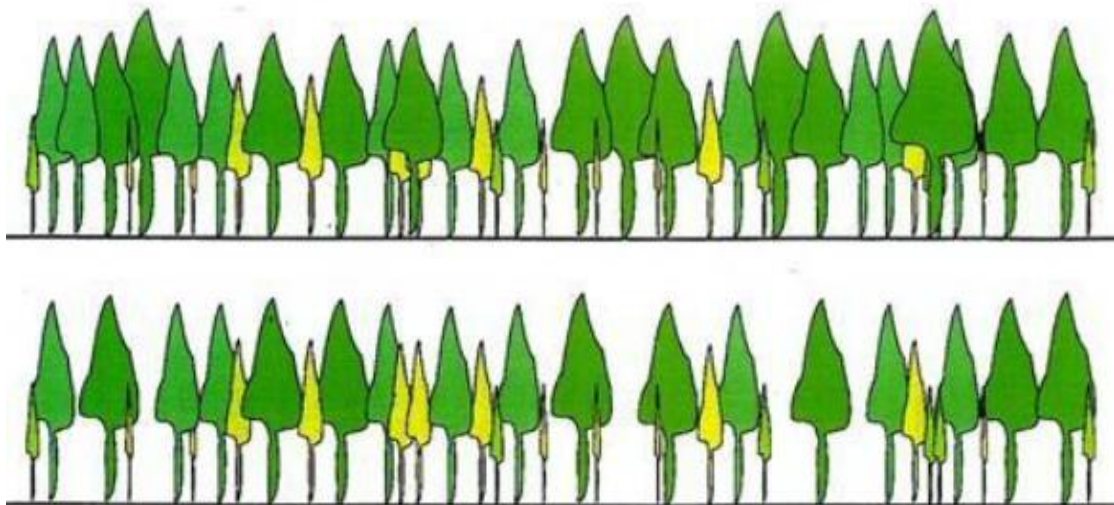


Figure 1.7 Situation typique de la masse forestière (haut) et la situation typique finale (bas) après une éclaircie française où les dominants et quelques codominants ont été coupés. Obtenu de (Montoya Oliver & Mesón García, 2004)

#### 1.5.1.4.4. Éclaircies danoises ou mixtes

Ces éclaircies s'utilisent en masses d'âge moyenne (fouets jeunes de 20-30cm de diamètre). Elle est la meilleure éclaircie qui peut être réalisée en masses intermédiaires, en étant idéal le correcte enchainement dans le temps des éclaircies (française pour masses jeunes et allemande pour les vieilles), en suivant l'évolution de la masse forestière en attendant aux besoins naturels des meilleurs arbres et aux besoins économiques des producteurs. De cette



manière, le futur de la forêt reste assuré. Il faut « *prendre ce qui sert en bénéfice de ce qui soustrait* ».

L'éclaircie danoise ou mixte part d'une situation initiale (voir figure 1.8), et qui consiste à une éclaircie intermédiaire entre la française et l'allemande. On coupe les arbres défectueux, abimés ou préjudiciables du strate supérieur (dominants et Codominants) et aussi les pieds morts, noyé ou dominés qui peuvent avoir une utilisation économique raisonnable, que ne seront pas capables de survivre jusqu'à l'éclaircie suivante (figure 1.8).

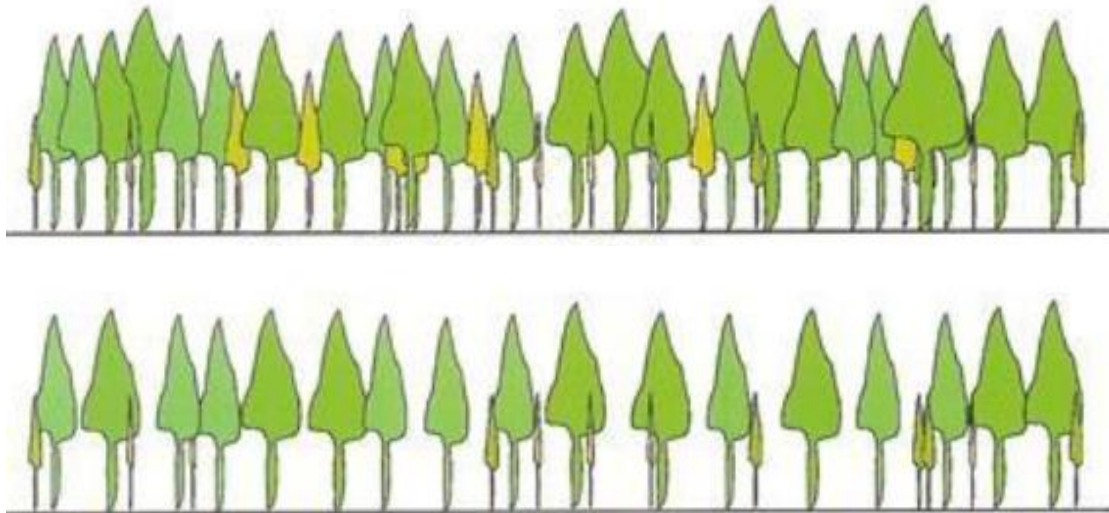


Figura 1.8 Situation typique initiale (en haut) et situation typique finale (en bas) après une éclaircie danoise ou mixte où les dominants, codominants et occlus profitables ont été extraits. Obtenu à (Montoya Oliver & Mesón García, 2004)

#### 1.5.1.4.5. Éclaircies sélectives (arbres « Z » ou de parvenir)

Les éclaircies sélectives se réalisent en forêts où on veut obtenir un bénéfice économique optimal en réduisant les coûts de production. Elle a une importance spéciale dans des conditions socioéconomiques déterminées, où on cherche un bénéfice économique et il n'y a pas beaucoup de ressources, car on obtient du bois gros bien taillé, qui est valorisé comme planche, scie ou déroulage. Elle existe la possibilité aussi de combiner cette pratique avec les autres.

Cette éclaircie est née comme réponse au fait que dans les âges relativement jeunes du bois (10-20 cm de diamètre), on peut détecter les exemplaires plus vigoureux et meilleur (les arbres qui arriveront jusqu'à les coupes finales). Les arbres qui dominent aux 15-20 cm de diamètre, probablement domineront toujours, mais il n'y aura pas de manière de promouvoir à un codominant. Alors, cette éclaircie travaille avec les pieds qui prédominent ou dominent aux âges précoces et centre ses efforts en eux (ces arbres se nomment arbres « Z » ou arbres de « parvenir »), en réalisant sa protection parmi la correcte gestion des rues d'entraînement et ne pas choisir d'arbres « Z » dans les rues, sélection dans le moment correct et avec des critères correctes, libération intense des arbres « Z » et une amélioration et signalisation des arbres persistants avec des taillages.

Elle consiste à réaliser d'abord une sélection très générale quand elle soit économiquement possible. Dans l'éclaircie suivante les meilleurs arbres « Z » se sélectionnent, et après qu'ils arrivent aux 15 cm de diamètre avec l'écorce et dans des productions spéciales de liège, fruits ou résine, s'attend jusqu'à obtenir diamètres de 20-25 cm avec l'écorce.

Elle présente l'avantage d'être très économique en conditions difficiles de marché car très peu de pieds se coupent à chaque fois, et qui ont de la valeur dans sa vente postérieure. De cette façon il s'obtient le maximum bénéfice possible pour une masse qui s'extrait après les éclaircies. Aussi, ils s'extrait des exemplaires de grandes dimensions donc ça libère le reste d'arbres d'une compétence intense. Les plus gros se laissent pour qu'ils compétent avec les meilleurs. En plus, ce type d'éclaircie est très facile à comprendre et admettre par le personnel du champ et les usagers récréatives du bois, car elle a un impact visuel très petit dans la masse forestière, en montrant les meilleurs arbres.

Il faut faire attention à la sélection, car il ne faut pas la réaliser très tôt pour ne pas assumer des risques d'erreur dans l'évaluation des arbres sélectionnés, et de ne pas la réaliser très tard pour que les arbres sélectionnés ne puissent recevoir tous les avantages possibles qu'elles pourraient avoir été accomplies. Le changement dans l'apparence de la forêt s'observe dans la figure 1.9.

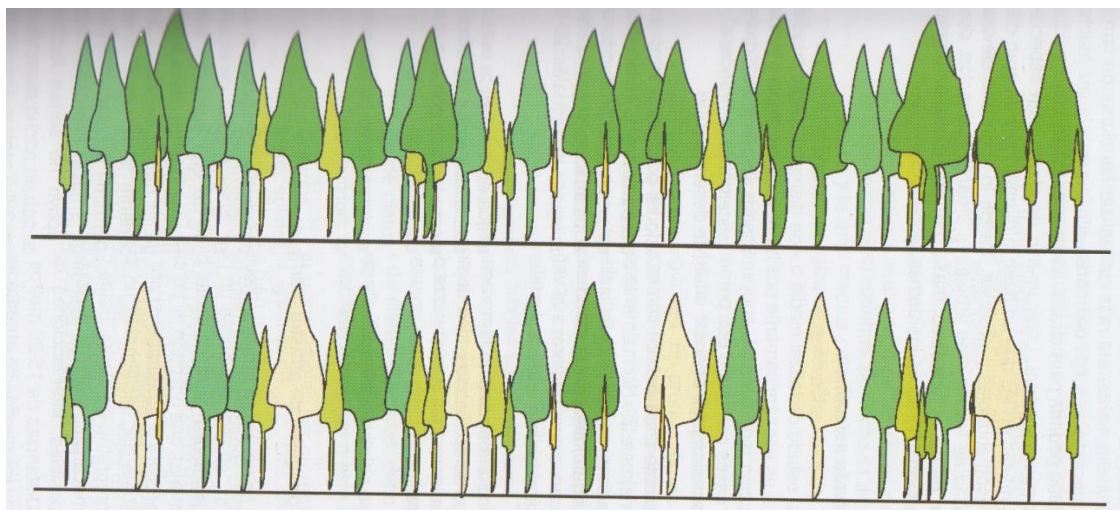


Figure 1.9 Situation typique initiale de la masse (en haut) et situation typique finale après une éclaircie sélective (en bas) où les meilleurs pieds ont été choisis en les libérant de leurs meilleurs compétiteurs. Obtenu à (Montoya Oliver & Mesón García, 2004)

#### 1.5.1.5. Effets des éclaircies

Les éclaircies offrent des avantages sur des différentes caractéristiques de la forêt : l'épaisseur, les limites pour chaque espèce et lieu, compétence et sélection naturelle dans la forêt, etc.

Avec un bon programme d'éclaircies, on peut même doubler la production totale du mont car on extrait de la biomasse qu'autrement se perdrait.

Sur le bois, les effets des éclaircies dépendent des différents facteurs comme le régime hydrique du bois (importance des sécheresses, qui font que le bois soit plus dense), régime de températures, etc. Avec les éclaircies on arrive à avoir des diamètres d'un 50% plus grands, ce qui a beaucoup d'importance car, sinon, on prendrait beaucoup plus de temps à les accomplir et ça aurait des revenus par unité de temps plus petits. Le fait que de cette façon les arbres croissent plus vite, dans des meilleures conditions de vigueur et santé, bénéficie économiquement au producteur car il apercevra les revenus avant. De plus, il peut maintenir ces exemplaires pendant plus de temps dans le bois en croissant, en obtenant finalement des arbres avec beaucoup plus de valeur pour leur vente. En zones d'usage récréative, ça permet

d'avoir des arbres plus âgés et grandes, « des monument végétales » avec un attirant touristique-naturaliste.

Au niveau d'écosystème, les interventions d'éclaircies affectent positivement à la quantité de lumière incidente, les nutriments disponibles et les températures dans une masse forestière. Les masses denses interceptent mieux la pluie, dû à l'eau qui reste adhérente quand elle tombe sur les troncs, les feuilles et les branches, que dans des situations où les précipitations sont fréquentes et douces ça peut se traduire comme un pourcentage de perte très importante par rapport à la précipitation accumulée annuelle. Les masses plus denses absorbent aussi plus de quantité d'eau du sol, donc à la prochaine précipitation, elle s'invertira en récupérer l'humidité dans la zone racinaire à la place de s'infiltrer pour remplir les aquifères. Même pour produire de l'eau comme pour protéger le sol, comme pour prévenir les inondations, les masses forestières avec un bon programme de gestion sont plus convenantes que les masses abandonnées (Candel-Pérez, y otros, 2018).

Du a l'influence réduite des précipitations et la haute interception dans les bois très denses, le feuillage qui tombe et s'accumule et qui s'immobilise, peut résulter dangereux car il ne peut pas être recyclé par les arbres et acidifie le sol (ça a une spéciale importance dans des forêts de conifères de zones climatiques froides, dans des sols acides et pauvres). Avec les éclaircies ce phénomène se réduit.

#### 1.5.1.6. *Inconvénients des éclaircies*

Par un autre côté, les éclaircies aussi génèrent des impacts négatifs sur les masses et ses bois. Le bois tend à devenir plus nouveau car se foment le développement des branches latérales après avoir augmenté la disponibilité de lumière par arbre après avoir augmenté l'espacement. En plus, les branches mortes prennent plus de temps à tomber.

Quand on augmente l'espacement on augmente aussi l'exposition au vent, et curieusement les arbres adoptent comme réponse une forme plus conique car le degré de vent s'augmente. Quand ils sont plus cylindriques, le bois perd de la qualité de sa forme pour sa commercialisation.

Certains auteurs affirment que le bois mou du printemps par rapport à celui de l'automne, quand les anneaux blancs du printemps s'élargissent après l'éclaircie (Montoya Oliver & Mesón García, 2004). Ça ne passe pas toujours. Dans une étude plus récente (Candel-Pérez, y otros, 2018), en revanche, se montre que la densité du bois peut être influencée en fonction du management forestière mais le facteur principal est l'existence des événements climatologiques extrêmes (sécheresse) qui font augmenter la densité.

Le bois jeune extrait pendant les éclaircies a souvent un important pourcentage de bois juvénile, qui peut amener à des difficultés de transit ou de control d'incendies (c'est vrai qu'un sous-bois bien contrôlé par une couverture d'arbres épaisse permet une résistance plus importante contre le feu), mais aussi permet l'existence de plus de biodiversité animale et végétale.

Des éclaircies très drastiques provoquent une nouvelle régénération du mont dans des moments où ça peut être préjudiciable. Les éclaircies très intensives réduisent les coins fréquentés par les animaux sauvages et spécialement ceux d'une grande taille, comme le sanglier, le gibier, le chevreuil, etc., utilisent pour se protéger et construire leurs nids (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

#### 1.5.1.7. Futur des éclaircies

Il est prévu que dans un futur les éclaircies auront une finalité de réduction de compétence pour les nutriments (modifiant quand même les taux de décomposition de feuillage car la température et l'aridité augmenteront) et, spécialement l'eau, car avec le changement climatique on attend une augmentation dans l'évapotranspiration accusée par la hausse des températures et la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, et une réduction de la disponibilité d'eau (Blanco, Imbert, & Castillo, 2015).

Dans des forêts des Pyrénées occidentales où les conditions hydriques soient limitantes les éclaircies pourront servir comme outils pour améliorer l'adaptation de la forêt, améliorant l'économie de l'eau et en réduisant la mortalité potentiel par sécheresse (Blanco, Imbert, & Castillo, 2015). Cependant, dans des forêts des Pyrénées occidentales, où le climat est continental ou subalpin et la limitation est la température, la hausse des températures avec le changement climatique provoquera une élongation d'une période végétative qui pourrait générer plus de biomasse, en adaptant les régimes d'éclaircies en évitant un éclaircissement excessif.

En plus, elles joueront un rôle très important dans la prévention des incendies en évitant qu'il y ait des pertes de grandes surfaces de bois alors qu'elle est un outil de control de densité d'arbres.

### 1.6. Le pin sylvestre comme espèce d'importance sylvicole

L'étude a été réalisée dans un peuplement de pin sylvestre, où cette espèce cohabite aussi avec d'autres espèces. A la suite, il se montre le pourquoi de l'importance de l'étude de forêts conformées par le pin sylvestre.

#### 1.6.1. Distribution de *Pinus sylvestris*

L'adaptabilité de cette espèce fait que, dans son genre, et en Europe au niveau d'espèce forestière, elle soit celle qui est plus largement distribuée. Il faut signaler qu'en Espagne le pin avec la plus grande occupation territoriale est le pin carrasco (*Pinus halepensis*). Le pin sylvestre se trouve dans la majorité des pays européens, limitant sa distribution au sud à Sierra Nevada (37°), à l'ouest dans la Sierra de Gêrez (Portugal), au nord en Norvège (70° 20') étant la limite des zones de croissance des arbres et à l'est près de la mer de Okhotsk en Russie (141°) (Cañellas, Martínez García, & Montero González, 2000).

Dans la figure 1.10 se montre la distribution au niveau d'état de l'espèce, en masses pures de pin sylvestre et en masses mixtes :

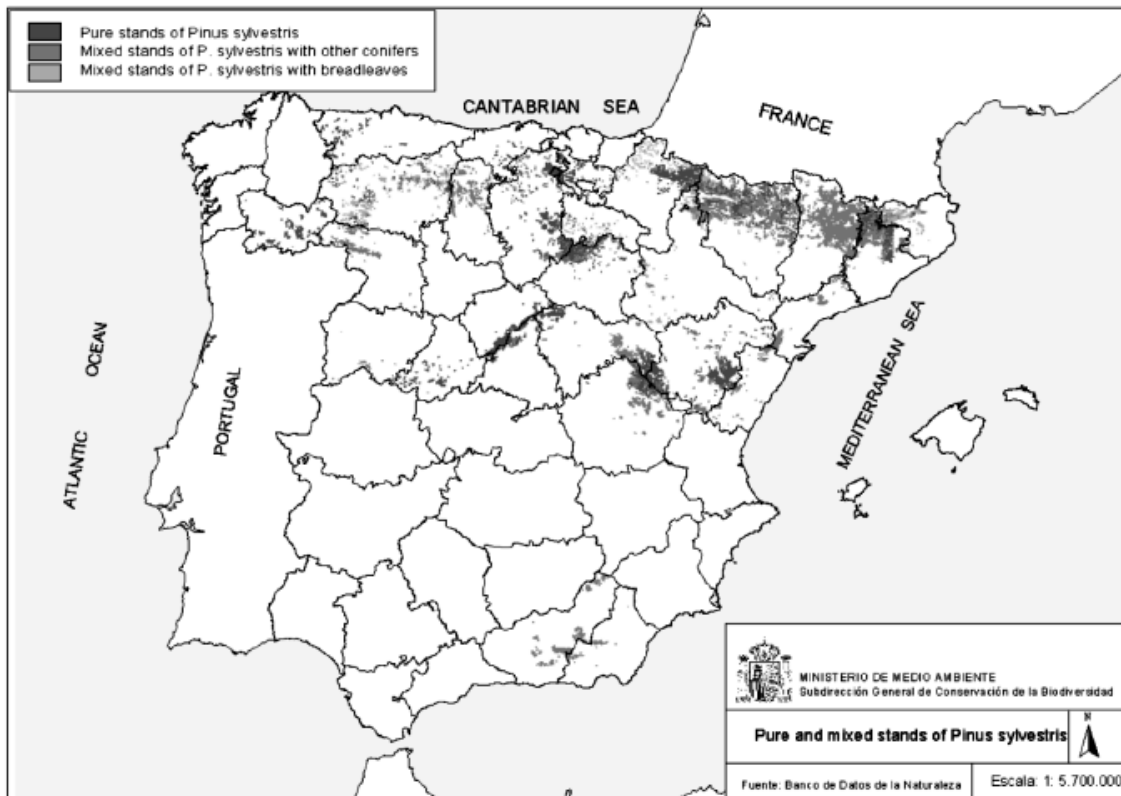


Figure 1.10 Carte de distribution des masses pures et mixtes de *Pinus sylvestris* en Espagne. Extrait de (Cañellas, Martínez García, & Montero González, 2000).

En Espagne se trouve présent dans les Pyrénées (Navarre, Huesca, nord de Saragosse, Lérida, Gérone et Barcelone), dans la Cordillera Ibérica (Burgos, Soria, Logroño, Teruel, Cuenca et Guadalajara), Cordillera Central (plus de représentation dans la Sierra de Guadarrama), d'où commence à s'agrandir vers la Sierra de Gredos et Somosierra. Sa limite au sud se trouve à Sierra Nevada et Sierra de Baza. Sa limite est se trouve à Castellón (Peñagolosa) et à l'ouest dans les provinces de León et Lugo (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

#### 1.6.2. Importance de la culture du pin sylvestre

Le pin sylvestre s'emploie en industrie par son bois compact et résineux, avec un duramen très vaste en rouge intense et un aubier blanc-jaune. Aussi il s'emploie de manière importante pour la production de papier. Il est celui qui présente une meilleure qualité, des naturels de la péninsule, suivi par le *Pinus nigra*, par la propreté et rectitude de ses fûts, ainsi que la propreté des nœuds occasionnés par l'autotaille. Il s'emploie en charpenterie, construction, ébénisterie et scierie. Sa composition résineuse fait qu'il soit un bon combustible (la meilleure espèce dans les pinacées), mais aussi elle est très peu utilisée dans les cheminées car elle dépose une forte suie sur les cheminées. Dû à sa croissance rapide, il s'utilise beaucoup dans la restauration hydrologique-forestière.

La production forestière en Espagne couvre une surface totale de 19.299.420 hectares. De ce total, les conifères (Secretaría General Técnica. Subdirección General de Estadística, 2017) occupent une surface totale de 5.547.349 hectares, de lesquelles 1.280.000 sont de pin sylvestre (Cañellas, Martínez García, & Montero González, 2000). En Navarre il a une grande

représentation dans la zone des Pyrénées, avec une surface totale autonome de 105.684 hectares de conifères (Secretaría General Técnica. Subdirección General de Estadística, 2017).

En revanche, même de son importance, les caractéristiques de sa culture dans le long terme font que les activités forestières diminuent dû à sa basse rentabilité. Dans la figure 1.11 il montre l'évolution des prix perçu par les agriculteurs dans la commercialisation du pin sylvestre en Navarre pour scierie et coupes dès l'année 2000 jusqu'à l'année 2017.

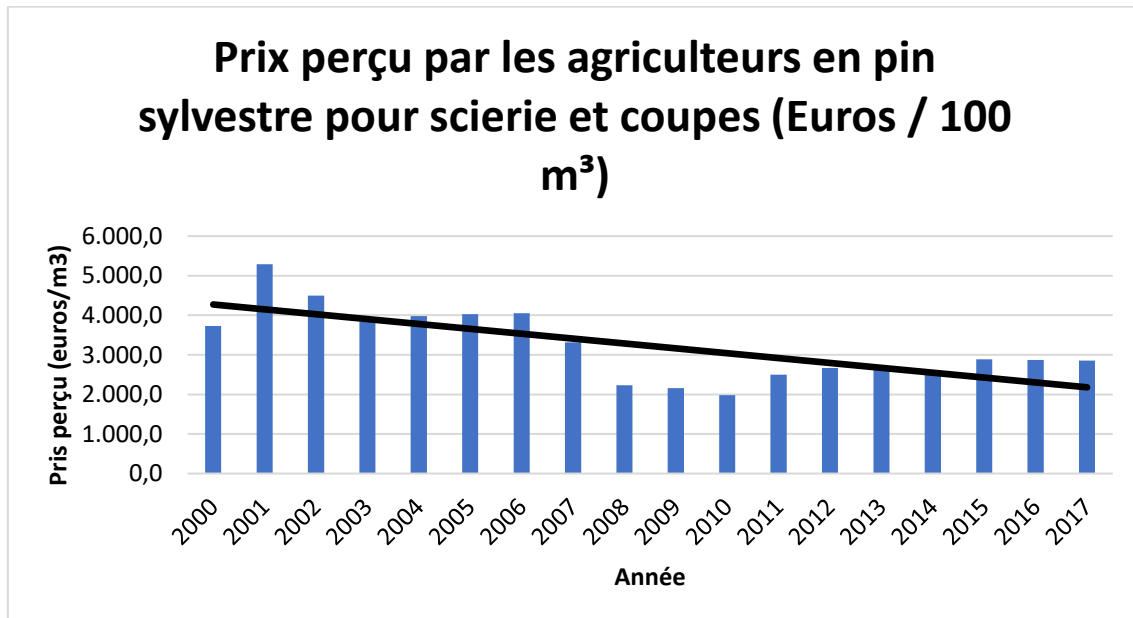


Figure 1.11 Graphique de barres dans lequel se montre l'évolution du prix perçu par les agriculteurs en pin sylvestre pour scierie et coupes (années 2000-2017 inclus). Propre élaboration à partir des informations prises à (Gobierno de Navarra, 2018)

## 1.7. Antécédents du travail

Une caractéristique fondamentale des arbres et des forêts est leur longévité. L'arbre plus ancien de la planète a 6000 ans environ, pendant que les gens n'arrivent pas à 100 ans en général. Conséquemment, les expériences qui se possèdent, contiennent un petit segment de l'espérance de vie potentielle de l'arbre ou la masse. Ça implique que les investigations de l'effet des différents régimes d'éclaircies doivent se compléter en décades ou un siècle après. Les réponses de croissance après 5-10 ans sont uniquement, des indicateurs du développement de l'arbre ou bosquet de l'espérance de vie totale. Alors, il faut signaler l'importance qu'il a l'étude des forêts en réalisant une suivie dans le temps plus long possible, comme est le cas des parcelles objet de cette étude à Aspurz (Navarre).

### 1.7.1. Histoire de la forêt d'Aspurz

La forêt où a commencé son étude le Groupe d'Écologie et Environnement de l'Université Publique de Navarre, où cette étude a pris lieu, se trouve à Aspurz. Celui provient d'une régénération naturelle après une éclaircie à fait, en laissant des exemplaires concrets, qui a été réalisée dans les années 60 du XXe siècle.

En 1999 l'installation du design expérimental est mise en marche par le Service Forestier du Gouvernement de Navarre en suivant un design de blocs au hasard dans les parcelles d'Aspurz. Trois intensités d'éclaircies ont été appliquées en novembre de cette année : 0% (parcelle control), 20% de la surface basal retirée et 30% de la surface basal retirée. Cette éclaircie a consisté à retirer ces pourcentages de la surface basal qui correspondait aux arbres occlus ou

intermédiaires principalement, et aussi un petit nombre de dominants et codominants avec des malformations sur le tronc. En mars de 2009 la seconde éclaircie a eu lieu. Cette fois-ci les codominants et les dominants ont été coupés principalement, car la majorité des arbres arrivaient à ces strates avec leur canopée. Dans cette deuxième éclaircie les pourcentages d'intensité 0% et 20% ont été maintenus mais dans les parcelles où le 30% de la surface basal avait été extrait en 1999, le 40% a été retiré en 2009, lié aux tendances sylvicoles appliquées dans des bois proches à ce moment-là. Seulement des exemplaires de pin sylvestre ont été coupés, en laissant les autres espèces comme les hêtres croître librement. En 1999 les branches retirées se sont laissées dans la parcelle, mais en 2009 elles ont été apartés sur les bords, hors de la surface expérimentale (Primicia I. , y otros, 2016).

À la forêt d'Aspurz, initialement en 1999 a été classifiée comme une pinède, dû à la basse présence des hêtres et d'autres espèces. Cependant, il a été observé comment les hêtres ont pris plus de protagonisme dans la forêt, une augmentation considérable a été vue du numéro d'hêtres et l'espace occupé par elles-mêmes (Primicia, 2013). C'est dû à qu'en conditions idéales (conditions favorables pour la vie végétale), les espèces frondeuses, comme le hêtre, finissent par déplacer les conifères. Il est dû au fait que cette ambiance ombreuse qui génèrent les frondeuses, dû à leur grande surface de feuillage, met en difficulté la régénération des espèces héliophiles comme le pin sylvestre, en ajoutant que les espèces frondeuses possèdent la capacité de la régénération végétative en développant des tiges des racines. Donc, la conséquence est qu'elles occupent le terrain avec vitesse (Morla Juaristi, 1993). Une espèce autant que l'autre se bénéficient de certains aspects qui s'apportent entre elles, malgré la claire conquête de l'espace par les hêtres. Dans le cas d'Aspurz, il est en train d'avoir un effet très positif sur le cycle de nutriments (Primicia, 2013).

Dans les pinèdes-hêtraies, normalement, les hêtres ont été éliminées pour favoriser la croissance du pin. Désormais elles sont maintenues car dans ce type de forêt mixte, les pins obtenus ont une meilleure qualité que dans une pinède pure (Primicia I. , y otros, 2016).

Avec le changement climatique, on espère que la zone de frontière entre le climat méditerranéen et l'atlantique se déplace vers le nord-est (vers l'océan), en augmentant la zone de climat méditerranéen, avec moins de précipitations. Ce fera que les espèces du bois d'Aspurz souffrent une réduction de la disponibilité d'eau, et que compètent pour cette ressource plus fortement. Il est estimé que les hêtres vont gagner plus de terrain au fil du temps (Blanco, Imbert, & Castillo, 2015). Les hêtres croissent à l'ombre dans leur âge jeune donc pendant qu'elles occupent les espaces entre les pins, quand ceux tomberont (les hêtres résistent mieux et ses racines sont plus profondes) ouvriront plus leur canopée en empêchant que les pins aient de l'espace pour croître, car ils ont besoin de la lumière pour germiner et grandir (ne vivent pas dans l'ombre).

### 1.7.2. Hypothèse

Dans les études réalisées les dernières années à Garde (où s'est réalisée une seule éclaircie en 1999), par Iker Tres Pascual (Tres Pascual, 2014), Julen Sarries Narvaiz (Sarries Narvaiz, 2018), il a été observé que les éclaircies ont un effet significatif sur le nombre d'arbres vivants dans la forêt, en ayant moins de morts dans les parcelles avec des éclaircies. Indépendamment du pourcentage de surface retirée, des différences significatives s'observent dans la croissance des diamètres, mais ne pas en observant les hauteurs des arbres. La surface basale des parcelles témoin, même après 18 ans de l'éclaircie, est plus grande que dans le reste de parcelles éclairées, donc, elle peut encore grandir en diamètres les arbres des parcelles éclairées, n'ayant pas beaucoup de différences entre les deux intensités d'éclaircie (20% et 30-

40% de la surface basal). Cependant, la tendance de la forêt est de rééquilibrer la situation après les éclaircies, en fluxant vers une forêt naturelle au fil du temps dans le long terme (plus de 18 ans).

En Aspurz, au contraire, deux éclaircies ont été faites, ce qui implique que les effets sur la quantité de lumière disponible pour chaque arbre sera majeure dans les parcelles avec un intensité d'éclaircie plus haute (Artázcoz Colomo, 2014). Aussi, la disponibilité d'eau aura augmenté, ainsi que la quantité de nutriments et l'espace disponible. Ça peut signifier que les différences entre les parcelles peuvent être encore plus significative, et même on peut trouver des différences plus importantes dans les parcelles avec un 20% de la surface basal extraite et le 40%, en favorisant la croissance des arbres qu'un jour a été intermédiaire, et des codominants. Un autre facteur à regarder est l'augmentation du nombre d'hêtres et de l'espace qui colonisent. Donc, il y a un spécial intérêt de voir l'évolution que ces parcelles expérimentent pour pouvoir comprendre le développement d'une forêt (dans ce cas-là une forêt mixte) qui souffre des traitements de gestion forestière différents.



## 2. Objectifs

Comme il est présenté dans le point 1.5.1.2., l'objectif des éclaircies est de maintenir une épaisseur qui n'arrive pas aux niveaux excessifs pour éviter qu'elle arrive à la capacité de charge de l'écosystème, et qui permette de développer une croissance correcte de la masse forestière, c'est-à-dire, des arbres cylindriques et droits sans des branches latérales importantes. Dans ce travail des différents paramètres sont analysés sur la formation forestière actuellement, et sont comparés avec des informations des situations passées ou pareilles, seulement des pins sylvestres. Les objectifs de ce travail réalisé sont :

- Observer l'effet des éclaircies forestières, dans ce cas-là de 2 interventions appliquées en 1999 et en 2009, dans une forêt mixte de pin sylvestre et de hêtre dans les Pyrénées de Navarre (Aspurz) sur la croissance des pins, pour cela on réalisera une analyse des chiffres obtenus du diamètre et de la hauteur des individus de cette espèce.
- Tester si la masse suit ou pas une tendance généralisée de croissance et d'évolution par rapport à l'intervention forestière réalisée.
- Connaître les différences, au cas où elles y aient, que ces différentes intensités d'éclaircies forestières puissent avoir, ainsi que la périodicité d'elles, dans une masse forestière de pin et de hêtre.
- Tester s'il y a des différences entre traitements d'éclaircies sur la structure sociologique du bosquet (classe sociologique des arbres et l'état sanitaire d'eux).
- Tester s'il y a des différences entre les traitements d'éclairage sur le diamètre des arbres.
- Tester s'il y a des différences entre les traitements d'éclairage sur la surface basal du bosquet, en observant si la surface basale des parcelles témoin est pareil ou non aux parcelles avec des interventions forestières. Avec ceci, on cherche à décider sur la convenance de réaliser une éclaircie cette année.

### 3. Matériaux et méthodologie

#### 3.1. Caractérisation de la zone

##### 3.1.1. Localisation

L'étude a été réalisée dans des parcelles proches au village d'Aspurz, qui appartient administrativement au Conseil Municipal de Navascués, dans la Merindad de Sangüesa, dans le canton de Roncal-Salazar.

Il est situé dans la partie orientale de la Communauté Forale de Navarre, à 620 msnm, en limitant au nord-ouest avec Guindano, au sud avec Bigüezal, et à l'ouest avec Napal. Il se trouve très près de la foce de Benasa (voir figure 3.1).



Figure 3.1 Localisation du municipe de Navascués en Navarre (Wikipedia, 2018)

Les peuplements en étude se trouvent dans la parcelle 385 sous-parcelle B su polygone 17 de Navascués. A la suite, il se montre une image aérienne de la parcelle (voir figure 3.2) :



Figure 3.2 Parcelle 385 sous-parcelle B du polygone 17 de Navascués. À gauche dans la partie nord-ouest de la figure se place le village d'Aspurz. (Gobierno de Navarra, 2018)

### 3.1.2. Caractéristiques des parcelles

Les parcelles se trouvent dans une masse forestière naturelle qui appartient au Gouvernement de Navarre, dans laquelle plusieurs études ont été faites par l'équipe d'investigation d'Ecologie forestière de l'université publique de la Navarre. La masse est constituée par des exemplaires de pin sylvestre et des hêtres dans sa majorité, et de façon plus spontanée et en nombre très réduits, de houx, des peupliers, des chênes, des buis, etc. Il y a neuf parcelles expérimentales de 30 x 40m qui se trouvent dans la Sierra de Illón, dans le terme de « El Pinar », avec une orientation vers le nord, à une hauteur moyenne de 680 msnm et une pente moyenne du 10% (Castillo, Imbert, Blanco, Traver, & Puertas, 2003).

Les espèces dominantes de la masse sont le pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) et le hêtre (*Fagus sylvatica* L.). L'espèce objet d'étude est le pin sylvestre. Les pins présents dans les parcelles procèdent de la régénération naturelle d'après avoir fait des coupes à rangées dans les années 60 du XXème siècle. En 1999 neuf parcelles ont été établies comme une partie de l'étude sur l'amélioration de la gestion forestière du pin sylvestre amenée par le Gouvernement de Navarre. Dans les neuf parcelles il s'y étudie l'influence des éclaircies forestières, en tenant compte 3 traitements différents : 3 parcelles control (avec 0% de la surface basale extraite), 3 parcelles avec un 20% de la surface basal extraite en 1999 et en 2009, et 3 parcelles avec un 30% de la surface basal extraite en 1999 et un 40% extrait en 2009. Le premier inventaire de la masse forestière a été réalisé en 1999, et après il s'est répété en 2008 et en 2013. La distribution des parcelles dans la masse a la forme suivante (voir figure 3.3) :

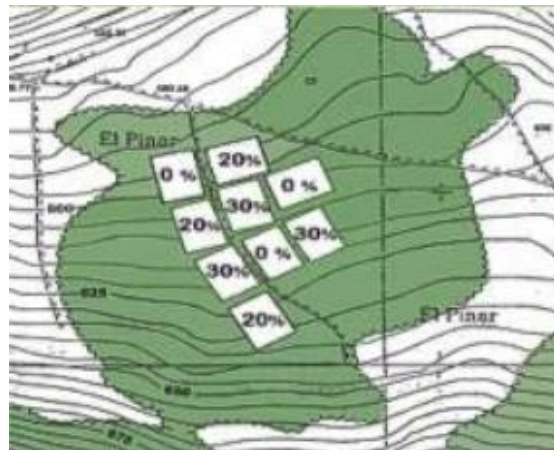


Figure 3.3 Distribution en parcelle des différents traitements d'éclaircie forestière. Obtenu à (Castillo, Imbert, Blanco, Traver, & Puertas, 2003)

### 3.1.3. Géographie

La zone en étude se trouve dans la zone des Pyrénées de la Navarre, qui occupe la moitié orientale de la zone de montagne de la communauté forale. Cette zone est formée par l'extrême occidentale des Pyrénées et ses systèmes de chaînes montagneuses associées. Les sommets plus hauts sont situés au nord à la Mesa de los Tres Reyes (2.438 msnm) jusqu'à le Sayoa (1.418 msnm) à l'ouest. Au fur à mesure qu'on descend vers le sud on a une série de vallées parallèles entre eux, perpendiculaires à l'axe des Pyrénées. Ces vallées sont : Roncal, Salazar, Arce, Erro, Arriasoiti et Esteribar. En fermant cette zone par le sud, se trouve le système de chaînes des Pyrénées parallèles aux Pyrénées, à une hauteur plus basse, qui sont : Leyre, Peña, Izco, Alaiz et El Perdón (Sola Anayeto, 1999). Le municipale de Navascués, qui est où se trouve l'étude faite, est situé entre la Chaîne de Leyre et la Vallée de Roncal, dans la Chaîne d'Illón (voir figures 3.4 et 3.5).

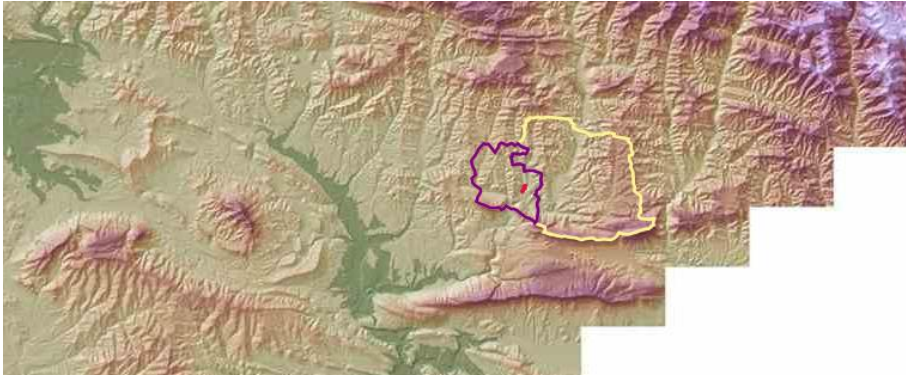


Figure 3.4 Carte de relief du municipe de Navascués et les environs, proportionné par (Gobierno de Navarra, 2018)

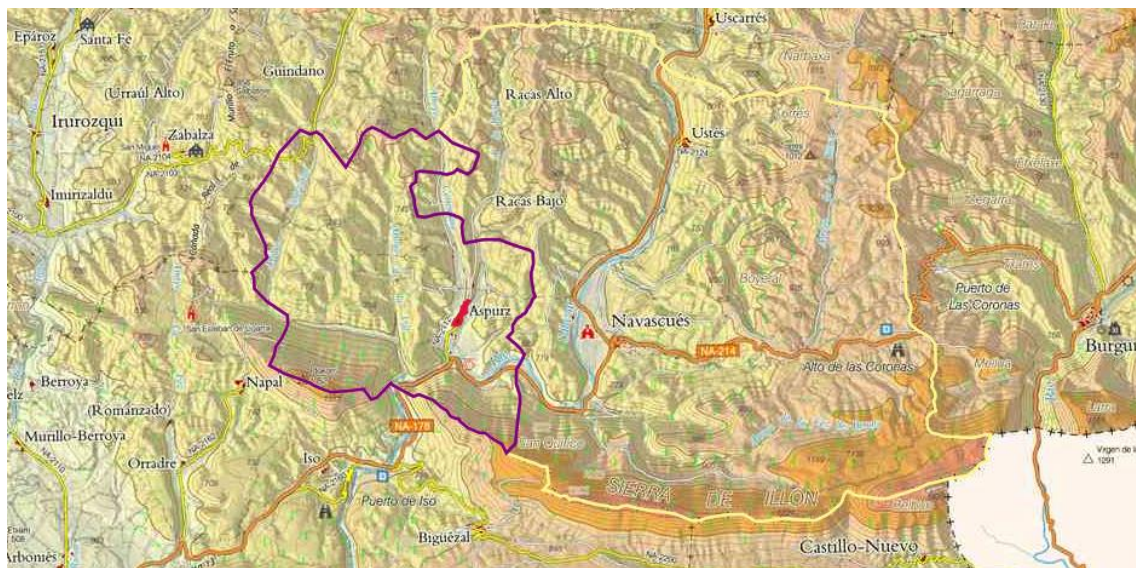


Figure 3.5 Cartographie topographique du municipe de Navascués et environs. Carte proportionnée par (Gobierno de Navarra, 2018)

#### 3.1.4. Géologie et géomorphologie

Le relief de la Navarre est conditionné par sa structure géologique. Les époques géologiques d'où procèdent ses unités lithologiques varient dès l'Ordovicien jusqu'aux temps actuels. Elle a une lithologie très variée, en soulignant la variété de roches sédimentaires, mais aussi des roches ignées et métamorphiques. Il est situé entre les Pyrénées et la Cordillère Cantabrique, avec presque la moitié méridionale sur le massif de l'Ebre et arrive jusqu'au bord du Système Ibérique. Donc, sa structure est très variée.

Elle est divisée en cinq zones avec une unité structurelle et une histoire géologique pareille : Zone des Pyrénées, Zone Basque-Cantabrique, Zone de Transition (entre les deux dernières, en comprenant la terminaison occidentale des Pyrénées), le Massif de l'Ebre et les Massifs paléozoïques (Gobierno de Navarra, 2018).

Les parcelles en étude se trouvent situées dans la Zone des Pyrénées, dans une zone avec des structures larges avec une vergence vers le sud. Cette vergence a produit des plis retournés, des chevauchements, des plis asymétriques qui deviennent violents dans des zones comme la Chaîne d'Illón. Les unités qui prennent plus d'importance sont les précédentes du Eocène et Paléocène (du Tertiaire) (Gobierno de Navarra, 2018). Les conjoints stratigraphiques de la zone sont de couverture marine (Sola Anayeto, 1999).

A la suite, la carte géologique des environs d'Aspurz et des parcelles en étude est montrée (Figure 3.6) :

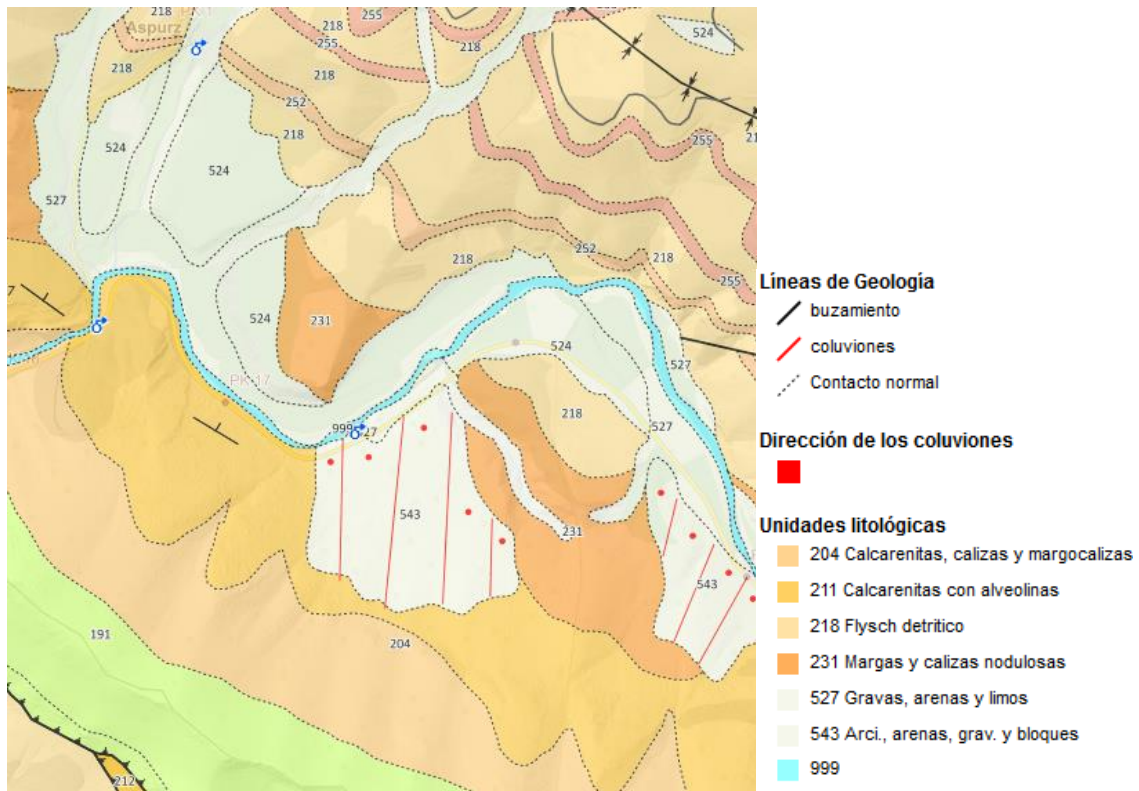


Figure 3.6 Carte géologique des environs des parcelles en étude à Aspuz. Obtenue à partir de la Carte Géologique de la Navarre, à (Gobierno de Navarra, 2018).

Comme il peut être observé, dans l'espace occupé par l'étude, il y a des sols formés par des argiles, des sables, du gravier et des blocs (unité lithologique 543).

### 3.1.5. Caractérisation climatologique

L'emplacement de l'étude se trouve dans la zone de frontière entre la région climatique méditerranéenne et le climat de montagne, dans la région climatologique moyenne de Navarre, en soulignant l'influence du climat méditerranéen sur le régime climatologique.

#### 3.1.5.1. Classification climatologique

##### 3.1.5.1.1. Selon J. Papadakis

Dans la figure 3.7, extraite du Gouvernement de la Navarre (2018), le climat à Aspuz est classifié comme un agro climat Méditerranéen Maritime Fraiche (Mef), qui est un climat tempéré humide avec des étés frais avec un ou deux mois secs. Le régime hydrique est Méditerranéen Humide (Gobierno de Navarra, 2018).

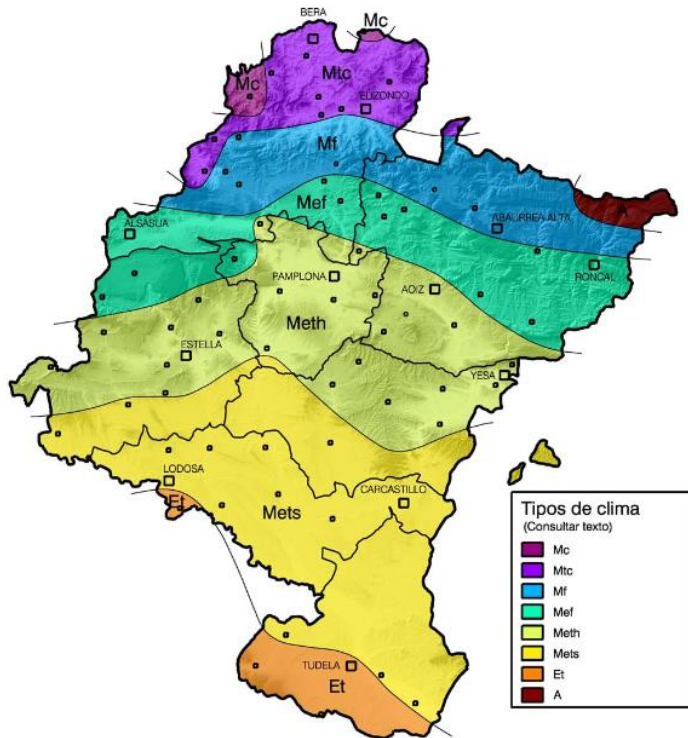


Figure 3.7 Classification agro climatique selon Papadakis de la Navarre (Gobierno de Navarra, 2018)

### 3.1.5.1.2. Selon Köppen

Selon cette classification, Aspurz se trouve dans la région climatique Cf2b, qui est nommée Climat Maritime de Côte Occidentale ou Océanique, avec deux mois secs en été. Il est un climat tempéré caractérisé par des étés frais et des précipitations abondantes (en exceptant ces deux mois). Les hivers sont froids (Gobierno de Navarra, 2018).

À la suite, les différentes zones climatiques de Navarre selon la classification de Köppen sont montrées (Figure 3.8) :

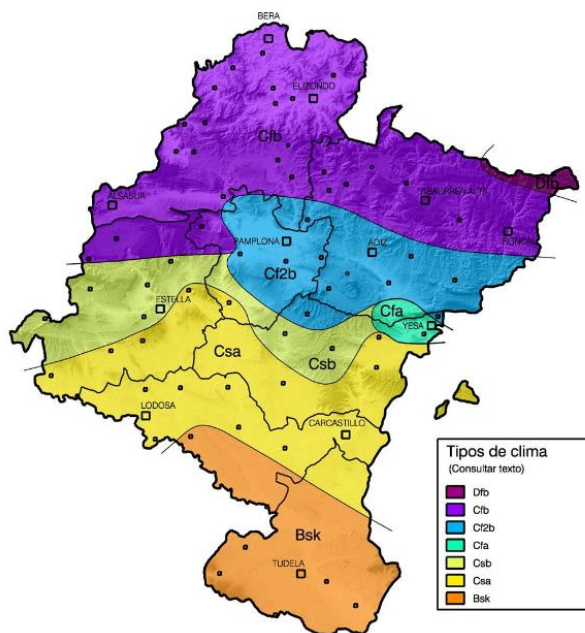


Figure 3.8 Classification climatique de la Navarre selon Köppen (Gobierno de Navarra, 2018)

### 3.1.5.2. Information climatologique de la station météorologique

La station choisie est la station manuelle de Navascués, très proche aux parcelles en étude. La figure 3.9 montre les moyennes des températures maximum et minimum mensuelles de la période comprise entre les années 2011 et 2017.

Le mois avec des températures minimum plus basses est Janvier, avec une moyenne de températures minimum par jour mensuelles de  $-6,9^{\circ}\text{C}$  et des maximums de  $15,6^{\circ}\text{C}$ . Le mois avec les températures plus hautes est le mois d'Aout, avec une moyenne de températures maximales par jour mensuelles de  $36,9^{\circ}\text{C}$  et une moyenne des minimales de  $7,2^{\circ}\text{C}$ .

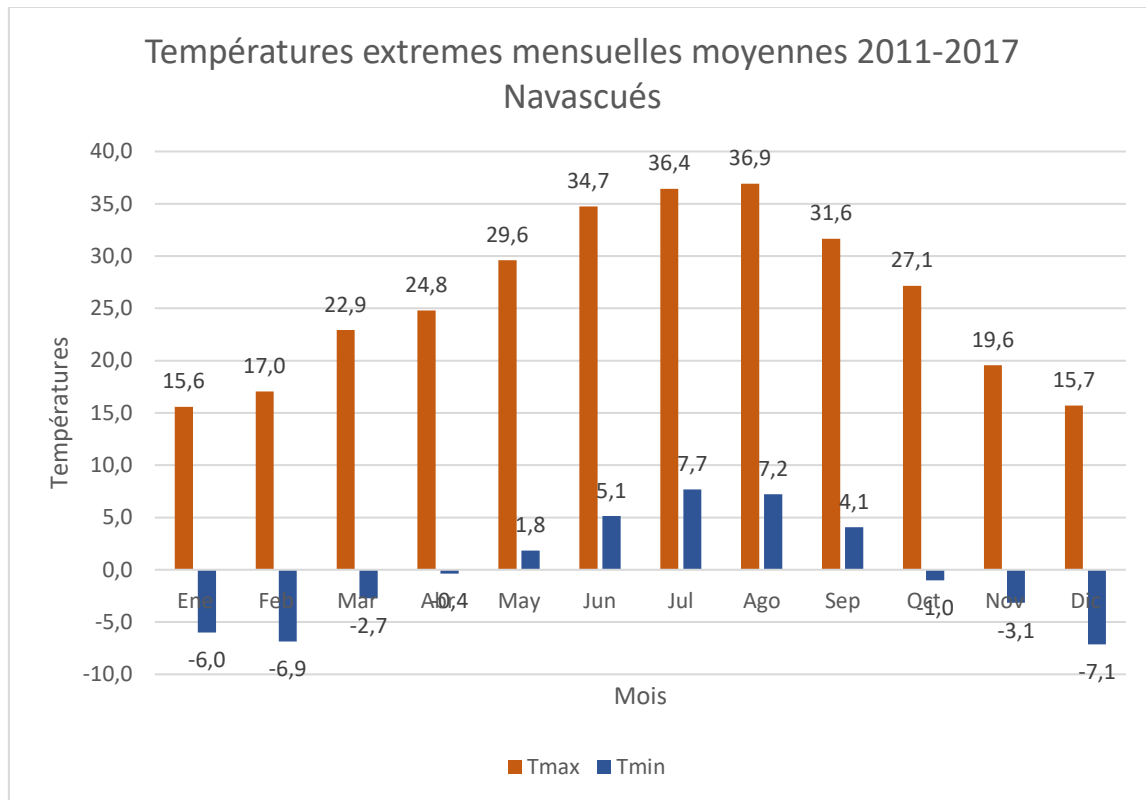


Figure 3.9 Graphique qui représente les moyennes des températures mensuelles maximums et minimums enregistrées dans la période entre les années 2011 et 2017 à Navascués. Propre élaboration à partir des chiffres obtenus du service de météorologie et climatologie du gouvernement de la Navarre (Gobierno de Navarra, 2018).

A la suite on montre les précipitations annuelles et leur distribution au cours de l'année (voir figure 3.10).

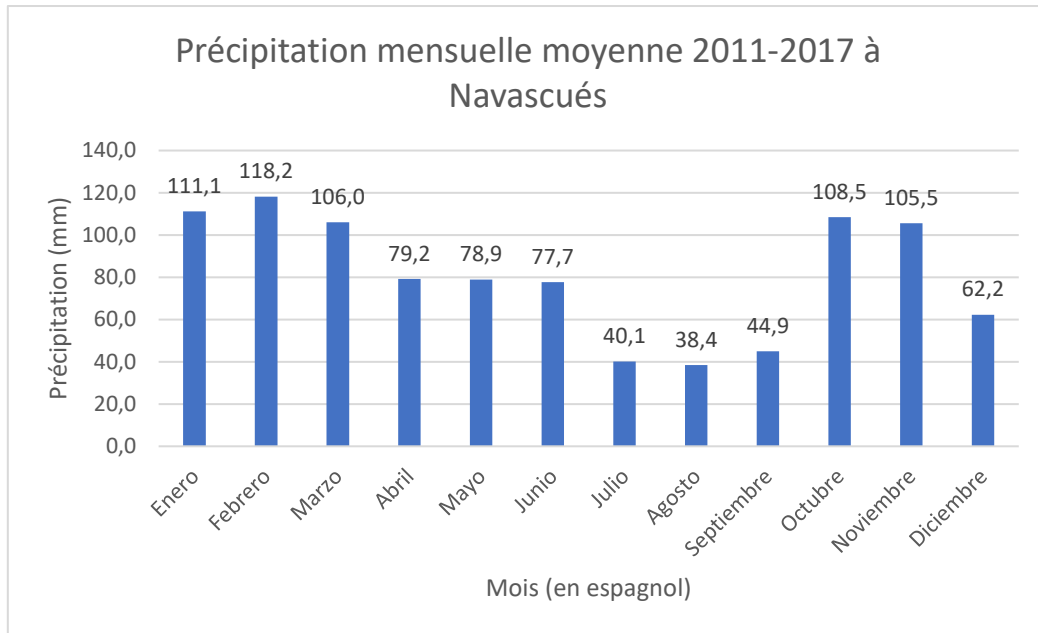


Figure 3.10 Chiffres de précipitation mensuelle moyenne de la période comprise entre les années 2011 et 2017. Propre élaboration à partir des chiffres de précipitation par jour accumulée, obtenues du service de météorologie et climatologie du Gouvernement de la Navarre (Gobierno de Navarra, 2018).

Comme il peut être constaté, le mois le plus humide avec plus de précipitations moyennes est Février (118,2 mm) et le mois le plus sec avec le moins de précipitations moyennes est aout (38,4 mm).

Ces caractéristiques conditionnent les êtres vivants qui habitent dans les différentes zones d'un territoire. Spécialement le climat prend encore plus d'importance car l'eau et sa distribution au cours de l'année sont les éléments déterminants qui influent sur les espèces qu'y habitent. Aussi, il y a des facteurs divers comme les matériaux du sol et leur composition, l'altitude, etc., qui peuvent conformer des unités écosystémiques.

### 3.1.6. Végétation

L'écosystème où se place l'étude est une hêtraies-pinède des Pyrénées où cohabitent des diverses espèces. Au niveau du sous-bois, il y a : des buis (*Buxus sempervirens*) et des houx (*Ilex aquifolium*) (voir figure 3.11), des ronces (*Rubus aquifolium*), des fougères (*Dryopteris filix*) et des espèces d'arbres de taille petite en développement, comme la chêne (*Quercus robur*), le hêtre (*Fagus sylvatica*) et le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*). Au niveau de végétation supérieure, il y a des pins sylvestres, des hêtres, quelques houx qui ont réussi à se développer encore plus, et en chiffres plus petites on trouve des chênes et une certaine présence de peupliers (*Populus L.*) car le cours de la rivière est proche des parcelles.





Figure 3.11 Zone avec un plus grand nombre d'exemplaires de *Buxus sempervirens* (à gauche) et un exemplaire d'*Ilex aquifolium* (à droite) dans le sous-bois d'Aspurz. Avril 2018.

À part de la végétation, on peut observer des claires évidences de présence de faune auxiliaire comme le sanglier, qui réalisent le travail de gratter le terrain en cherchant des racines, en déversant la terre et en oxygénant et en décompactant l'horizon superficiel du sol (voir figure 3.12). La faune auxiliaire n'a pas été prise en compte à l'heure de l'analyse des résultats car elle n'affecte pas de manière sélective à la croissance des arbres car elle est présente dans toutes les parcelles.



Figure 3.12 Trace d'un sanglier après avoir gratté la terre à la recherche des nutriments dans le sol à Aspurz. Avril 2018

### 3.2. Matériel végétal. Pin sylvestre

Le matériel végétal employé pour l'étude est le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*). Toutefois, à l'heure de la discussion et l'analyse des facteurs possibles influençant la croissance et développement des pins, les hêtres (*Fagus sylvatica*) qui cohabitent dans le peuplement des pins, ont été prises en compte. A la suite, il se procède à la description de l'espèce d'importance dans cette étude.

#### 3.2.1. Description botanique

La classification botanique de l'espèce *Pinus sylvestris* est la suivante :

- Royaume : Plantae
- Division : Pinophyta
- Classe : Pinopsida
- Ordre : Pinales
- Famille : Pinaceae
- Genre : *Pinus*
- Espèce : *Pinus sylvestris* L.

Dans sa classification botanique, cette espèce appartient à la famille des Pinacées. Cette famille a beaucoup d'importance du point de vue forestier. Elle est formée par des arbres monoïques de grande taille. Ils possèdent des feuilles aciculaires persistantes, excepte le genre *Larix*. Leurs fruits sont ligneux à la maturité, en amenant deux semences ou plus, ailées, par chaque écaille séminifère. Les pommes de pin peuvent accomplir la maturité la même année de floraisons, ainsi que s'élonger pendant deux ou trois ans. Les fleurs sont disposées en chatons.

En fonction du type d'insertion des acicules (engainées en groupes de deux, trois, ou cinq, d'insertion fasciculée ou d'insertion isolée) et à la fois des critères comme le type de feuille ou les caractéristiques de ses pommes, il y a des genres différents. Le genre auquel appartient l'espèce en étude est le *Pinus* L. En Espagne, il y a sept espèces de pins appartenant à ce genre de manière naturelle : *Pinus canariensis*, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Pinus sylvestris* et *Pinus ulcinata*.

L'espèce de pin utilisé dans cette étude est le *Pinus sylvestris* L., vulgairement appelée pin sylvestre, pin de Valsain, pin d'Ecosse ou pin albar (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

#### 3.2.2. Morphologie

Le pin sylvestre est un arbre de taille moyenne-grande, capable d'arriver aux 35-45 mètres de haut. Son tronc est cylindrique et droit, avec une faible ramification dans le tiers inférieur, car l'autotaille naturelle fait que les branches mortes débilitées tombent du tronc. Dans des peuplements de montagne, il montre des canopées très recueillies, avec des branches très fines et courtes, en augmentant sa résistance aux neiges. Son fret peut arriver à se déformer avec l'âge, avec une tendance à l'asymétrie, spécialement dans les sommets et dans les zones avec des vents très forts. L'écorce jeune est très fine et a une couleur jaune-verdâtre qui se cède en écailles en laissant voir à l'étape adulte un tronc rougeâtre orange très caractéristique.

Son système racinaire est très développé, en partant d'une racine principale longue et forte de laquelle les racines secondaires partent. Quelquefois ponctuelles et sporadiques, il est tombé par le vent, mais il est habituel que son fort ancrage au sol fasse rompre son tronc et s'éclate par sa base, après des épisodes de vents importants.

Les feuilles avec des acicules cortès, entre 3 et 6 centimètres, et une grosseur de 1 à millimètres. Elles se tordent hélicoïdalement et elles son rigides, pinçant et ont une couleur verte glauque.

Les pommes son petites, de 3 à 8 centimètres de longueur et de 2 à 3 centimètres de grosseur, et sont situées assises ou pendulaires. Quand elles accomplissent la maturité elles passent d'une couleur verte a un marron jaunâtre (Montoya Oliver & Mesón García, 2004) (voir Figure 3.13).



Figure 3.13 Morphologie des feuilles et du fruit de *Pinus sylvestris* L. (Müller, 2018) (à gauche) et un bois de pin sylvestre à Aspurz.

### 3.2.3. Cycle végétatif

Le cycle végétatif commence avec la germination de la semence dans le sol. Aussi comprend plusieurs procès physiologiques : absorption d'eau par imbibition (en gros mesure), commence le grossissement et la division cellulaire, l'activation d'enzymes, l'hydrolysatation des composes, l'augmentation des taux de respiration, l'augmentation de la croissance et la division cellulaire, et le début de la différenciation cellulaire dans les différents tissus et organes de l'exemplaire régénéré. Cette germination prend lieu la première année après la tombée car sa viabilité de la semence est basse.

À la suite, une fois quelle est germinée, il prend lieu le développement initial, qui comprend deux périodes : étape succulente, qui prend quelques semaines et consiste à l'endurcissement de l'hypocotyle une fois qu'il apparait sur la surface du sol, et une étape juvénile, dans laquelle le durcissement de l'hypocotyle continue et la plante est établie dans l'emplacement avec un risque de mortalité bas. Cette deuxième étape prend plusieurs ans.

La plante continue son développement en finissant son étape juvénile quand elle est considérée établie et le taux de mortalité potentiel est basse.

Cette espèce a une longévité moyenne (dans des conditions de non intervention) de 300-350 ans à peu près, en ayant des individus qui arrivent à plus de 500 ans. Dans des masses avec une exploitation sylvicole, cette espèce est retirée aux 70-90 ans, mais avec les éclaircies, les individus sont coupés à un âge mineur de façon progressive (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

#### 3.2.4. Exigences pour la germination et l'établissement

Le pin sylvestre est une espèce très versatile, capable de survivre dans des substrats très diverses (en vivant dans des marnes plâtreuses, en étant le pin qui résiste le mieux à l'hydromorphie), des climats humides et froids ou des climats continentaux très froids ou extrêmement froids. Il peut aussi prospérer dans des climats tempérés avec des régimes d'eau très variés (climats atlantiques et méditerranéens) (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

Il a besoin d'un minimum de lumière pour germer et se développer dans la masse (Cañellas, Martínez García, & Montero González, 2000). Il a un tempérament variable en fonction du climat et l'écotype, étant dans nos zones une espèce de tempérament moyen avec une tendance vers la lumière (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

Le succès ou échec de la germination dépend de : facteurs édaphiques, la nature, la composition chimique (sur le sol il peut y exister une couche de grosseur grande ou petite de matière organique partiellement décomposée qui peut contenir des substances qui inhibent la germination, ainsi qu'un haut contenu en sales qui la retardent ou même l'évitent), la structure physique du sol et la profondeur à laquelle reste la semence, influençant dans l'aération et pénétration de la lumière. La germination peut se voir favorisée par une légère couverture (Aroca Fernández, 2016). En plus, le pin sylvestre est un grand colonisateur des zones nues, même s'il n'y a pas beaucoup de sol.

En Espagne il est une espèce de montagne, en se développant dès les 500 msnm jusqu'aux 2000 msnm, en étant son altitude optimale de développement aux 1500 msnm.

#### 3.2.5. Pestes et maladies à Aspurz

D'entre les pestes qui affectent à cette culture de pin sylvestre, à Aspurz on observe une présence importante de :

- Gui (*Viscum album* L.) (voir figure 3.14) : est une plante semi parasite qui adhère ses racines aux tissus vasculaires de l'arbre, en extrayant la sève de l'arbre pour se développer. Quand elle introduit ses racines dans les branches et dans le tronc de l'arbre, elle provoque des points de rupture dans l'arbre, et facilite l'entrée d'autres pathogènes. Après avoir fructifié, sa semence est propagée par les oiseaux qui les mangent et les entraînent parmi leur digestion à d'autres arbres, et aussi par l'action du vent. Il peut accomplir le mètre de hauteur, et ses fruits sont des baies blanchâtres. En nombre petit, il ne présente pas de problème important dans l'arbre, mais au fur à mesure qu'il grandit et se multiplie, il peut générer des pertes en réduisant la croissance de l'arbre. Certains arbres ont beaucoup de plantes de gui dans leur canopées (voir figure 3.15).



Figure 3.14 Partie végétative d'une plante de gui à Aspurz. Avril 2018



Figure 3.15 Canopées de pin sylvestre à Aspurz avec du gui. Avril 2018

- Plantes grimpantes (*Hedera helix*) : est une plante qui prend avantage de la fermeté du tronc de pin pour s'adhérer aux racines de la tige à l'écorce (elle a aussi une partie du système racinaire dans le sol), qui se serre au tronc sans problème car il a des crevasses, et cherche des zones plus hautes où elle peut obtenir plus de lumière. Elle ne suppose pas un problème important dans ses étapes initiales de sa croissance, mais au fur à mesure qu'elle continue à grandir s'enroulant sur l'axe du tronc et en développant de la croissance secondaire, elle peut empêcher le pin de grandir en grosseur, et dans des étapes avancées elle peut finir par lui empêcher sa croissance générale. Dans certaines zones de la parcelle sa présence importante peut être observée (voir figure 3.16).



Figure 3.16 Pins à Aspurz avec une invasion de grimpantes dans la longueur du tronc. Avril 2018.

Il n'y a pas de constance des maladies qui génèrent des problèmes significatifs dans cette forêt à Aspurz, donc, elles ne sont pas signalées.

### 3.3. Réalisation des inventaires forestiers

Les travaux sur champ ont eu lieu dans le mois de mars de 2018. Les activités qui ont été réalisés, qui s'expriment à la suite, ont été les suivantes : identification et marquage/numération des pins, mesure des diamètres et mesure des hauteurs.

#### 3.3.1. Identification et numération des pins

Cette activité a consisté à chercher les pins de chaque parcelle indiqués sur leur carte correspondante de parcelle et, à la suite, il s'est procédé à marquer avec un spray blanc son numéro. Avec le cours des ans, la numération commence à disparaître, donc, il y a besoin de les repasser. La marque a été faite à une hauteur de 1,3 mètres sur le sol, en utilisant aussi une lime pour gratter suffisamment l'écorce pour que dans les années suivantes elle ne parte pas dû à l'expansion de l'écorce avec le grandissement du tronc (voir figure 3.17).



Figure 3.17 Pins énumérés avec le spray blanc. Avril 2018

### 3.3.2. Mesure des diamètres

La mesure des diamètres a consisté en mesurer deux diamètres perpendiculaires de chaque pin, de tous les pins énumérés de chaque parcelle, à une hauteur de 1,3 mètres sur le sol. Pour ça, une forcipule de précision de 1 millimètre a été utilisée (voir figure 3.18).



Figure 3.18 Forcipule utilisée pour les mesures des diamètres. Avril 2018

Apart de la mesure du diamètre, les arbres ont été classifiés par leur classe sociologique (dominant, codominant, intermédiaire et occlus). Aussi des caractéristiques pertinentes ont été notées, comme l'état (vivant, mort ou canopée cassée), la présence des grimpantes et en quelle proportion du tronc, la présence du gui, si l'arbre était bifurqué, trifurqué ou quadrifurqué, etc.

### 3.3.3. Mesure des hauteurs

Pour mesurer les hauteurs on a utilisé un appareil de mesure « Vertex », qui utilise des ultrasons pour déterminer la distance à laquelle se trouve l'arbre à mesurer, ainsi que l'angle avec lequel le mesureur envisage la canopée. A partir de là, l'appareil obtient par trigonométrie la valeur de 6 hauteurs pour chaque arbre et la distance horizontale de la mesure. Les chiffres ont été notés dans un tableau d'affichage, en notant aussi la distance horizontale pour s'assurer qu'il n'y avait pas d'erreurs dans les résultats pendant les mesures.

Ils ont été mesurés de chaque parcelle (voir figure 3.19), les hauteurs de 5 pins de chaque classe sociologique (5 dominants, 5 codominants, 5 intermédiaires et 5 occlus) pour avoir une sélection représentative des parcelles, pour un total de 5 arbres x 4 classes x 9 parcelles = 180 arbres mesurés.



Figure 3.19 Mesure des hauteurs des pins dans les parcelles à Aspurz. Avril 2018

### 3.4. Analyse réalisée

L'analyse qui a été réalisée a eu une première partie où les chiffres ont été traités et organisés, et une deuxième partie qui a consisté à l'analyse statistique de variance des chiffres prises au champ.

#### 3.4.1. Traitement des chiffres (Excel)

A partir des chiffres obtenus des diamètres et des hauteurs des pins, on a calculé la surface basale. Avec ces trois chiffres, ils ont été regroupés dans des tables dynamiques où les différentes variables ont été présentées (nombre d'arbres et son état, hauteurs moyenne, diamètres moyens, surface basale et surface basale moyenne) en fonction de la classe sociologique et le type d'intervention forestière réalisée. Après on a calculé les moyennes, les variances, les déviations typiques et leur erreur standard.

À la suite, les chiffres ont été regroupés dans des graphiques de barres et en rond (celui-ci pour la distribution de la surface basale par classe sociologiques en fonction du traitement), en montrant aussi l'erreur standard, qui sont présentées dans le chapitre « Résultats ». Le programme informatique pour réaliser cette analyse est « Microsoft Excel 10.0 (Seattle, WA, EE.UU.) ». Après cette analyse des différences qui pourraient être significatives ont déjà été observées.

#### 3.4.2. Analyse statistique

L'analyse statistique a consisté à une analyse de variance (ANOVA) d'un ou plusieurs facteurs, pour lequel on a utilisé le programme statistique « JMP 12.0 de SAS systems (Cary, NC, EE.UU.) ». Pour réaliser l'analyse de variance, il y a des conditions à accomplir par l'échantillon. Au cas où ils s'acceptent, l'analyse peut se dérouler.

##### 3.4.2.1. Vérification de la qualité des chiffres

Comme étape préalable à réaliser l'analyse de variance pour vérifier si les différences entre traitements dues aux facteurs étudiés sont significatives ou non, il a été vérifié que les prises de distribution normale des chiffres et l'homogénéité de variances s'accomplissait. Quand ça ne se produisait pas, les chiffres étaient transformés en logarithmes népériennes.

Pour vérifier que les chiffres accomplissent les conditions, les tests suivants ont été faits :

- Distribution normale : testée avec le Test de Shapiro-Wilk et de Kolmogorov-Smirnov. Si visuellement les chiffres s'ajustaient à une distribution normale on a considéré que qu'il était correct pour continuer avec le test ANOVA même si le test de Shapiro-Wilk indiquait une absence de normalité, car le nombre de chiffres était très élevé et l'ANOVA n'irai pas présenter des déviations notables.
- Homogénéité de variances (homoscédasticité) : il a été testé par le test de Levene, le test d'O'Brien, le test de Brown-Forsythe et le test de Barlett, en considérant que la condition s'accomplissait quand au moins un des tests d'homogénéité de variances ne détectait pas des différences significatives.

##### 3.4.2.2. Analyse de variance

Le test ANOVA est un test statistique qui analyse la variance de l'échantillon statistique en étude, en vérifiant si la variabilité des chiffres entre les différents groupes du même échantillon. Il montre avec un niveau de signification établi en avance (0,05 dans ce cas-là) s'ils y existent des différences significatives dans les variances dues au traitement étudié et ne pas au hasard, avec un contraste d'hypothèse.



En fonction de la variable en étude, parfois un seul facteur a été analysé (type d'intervention forestière réalisée), d'autres de deux facteurs (type d'intervention forestière réalisée et classe sociologique des arbres), ainsi que de l'interaction entre elles.

Au cas où la signification obtenue était inférieure à celle établie, on a refusé l'hypothèse nulle (qui indique que les moyennes des groupes sont égales). Alors, dans ces cas-là il y a des différences significatives entre les groupes de chiffres, à cause du facteur ou des facteurs étudiés. Dans les cas où il y a eu des différences significatives, l'épreuve de Tukey HSD « Honestly Significance Difference », pour savoir dans quel groupe est différent.

Avec ces résultats, ces lettres ont été incluses dans les graphiques faites en Excel, indiquant les différences entre les groupes de chiffres.

## 4. Résultats

À la suite, les résultats obtenus d'après l'analyse sont montrés. On a analysé le nombre d'arbres et leur état en fonction de l'intervention forestière réalisée, la hauteur moyenne des classes sociologiques en fonction de l'intervention forestière, le diamètre des classes sociologiques en fonction du traitement et la surface basale moyenne de chaque intervention forestière.

### 4.1. Nombre d'arbres et leur état dans les différents traitements dans la masse

Dans la figure 4.1 s'observe comment le nombre d'arbres avec la canopée cassée ne présente pas des différences importantes en fonction du type d'intervention forestière, elle n'est pas significative (voir table 4.1). Même si le nombre d'arbres morts a une claire tendance à être plus haute dans les parcelles témoin, en étant presque le double que dans les parcelles avec un 20% de la surface basale éclairée, les analyses statistiques n'ont pas détecté des différences significatives (voir table 4.2). Les parcelles avec une éclaircie d'une intensité plus forte (30-40%) présentent un nombre d'arbres morts encore plus petit, en étant presque un tiers des individus morts des parcelles avec une intensité d'éclaircie moyenne (20% de la surface basale), mais de nouveau, ne présentent pas de différences significatives (voir table 4.2).

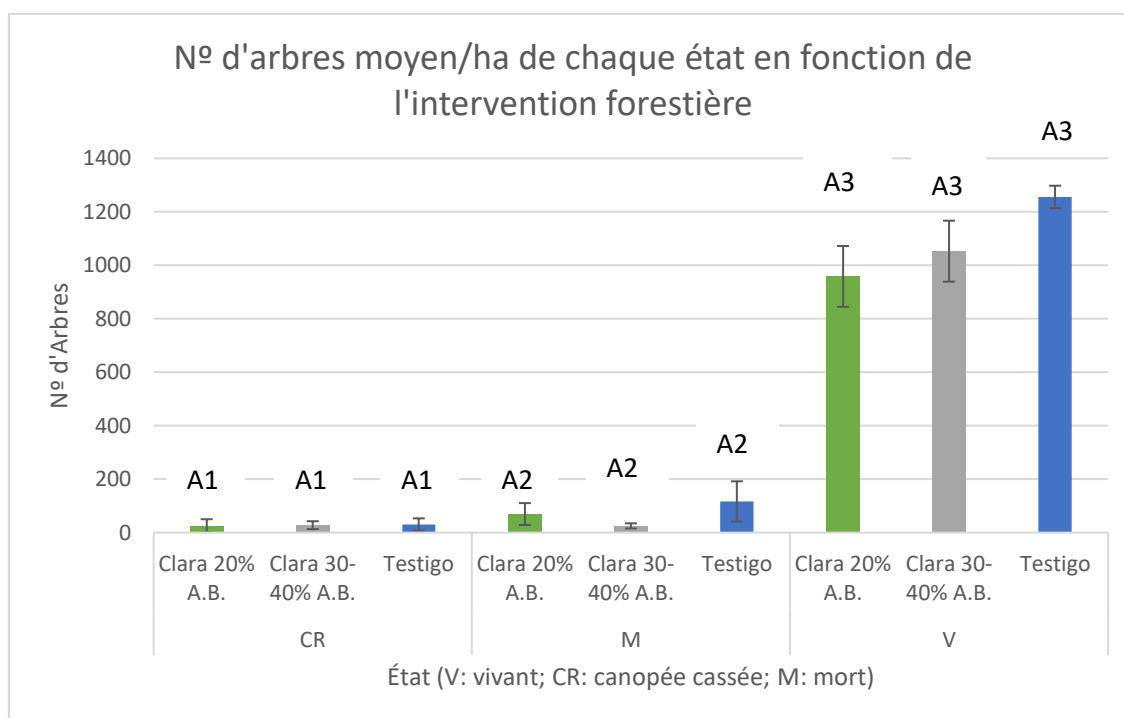


Figure 4.1 Représentation graphique des résultats du nombre d'arbres moyen pour chaque état sanitaire (CR, M et V) dans un hectare pour les différents interventions forestières (« testigo » : témoin, « clara del 20% del área basal » : éclaircie du 20% de la surface basale et « clara del 30-40% del área basal » : éclaircie du 30-40% de la surface basale). Lettres différentes indiquent des différences significatives entre les traitements, nombres différents montrent différences significatives entre les types d'arbres (Tukey HSD  $p < 0,05$ ). Les barres d'erreur montrent l'erreur standard des moyennes du nombre d'arbres de chaque état et traitement des trois parcelles.

Il s'observe un nombre plus haut d'arbres vivants dans les parcelles témoin par rapport aux parcelles avec des éclaircies. Par un autre côté, dans les parcelles avec un 30-40% de la surface basale éclairée le nombre d'arbres vivants est plus grande que celui des parcelles avec un 20% de la surface basale éclairée. Avec l'analyse statistique se démontre que les différences ne sont pas significatives (voir table 4.3), c'est-à-dire, qu'elles ne se doivent pas au traitement

d'intervention forestière fait. Donc, l'intervention forestière réalisée, après 10 ans dès la dernière, n'a plus d'influence significative sur le nombre d'arbres vivants, avec la canopée cassée ou morts.

Table 4.1 Analyse de variance (ANOVA) du nombre d'arbres avec la canopée cassée en fonction du traitement.

<b>Analysis of Variance</b>				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	46.2963	23.15	0.0170
Error	6	8148.1481	1358.02	<b>Prob &gt; F</b>
C. Total	8	8194.4444		0.9831

<b>Effect Tests</b>					
Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Tratamiento	2	2	46.296296	0.0170	0.9831

Table 4.2 Analyse de variance (ANOVA) du nombre d'arbres morts en fonction du traitement.

<b>Analysis of Variance</b>				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	12608.025	6304.01	0.8502
Error	6	44490.741	7415.12	<b>Prob &gt; F</b>
C. Total	8	57098.765		0.4731

<b>Effect Tests</b>					
Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Tratamiento	2	2	12608.025	0.8502	0.4731

Table 4.3 Analyse de variance (ANOVA) du nombre d'arbres vivants en fonction du traitement.

<b>Analysis of Variance</b>				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	138379.63	69189.8	2.4978
Error	6	166203.70	27700.6	<b>Prob &gt; F</b>
C. Total	8	304583.33		0.1625

<b>Effect Tests</b>					
Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Tratamiento	2	2	138379.63	2.4978	0.1625

#### 4.2. Hauteur moyenne des classes sociologiques en fonction du traitement

Il ne s'apprécie pas de différences significatives, comme il peut être observé dans la figure 4.2, en hauteurs, en fonction de l'intensité des éclaircies (témoin, 20% de la surface basale et 30-40% de la surface basale) pour les classes sociologiques dominantes, codominantes et intermédiaires. Les individus occlus montrent des différences entre les parcelles témoin et le reste des interventions, étant plus grandes les hauteurs des arbres occlus dans les parcelles témoin.

Les différences plus significatives qui s'observent entre les arbres se doivent à la classe sociologique (voir table 4.4). Les arbres codominants et les dominants présentent des hauteurs moyennes égales, en étant significativement plus hautes que celle des occlus.

En plus, des différences sont observées dans les hauteurs dues à l'interaction entre « classe\*traitement » mais d'une façon plus petite (voir table 4.4). Dans la figure 4.2 on peut apprécier les différents niveaux de signification de l'interaction, en étant les dominants du traitement témoin les plus hauts. Les arbres occlus des parcelles avec une éclaircie du 20% de la surface basale sont les plus petits.

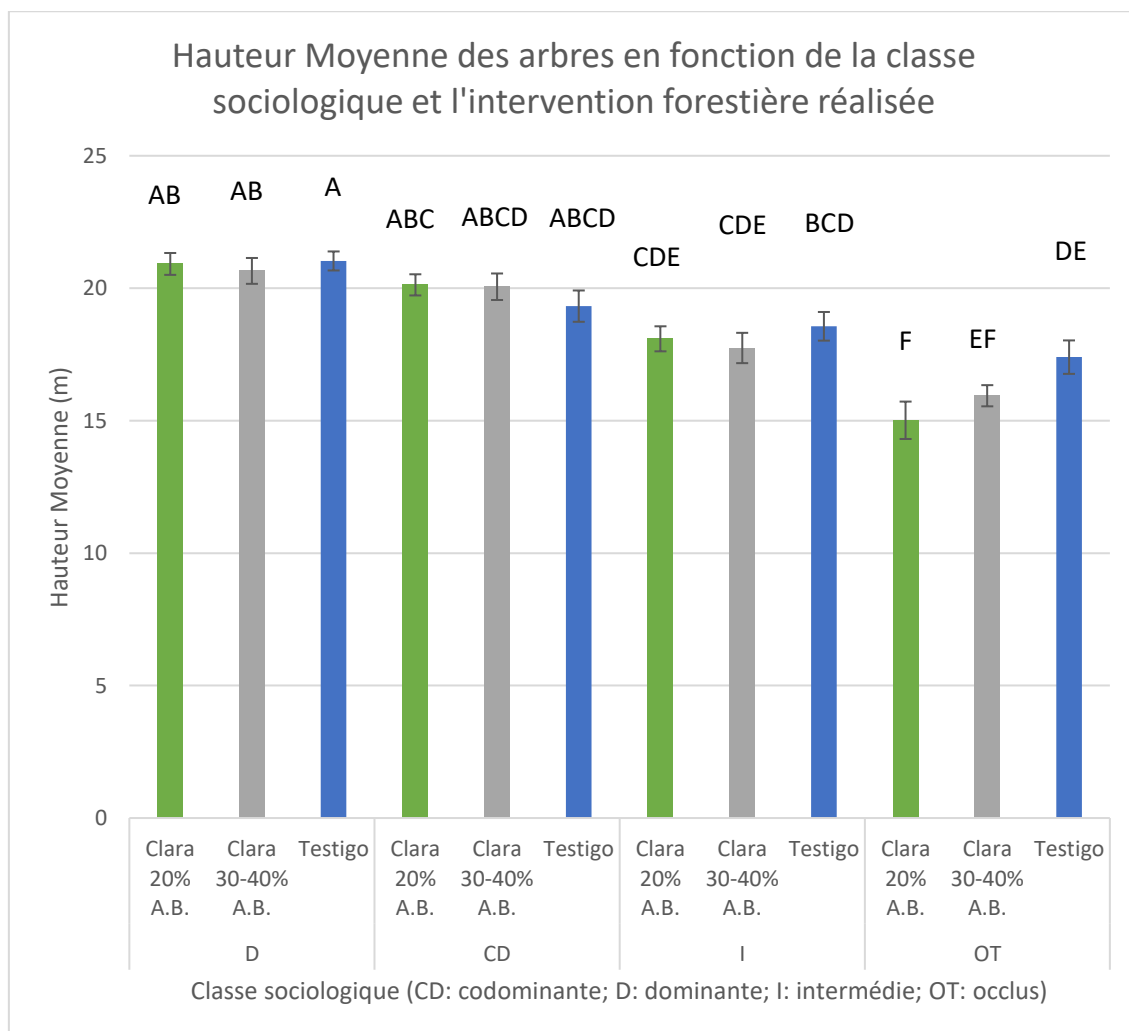


Figure 4.2 Représentation graphique des hauteurs moyennes des 5 arbres de chaque classe sociologique de chaque parcelle des différents interventions forestières (« testigo » : témoin, « clara del 20% del área basal » : éclaircie du 20% de la surface basale et « clara del 30-40% del área basal » : éclaircie du 30-40% de la surface basale). Lettres différentes indiquent des différences significatives entre les traitements. Les barres d'erreur montrent l'erreur standard des moyennes d'hauteur de chaque classe et traitement des trois parcelles.

Table 4.4 Analyse de variance (ANOVA) de la hauteur moyenne en fonction du traitement et de l'interaction traitement\*classe.

Analysis of Variance				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	11	619.3613	56.3056	14.3906
Error	166	649.5000	3.9127	<b>Prob &gt; F</b>
C. Total	177	1268.8613		<.0001*

Effect Tests					
Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Tratamiento	2	2	13.42454	1.7155	0.1830
Clase	3	3	548.02878	46.6886	<.0001*
Tratamiento*Clase	6	6	52.26874	2.2265	0.0430*

### 4.3. Diamètres des classes sociologiques en fonction du traitement

La plus grande interaction s'observe entre les traitements et entre les classes sociologiques, et ne pas sur l'interaction d'elles (voir table 4.5). Le diamètre moyen des parcelles avec une éclaircie du 20% de la surface basal est significativement plus grand que le diamètre des parcelles témoin ou avec une éclaircie du 30-40% de la surface basale. Les arbres dominants ont un diamètre significativement plus grand que les codominants, qui ont des diamètres plus grands que les intermédiaires, qui ont un diamètre moyen plus grand que les occlus, respectivement (voir figure 4.3).

Table 4.5 Analyse statistique de variance (ANOVA) du logarithme du diamètre moyen

Analysis of Variance				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	11	54.442134	4.94928	144.8385
Error	1194	40.800255	0.03417	<b>Prob &gt; F</b>
C. Total	1205	95.242389		<.0001*

Effect Tests					
Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Tratamiento	2	2	1.014555	14.8452	<.0001*
Clase	3	3	52.587487	512.9826	<.0001*
Tratamiento*Clase	6	6	0.337547	1.6464	0.1309

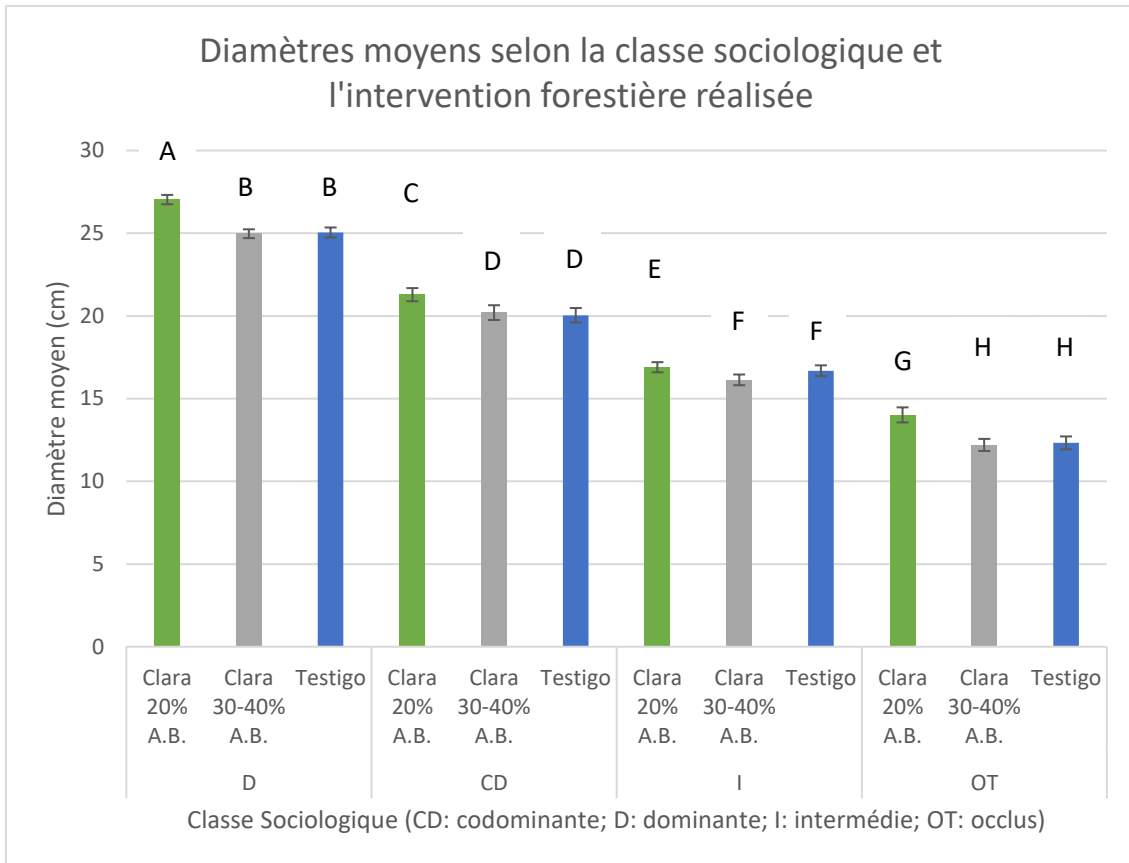


Figure 4.3 Représentation graphique des diamètres moyens des classes sociologiques de chaque intervention d'éclaircie (« testigo » : témoin, « clara del 20% del área basal » : éclaircie du 20% de la surface basale et « clara del 30-40% del área basal » : éclaircie du 30-40% de la surface basale). Lettres différentes indiquent des différences significatives entre les traitements. Les barres d'erreur montrent l'erreur standard des moyennes de diamètre de chaque classe et traitement des trois parcelles.

#### 4.4. Surface basale des différentes interventions forestières

Comme il peut être observé dans la figure 4.4, il y a une claire tendance à que la surface basale soit plus grande dans les parcelles témoin. Cependant, après avoir réalisé l'analyse statistique, il est observé que ces différences ne sont pas significatives (voir table 4.6), donc l'éclaircie réalisée en 2009 n'a plus d'effet.

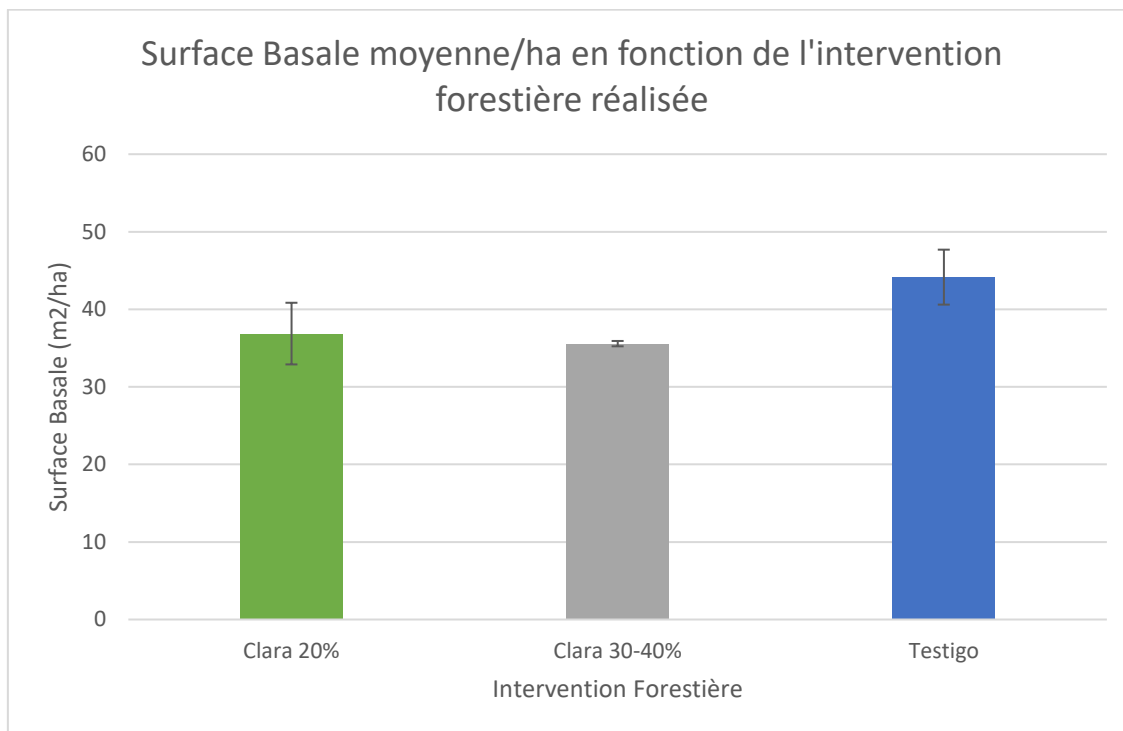


Figure 4.4 Représentation graphique de la moyenne des surfaces basales des parcelles par hectare avec les différents traitements d'intervention forestière : « testigo » : témoin, « clara del 20% del área basal » : éclaircie du 20% de la surface basale et « clara del 30-40% del área basal » : éclaircie du 30-40% de la surface basale. Les barres d'erreur montrent l'erreur standard des moyennes de la surface basale par hectare de chaque traitement, des trois parcelles.

Table 4.6 Analyse statistique de variance (ANOVA) de la Surface basale moyenne par hectare pour les différents traitements forestiers.

Analysis of Variance				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	128.23652	64.1183	2.2522
Error	6	170.81358	28.4689	<b>Prob &gt; F</b>
C. Total	8	299.05011		0.1864

Effect Tests					
Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Tratamiento	2	2	128.23652	2.2522	0.1864

Dans la figure 4.5 se présente la surface basale par hectare de chaque classe sociologique en fonction du type d'intervention forestière. Le pourcentage de surface basale correspondant aux arbres dominants est plus grand que dans les parcelles témoin. Le

pourcentage de la surface basale correspondant aux arbres codominants est plus grand dans les parcelles avec une éclaircie du 30-40% de la surface basal, en étant suivi par les parcelles avec une éclaircie du 20% de la surface basale et les parcelles témoin, respectivement. Le pourcentage de surface basal correspondant aux arbres intermédiaires est plus grand dans les parcelles témoin. En ordre descendant les suivants pourcentages de la surface basale correspondants aux arbres intermédiaires les ont les parcelles avec u 20% de la surface basale éclairée et 30-40% de la surface basale éclairée. Le pourcentage de la surface basale correspondante aux arbres occlus es plus haut dans les parcelles témoin et dans celles qui ont 20% de la surface basale éclairée (la valeur est pratiquement la même), en étant deux fois la valeur correspondante aux parcelles avec un 30-40% de la surface basale éclairée.

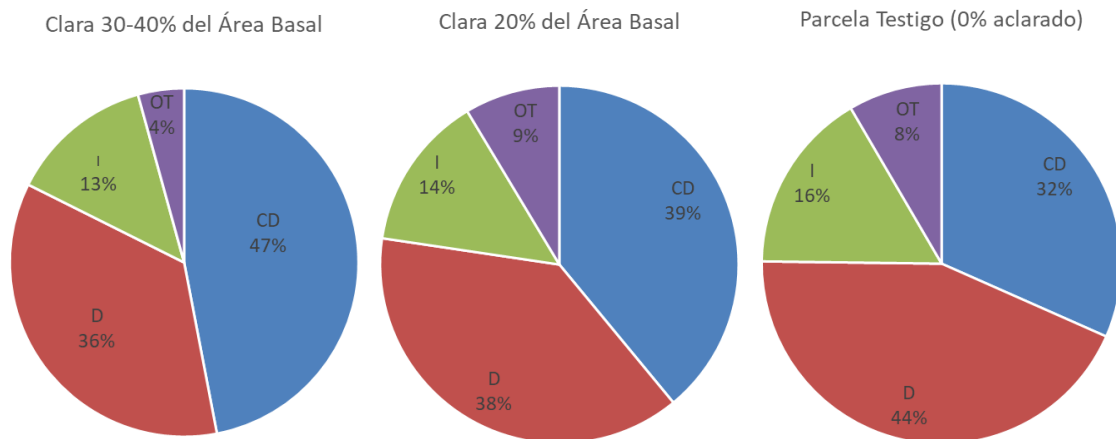


Figure 4.5 Pourcentage de la Surface basale par hectare de chaque traitement en fonction de la classe sociologique (« Clara 30-40% del Área Basal » : éclaircies du 30-40% de la surface basale, « Clara 20% del Área Basal » : éclaircies du 20% de la Surface basale et « Parcela Testigo » : parcelle témoin)

À la suite se montre la Surface basale moyenne par arbre en fonction du type d'intervention forestière réalisée. Les parcelles avec une éclaircie du 20% de la surface basale présentent une Surface basale moyenne par arbre plus grande, qui montre que la moyenne du



diamètre des arbres dans ces parcelles est aussi plus grand (voir figure 4.6). L'analyse de variance montre que ces différences sont significatives (voir table 4.7).

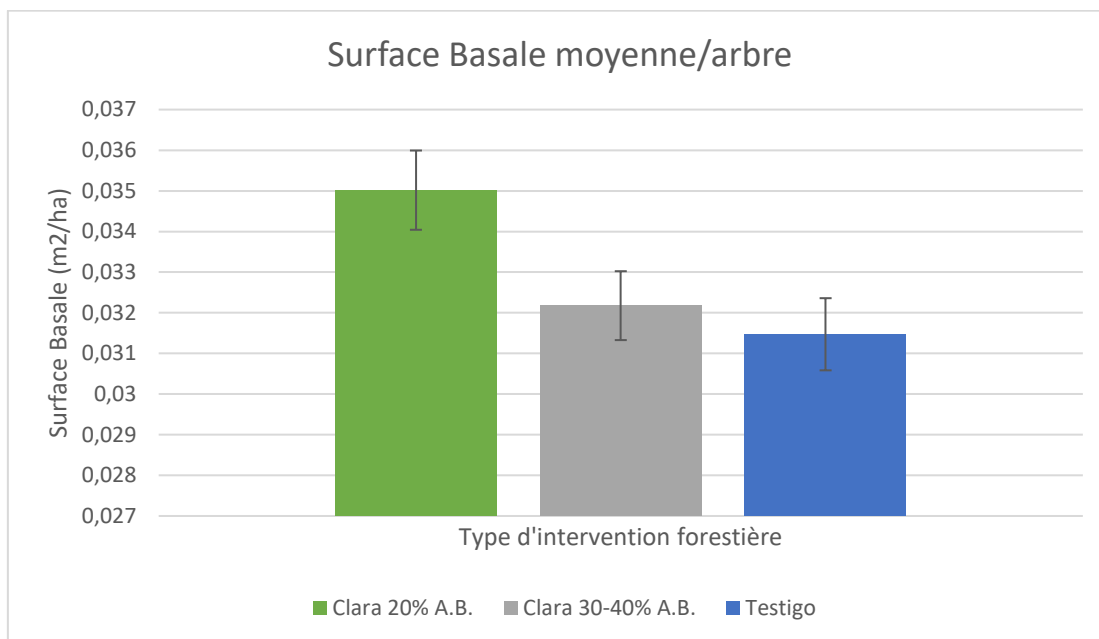


Figure 4.6 Surface basale moyenne par arbre en fonction du traitement forestier réalisé. Les barres d'erreur montrent l'erreur standard de la Surface basale moyenne par arbre, pour chaque traitement, des trois parcelles. (« Clara 30-40% del Área Basal » : éclaircies du 30-40% de la surface basale, « Clara 20% del Área Basal » : éclaircies du 20% de la Surface basale et « Parcela Testigo » : parcelle témoin).

Table 4.7 Analyse statistique de variance (ANOVA) pour la surface basale moyenne par arbre pour chaque intervention forestière

Analysis of Variance				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	0.00001582	7.911e-6	0.2162
Error	6	0.00021952	0.000037	<b>Prob &gt; F</b>
C. Total	8	0.00023534		0.8116

Effect Tests					
Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Tratamiento	2	2	0.00001582	0.2162	0.8116

## 5. Discussion

### 5.1. Nombre d'arbres

Les éclaircies sont des interventions forestières qui permettent de contrôler l'épaisseur d'une masse forestière intervenue, avec l'objectif d'empêcher les arbres d'arriver avec leur croissance continuée à la capacité de charge de l'écosystème. De cette manière la croissance des arbres présents s'augmente pour pouvoir avoir des performances économiques meilleures. Les éclaircies se basent sur la diminution de la compétence entre individus pour augmenter la disponibilité d'eau, de nutriments de lumière, etc., pour les arbres. Ces interventions consistent à retirer des pieds de la masse existante, déterminés en avance selon des critères concrets, quand des caractéristiques sont accomplies au niveau d'arbre et au niveau de masse en conjoint. Dans une masse intervenue, après l'intervention, le nombre d'arbres est toujours plus petit, car des pieds s'éliminent pour réduire la compétence entre eux. Les peuplements trop denses, avec une excessive densité par unité d'espace, ne permettent pas de croissance et développement des arbres correct, car la compétence est trop intense pour obtenir les ressources nécessaires, et c'est pour ça que les individus vivent permanentement et chroniquement débilés. En plus, dans des bois de conifères jeunes, une haute densité peut signifier un développement du système racinaire (Bauhus, Puettman, & Kühne, 2013). Contrairement, dans des peuplements trop insuffisants, des ressources destinés à augmenter la production d'une espèce objet de production se gaspillent, car la masse ne peut pas les utiliser au maximum (Montoya Oliver & Mesón García, 2004). Le fait que beaucoup d'individus se débilitent, conséquemment augmente la mortalité, et ça se traduit en des pertes au niveau de volume de bois, car la masse arbore ne peut pas continuer en croissant pour sa commercialisation. Par un autre côté, les arbres morts ont été en extrayant des nutriments de la forêt jusqu'au moment de leur morte. Les masses qui n'ont pas été intervenues ont un nombre d'arbres morts plus haut pour ces motifs, ainsi qu'un nombre d'arbres avec la canopée cassée plus haut dû au fait qu'elles ont des densités plus élevées et que dans des événements de fort vent peuvent collisionner des canopées avec les autres et casser les canopées des arbres proches.

Au fur à mesure que les années passent après une intervention d'éclaircie, il y a une petite régénération dans les espaces qui restent propices pour le développement des espèces souhaitées. À cause de ça, dans le long terme, si on ne continue pas avec les interventions d'éclairage de la masse forestière elle finit par devenir une masse naturalisée qui fonctionne comme une masse naturelle. Si elle se laisse sans intervenir, la forêt peut accomplir ce niveau de densité qui empêcherai que les individus croissent correctement. Dans des systèmes comme « Close-to-Nature Forest Management » (Bauhus, Puettman, & Kühne, 2013) on cherche à profiter au maximum les produits possibles et les externalités qui peut générer une gestion plus naturalisée des masses forestières. On favorise le développement des masses indigènes mixtes, en évitant les éclaircies, alors que les masses qu'on a sont moins jeunes (au contraire que dans des productions plus intensives où on cherche des développements rapides et hauts en évitant que les événements climatiques ou d'autres, endommagent les individus de la masse). Ces masses accomplissent des stabilités écologiques qui permettent de mieux contrôler les pestes et les cycles de nutriments, en profitant de tout le potentiel du sol et l'interaction entre masses interspécifiques, qui peut avoir de bénéfiques productifs dépendant des circonstances (Primicia, y otros, 2016).

À la forêt d'Aspurz, deux interventions d'éclaircie ont été faites. Une des deux a eu lieu en 1999 et a consisté de retirer des arbres de trois intensités d'éclaircie différentes : nulle ou témoin (0% de la surface basale de trois parcelles), moyenne (20% de la surface basale de trois parcelles) et forte (30-40% de la surface basale de trois parcelles). Cette éclaircie a été nommée comme éclaircie par le bas, où des arbres du strate dominé principalement ont été éliminés (arbres morts et malades) et des arbres dominants et codominants avec des malformations. L'éclaircie suivante a eu lieu en 2009, et a consisté à l'extraction des pieds par le bas, cependant, du au nombre réduit d'arbres occlus, principalement dans les parcelles avec une intensité d'éclaircie forte, une proportion plus grande d'arbres intermédiaires et codominants a été extraite, principalement des pieds qui avaient une tangence de canopées avec certains pieds de bonne qualité, pour favoriser les pieds mieux conformés (Artázcoz Colomo, 2014). L'extraction a été faite pour les différentes intensités mais cette fois-ci à l'éclaircie d'intensité forte il a été retiré le 40% de la surface basale.

Dans les parcelles avec des éclaircies à différentes intensités, les arbres ont théoriquement des niveaux de compétence entre eux plus petit que dans les parcelles témoin. Ces niveaux de compétence plus bas, font que les arbres se développent en des meilleures conditions, et conséquemment, ils deviennent plus longévifs, plus vitaux et plus vigoureux (Montoya Oliver & Mesón García, 2004). En revanche, dans les parcelles témoin, qui ont un management naturel, l'existence d'un nombre d'arbres morts et en pire conditions (canopée cassée, tombe, etc.) se voient favorisées. Dans les parcelles avec des éclaircies, spécialement dans la plus intensive, et comme une conséquence de la réduction du nombre d'arbres, les individus continuent à augmenter leur diamètre plus vite, en produisant un plus grand nombre de fruits et de semences, montrant plus de résistance contre les pestes, et ont une concentration de N et P dans les feuilles plus haut, ainsi que des plus hauts taux de photosynthèse (Castillo F. J., Imbert, Blanco, Traver, & Puertas, 2003).

Dans cette étude il est observé après avoir réalisé les analyses statistiques, que le nombre d'arbres, même vivants que canopées cassées et morts, ne présentent pas de différences significatives en comparant les différentes interventions forestières réalisées. C'est dû à ce que dans la forêt, après 9 ans dès la dernière intervention, elle a rétabli les niveaux de compétence avant l'éclaircie, l'équilibre entre les niveaux de mortalité et de canopées cassées. Ça peut être dû à plusieurs facteurs. D'abord, parmi les pins il existe une importante présence de hêtres, lesquelles n'ont pas été soumises aux éclaircies et comme elles sont plus tolérantes à l'ombre elles se sont installées sous les pins. La compétence interspécifique plus forte due à l'augmentation du nombre d'hêtres avec plus d'espace forestier (volume de canopée) colonisé qu'elles ont développé, réduit la disponibilité de lumière et d'eau qui ont les pins. Cette réduction de la disponibilité d'eau en plus se voit augmentée par la réduction des précipitations dans la zone du au changement climatique, tenant à chaque fois des périodes plus secs en été. Malgré les inconvénients qui peut amener l'existence d'un nombre important d'hêtres (134 hêtres/hectare en 2013 (Candel-Pérez, y otros, 2018)), son existence dans le strate inférieure des canopées favorise l'autotaille naturelle du pin. Cependant, avant d'arriver le moment de la coupe finale et pendant les coupes de régénération il faut extraire cette strate de hêtres pour favoriser la régénération naturelle du pin (Artázcoz Colomo, 2014).

Dans des études réalisées dans les mêmes parcelles (Artázcoz Colomo, 2014) il est signalé qu'en 1999, au début de l'étude de cette forêt, la densité du pin était plus petite dans les parcelles témoin par rapport à celles avec des éclaircies moyennes, étant la densité des parcelles avec les éclaircies fortes le maximum. Après l'exécution des éclaircies, le nombre

d'arbres de la masse principale ont été plus petits dans les régimes des éclaircies plus intense, car un plus grand nombre d'arbres a été retiré de la masse principale. Le nombre de pieds par hectare a passé de 3511 (aux 32 ans) à 1456 (aux 47 ans) en 15 ans dans les parcelles témoin (Artázcoz Colomo, 2014), en pouvant avoir eu une réduction plus importante dans les 15 ans d'avant l'étude (dès 13 jusqu'aux 32 ans). A partir de ce moment, on a des masses avec des hauteurs moyennes des classes sociologiques similaires, car les individus qui ont été dominés par le reste de la masse (les occlus) qui n'ont pas pu grandir jusque ce point-là où la canopée est capable de recevoir de la lumière, ont mort. La mortalité est très haute au début et se voit réduite quand ils y restent moins d'arbres (Montoya Oliver & Mesón García, 2004). Les occlus restants sont normalement très minces, du a la forte compétence entre eux. Dans cette étude la moyenne du nombre d'arbres vivants est descendue jusqu'aux 1256 dans les parcelles témoin en 2018, avec une réduction d'à peu près de 163 arbres par hectare et an, de 1999 à 2008, et une réduction de 84 arbres par hectare et an de 2009 à 2018. Le taux de mortalité a été plus haut dans la période de 1999-2008 que de 2009-2018. Ça exprimerait comment les forêts réalisent naturellement ses propres éclaircies en accomplissant des valeurs d'hauteur maximums marquées par les arbres dominants. Les arbres occlus se sélectionnent jusqu'à un numéro très bas d'arbres qui ne compétent entre eux et seulement à cause de facteurs externes (incendies, pestes, etc.) une mortalité peut être produite, en altérant de cette façon leur nombre (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

Il a été vérifié que le principal facteur qui a affecté au nombre d'arbres a été le traitement d'éclaircie réalisé, c'est-à-dire que ni la classe sociologique ni l'interaction entre la classe et le traitement affectent au nombre d'arbres de chaque état. Ça indique qu'il n'y a pas eu un nombre de mortes significativement plus haut dans les arbres occlus que dans des autres classes sociologiques. Il peut être espéré car ces arbres se voient dominés par le reste de la masse et n'ont pas de marge de survivance au long terme sauf si une intervention particulière qui favorise leur développement est réalisée.

Comme il n'y a pas de différences dans le nombre d'arbres entre les traitements d'éclaircie, il est démontré que l'éclaircie réalisée en 2009 a perdu son effet sur ce paramètre. En revanche, l'analyse statistique a indiqué que pour l'analyse du nombre d'arbres morts, la taille de l'échantillon a été petit, donc il pourrait y avoir existé des différences entre des échantillons plus grands sur l'homogénéité des variances.

## 5.2. Hauteur moyenne des classes sociologiques selon le traitement

La hauteur des arbres est une conséquence au niveau d'individu de la compétence pour les ressources dans une masse forestière. La compétence est la tendance des plantes proches d'utiliser la même quantité de lumière, de nutrition minérale, de molécules d'eau ou de volume d'espace (Thomas & Packham, 2007). Cette compétence entre plantes se déroule même sur le sol comme sous la surface du sol. La compétence pour la lumière se tourne particulièrement intense à mesure que la canopée commence à se fermer autant que les branches d'une plante sont ombrées par celles de l'autre. L'habilité de compétier est une fonction de la surface, l'activité, et la distribution dans l'espace et le temps des surfaces à cours desquelles les ressources sont absorbées et ça dépend d'une combinaison de caractéristiques de la plante. La compétence est considérée comme le principal patron de l'interaction entre les arbres (Oliver & Larson, 1996). Tout ça fait que les arbres se développent en hauteur quand ils sont dans une masse dense, en essayant d'être plus hauts que leurs voisins pour essayer de réduire l'ombre qu'ils reçoivent.

Cette interaction donne lieu à des différentes classes sociologiques entre les arbres qui composent une masse. Les dominants sont les plus hauts, donc, ils sont utilisés comme index de croissance potentiel d'une zone, étant ceux qui se favorisent le plus de la compétence, et leur succès peut se devoir même aux conditions de développement comme aux facteurs génétiques. Un niveau plus bas est composé par les arbres codominants, qui compétent entre eux pour les ressources, mais qui ont une capacité de croissance plus petite, sans arriver à être comme les dominants. Le niveau suivant est formé par les arbres intermédiaires qui restent en arrière dans la lutte par l'obtention de lumière et d'autres ressources. Ces arbres peuvent améliorer ses conditions après une extraction d'individus qui leur oppriment. En dernier, on a les arbres occlus, qui ont été complètement dominés par le reste de classes, et qui n'ont aucune possibilité de succès car dans leur environ il y a des arbres dans des meilleures conditions qui leur empêchent de se développer. Une éclaircie qui les libèrerait de ces arbres de ses environs pourrait améliorer un peu ses conditions, mais normalement ils sont trop débiles même pour profiter d'une réduction de la compétence. Donc, le type d'intervention forestière peut contribuer à favoriser le développement de certaines classes sociologiques, en réduisant cette compétence en réduisant l'épaisseur de la forêt.

Dans une des études réalisées à Garde en 2013 (Tres Pascual, 2014) il a été prouvé que la hauteur moyenne était influencée par la classe sociologique, mais ne l'était pas par le traitement réalisé. Dans une autre étude plus récente à Garde en 2017 (Sarries Narvaiz, 2018) il est observé de la même façon, où il y a eu une éclaircie seulement en 1999. Des résultats similaires ont été obtenus à Aspuz (la hauteur moyenne ne diffère pas en fonction de l'intervention forestière réalisée), sauf pour les arbres occlus des parcelles témoin qui sont plus hauts que dans le reste de traitements. Tres Pascual (2014) a indiqué que l'importante pente des parcelles de Garde permet que les arbres plus bas et moins de vigueur puissent recevoir une lumière suffisante pour ne pas compéter autant pour cette ressource et ne pas croître en hauteur rapidement. Cependant, à Aspuz, la pente est beaucoup plus réduite, ce qui fait que les arbres compétent plus intensivement entre eux, spécialement dans les zones où il y a plus de densité (comme est le cas des parcelles témoin).

Dans une étude récente faite à Aspuz (Candel-Pérez, y otros, 2018) les chiffres des parcelles avant l'éclaircie en 1999 et en 2013 (4 ans après la deuxième intervention). La hauteur moyenne des parcelles témoin a passé de 12,9 ( $\pm 0,5$ ) mètres à 17,8 ( $\pm 1,3$ ) mètres dans 14 ans après les premières éclaircies. Dans cette étude il a été obtenu que la hauteur moyenne s'est élevée jusqu'à 19,1 ( $\pm 0,8$ ) mètres, donc, il est observé comment dans les derniers 5 ans, la croissance a été ralentie (d'une croissance annuelle moyenne dans la première étape, de 1999 jusqu'à 2013, de 0,35 mètres/an à 0,26 mètres/an dans l'étape de 2013 jusqu'à 2018). Cet calcul se tient en compte sachant que la croissance en hauteur ne suit pas une relation linéaire mais une courbe sigmoïdale (Oliver & Larson, 1996) et en plus une intervention a été réalisée en 2009 donc il peut y avoir eu des altérations. De toutes façons, on serait en train d'obtenir un chiffre de croissance plus petite, alors la croissance annuelle serait en train de se réduire doucement encore plus.

La hauteur moyenne du traitement a accompli une valeur moyenne qui diffère de la hauteur moyenne des dominants ( $21,03 \pm 0,4$  mètres) en 2 mètres à peu près, mais qui est pratiquement la même que celle des codominants ( $19,3 \pm 0,6$  mètres). Dans ces parcelles, avec l'analyse de variance il a été obtenu que la différence significative en hauteurs existe entre les dominants et les codominants, mais que ceux derniers ne diffèrent pas du reste des classes (intermédiaires et occlus). Ça peut supposer que la croissance en hauteur peut avoir accompli un

niveau relativement stable, en ayant accompli la moyenne des hauteurs la hauteur codominante. Cette croissance au début accélérée par l'intensité de la compétition entre eux, a pu forcer aux arbres des classes sociales inférieures à focaliser son croisement en hauteur et ne pas autant sur le diamètre pour pouvoir survivre en obtenant de la lumière entre les espaces qui laissent les classes plus hautes. Ça passe parce que les grandes canopées des arbres dominants ne peuvent pas croître aussi efficacement comme les canopées plus basses des codominants, des intermédiaires et des occlus (O'Hara, 1988).

La hauteur moyenne des parcelles avec un 20% de la surface basale éclairée a passé de  $12,9 \pm 0,4$  mètres en 1999 à  $18,1 \pm 0,8$  mètres en 2013 (Candel-Pérez, y otros, 2018). La croissance annuelle moyenne s'est située en  $0,37$  mètres/an. Dans cette étude (2018) elle a été obtenue une hauteur de  $18,5 \pm 1,3$  mètres, avec une croissance annuelle moyenne dès 2013 de  $0,08$  mètres/an. Il est observé que la croissance annuelle dans des âges moyennes de la masse supérieures aux 46 ans, avec cette intensité d'éclaircie, se réduit notablement. Il est aussi observé que la différence avec la hauteur moyenne des dominants est plus haute ( $2,37$  mètres de différence à peu près) et aussi est la différence avec la hauteur moyenne des codominants ( $1,59$  mètres de différence à peu près), étant plus basse la hauteur moyenne du traitement dans les deux cas. Ceci peut signifier une différenciation entre les classes sociologiques plus évidente que dans les parcelles témoin, en hauteur. En revanche, après l'analyse de variance ils ne s'apprécient pas de différences entre les classes dominantes et les codominantes, et entre les codominantes et les intermédiaires pour cette intensité d'éclaircie. La hauteur moyenne des arbres occlus est plus basse que le reste de manière significative. Dans l'étude réalisée après 15 ans dès la dernière intervention à Garde (Tres Pascual, 2014), des niveaux de différenciation entre classes légèrement différentes sont obtenus (dominantes, codominantes, et intermédiaires sans différences significatives entre eux, différents aux occlus). Ces différences peuvent se devoir à que les grandes canopées des arbres dominants ne peuvent pas être en croissant aussi efficacement, donc dans le long terme, la masse forestière tend à arriver à des hauteurs moyennes similaires pour ces trois classes sociologiques, étant plus hautes que celles des occlus. Dans les années suivantes, on obtiendra probablement ces résultats pour la masse d'Aspurz.

Dans les parcelles avec une extraction du 30% de la surface basale en 1999 et du 40% en 2009, une évolution a été vue sur la hauteur moyenne de  $12,5 \pm 0,5$  mètres en 1999 avant la première éclaircie, à  $17,8 \pm 1,2$  mètres en 2013 (4 ans après la deuxième éclaircie (Candel-Pérez, y otros, 2018)). Ça a supposé une croissance annuelle moyenne de  $0,38$  mètres/an pour ce traitement. À partir de cette année, en calculant la croissance moyenne annuelle dès 2013 jusqu'à 2018 ( $0,22$  mètres/an), s'observe une réduction dans la croissance. La hauteur moyenne des parcelles diffère, avec des valeurs inférieures, à la hauteur moyenne des classes dominantes ( $20,7 \pm 0,5$  mètres) et codominantes ( $20,1 \pm 0,5$  mètres). De la même façon que dans les parcelles avec une éclaircie modérée ou moyenne, ça peut se traduire à une différenciation plus grande entre les classes au niveau de hauteur moyenne. Avec l'analyse de variance s'obtient que les dominants ne diffèrent pas des codominants de manière significative. Les codominants ne montrent pas de différences significatives avec les intermédiaires, et les intermédiaires avec les occlus non plus. Donc, il y a une structure de hauteurs plus marquée entre les classes sociologiques que dans le reste d'interventions. Ça peut être dû au fait que quand les niveaux de compétition se réduisent, les ressources disponibles pour chaque classe sociologique ont été plus grands que dans le reste de parcelles, et les classes ont développé ses capacités mieux, en se différenciant encore plus dans la masse. Ces niveaux de différenciation en hauteurs a été obtenu aussi dans des études dans des zones proches (Tres Pascual, 2014) après 15 ans passés dès la dernière éclaircie (5 ans de plus qu'après celle en Aspurz).

### 5.3. Diamètres des classes sociologiques en fonction du traitement

La croissance secondaire de l'arbre, qui fait que le tronc se grosse et donc augmente son diamètre, se fait à la fin du printemps stimulé par les hormones activées par l'élongation des tiges (Oliver & Larson, 1996), et continue pendant l'été, donc, les chiffres pris (mars 2018) correspondraient à la croissance de l'année passée. Ce croisement secondaire est très sensible à la quantité d'espace de croisement disponible (Oliver & Larson, 1996). Il dépend aussi des facteurs qui modulent l'activité des méristèmes caulinaires, incluant la taille de l'arbre et l'âge, et la saisonnalité dans les conditions climatiques. En plus, la densité du bois est sensible aux changements environnementaux, comme le stress hydrique, la disponibilité d'eau et les variations de température (Candel-Pérez, y otros, 2018). Les anneaux annuels dans les forêts tempérées comme celui à Aspurz se forment par des cellules du xylème produites en différents moment de l'année. Beaucoup d'espèces, comme le pin sylvestre, ajoutent des grands anneaux avec des murs fins (bois précoce ou de printemps). Plus pendant l'année le bois qui est produit est formé par des cellules de murs grosses (bois tardive ou d'été), qui sont conséquence de la réduite disponibilité d'eau dans ces étapes de l'année.

L'objectif des éclaircies forestières es d'améliorer l'état et le développement des arbres restants après sa réalisation, pour obtenir une performance meilleure et vendre des exemplaires plus valeureux dans le long terme. Pour cela ils se réalisent des réductions de l'épaisseur de la forêt en extrayant des exemplaires en suivant des critères différents en fonction du type d'éclaircie qui veut être réalisée. Ces éclaircies réduisent la densité de la forêt, en augmentant la disponibilité de nutriments pour les arbres qui restent dans la masse. Avec la gestion forestière on peut contrôler la disponibilité de nutriments, d'eau, de lumière et d'espace qui reçoivent les arbres de la masse (Candel-Pérez, y otros, 2018). Dans les éclaircies plus intenses, on attend que la croissance secondaire des arbres soit plus grande du à l'augmentation de la disponibilité de nutriments par arbre, fondamentale pour la croissance en diamètre du pin sylvestre (Primicia Álvarez, 2012).

Ce phénomène peut se prouver après l'analyse des chiffres de cette étude, où les éclaircies modérées (20% de la surface basale éclairée) ont des diamètres moyens supérieurs, indépendamment de la classe sociologique. En revanche, dans l'éclaircie intense, il a été obtenu que les diamètres moyens sont similaires à ceux des parcelles témoin. Dans des études récents dans la zone de Garde (Sarries Narvaiz, 2018) (Primicia, Camarero, Imbert, & Castillo, 2013) des résultats ont été obtenus et qui diffèrent de ceux obtenus dans cet étude, où il a été obtenu que les éclaircies ont des effets significatives sur la croissance du diamètre moyen des arbres, mais en montrant une tendance à avoir des diamètres plus grands dans l'éclaircie modérée pour certaines classes sociologiques (dominantes et codominantes), et éclaircies intense pour d'autres (intermédiaires et occluses). Ces différences entre études peuvent se devoir aux différences climatiques entre Aspurz et Garde, car le facteur climat est limitant dans la croissance en diamètre. L'éclaircie plus intensive peut laisser plus d'espace pour l'évaporation et avec elle réduire l'humidité du sol (Ibáñez Ancizu, 2018). En plus, à Aspurz il y a eu une deuxième éclaircie, et la densité des arbres par hectare est plus basse qu'à Garde, ce qui pourrait exprimer cette difficulté de maintenance de l'humidité à Aspurz dû à la basse densité des canopées. Cette réduction d'humidité peut supposer une réduction de disponibilité d'eau dans ces parcelles, limitante pour la croissance secondaire de l'arbre. Ce qui a été obtenu de la même façon est que les classes dominantes ont un diamètre significativement plus grand que les codominants, les intermédiaires et les occlus, respectivement. Dans une autre étude réalisée à Garde (Tres Pascual, 2014) il se prouve que la division de diamètre entre classes sociologiques est aussi significative, mais que l'influence des différentes intensités d'éclaircie était égale aux

résultats obtenus dans cette étude à Aspurz. Ça pourrait exprimer comment chaque année la croissance en diamètre se voit influencée par les conditions particulières de chaque année et peut avoir des conséquences différentes.

Cette égalité de résultats peut aussi se devoir à qu'à Garde il y a eu une éclaircie en 1999, donc le travail de Tres Pascual (2014) a été réalisé 15 ans après cette éclaircie, cinq ans de plus que les années passées dès la dernière éclaircie à Aspurz, alors que celle de Sarries Narvaiz a été réalisé en 2017 (18 ans après la dernière éclaircie), 3 années de plus que celle de Tres Pascual (2014). Dans des études réalisées sur la forêt à Aspurz (Primicia, Camarero, Imbert, & Castillo, 2013) il a été vu comment après la première éclaircie la croissance des pins s'est vue débilement affectée, ce qui a été améliorée 3 ans après la coupe et récemment il a été prouvé que l'augmentation de la croissance des arbres a été notifiée principalement après la deuxième éclaircie (Primicia, y otros, 2016). Les taux de croissance après les éclaircies ont été similaires ou supérieures dans les éclaircies modérées que dans les intenses. Les hausses annuelles périodiques du volume de masse forestière ont été plus grandes dans les parcelles avec des interventions que dans les parcelles témoin, mais des différences n'ont pas été observées entre les différentes intensités d'éclaircies.

Des résultats similaires à une autre étude réalisée dans cette même forêt ont été obtenus (Candel-Pérez, y otros, 2018), où il a été prouvé que la croissance en diamètre à Aspurz, comme à Garde, a augmenté de manière plus substantielle dans les éclaircies modérées et fortes que dans les parcelles témoin, mais les différences entre elles n'ont pas été significatives.

Il faut tenir compte que les pins sylvestres de ces parcelles cohabitent avec des espèces de taille considérable comme le hêtre. Cette interaction entre les deux espèces suppose, entre autres, une augmentation des différences des hausses annuelles du volume d'arbre entre les types de canopées (en mixtes de pin et de hêtre moins qu'en pures de pin) au fil du temps dans les parcelles témoin, au fur à mesure que les canopes des hêtres se développaient (Primicia, y otros, 2016).

À ces résultats de diamètre, il faut ajouter la composante densité de la forêt pour son analyse, car l'objectif finale est de voir quel type de gestion des masses peut être plus adaptée pour obtenir les performances forestières maximum basées sur des conditions de marché actuelles (des arbres plus grands ont plus de valeur pour leur commercialisation). Donc, à la suite se discutent les résultats obtenus pour la surface basale des parcelles en fonction du traitement.

#### 5.4. Surface basale des différentes interventions forestières

La surface basale d'une parcelle est la somme des sections des troncs à 1,30m de hauteur sur le sol qui la conforment, en nous donnant un indicateur de la quantité de bois qui contient la masse en se multipliant par la hauteur moyenne des arbres. Donc, les facteurs qui entrent en jeu sont la densité de la parcelle et le diamètre moyen (car la surface se calcule en fonction du diamètre). La surface basale a une tendance à croître avec l'âge et l'augmentation du diamètre des arbres (Montoya Oliver & Mesón García, 2004). Elle présente des avantages pour l'analyse d'épaisseur des masses car elle est de facile mesure. Dans cette étude, alors, on a calculé la surface basale correspondante à chaque classe sociologique (dominante, codominante, intermédiaire et occlue).

La surface basale se prend en sylviculture comme un indicatif de la croissance potentielle d'une masse forestière. La surface basale des parcelles intervenues se compare avec les parcelles sans intervention. On prend le moment de réalisation des éclaircies quand la surface



basale des parcelles intervenues est égale à celle des parcelles témoin, car ça indique que la masse intervenue n'a plus de capacité d'augmenter sa croissance telle que l'éclaircie faite perd son effet d'avancer l'accomplissement des qualités de bois plus grandes pour son future proche. La surface basale n'a pas besoin d'être constante au cours de la vie de la forêt car elle tient à croître avec l'âge et les dimensions des arbres (Montoya Oliver & Mesón García, 2004). Donc il faut la comparer avec la surface basale du même moment de son analyse, ne pas avec des chiffres des différentes années.

Il a été obtenu que pour la surface basale moyenne par hectare de chaque traitement il y a une tendance à que dans les parcelles témoin elle soit plus grande, probablement dû à la tendance d'avoir une densité plus haute d'arbres par hectare. Ça ne peut pas être associé à des différences entre les diamètres moyens, car il n'y a pas de différences par rapport aux éclaircies intenses. De nouveau, comme il n'y a pas de différences significatives entre densités, il est obtenu que la surface basale ne présente pas de différences significatives en fonction du traitement forestier. Dans une étude réalisée dans la même forêt (Primicia, y otros, 2016) il est montré que les augmentations dans la surface basale quand les diamètres augmentaient, étant significativement plus larges dans les parcelles éclairées que dans les autres, ont diminué progressivement. Dans les parcelles avec une éclaircie intense il s'est enregistré une surface basale moyenne de  $30,4 \pm 1,5$  m<sup>2</sup>/ha en 2013 (Candel-Pérez, y otros, 2018), quatre années après la deuxième éclaircie. Dans ce travail, neuf ans après la deuxième éclaircie, il a été obtenu que la surface basale dans ces parcelles est de  $35,6 \pm 0,34$  m<sup>2</sup>/ha, ce qui suppose une hausse de 5,2 m<sup>2</sup>/ha dans cinq ans à peu près. Il peut être observé que comme cette éclaircie a eu des effets de croissance de la surface basale plus forts dans les parcelles éclairées plus intensément, étant les arbres codominants ceux qui somme un pourcentage de surface basale plus large (47%) avec les arbres dominants, ce qui supposerait une augmentation du volume de bois de valeur économique plus haute au marché. Dans les parcelles avec des éclaircies modérées, la surface basale a passé d'avoir  $35,0 \pm 2,4$  m<sup>2</sup>/ha en 2013 à  $36,9 \pm 4$  m<sup>2</sup>/ha en 2018, donc il peut être apprécié une augmentation beaucoup moins forte en surface basale, en avant des pourcentages très équilibrés appartenant aux arbres codominants (39%) et dominants (38%). Dans cette intensité d'éclaircie le bois appartenant aux arbres plus compétitifs prédomine (77% de la surface basale de la masse). Ces différences des augmentations sur la surface basale en fonction de l'intensité de l'éclaircie se doivent à la capacité que les arbres plus compétitifs (dominants et codominants) ont d'augmenter leur diamètre l'hors d'une augmentation de la disponibilité de nutriments. Par un autre côté, la surface basale des parcelles avec une éclaircie modérée maintient une tendance à être plus large, car la surface basale par arbre est significativement plus large, en expliquant que certain degré de compétence bénéficie au développement du pins sylvestre. Dans les parcelles sans intervention augmente légèrement la surface basale, ainsi que la mortalité (Primicia, y otros, 2016).

Dans des études réalisées à Garde, il a été obtenu que la surface basale par hectare dans les parcelles témoin était de  $55,4 \pm 6,5$  m<sup>2</sup>/ha (Candel-Pérez, y otros, 2018) en 2013, et  $65 \pm 7$  m<sup>2</sup>/ha environ en 2018 (Sarries Narvaiz, 2018), et donc a été maintenu pendant ces 4 ans avec une tendance à augmenter ne pas significativement. Dans les parcelles témoin à Aspurz, la surface basale a pris une valeur de  $44,2 \pm 3,5$  m<sup>2</sup>/ha, qui a eu une tendance à augmenter mais ne pas d'une façon significative dès 2013 ( $40,9 \pm 1,4$  m<sup>2</sup>/ha). Donc, les résultats ne diffèrent pas d'un emplacement à l'autre (l'augmentation ou pas de la surface basale dans le temps), malgré les différences climatiques et de pente.

À Garde, dans les parcelles avec des éclaircies modérées il a été obtenu une surface basale de  $53,3 \pm 1,3$  m<sup>2</sup>/ha en 2013 (Candel-Pérez, y otros, 2018), et  $58 \pm 2$  m<sup>2</sup>/ha approximativement en 2018 (Sarries Narvaiz, 2018). Par conséquent, la surface basale a subi une augmentation dans ces années. En Aspurz il a été obtenue une valeur de  $36,9 \pm 4$  m<sup>2</sup>/ha, inférieure à celle de Garde, et avec une tendance à augmenter, mais ne pas significativement, en se maintenant similaire la valeur pendant les derniers cinq ans ( $35,0 \pm 2,4$  m<sup>2</sup>/ha en 2013). Dans le cas d'Aspurz, la surface basale dans l'actualité ne présente pas de différences significatives avec la surface basale des parcelles témoin. Donc, ces différences même climatiques comme des caractéristiques de parcelle, montrent qu'à Garde il y aura encore une croissance de la surface basale dans les années suivantes sans réaliser d'interventions d'éclaircies, contrairement aux parcelles d'Aspurz, qu'après neuf années dès la dernière éclaircie, il ne pourra pas y avoir de la croissance des arbres différencié des parcelles témoin sans des interventions.

Dans les parcelles avec une intensité d'éclaircie forte il a été obtenu à Garde une valeur de  $48,7 \pm 0,8$  m<sup>2</sup>/ha en 2013 (Candel-Pérez, y otros, 2018) et  $53 \pm 1$  m<sup>2</sup>/ha approximativement en 2018 (Sarries Narvaiz, 2018). À Aspurz en 2013 il a été enregistré une surface basale de  $30,4 \pm 1,5$  m<sup>2</sup>/ha (Candel-Pérez, y otros, 2018) et  $35,6 \pm 0,3$  m<sup>2</sup>/ha en 2018. Dans ce cas il s'apprécie une tendance de croisement similaire.

Dans une autre étude réalisée à Aspurz en 2013 il a été obtenu que l'intensité d'éclaircie a eu un effet significatif sur la croissance moyenne de la surface basale de la masse, en prenant des valeurs plus larges dans les parcelles témoin que dans les parcelles intervenues (Artázcoz Colomo, 2014). Ces différences par rapport à l'étude réalisé dans cet essai expliquent comment les tendances de croissance se maintiennent, et que 9 ans après la dernière intervention, ce qui dans 5 ans était une différence significative, a été réduite en neutralisant l'efficace des interventions neuf ans plus tard.

Il est observé qu'en analysant la distribution de la surface basale des différentes canopées, que dans les parcelles avec des éclaircies intenses, les individus codominants s'ont vus favorisés. Ça n'a pas été le cas des dominants, ni intermédiaires, ni occlus. Les éclaircies modérées maintiennent une proportion très équilibrée d'arbres dominants et codominants, et en quantités plus petites les arbres intermédiaires et occlus. Les deux éclaircies ont des pourcentages d'arbres dominants plus réduits que ceux des parcelles témoin. Il peut être dû au fait que quand les âges des arbres deviennent plus longèves, la compétence donne lieu aux masses avec des pourcentages plus hauts d'arbres dominants (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

Donc, en regardant la situation de la masse forestière, en appliquant le critère indiqué par quelque livres (Montoya Oliver & Mesón García, 2004), de réaliser des éclaircies quand la surface basale des masses intervenues est égale à celle des masses non-intervenues (témoin), il pourrait être un bon moment pour réaliser, ou au moins de penser à faire, une nouvelle intervention. La dernière éclaircie a été faite en 2009, dix ans après la première éclaircie en 1999, donc les résultats obtenus ont de la cohérence. Néanmoins, en fonction de l'évolution du changement climatique, ils pourraient y avoir des changements dans le cycle de nutriment des forêts, ainsi que son management et sa gestion.

### 5.5. Approche sur l'avenir de la forêt

Tous les résultats discutés jusqu'à maintenant montrent comment la forêt en étude est arrivée à un état d'égalité approximative de volume de production par hectare, en limitant les augmentations de production d'arbres qui peuvent contribuer à obtenir des bénéfices plus importants vers le futur, car ils ne montrent pas de différences significatives sur la surface basale des différents traitements. Il faut, donc, soulever la question de réaliser une autre intervention forestière pour réduire la compétence des arbres dans les parcelles avec une éclaircie modérée et forte, en dans quelle condition devra se faire, en tenant compte des conséquences des différentes alternatives de gestion des masses.

Si on laisse les masses évoluer sans intervention, on peut arriver dans l'avenir à la limite de capacité de charge de l'écosystème, qui pourrait se traduire à des pertes importantes de biomasse l'hors d'une altération dans l'écosystème (fort vents, incendies, pestes, etc.). Donc, cette décision amènerait à une approche que chaque année qui avance il y aura plus de risques de vulnérabilité. En même temps, il pourrait se donner le cas où les taux de mortalité augmentent dans les parcelles, en laissant sur le sol des troncs morts et des branches, qui pourraient supposer un problème contre des futurs incendies (Montoya Oliver & Mesón García, 2004). En revanche, ça donnerait plus de diversité structurelle a la forêt, en créant des zones d'habitat pour la faune, la flore et les microorganismes.

On pourrait extraire, en suivant le modèle de l'essai des pourcentages d'éclairage, une plupart d'arbres occlus et intermédiaies, ainsi que quelques codominants concrets des zones avec une densité importante, pour les « décongestionner ». Les arbres occlus n'occupent pas beaucoup de volume de foret car ils croissent rapidement en hauteur mais ne pas en diamètre du a la haute compétence avec des arbres plus puissants, en réduisant de cette façon l'extraction de nutriments du sol sans possibilités d'obtenir des bénéfices futurs. Il faudrait aussi tenir en compte à l'heure de choisir les arbres à couper qu'il est recommandé de maintenir certaine diversité de composition spécifique, d'âge et de dimensions, etc., pour réduire la sensibilité contre des variations environnementales (Montoya Oliver & Mesón García, 2004).

Comme les diamètres, dans aucune parcelle ni classe sociologique, accomplissent des valeurs près de 30-35 cm (considérés à partir de là comme d'importante valeur pour leur commercialisation), on peut continuer à faire des différents éclaircies avec l'objectif de favoriser des classes ou s'autres, n'étant pas nécessaire de réaliser une éclaircie exclusivement base ou allemande car il n'y a pas besoin d'isoler des arbres sélectionnés (Montoya Oliver & Mesón García, 2004). Les éclaircies intenses ont favorisé dans ce bois le développement des individus codominants, donc, il pourrait se faire des coupes des individus intermédiaies et occlus, ainsi que des codominants pour favoriser le développement des classes inferieures, en libérant des espaces et en extrayant du bois avec une valeur économique de la forêt.

Si on opte par une intervention en suivant des modèles de gestion forestière plus naturelles, par exemple des systèmes de gestion agroforestière « close-to-nature » (Bauhus, Puetzman, & Kühne, 2013), on peut approcher l'introduction de bétail herbivore dans la zone, avec l'objectif de contrôler la croissance des plantules de l'espèce en production pour réduire la compétence future qui pourraient donner. De cette façon se réduit la croissance de la masse du sous-bois, se contrôle le développement des broussailles, et on apporte de la matière organique sous formes plus simples de décomposer par les microorganismes. Au cas d'introduire des herbivores ruminants, qu'avec leur système digestif ils sont capables de casser des matériaux plus indigestes pour le reste d'être vivants (cellulose) (Thomas & Packham, 2007). Ils augmentent aussi la dispersion des semences, ainsi que le nombre de semences dans le sol en

comparaison avec des écosystèmes où leur nombre est réduit et il y a plus de rongeurs et d'invertébrés. Une population d'herbivores en grand nombre peut quand même être un problème dans les époques de floraison pour la population des pollinisateurs (Thomas & Packham, 2007) donc, si cette proposition se met en œuvre, il faudrait introduire le bétail hors de cette saison, de manière temporaire, en fermant les parcelles témoin si on ne veut pas qu'ils interviennent sur leur développement. Cette pratique entre aussi dans le cadre des multiples usages qui peut avoir une forêt, avec les bénéfices économiques qui peuvent supposer en réduisant les coûts de production et en augmentant la production globale (Schnabel & Ferreira, 2004).

## 6. Conclusion

Dans la forêt d'Aspurz, après deux éclaircies faites en 1999 et en 2009, l'éclaircie a perdu son effet par rapport au nombre d'arbres et de surface basale après 9 ans. Actuellement il n'y a pas de différences pour ces paramètres en fonction des traitements. Ils n'existent plus de différences significatives par rapport à l'état des arbres, il n'y a pas de différences entre le nombre de vivants, d'arbres morts ou d'arbres avec la canopée cassée. Par conséquent, l'intervention faite une deuxième fois n'a pas augmenté les différences, par rapport à ces deux paramètres, après 9 ans dès sa réalisation.

Il a été observé que la tendance de croissance de la masse de pin sylvestre non-intervenue est à accomplir des hauteurs similaires à celles des dominants de cette masse, de manière que des arbres soumis à plus de compétition et débiles (arbres occlus), vont en réduisant leur nombre et grandissent en hauteur, et ces occlus, qui se maintiennent en croissant en hauteur, ont des diamètres significativement plus petits que les autres classes sociologiques. Ces tendances en hauteur se suivent aussi dans les parcelles intervenues, par contre, dans les parcelles avec un 20% de la surface basale extraite ont des arbres occlus significativement plus courts que les occlus des autres interventions, mais avec un diamètre plus gros.

Le diamètre moyen se voit influencé par la classe sociologique et l'intervention forestière réalisée. Ils s'y trouvent des diamètres significativement plus gros dans les parcelles avec un 20% de la surface basale extraite pour les différentes classes sociologiques, en avant des diamètres moyens plus gros les arbres dominants, suivis par les codominants, suivis par les intermédiaires, et finalement les occlus. La compétition qui se génère dans les parcelles avec un 20% de la surface basale extraite favorise la croissance du pin, spécialement sur le diamètre.

Les éclaircies où le 30-40% de la surface basale a été extraite ont favorisé la croissance de la surface basale correspondante à la classe dominante. Dans celles du 20% de la surface basale extraite, le pourcentage de surface basale des dominants et des codominants s'équilibre, et dans les parcelles sans intervention il y a un plus large pourcentage de surface basale correspondante à la classe dominante.

Les éclaircies plus intenses peuvent occasionner des problèmes dans des forêts avec des climats tempérés et secs, car elles provoquent une plus grande entrée d'air, elles augmentent la transpiration, dissipent l'humidité et réduisent la disponibilité d'eau pour les pins, qui est nécessaire pour grandir en hauteur et aussi en largeur (croissance secondaire).

### 6.1. Recommandations

À Aspuz il a été prouvé que les parcelles avec des éclaircies intensives (30-40% de la surface basale extraite) ne produisent pas de diamètres ni hauteurs plus grandes sur les arbres que celles des extractions du 20% de la surface basale, donc il est recommandé de réaliser ces éclaircies d'intensité modérée (extractions du 20% de la surface basale), qui provoquent des meilleures performances en pin sylvestre car les arbres sont soumis à plus de compétition. Les interventions forestières sont efficaces jusqu'aux 9 ans.

Cette année pourrait être un bon moment pour réaliser une intervention dans la forêt d'Aspurz. Cette intervention peut suivre la même ligne que les antérieures (retirée des différents pourcentages de surface basale extraite) ou évaluer la possibilité de dessiner un système agroforestier mixte, avec des méthodes d'introduction de bétail. De cette façon on réussit à avoir plus d'efficacité en fermant les cycles, en combinant les « nettoyages » du sous-bois et le

control de la croissance des individus petits, à la fois qu'en donnant un service inclus dans le cadre de l'économie locale.

## 7. Références bibliographiques

- Aroca Fernández, P. (2016). *La regeneración natural del pino silvestre (Pinus sylvestris L.) en el valle del Lozoya (Madrid): germinación y supervivencia inicial*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Artázcoz Colomo, R. (2014). *RESULTADOS DE EXPERIENCIAS DE TRATAMIENTOS DE CLARAS EN UNA MASA NATURAL DE PINO SILVESTRE EN EL PIRINEO NAVARRO*. Ponferrada: UNIVERSIDAD DE LEÓN. ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIERÍA AGRARIA.
- Asociación Nacional de Maestros de Ciencias de la Tierra. (2012). *Ventanas al Universo: Windows 2 Universe*. Obtenido de Windows 2 Universe: <http://www.windows2universe.org/windows.html&lang=sp>
- Bauhus, J., Puettman, K. J., & Kühne, C. (2013). Close-to-Nature Forest Management in Europe: Does It Support Complexity and Adaptability of Forest Ecosystems. Páginas 187-213 en Messier C., Puettmann K.J., Coates K.D. (Eds.) *Managing forests as complex adaptive ecosystems*. Earthscan, Londres, Reino Unido.
- Blanco, J. A., Imbert, J. B., & Castillo, F. J. (2015). Adaptación al cambio climático en pinares pirenaicos: controlando la densidad del rodal según el tipo de clima. *Adaptación*, 565-572.
- Candel-Pérez, D., Lo, Y.-H., Blanco, J. A., Chiu, C.-M., Camarero, J. J., González de Andrés, E., . . . Castillo, F. J. (2018). Drought-Induced Changes in Wood Density Are Not Prevented by Thinning in Scots Pine Stands. *MDPI Forests*, 1-20.
- Cañellas, I., Martínez García, F., & Montero González, G. (2000). Silviculture and Dynamics of *Pinus sylvestris* L. stands in Spain. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 233-254.
- Castillo, F. J., Imbert, J. B., Blanco, J. A., Traver, C., & Puertas, F. (2003). Gestión forestal sostenible de masas de pino silvestre en el Pirineo Navarro. *Ecosistemas 2003/3*, 1-9.
- de Miguel, E., Pointereau, P., Meiffren, I., Steiner, C., & Hickie, D. (2000). *Los Árboles en el Espacio Agrario. Importancia hidrológica y ecológica*. Madrid: Banco Santander Central Hispano.
- Espelta, J. M., Retana, J., Gené, C., & Riba, M. (1993). SUPERVIVENCIA DE PLÁNTULAS DE PINO CARRASCA (*PINUS HALEPENSIS*) y ENCINA (*QUERCUS ILEX*) EN BOSQUE MIXTOS DE AMBAS ESPECIES. *Congreso Forestal Español* (págs. 393-398). Lourizán: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- FAO. (14 de Noviembre de 2017). *FAOSTAT: FAO*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/faostat/en/#country/203>
- Gobierno de Navarra. (7 de Abril de 2018). *Meteorología y climatología de Navarra: navarra.es*. Obtenido de navarra.es: <http://meteo.navarra.es/climatologia/>

- Gobierno de Navarra. (8 de Abril de 2018). *Observatorio agrario: navarra.es*. Obtenido de navarra.es:  
[http://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Ambito+rural/Vida+rural/Observatorio+agrario/Agricola/Informacion+estadistica/Temas+economicos.htm](http://www.navarra.es/home_es/Temas/Ambito+rural/Vida+rural/Observatorio+agrario/Agricola/Informacion+estadistica/Temas+economicos.htm)
- Gobierno de Navarra. (6 de mars de 2018). *Planificación forestal: navarra.es*. Obtenido de navarra.es:  
[https://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Medio+Ambiente/Montes/Planificacion+forestal.htm](https://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Montes/Planificacion+forestal.htm)
- Gobierno de Navarra. (3 d'avril de 2018). *Sitna*. Obtenido de <http://sitna.navarra.es/navegar/>
- Ibáñez Ancizu, P. (2018). *Influencia de las claras forestales a largo plazo sobre respiración del suelo y otras variables abióticas, en dos bosques del pirineo navarro*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- Mohren, G. M., Kramer, K., & Sabaté, S. (1997). *Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Montoya Oliver, J. M., & Mesón García, M. (2004). *Selvicultura*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa; Fundación Conde del Valle de Salazar.
- Morla Juaristi, C. (1993). Significación de los Pinares en el Paisaje Vegetal de la Península Ibérica. *Congreso Forestal Español Lourizán 1993* (págs. 361-370). Pontevedra: Grafol, S.A.
- Müller, W. (11 d'avril de 2018). *Explore Botanical Drawings, Botanical Art, and more!: Pinterest*. Obtenido de Pinterest: <https://www.pinterest.es/pin/493636809128202008/>
- O'Hara, K. L. (1988). Stand structure and growing space efficiency following thinning in an even-aged Douglas-fir stand. *Canadian journal of forest research = Journal canadien de recherche forestiere*, 859-866.
- Oliver, C. D., & Larson, B. C. (1996). *Forest Stand Dynamics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Pretzsch, H. (2010). *Forest Dynamics, Growth and Yield*. Londres: Springer.
- Pretzsch, H., Forrester, D. I., & Bauhus, J. (2017). *Mixed-Species Forests. Ecology and Management*. Berlin: Springer.
- Primicia Álvarez, I. (2012). *Influence of thinning and canopy type on the internal nutrient cycling and the secondary growth of Pinus sylvestris L. in a mixed forest in the Pyrenees*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- Primicia, I. (2013). Influencia de la intensidad de clara y tipo de dosel en el ciclo interno de nutrientes y el crecimiento secundario de pino silvestre en un bosque mixto de los Pirineos occidentales. *ecosistemas*, 131-135.
- Primicia, I., Artázcoz, R., Imbert, J. B., Puertas, F., Traver, M. d., & Castillo, F. J. (2016). Influence of thinning intensity and canopy type on Scots pine stand and growth dynamics in a mixed managed forest. *Forest Systems*, 1-10.
- Primicia, I., Camarero, J. J., Imbert, J. B., & Castillo, F. J. (2013). Effects of thinning and canopy type on growth dynamics of Pinus sylvestris: inter-annual variations and intra-annual interactions with microclimate. *European Journal of Forest Research*, 121-135.



- Puertas Tricas, F., & Rivas Vicuña, M. (1997). *I Congreso Forestal Hispano Luso II Congreso Forestal Español*. Pamplona: Gráficas Irati, SAL.
- Sarries Narvaiz, J. (2018). *Influencia de la gestión forestal en la estructura de un bosque mixto del Pre-Pirineo de Navarra (Garde)*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- Secretaría General Técnica. Subdirección General de Estadística. (2017). *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Resultados Nacionales y Autonómicos*. Madrid: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Smith, D. M., Larson, B. C., Kelty, M. J., & Anthon, P. M. (1996). *The Practice of Silviculture: Applied Forest Ecology*. New Haven, Connecticut and Amherst: John Wiley & Sons, Inc.
- Sola Anayeto, A. (1999). *Geografía General de Navarra*. Pamplona: Gobierno de Navarra. Departamento de Educación y Cultura.
- Thomas, P. A., & Packham, J. R. (2007). *Ecology of Woodlands and Forests. Description, Dynamics and Diversity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tres Pascual, I. (2014). *INFLUENCIA DE LAS CLARAS FORESTALES EN EL CRECIMIENTO Y ESTRUCTURA DE UN RODAL DE PINO SILVESTRE EN EL PIRINEO NAVARRO*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- Wikipedia. (26 de mars de 2018). *Wikipedia*. Obteniu de [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e6/Navarra\\_mapa\\_navascu%C3%A9s.PNG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e6/Navarra_mapa_navascu%C3%A9s.PNG)