

MASTER FAGE

Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement

Spécialité : Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes

**ETUDE DE LA FLORE VASCULAIRE DANS LES FORETS ANCIENNES ET
RECENTES AU SEIN DES SITES NATURA 2000 DU DEPARTEMENT DES
HAUTES-ALPES.**



Clément LÉCUYER

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 03/09/2018

Tuteurs de stage :

- Agnès VIVAT, Chargée de mission Natura 2000, Communauté de communes de Serre-Ponçon
- Jean-Christophe GATTUS, Chef de projets à l'Agence Etude ONF Midi-Méditerranée

Enseignant référent :

- Sandrine CHAUCHARD

Stage réalisé au sein du Bureau d'étude de l'Office Nationale des Forêts de Gap (05)



Remerciements

Ce mémoire a pour but de rendre compte de l'étude que j'ai eu l'occasion de mener au sein du bureau d'étude de l'ONF de Gap (05). Ce fut pour moi une expérience très enrichissante et un cadre exceptionnel pour finaliser mon Master. Ce stage n'aurait pas pu avoir lieu dans de si bonnes conditions sans l'aide et l'implication de nombreuses personnes que je tiens à remercier.

En premier lieu je tiens à remercier mes deux maîtres de stage, Agnès VIVAT (Chargée de Mission Natura 2000 de la Communauté de Commune de Serre-Ponçon) et Jean-Christophe GATTUS (Chef de projets à l'Agence Etude ONF Midi-Méditerranée) pour l'encadrement parfait qu'ils ont su m'offrir tout au long de mon stage. Que cela soit pour m'aiguiller sur la création du protocole, de la cartographie et de la mise en place du plan d'échantillonnage, mais également pour l'aide qu'ils m'ont fournie en m'accompagnant sur le terrain. Je remercie également Jean-Christophe pour la très précieuse aide pour la détermination des plantes.

Je souhaite également remercier Julien GUILLOUX (Parc national des Ecrins) pour le temps qu'il m'a consacré pour la partie digitalisation des forêts anciennes issues des cartes d'Etat-major.

Je souhaite remercier Simon IPOUTCHA, chef du Bureau d'étude de l'ONF de Gap pour son accueil et sa disponibilité quand j'en ai eu besoin ; merci également à tous les membres du bureau d'étude pour leur sympathie et également leur disponibilité. Merci aux personnels de l'Unité Territoriale du Gapençais-Laragnais, Bruno GAUTHIER, Pierre VUILLERMOZ et Nicolas KOCISZEWSKI qui m'ont prêté du matériel pour que je puisse réaliser l'ensemble de mes mesures dans de bonnes conditions.

Merci à Valentin DURINCK pour l'aide qu'il m'a fournie en SIG et pour le travail de calage des cartes d'Etat-Major qu'il a réalisé avant mon arrivée.

Merci également à Louison CHARLY (Stagiaire Natura 2000 sur les sites du Morgon et du Piolit) et Emilie GENELOT (chargée de mission Natura 2000 du site du Steppique durancien et queyrassin et du Vallon des Bans-Vallée du Fournel) et Paul-Alexandre (Stagiaire ONF) qui m'ont accompagné sur des journées de terrain.

Je tiens également à remercier Philippe JANSSEN (Docteur de l'IRSTEA de Grenoble) qui m'a aidé pour la partie étude statistique des résultats. En effet nous avons discuté de la mise au point du plan d'échantillonnage. Il m'a ensuite aidé sur l'étude statistique de mes résultats sur R.

Je souhaite remercier Annie et Jean-Louis HELAS qui m'ont accueilli à Névache, chez eux lors de mes mesures sur le site Natura 2000 de la Clarée, ce qui m'a permis de gagner 4h de route par jour cette semaine-là.

Je tiens à remercier Patrick MAURY qui m'a permis d'emprunter son véhicule pour me rendre sur le terrain ainsi que pour son aide téléphonique lors d'une crevaison que j'ai subie sur une piste forestière dans le Queyras.

Pour finir, je souhaite remercier Sandrine CHAUCHARD ainsi que l'ensemble de l'équipe pédagogique du Master FAGE, qui m'a permis, à l'aide des connaissances acquises au cours de l'année scolaire, de répondre à la mission qui m'a été donnée durant le stage, et rédiger ce mémoire en répondant à la problématique imposée.

Table des matières

Remerciements	3
Table des sigles :	1
Introduction :	3
Contexte de l'Etude	3
Pourquoi s'intéresser aux forêts anciennes ?	3
L'étude des forêts anciennes est donc pertinente sur ces divers aspects	3
Le contexte forestier local	4
La zone d'étude : le réseau Natura 2000 des Hautes-Alpes	4
1. Matériel et Méthodes	5
1.1. Cartographie des forêts anciennes	5
1.2. Plan d'échantillonnage	7
1.3. Mesures sur les placettes	9
1.4. Analyses statistiques	10
2. Résultats	12
2.1. Étude préalable des variables	12
2.2. Diversité γ	14
2.3. Diversité α	16
2.4. Diversité β	17
2.5. Espèces indicatrices	19
2.6. Espèces et habitats d'intérêt communautaire	22
Discussion	24
Espèces indicatrices	25
3. Conclusion	26
Bibliographie	27
Annexes	30
Annexe I	31
Annexe II	32
Annexe III	33
Annexe IV	34
Résumé :	35
Abstract	35

Table des sigles :

- ONF : Office National des Forêts
- SIG : Système d'Information Géographique
- IRSTEA : L'Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
- RTM : Restauration des Terrains de Montagne
- IBP : Indice de Biodiversité Potentielle
- Peuplements :
 - A.P : Autres pins
 - AFM : Autres feuillus en mélange
 - ARM : Autres résineux en mélange
 - CHY : Chêne Pubescent
 - HET : Hêtre
 - MEE : Mélèze d'Europe
 - P.O : Pin Noir d'Autriche
 - P.S : Pin Sylvestre
 - P.X : Pin à Crochets
 - PC : Pin Cembro
 - S.P : Sapin Pectiné

Introduction :

Contexte de l'Etude

Ce rapport a pour vocation de rendre compte d'une étude de la biodiversité floristique des forêts anciennes qui a été menée au sein des sites Natura 2000 du département des Hautes-Alpes. La connaissance de l'ancienneté des forêts permettant d'avoir une bonne idée de la biodiversité permet donc de mettre en place les bons systèmes de gestion sur les parcelles forestières ensuite. Cette étude fut chapotée par les instances suivantes : l'Agence Etudes de l'ONF, le réseau Natura 2000, l'IRSTEA de Grenoble avec l'aide du Parc national des Ecrins, ainsi que du Conservatoire Botanique National Alpin. Le financement de l'étude a été assuré par la DREAL PACA dans le cadre de la mise en œuvre de Natura 2000.

Pourquoi s'intéresser aux forêts anciennes ?

Les écosystèmes forestiers ont des processus d'évolution très longs (Vallauri et al. 2012), pour preuve certains chênes (*Quercus sp.*) peuvent vivre plus de 500 ans et certains mélèzes (*Larix Europea*) jusqu'à 1000 ans. S'intéresser aux forêts anciennes nous permet d'étudier les mécanismes sur des pas de temps plus longs. Au cours du temps, la surface forestière a varié en fonction des activités humaines ; en effet, à partir du Néolithique, cette surface diminue au profit de l'agriculture (Barbier et al. 2010). Depuis le milieu du XIXe siècle, la forêt française voit sa surface augmenter chaque année, pour atteindre aujourd'hui 16,9 millions d'hectares à l'échelle du pays, 237 000 ha dans le département des Hautes-Alpes, ce qui représente 42% de la surface du département (IFN). Ceci est dû principalement à l'exode rural et à l'augmentation des rendements agricoles, qui ont permis de diminuer les surfaces de culture tout en continuant à produire suffisamment (Cinotti 1996).

Cette histoire de la couverture forestière a une incidence forte dans la répartition actuelle de la biodiversité. En effet l'impact des défrichements et des occupations humaines passés persiste, y compris après la reconquête par la forêt, et marque la composition chimique et la structure des sols, la composition et la richesse des cortèges floristiques et faunistiques.

Cette « mémoire » des sols peut perdurer plusieurs siècles après le retour de l'état boisé (Dupouey et al. 2002). Les forêts anciennes sont plus riches en matière organique et possèdent un sol chimiquement plus stable que les forêts récentes, ce qui permet à des espèces moins tolérantes aux modifications du sol de s'installer (Dupouey et al. 2002). L'installation d'espèces au sein des forêts anciennes est donc permise grâce à l'action de processus très lents. La flore associée aux forêts anciennes représente donc un patrimoine naturel très important et donc relativement fragile face aux éventuelles perturbations du milieu forestier. Il est donc important de prendre en compte cette biodiversité propre aux forêts anciennes dans les plans de gestion des parcelles forestières. L'identification des noyaux de forêts anciennes peut donc servir de support à la mise en œuvre de mesures conservatoires, ces zones étant a priori capables d'une meilleure résilience et de meilleures capacités d'accueil d'espèces très forestières. De plus il a été montré, en contexte méditerranéen, qu'il existe une relation entre biodiversité floristique et productivité des parcelles forestières (Bassatneh et al. 2007).

L'étude des forêts anciennes est donc pertinente sur ces divers aspects

Plusieurs études ont déjà montré que certaines espèces ressortent comme indicatrices d'un type de peuplement. Nous verrons au cours de cette étude si nous retrouvons les mêmes espèces indicatrices caractéristiques des forêts anciennes dans le contexte des Alpes du Sud (Dupouey 2002, Hermy 1999). Consulter ces résultats nous a permis également de mettre au

point un protocole de mesures pertinent, en croisant ces informations avec ce qui a pu être fait pour décrire la biodiversité (IBP, CNPF).

Avant de continuer nous allons définir ce qu'est précisément une forêt dite ancienne. Pour cette étude, nous avons suivi la définition suivante : « L'ancienneté correspond au temps continu de présence d'un écosystème forestier sur une unité de surface » (CATEAU et al. 2015). On considère qu'une forêt est ancienne si on la retrouve sur les cartes d'Etat-Major et de Cassini (Janssen 2016), c'est-à-dire que le sol est occupé par un peuplement forestier depuis quasiment 200 ans de manière continue.

La notion d'ancienneté n'est pas à confondre avec la maturité d'un peuplement forestier : la maturité correspond à l'avancement du développement biologique des arbres présents (Cateau et al. 2015). On peut donc avoir des peuplements jeunes dans des forêts anciennes comme des peuplements matures au sein de forêts récentes.

Le contexte forestier local

Les forêts offrent un grand nombre de services écosystémiques à notre société comme des services écologiques, économiques, sociaux et plus particulièrement le maintien du paysage dans le département des Hautes-Alpes. La biodiversité associée garantit le bon fonctionnement des écosystèmes forestiers ainsi que sa résilience et résistance aux éventuelles menaces. Elle permet également de décomposer et recycler la matière organique, limiter les ravageurs, de lutter contre les pathogènes et elle permet la pollinisation et la dispersion des graines et donc des espèces (Janssen 2016).

Le contexte historique forestier des Hautes-Alpes est remarquable. En effet ce département a subi par le passé des phases de surpopulation humaine auxquelles a été associé un surpâturage sur de nombreux versants, ce qui a provoqué une forte érosion et de nombreux glissements de terrains. Pour endiguer cette érosion, au cours des XIXe et XXe siècles de nombreuses plantations et reboisements ont été réalisés dans le cadre de la politique RTM (Restauration des Terrain de Montagne) (Ladier et al. 2012). La politique RTM est « *Issue des lois de 1860 et 1882 sur la restauration et la conservation des terrains en montagne ; le service RTM a pour objectif initial la lutte contre l'érosion et la régularisation du régime des eaux, par la correction torrentielle et le reboisement des bassins versants [...]* » Bruno Lailly, chef du service RTM Isère (août 2010).

La zone d'étude : le réseau Natura 2000 des Hautes-Alpes

Notre étude portera uniquement sur les sites Natura 2000 du département des Hautes-Alpes. Ils ont été mis définis pour conserver la nature de l'Union Européenne, dans le but de diminuer l'érosion de la biodiversité qui peut avoir lieu dans de nombreux écosystèmes suite aux activités anthropiques.

C'est en 1992 que les pays membres de l'Union européenne ont adopté la directive Habitat et donc créé le réseau Natura 2000. Ces zones de protection représentent 18% du territoire terrestre européen. Cela permet d'assurer à long terme la survie d'espèces et d'habitats menacés.

Le réseau Natura 2000 comprend les Zones de Protection Spéciale (ZPS) pour les oiseaux et les Zones Spéciales de Conservation (ZSC) pour protéger les types d'habitats et certaines espèces animales et végétales (INPN). Le département des Hautes-Alpes comprend 23 sites Natura 2000 qui s'étendent sur 200 000 ha, ce qui représente 40% du territoire et 2/3 des communes du département (Pouet 2008). Durant cette étude nous nous contenterons de travailler sur les 16 SZC du département. Vous retrouverez en Annexe I la carte et le nom de chaque site Natura 2000 en Annexe II.

1. Matériel et Méthodes

Le principal but de notre étude est de rendre compte de la diversité végétale que l'on trouve au sein des forêts anciennes et de comparer cette dernière avec celle que l'on trouve au sein des forêts récentes.

Le travail s'est réparti sur trois grandes phases distinctes :

- Cartographie des forêts anciennes et récentes
- Réalisation des relevés de terrain
- Traitement, analyse et interprétation des données recueillies

Pour définir nos zones de forêts anciennes nous avons utilisé la carte d'Etat-Major. Cette carte fut créée suite à une demande de Napoléon Ier. En effet il souhaitait avoir une cartographie précise du territoire français pour mener au mieux les différentes manœuvres et actions militaires. Cette carte viendra remplacer la carte de Cassini qui date du XVIIIe siècle.

Les cartographes de l'Etat-Major ont réalisé cette carte entre 1815 et 1880 en France, et entre 1855 et 1860 dans les Hautes-Alpes (Bleduc 2017). Cette carte présente une nouvelle représentation du relief et est plus précise et juste que la carte de Cassini. Des tests de précision de la carte de Cassini dans les Hautes-Alpes ont permis de constater ses importantes lacunes et sa grande imprécision géographique. Nous avons donc utilisé la carte d'Etat-Major pour cartographier nos forêts anciennes car elle permet d'avoir une idée correcte de leur emplacement (Rochel et al. 2017). Les cartes datant de 1855 à 1860 dans les Hautes-Alpes (entre 1853 et 1857 sur le secteur étudié), cela nous permet de savoir quels emplacements étaient boisés à cette époque. Or en France on sait que le minimum forestier date de la moitié du XIXème siècle (ONF), donc utiliser une carte qui date de cette période nous donne une forte probabilité d'être en présence de forêts plus anciennes. Or on considère qu'une forêt est ancienne si on a une continuité de l'état boisé pendant au moins 200 ans sans défrichement (Bec 2016).

1.1. Cartographie des forêts anciennes

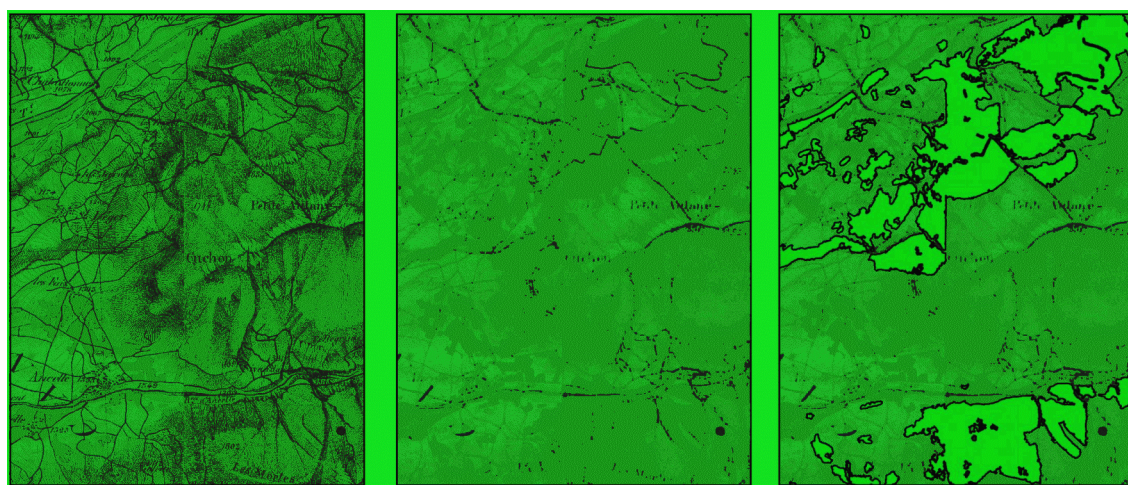


Figure 1 : Résultat attendu de l'utilisation d'Historical Map (Image Pfsister, Guillaoux 2017).

Pour réaliser la cartographie des forêts anciennes, nous avons, lors d'une première phase de travail, utilisé une extension de Qgis qui permet de réaliser une digitalisation semi-automatique des cartes d'Etat-Major. C'est en collaboration avec le Parc national des Ecrins que nous sommes partis sur cette méthode. En effet en 2017, le Parc national des Ecrins a rédigé un

mode d'emploi simplifié de la digitalisation semi-automatique de carte d'Etat-Major. (Pfsister & Guilloux 2017). Le principe est d'utiliser une extension de Qgis nommée *Historical map*. Cette extension permet, une fois que les cartes sont bien projetées et géoréférencées, d'analyser et dessiner automatiquement des polygones correspondant à telle ou telle occupation de sol (Figure 1).

Nous avons donc fait toute la phase préparatoire des cartes, avec des traitements d'image pour les rendre lisibles par l'extension quand cela était nécessaire, et géoréférencement en coordonnées de Bonne. Cependant nous ne sommes pas parvenus à obtenir une digitalisation correcte des forêts anciennes. Soit le traitement était très long et n'aboutissait pas, soit cela n'était pas suffisamment précis pour pouvoir être utilisé pour délimiter nos forêts.

Cette méthode ne fonctionnant malheureusement pas, nous avons réalisé la digitalisation de l'ensemble des forêts anciennes des sites Natura 2000 Haut-Alpins en suivant deux documents, « Le manuel de digitalisation des cartes anciennes de l'INRA » (Favre et al. 2011) et « Cartographier les forêts anciennes à partir des cartes d'Etat-Major » (Bec 2016).

Pour présenter la méthode utilisée pour réaliser cette cartographie, nous présenterons ici l'exemple de digitalisation du site Natura 2000 « Montagne de Seymuit – Crête de la Scie ». Sur la carte d'Etat-Major, on retrouve en vert clair les forêts, en beige les prairies et les pâturages et en vert foncé les champs cultivés. Cette symbologie est identique pour toutes les feuilles de la carte d'Etat-Major utilisées. On digitalise donc, via le logiciel ArcGis®, les polygones correspondant au contour des forêts.

La Figure 2 représente les forêts de la carte d'Etat-Major (polygones bleus).

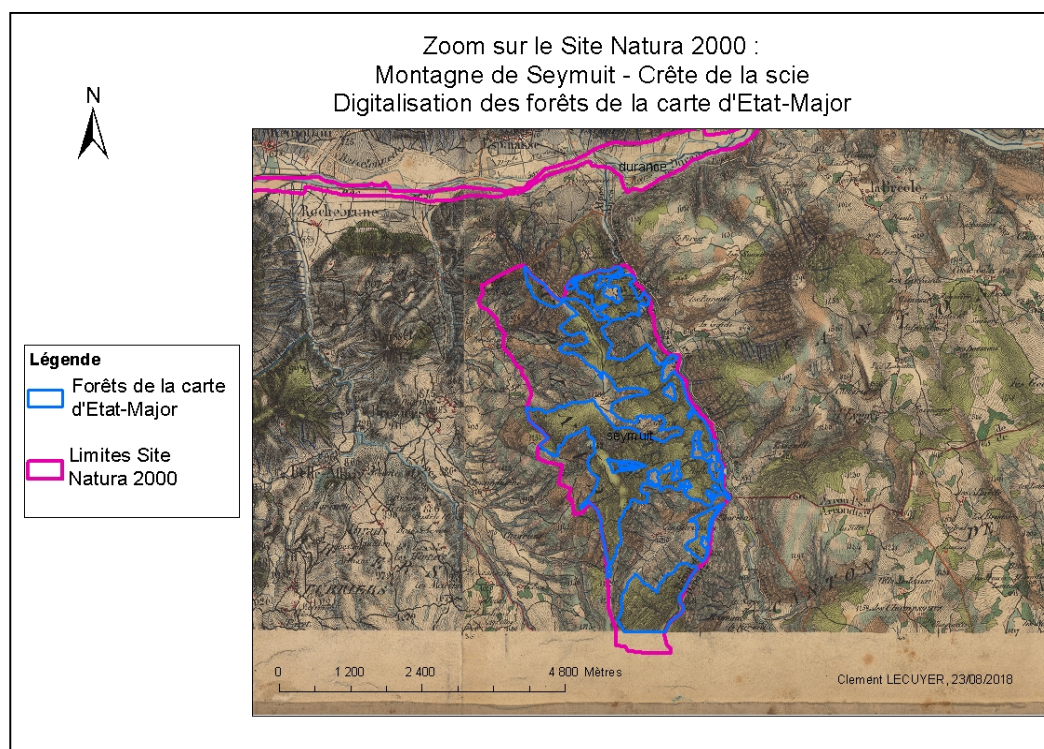


Figure 2 : Digitalisation des forêts de la carte d'Etat-Major du site Natura 2000 de la Montagne de Seymuit - Crête de la scie

On a pu remarquer, lors de la digitalisation de l'ensemble de ces forêts des sites Natura 2000, que certaines cartes d'Etat-Major sont délicates à interpréter. Nous avons donc dû jouer sur le contraste des feuilles pour distinguer les limites des forêts anciennes.

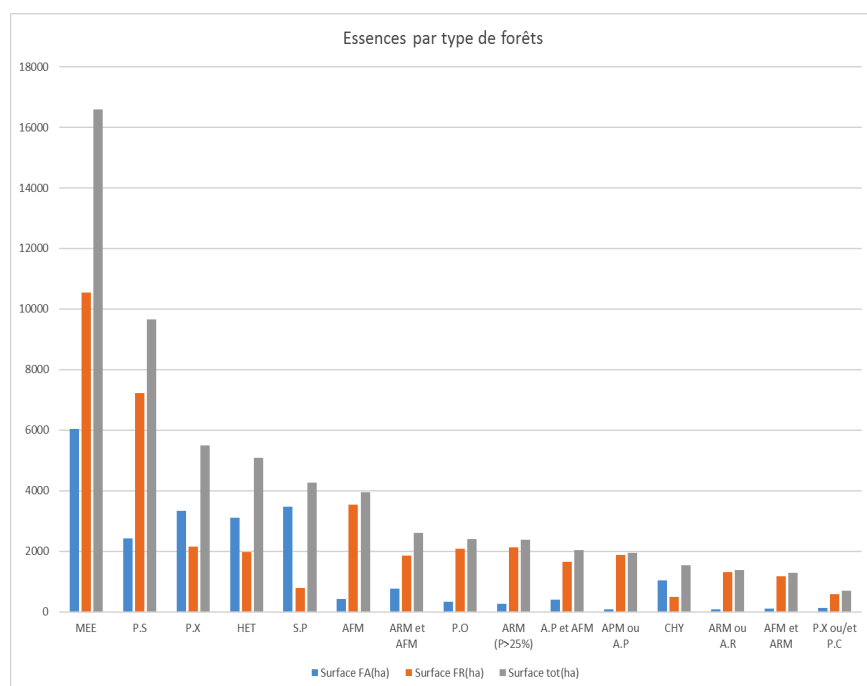
Nous avons également veillé à la bonne continuité de l'état boisé des forêts mentionnées sur la carte d'Etat-Major en regardant la photo aérienne de 1955 sur le site internet : remonterletemps.ign.fr.

Pour obtenir les informations sur les peuplements, nous avons dû croiser plusieurs couches SIG. Tout d'abord pour obtenir les forêts anciennes, nous avons croisé la couche de polygones que nous avons créée à partir de la carte d'Etat-Major avec la couche BDForêt® de l'IGN (figure 3). On a également utilisé cette couche pour connaître les peuplements présents et nous l'avons complétée avec les données d'une couche ONF appelée « Unités de peuplement », issue des différents plans d'aménagement.

1.2. Plan d'échantillonnage

Dans un premier temps, à l'aide d'une couche SIG de l'ONF qui décrit les différents peuplements forestiers du département, nous avons pu regarder quelles essences sont les plus représentées au sein des sites Natura 2000.

Pour faciliter les comparaisons de cortèges floristiques, nous nous sommes restreints à des parcelles occupées par des peuplements constitués par une seule essence (ou largement dominées par celle-ci (peuplements « purs »). A l'aide d' ArcGis® nous avons calculé les surfaces par essence (Figure 3).



En regardant ces surfaces par essence, nous avons décidé de travailler sur les quatre essences pures qui possèdent la surface la plus importante au sein des sites Natura 2000. Nous avons donc réalisé notre plan d'échantillonnage au sein de peuplements de Mélèze d'Europe (*Larix Europea*), de Pin sylvestre (*Pinus Sylvestris*), Pin à crochets (*Pinus uncinata*) et de Hêtre (*Fagus Sylvatica*).

Nous avons donc conservé uniquement les polygones qui représentent ces quatre essences.

Figure 3 : Surface des différentes essences présentes dans les sites Natura 2000 (05)

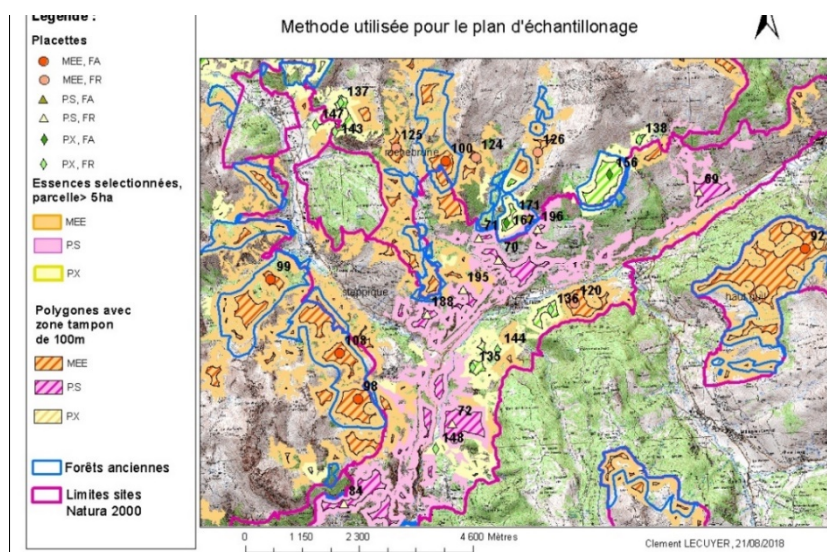


Figure 4 : Méthode de sélection des localisations des placettes, où MEE = Mélèze, PS= Pin Sylvestre, PX = Pin à crochets, FA = Forêts Anciennes ; FR=

Nous avons remarqué, sous SIG, que de nombreux polygones ne représentent que de très petites surfaces unitaires. Afin d'être sûr d'être bien au cœur d'un peuplement nous avons utilisé deux filtres :

- Dans un premier temps nous avons supprimé tous les polygones qui représentent une surface inférieure à 5ha.
- Dans un deuxième temps, et dans le but de diminuer l'effet lisière sur les relevés botaniques, nous avons dessiné une zone tampon de 100m sur chaque

polygone (hachuré sur la Figure 4). En effet, une distance de 100m depuis la lisière suffit à diminuer suffisamment l'effet lisière sur les espèces (Harper et al. 2005). Cette carte est disponible à une échelle plus lisible en annexe de ce rapport.

Ces deux manipulations ont diminué fortement le nombre de polygones pour chaque essence. Voici un tableau récapitulatif du nombre de polygones restants lorsqu'on enlève tous ceux inférieur à 5ha (Tableau 1).

Tableau 1 : Nombre de polygones avant et après sélection des parcelles >5ha

		Mélèze			Pin Sylvestre			Hêtre			Pin à crochets		
		Total	FA	FR	Total	FA	FR	Total	FA	FR	Total	FA	FR
Nombre de polygones	Avant filtre	2277	690	1587	1748	540	1208	1266	475	791	1167	453	714
	Filtre (peuplement >5ha)	492	158	334	326	88	238	221	119	102	182	97	85
Surface en ha	Avant filtre	16571.5	6034.9	10536.6	9638.4	2424.3	7214.1	5069.7	3100.1	1969.6	5487.0	3340.7	2146.3
	Filtre (peuplement >5ha)	14533.7	5464.1	9069.6	8108.4	1963.2	6145.2	3938.7	2672.1	1266.6	4464.4	2935.3	1529.1

Pour pouvoir étudier statistiquement les résultats des relevés, nous avons décidé de réaliser 40 placettes par essence, en en plaçant 20 au sein des forêts anciennes et 20 au sein des forêts récentes.

En ce qui concerne le placement des placettes, plusieurs paramètres ont été pris en compte :

- Vérification de l'altitude des placettes en fonction des essences sélectionnées et de la topographie du département des Hautes-Alpes ; les placettes sont réparties entre 900 et 2500m d'altitude environ.
- Vérifier que les ubacs et adrets sont en proportions proches : ces deux conditions influencent beaucoup la température, l'ensoleillement et donc la flore présente.
- Prendre garde aux conditions bio-géo-climatique. Au sein du département, on retrouve un fort gradient climatiques entre les Alpes internes à l'est du département (faibles précipitations, forte continentalité) et les Alpes externes à l'ouest du département (précipitations conséquentes, influence atlantique plus marquée). Cette différence climatique nous oblige à réaliser un échantillonnage plus important sur le Pin Sylvestre (75 placettes), car on le retrouve dans l'intégralité du département. En augmentant l'échantillon on peut diminuer l'éventuelle différence que l'on pourrait avoir à cause de la différence de climat entre les alpes internes et les alpes externes (Station Alpine Joseph Fourier).
- Le dernier critère que nous avons pris en compte est l'accessibilité des placettes. Ayant accès à l'ensemble des pistes forestières du département, nous avons privilégié les placettes relativement proches de ces dernières. Dans de nombreux cas, en l'absence de desserte routière, il fut nécessaire de marcher et de grimper un fort dénivelé pour atteindre les zones de mesures.

En suivant cette démarche nous avons donc placé 203 points dans la plupart des sites Natura 2000 du département des Hautes-Alpes. Le Tableau 2 ci-contre récapitule le nombre de placettes par essence et par modalité (voir également en annexe I la carte générale de l'ensemble des placettes).

Nous avons essayé de répartir au mieux les placettes entre les deux modalités. On remarque un léger déséquilibre pour le hêtre : nous avons mis quelques placettes supplémentaires en forêt ancienne, car les orthophotos aériennes ne nous permettaient pas toujours d'être sûr de bien se situer dans une hêtraie. On retrouve le Hêtre uniquement dans les Alpes externes,

Tableau 2 : Nombre de placette par modalité : FA=Forêt Ancienne, FR=Forêts Récentes, et par essence HET = Hêtre, MEE = Mélèze d'Europe, P.S = Pin Sylvestre, P.X = Pin à crochets

Essence	FA	FR	TOTAL
HET	25	21	46
MEE	20	20	40
P.S	37	38	75
P.X	20	22	42
TOTAL	102	101	203

c'est-à-dire sur les sites Natura 2000 du Dévoluy, de Céuse et du Valgaudemar essentiellement alors que le Mélèze et dans une moindre mesure le Pin à crochets se retrouvent essentiellement dans les Alpes internes.

Au cours des différentes journées de prospection de terrain, nous avons pu constater que certaines données cartographiques que nous avons utilisées ne concordent pas avec les essences que l'on retrouve sur le terrain. Nous avons donc dû changer certains points. Certaines placettes ont également dû être supprimées car elles étaient inaccessibles, soit à cause du terrain, soit à cause de la présence de troupeau de moutons gardés par des Patous (chiens de protections des troupeaux contre le loup), ou encore à cause de conditions météorologiques inadéquates (de nombreux orages au printemps ont rendu les premières semaines de mesures compliquées). Dans la mesure du possible, nous avons essayé de replacer ces placettes ailleurs.

L'ensemble des difficultés rencontrées a fait légèrement diminuer le nombre de placettes étudiées par rapport à celui prévu à la base (Tableau 3). Mais nous gardons un échantillon suffisamment important pour que l'on puisse mener une analyse statistique robuste.

Tableau 3 : Nombre de placettes visitées par modalité et par essence

	Het	Mel	PinC	PinS
FA	26	21	21	34
FR	21	19	17	38

1.3. Mesures sur les placettes

Une fois que nous avons sélectionné les points à visiter, nous avons mis au point un protocole de relevé. Le but étant d'établir une différence de diversité floristique entre forêts anciennes et forêts récentes, nous devons étudier la flore ; pour cela, un relevé floristique exhaustif par strate a été réalisé sur chaque placette.

La diversité floristique étant influencée par différents paramètres, les données stationnelles suivantes ont également été relevées :

- Orientation de la pente à l'aide d'une boussole
- Inclinaison de la pente à l'aide d'un clinomètre
- Altitude, par lecture de carte IGN et mesure à l'aide du GPS (peu précis généralement)

Nous avons également réalisé des mesures sur le peuplement même :

- Mesure de la surface terrière à l'aide d'un relascope à chaînette (Figure 5)
- Mesure de la hauteur du peuplement à l'aide d'un clinomètre. Pour estimer la hauteur du peuplement, on mesure celle de 3 à 5 arbres représentatifs et on calcule une moyenne. (Rondeux et al. 1997)
- Comptage du bois mort présent sur la placette, que cela soit le bois mort sur pied ou au sol
- Description rapide du type d'humus
- Relevé des éventuels indices d'anciennes activités humaines, c'est-à-dire la présence de ruines, tas d'épierrement, charbonnières, terrasses, traînes qui sont des indices importants de l'ancienneté des forêts (Abadie 2018).
- Mesure de l'ouverture du peuplement à l'aide d'un densiomètre convexe. Cet instrument permet d'estimer le pourcentage de recouvrement de la canopée (Figure 6).



Figure 5 : Utilisation du relascope pour estimer la surface terrière

L'utilisation de cet appareil demande une certaine prise en main et habitude. Sur chacun des quatre axes cardinaux, il faut compter le nombre de points (Figure 7) sur lesquels on peut voir le ciel, ce qui signifie qu'il n'est pas recouvert par la canopée de la strate arborescente. Il faut ensuite additionner le nombre obtenu sur chacun des axes, puis multiplier cette valeur par 1.04, ce qui nous donne le pourcentage d'ouverture du peuplement. Pour plus de détail sur la méthode d'utilisation de cet appareil nous vous invitons à consulter l'article de Baudry et al. « Mesurer l'ouverture du couvert et estimer la disponibilité en lumière en forêt feuillue au moyen du densiomètre convexe » (2013), que nous avons utilisé comme mode d'emploi de cet appareil.



Figure 6 : Densiomètre convexe utilisé en hêtraie

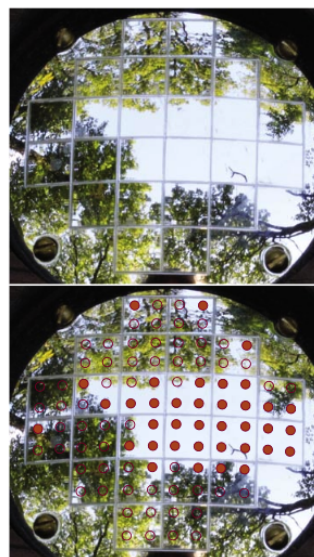


Figure 7 : Méthode d'utilisation du densiomètre convexe

1.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques de cette étude ont été réalisées avec l'appui technique de l'IRSTEA de Grenoble et plus particulièrement Philippe JANSSEN (Docteur de l'Université Grenoble-Alpes). Pour obtenir ces résultats nous avons utilisé le logiciel R (R version 3.4.2 (2017-09-28) - "Short Summer").

Avant d'étudier la diversité floristique au sein de notre système d'étude, nous allons vérifier que c'est bien le facteur ancienneté qui fait varier la diversité floristique.

Pour ce faire, nous allons utiliser les différentes mesures que nous avons réalisées sur le terrain mais également des mesures liées au paysage et à l'environnement proche de chaque placette.

Nous testons donc les facteurs 'ancienneté' et 'peuplement' en fonction des variables suivantes :

- Variables liées à la position de la placette :
 - Latitude
 - Altitude
 - Pente
 - Orientation
- Variables liées au peuplement
 - Ouverture
 - Présence de gros bois
 - Présence de petit bois
 - Bois mort
- Variables liées au paysage

- Distance à la lisière de chaque placette
- Proportion de forêt ancienne dans l'environnement proche
- Proportion de forêt récente dans l'environnement proche
- Proportion de sol non occupé par de la forêt

Les variables liées au paysage ont été obtenues en utilisant ArcGis® (ArcMap 10) et les données et couches SIG de l'ONF. Nous avons calculé que la distance moyenne entre deux placettes est de 1000m. Pour calculer les pourcentages d'occupation de sol autour de nos placettes, nous avons pris une distance de 500m de rayon (Janssen 2017). Pour obtenir les données paysagères, nous avons utilisé la couche BDForêt® de l'IGN ; cette couche permet de connaître quel type de forêt est présent par emplacement.

Par la suite nous avons étudié la biodiversité floristique associée à chaque placette dans un rayon de 10 m en réalisant, comme précisé précédemment, un relevé le plus exhaustif possible de la flore présente aux différentes strates (herbacée, arbustive et arborée). Pour étudier la biodiversité, nous avons calculé les diversités α (α), β (β) et γ (γ) sur l'ensemble de nos relevés. La diversité α correspond à la diversité locale, c'est-à-dire le nombre d'espèces qui coexistent dans un habitat uniforme. La diversité β permet de montrer les différences de composition qui peuvent exister entre deux systèmes différents. La diversité γ quant à elle est similaire à la diversité α mais en prenant en compte l'ensemble du système étudié (Marcon 2016).

Pour étudier la diversité γ , nous avons utilisé des courbes de raréfaction pour comparer les forêts anciennes et récentes en termes de richesses cumulées de toutes les espèces relevées. Nous avons utilisé des tests de randomisation Monte Carlo, C2CV (avec $n=999$) pour évaluer l'importance de la continuité de la forêt et de l'interaction que cela implique sur la richesse en espèces cumulées (Rossi 2011).

Pour étudier la diversité α nous avons comparé le nombre moyen d'espèces relevé pour chaque modalité ; nous avons vérifié la significativité à l'aide d'Anova de type III. Ceci nous permettra de savoir s'il y a une flore plus riche en forêt ancienne ou récente. Nous avons également testé cela au sein de chaque type de peuplement.

Pour la diversité β nous avons utilisé le package mvabund du logiciel R pour étudier nos données multivariées. Cela nous a permis de représenter graphiquement les différences floristiques qu'il existe entre les différents facteurs. Nous vérifions la significativité des différences avec une analyse de la déviance pour les modèles linéaires généralisés multivariés pour les données d'abondance (Warton 2012).

Pour déterminer la réponse de chaque espèce à l'aspect ancienneté de la forêt et continuité de l'état boisé, nous avons utilisé l'analyse des espèces indicatrices (Caceres & Legendre 2010), basé sur l'index des valeurs d'indicateur (IndVal). Cet indicateur prend en compte deux caractéristiques : la concentration de l'abondance dans un groupe particulier de site (exclusivité) et la fréquence relative des espèces dans ce groupe (fidélité). Nous avons donc utilisé l'index IndVal pour étudier les préférences de chaque espèce en fonction de l'ancienneté de la forêt. Parallèlement, au sein de chaque peuplement, nous avons appliqué un test de permutation ($n=9999$) pour tester statistiquement les espèces indicatrices. On ajuste nos valeurs en appliquant la méthode d'Hochberg, ce qui permet de ne conserver que les valeurs significatives.

2. Résultats

2.1. Étude préalable des variables

Comme présenté précédemment, on va tester l'indépendance des variations floristiques vis-à-vis des différentes variables que nous avons mesurées. On vérifie donc que les variations sont bien dues au facteur ancienneté.

Le Tableau 4 nous donne les valeurs moyennes de chaque variable en fonction de l'ancienneté et en fonction du peuplement. Pour chaque valeur, on précise la déviation standard entre parenthèse. On teste ensuite la significativité de chaque variable en fonction de l'ancienneté (Anc), du type de peuplement (Peup) et en croisant les facteurs ancienneté et peuplement (Inter) via une Anova.

On constate alors que les variables ne jouent pas un rôle significatif sur le facteur ancienneté ; on relève cependant plus de significativité lorsque l'on regarde les données associées au peuplement.

Lorsque l'on croise les deux facteurs peuplement et ancienneté on remarque qu'il n'y a pas d'effet significatif sur l'interaction, sauf pour les variables paysagères qui correspondent au pourcentage de forêts anciennes et de forêts récentes dans un rayon de 500m autour de chaque placette.

Cette étude préalable nous permet de valider notre plan d'échantillonnage et notre analyse statistique, en effet cela signifie que les différences floristiques entre les placettes sont bien dues au facteur ancienneté et peuplement et ne dépendent pas des autres variables que nous avons testées.

Tableau 4 : Variations (moyenne(±écart-type)) des variables liées aux placettes, au peuplement et paysagères entre les forêts

Description		Ancienneté		Peuplement				Anova		
Types	Variables	Anc	Rec	Hêtre	Mélèze	Pin à crochets	Pin sylvestre	p Anc	p Peup	p Inter
Variables liées à la placette	Latitude	44,69 (±0,16)	44,72 (±0,17)	44,56 (±0,1)	44,81 (±0,16)	44,79 (±0,14)	44,7 (±0,13)	0.9565	2.00E-09	0.4336
	Altitude (m)	1583,23 (±19,82)	1537,12 (±2,47)	1354,83 (±192,59)	1908,36 (±190,5)	1772,07 (±249,46)	1391,19 (±260,24)	0.8586	9,25E-19	0,2762
	Pente (degrés)	55,82 (±17,84)	51,47 (±7,62)	56,87 (±13,16)	52,3 (±15,17)	55,18 (±20,16)	51,69 (±20,34)	0,8391	0,6447	0,4739
	Orientation (grade)	201,29 (±39,77)	227,01 (±1,75)	214,98 (±153,32)	197,57 (±153,75)	217,95 (±131,89)	219,57 (±101,99)	0,8265	0,8686	0,8395
Variables liées au peuplement	Ouverture (%)	30,19 (±13,34)	30,27 (±0,93)	15,27 (±6,64)	35,29 (±7,19)	37,5 (±8,88)	33,35 (±10,6)	0,4164	2,81E-20	0,7520
	Gros bois	10,21 (±10,07)	10 (±9,07)	11,55 (±11,24)	13,95 (±10,37)	5,55 (±5,73)	9,43 (±8,6)	0,8828	0,1157	0,6507
	Gros bois mort	0,93 (±1,86)	0,99 (±1,39)	1,17 (±2,4)	0,38 (±0,59)	1 (±1,38)	1,12 (±1,53)	0,5905	0,4015	0,5861
	Bois mort au sol	1,02 (±1,32)	1,17 (±1,76)	1 (±1,41)	0,7 (±1,18)	1,13 (±1,4)	1,35 (±1,83)	0,6343	0,8935	0,2868
Variables paysagères	Distance à l'lisière (m)	239,32 (±19,17)	194,09 (±0,98)	214,99 (±107,87)	224,97 (±121,35)	235,08 (±97,81)	205,74 (±119,02)	0,0405	0,8812	0,6483
	Pourcentage de Forêts anciennes (%)	71,76 (±20,58)	14,01 (±8,37)	48,83 (±27,53)	42,87 (±36,09)	48,34 (±39,92)	38,93 (±35,65)	4,83E-08	0,1793	0,0007
	Pourcentage d'occupation autre que forêt (%)	7,22 (±9,76)	11,86 (±1,94)	5,64 (±8,15)	14,36 (±13,31)	7,88 (±7,59)	10,06 (±12)	0,4012	0,2166	0,4671
	Pourcentage de Forêts récentes (%)	20,91 (±17,19)	74,10 (±9,93)	45,54 (±26,1)	42,68 (±31,22)	43,76 (±39,18)	50,86 (±33,12)	4,12E-08	0,0028	0,0003

On vérifie ensuite la normalité de nos variables à l'aide d'un test de Shapiro-Wilks. On déduit de ce test que les variables suivantes ne possèdent pas une distribution normale : le nombre de gros bois (ngbv) (diamètre à 1m30 supérieur à 45cm) ainsi que la présence de bois mort, la distance à la lisière, et la proportion de sol non forestier (Figure 8). Pour réaliser le reste des études nous réalisons des transformations logit et logarithmiques de nos variables qui n'ont pas de distribution normale.

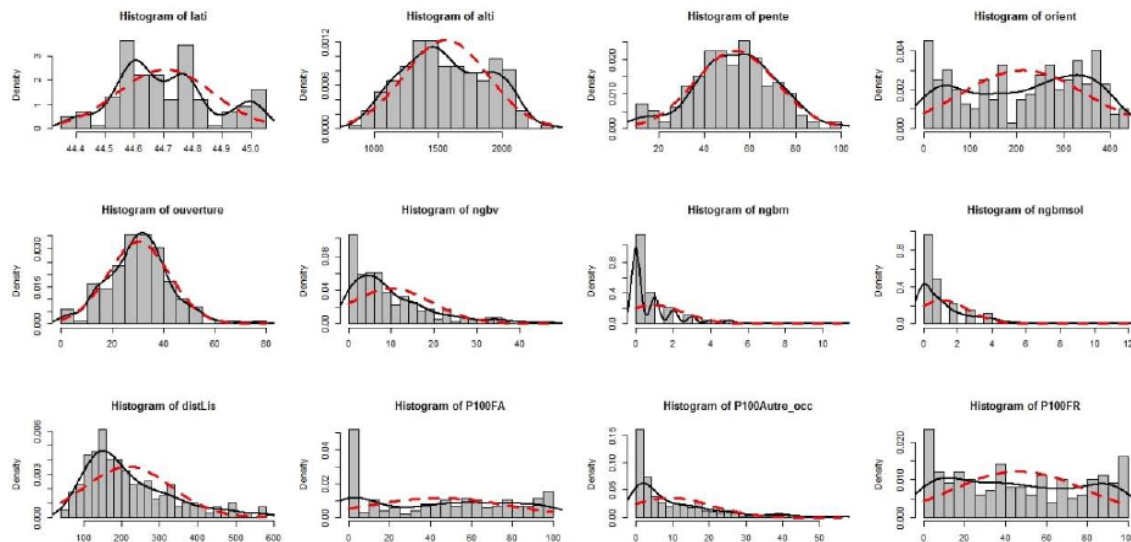


Figure 8 : Vérification de la normalité des variables.

Ces distributions non normales peuvent s'expliquer de la façon suivante, tout d'abord notre plan d'échantillonnage ne prenant pas en compte l'exploitation ni la maturité du peuplement mais uniquement l'aspect ancienneté de la forêt, nous étions rarement dans des peuplements très matures. Ce qui explique une distribution non normale du gros bois et du bois mort.

En ce qui concerne la distance à la lisière, comme présenté précédemment dans le plan d'échantillonnage, nous nous sommes placés dans les polygones créés par les différents filtres. Nous nous sommes donc majoritairement placés à proximité des limites des polygones pour gagner du temps et de l'énergie.

On constate également une distribution non normale de l'occupation du sol autre que forestier. Cette donnée venant de l'étude de l'occupation du sol dans un rayon de 500m autour du centre des placettes, nous pouvons facilement imaginer que nous avons une forte proportion de forêt dans ce rayon, au vu des filtres que nous avons décidé d'utiliser pour le choix de nos placettes de mesures. Cela explique une distribution non normale mais centrée sur des valeurs proches de 0.

2.2. Diversité γ

La diversité γ permet d'estimer la richesse de cumulée en espèce lorsqu'on échantillonne un même milieu en différents endroits. Par exemple dans notre cas, on regarde la richesse cumulée qu'on peut avoir au sein de l'ensemble des placettes correspondant aux forêts anciennes, ou toutes les placettes correspondant à un type de peuplement. Dans un premier temps nous allons voir la richesse cumulée en fonction de l'ancienneté des placettes ; nous étudierons ensuite les différences qu'il existe entre les différents peuplements puis nous verrons ce qu'il en est au sein de chaque peuplement.

En fonction du facteur ancienneté

On teste la significativité de la différence de richesse cumulée entre les deux modalités (forêt ancienne et forêt récente) à l'aide du test de Monte Carlo, C2CV (Rossi 2016). Ce test nous permet de montrer qu'il y a significativement plus d'espèces en forêt récente qu'en forêt ancienne ($pvalue = 0.007$). En effet nous avons relevé 315 espèces différentes en forêt ancienne, contre 354 en forêt récente (Figure 8).

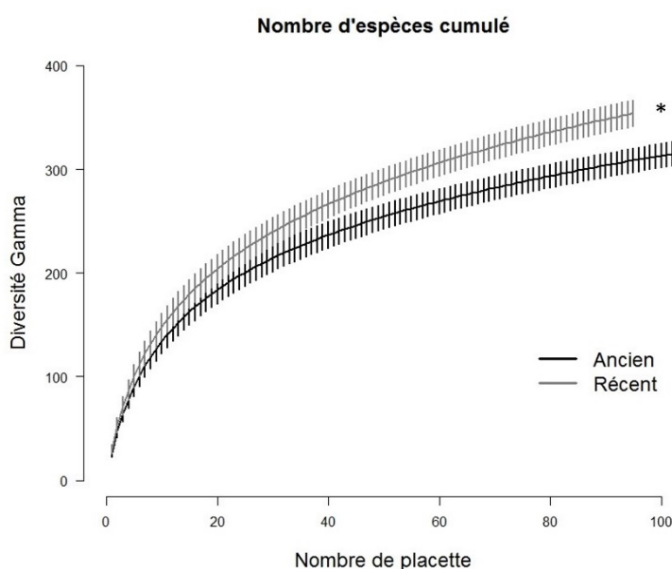


Figure 8 : Nombre d'espèce cumulé par facteur, Forêt ancienne/Forêt récente

En fonction du facteur type de peuplement

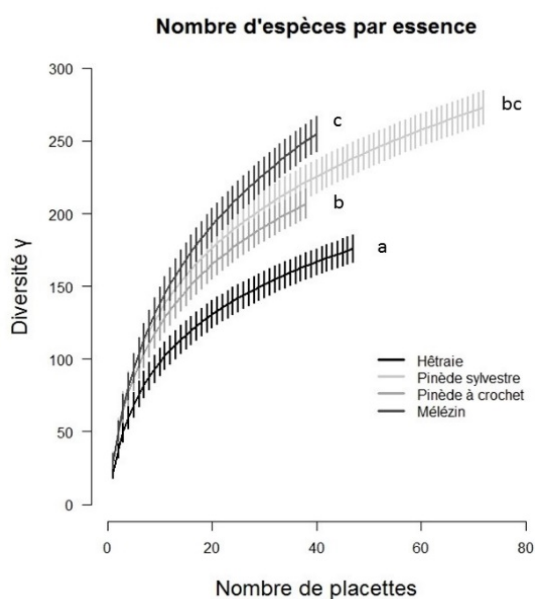


Tableau 5 : Résultats des tests de comparaison 2 à 2 de Monte Carlo

Essence	Nombre d'espèce	Pvalue de comparaison 2 à 2			n random
		Hêtre	Pin Sylvestre	Pin à crochet	
Hêtre	176				999
Pin Sylvestre	273	0.001*			999
Pin à crochet	207	0.009*	0.197		999
Mélèze	255	0.001*	0.983	0.021*	999

Figure 9 : Diversité γ en fonction de l'essence

On compare la différence de diversité γ entre les 4 essences sélectionnées.

Une nouvelle fois on réalise une comparaison des diversités 2 à 2 à l'aide de C2CV, en répétant 999 fois la comparaison. On constate donc (Tableau 5) que le hêtre a une diversité γ significativement différente des 3 autres essences présentes. On constate également que le mélèze et le pin à crochets ont des diversités significativement différentes. On indique (Figure 9) la significativité en rangeant les essences dans des groupes (a, b, bc et c).

On constate que l'on a une diversité moindre en Hêtraie (176 espèces relevées). Ceci peut s'expliquer par le fait que les hêtraies ont souvent une couverture de la strate arborescente très importante, ce qui limite l'expression des strates basses.

A l'inverse, les pinèdes ou les mélézins sont généralement des peuplements plus ouverts (Figure 10), ce qui peut en partie expliquer une diversité cumulée des espèces plus importante.

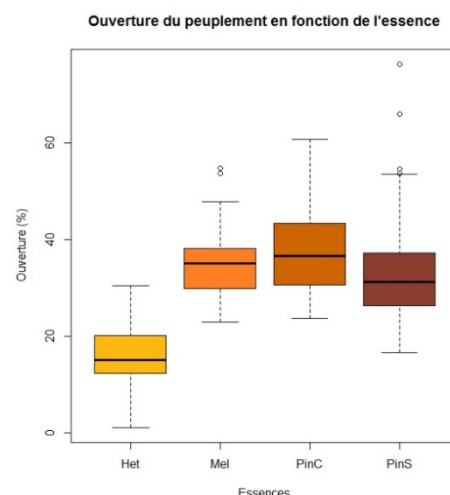


Figure 10 : Pourcentage d'ouverture de la canopée par essence

En fonction du facteur ancienneté et type de peuplement

Nous venons de montrer qu'il y a une différence significative de diversité entre les forêts anciennes et récentes ; nous avons également pu relever des différences entre les différentes essences. Nous allons donc regarder au sein de chaque peuplement, s'il existe des différences significatives entre forêt ancienne et forêt récente.

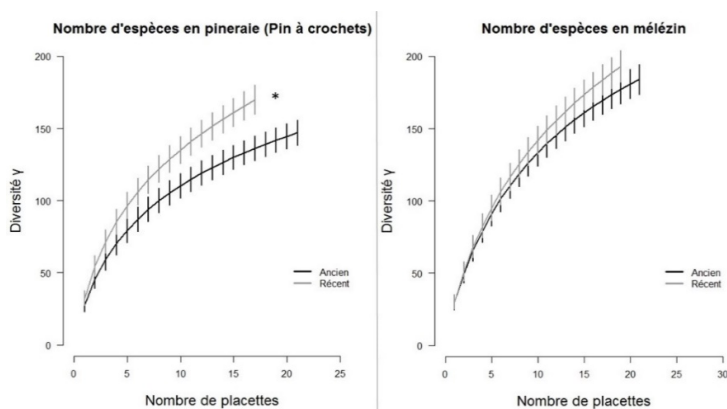


Figure 11 : Diversité γ au sein du pin à crochets et du mélèze en fonction de l'ancienneté

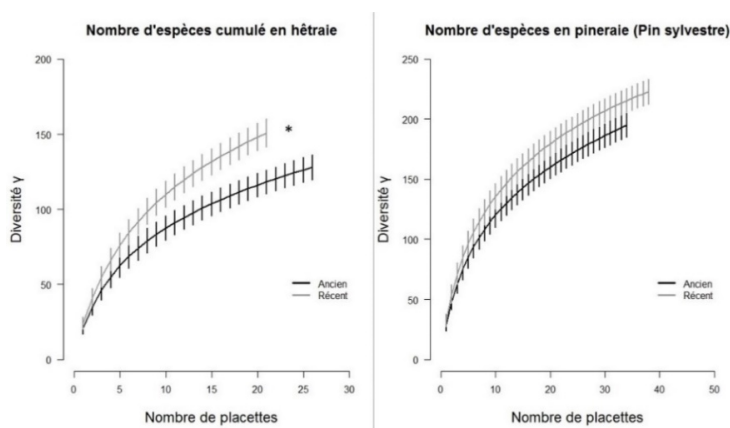


Figure 12 : Diversité γ au sein de la hêtraie et de la pineraie à Pin sylvestre en fonction de l'ancienneté

On constate qu'il y a une différence significative entre les modalités forêts anciennes et forêts récentes uniquement au sein des peuplements de hêtres (Figure 12) et de pins à crochets (Figure 11). Comme précédemment on a comparé deux à deux les diversités à l'aide de C2CV en appliquant 999 répétitions (Tableau 12).

Une nouvelle fois, les forêts récentes possèdent une diversité gamma plus importante que les forêts anciennes, même si cela n'est pas significatif on remarque que c'est le cas également au sein des pins sylvestres et des mélèzes.

Tableau 12 : Résultats tests de comparaison 2 à 2 de Monte Carlo

	Nombre d'espèce relevées		C2CV
Essence	FA	FR	pvalue
Hêtre	132	155	0.015*
Pin Sylvestre	199	227	0.177
Pin à crochets	151	174	0.034*
Mélèze	188	197	0.199

2.3. Diversité α

La diversité α nous permet de calculer le nombre d'espèces qui coexistent en un milieu donné. On va étudier ici le nombre moyen d'espèces relevé en fonction de l'ancienneté, du peuplement et on regardera ce qui l'en est au sein de chaque peuplement.

Tableau 13 : Variations (moyenne ($\pm$ déviat standard)) du nombre d'espèces relevé par strate, en fonction de l'ancienneté et du type de peuplement

	Ancienneté		Peuplement				ANOVA		
Strates	Anc	Rec	Hêtre	Mélèze	Pin à crochets	Pin Sylvestre	p Anc	p Peup	p Inter
Flore totale	26.82 (± 7.66)	30.18 (± 9)	22.32 (± 8.56)	29.85 (± 6.3)	29.97 (± 7.97)	30.85 (± 7.94)	0.00524135	0.00012013	0.65192903
Arborescente	2.49 (± 1.34)	2.17 (± 1.34)	3.28 (± 1.36)	1.95 (± 1.01)	2.11 (± 1.18)	2.06 (± 1.32)	0.09406013	0.00757694	0.04083065
Arbustive	3.56 (± 2.05)	4.23 (± 2.68)	3.47 (± 2.63)	3.17 (± 2.22)	3.34 (± 1.96)	4.83 (± 2.26)	0.04797051	0.00298693	0.44297865
Herbacée	23.55 (± 6.86)	26.23 (± 7.98)	19.53 (± 7.18)	26.4 (± 6.16)	26.58 (± 7.12)	26.53 (± 7.15)	0.01206677	0.00047488	0.72294728

On a les résultats de l'ANOVA pour nous donner les valeurs significatives dans le Tableau 13 ci-dessus.

La Figure 13 nous permet de remarquer qu'il y a significativement un plus grand nombre d'espèces relevées en forêts récentes qu'en forêts anciennes, toutes strates confondues (a1). On retrouve cette même significativité aux strates arbustive (c1) et herbacée (d1).

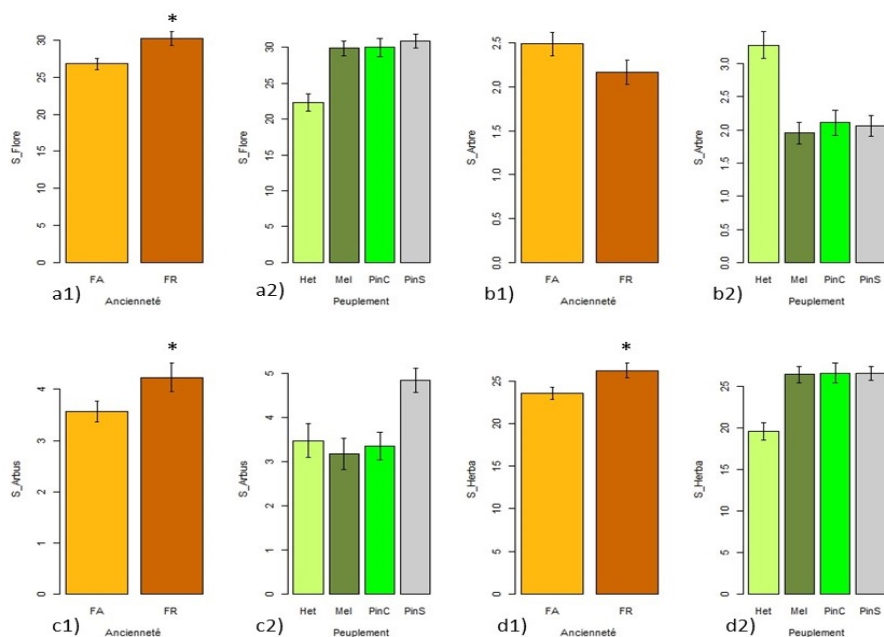


Figure 13 : Diversité α par strate, S_{Flore} = Flore totale, S_{Arbre} = Strate Arborescente, S_{Arbus} = Strate Arbustive, S_{Herba} = Strate herbacée

Dans un deuxième temps, on cherche à savoir, au sein de chaque peuplement et en regardant au niveau de chaque strate, si on remarque une différence de diversité α . On représente graphiquement (Figure 14) le nombre moyen d'espèces. Une analyse de variance nous permet de vérifier la significativité (Tableau 14).

Tableau 14 : Tests de significativité des différences entre modalités

Strates	pvalue, ANOVA			
	Hêtre	Pin Sylvestre	Pin à crochets	Mélèze
Flore totale	0.181	0.057 [*]	0.082	0.849
Arborescente	0.498	0.018 [*]	0.382	0.025 [*]
Arbustive	0.054 [*]	0.809	0.310	0.708
Herbacée	0.316	0.055 [*]	0.130	0.825

En réalisant les Anova on a pu constater que 3 valeurs sont quasiment significatives (très proches de 0,05, astérisques grises dans le Tableau 14). La strate arbustive en hêtraie et herbacée en pineraie de Pin sylvestre. Notre échantillonnage manque peut-être de répétitions pour avoir une significativité ici.

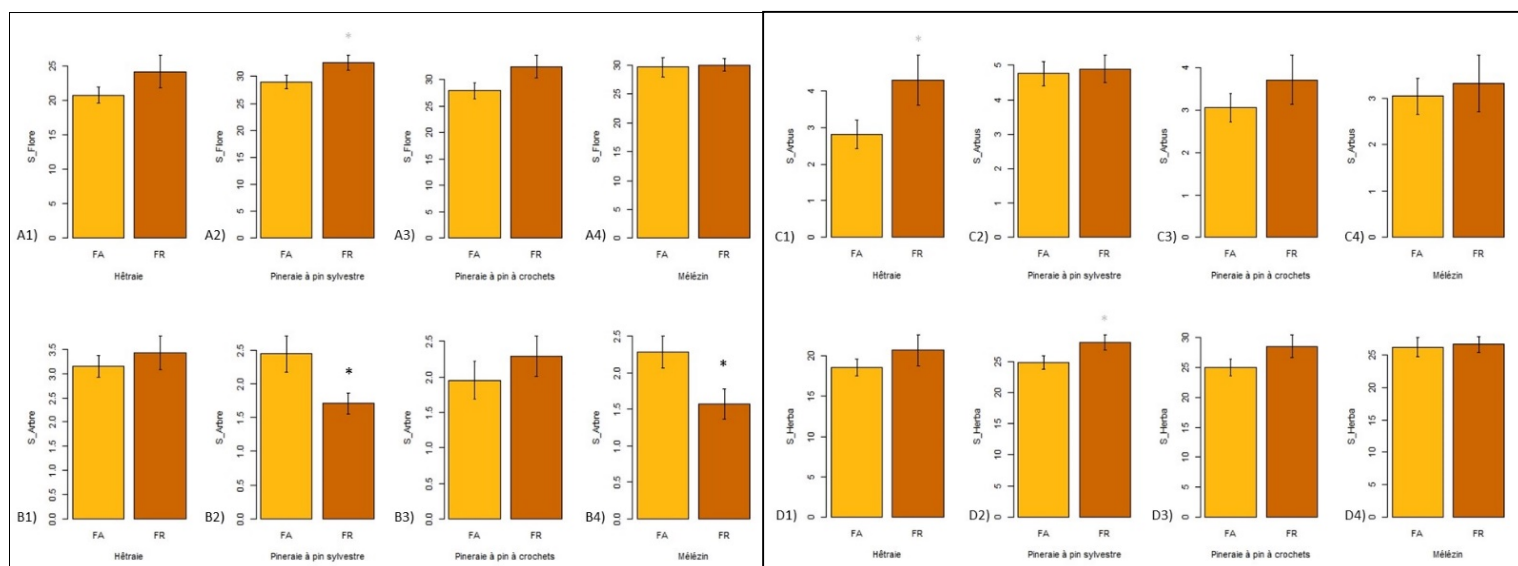


Figure 15 : Nombre moyen d'espèces relevés par essence et par strate en fonction de l'ancienneté

La Figure 15, nous permet de voir que l'on a significativement une moins grande diversité d'arbres en pineraie de sylvestre (Fig 15, B2) et en mélèzin (Fig 15, B4) récents. Ceci peut s'expliquer par le fait que les forêts anciennes ont pu se faire coloniser par d'autres essences au cours du temps, ce qui est moins possible en forêts récentes.

2.4. Diversité β

La diversité β nous permet de réaliser des comparaisons de diversité entre différents écosystèmes, ici nous allons l'utiliser pour réaliser des comparaisons entre les forêts anciennes et les forêts récentes. Comme précédemment, dans un premier temps nous allons comparer sans faire de distinction entre les essences, puis nous verrons au sein de chaque essence quelles différences nous pouvons relever.

Pour réaliser les calculs de la diversité β , nous ne conservons que les espèces les plus présentes. On a choisi de ne conserver que les espèces qui sont au moins présentes dans 5% des sites. Nous utilisons le package mvabund pour réaliser ces mesures. En effet ce package permet d'étudier les données multivariées et de comparer la composition en espèces d'un site à

l'autre. Ce package permet de spécifier et adapter des modèles statistiques à ce type de données.

On vérifie la diversité β sur le facteur ancienneté. En faisant tourner le package on remarque que l'on a des différences significatives entre les forêts anciennes et récentes ($pvalue = 0.001$, deviance= 261.1). Ce résultat était attendu et nous permet de vérifier les différences entre les peuplements.

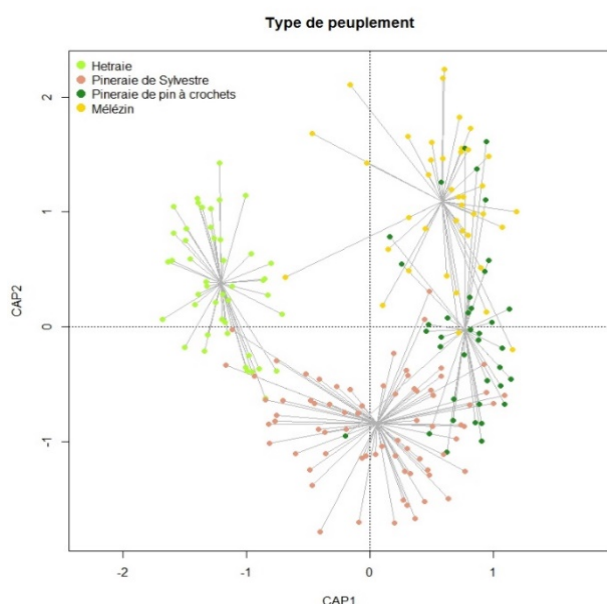


Figure 16 : Répartition des placettes par type de peuplement

On représente graphiquement la répartition des placettes via une matrice de similarité. On constate alors que les 4 essences se distinguent par leur flore (Figure 16). En vérifiant statistiquement on constate que les cortèges floristiques associés par type de peuplement sont significativement différents ($pvalue = 0.001$, deviance = 2763.6) (Tableau 15).

Tableau 15 : Résultats des tests de significativité

Modalités	Res.Df	Df.diff	Dev	Pr(>Dev)
Ancienneté	195	1	261.1	0.001
Peuplement	192	3	2763.6	0.001
Intersection	189	3	427	0.001

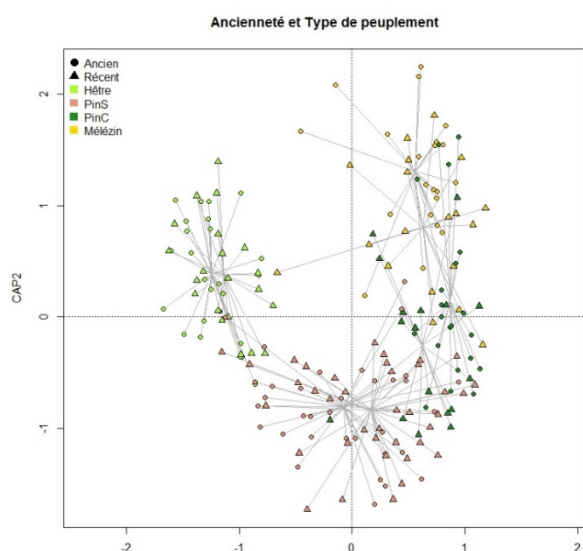


Figure 17 : Répartition des placettes selon le peuplement et l'ancienneté

On ajoute au graphique précédent la donnée représentant l'ancienneté (Figure). En effet lorsqu'on test l'intersection entre peuplement et ancienneté on a encore des différences significative (Tableau 9)

Sur la Figure 17, on constate que les modalités ancien/récent semblent se distinguer au sein des pineraies de Pin Sylvestre et ceci n'est pas le cas pour les autres essences : nous allons donc nous pencher plus précisément sur ce cas.

On représente graphiquement la répartition des espèces relevées au sein des pineraies de Pin Sylvestre. On affiche les centres de chaque groupe pour faciliter la visualisation (Figure 18). Les centres des groupes Ancien et Récent se distinguent l'un de l'autre. Ce que nous pouvons vérifier à l'aide de l'Anova : on a un $Pr < 0.05$, ce qui signifie que ces deux groupes sont significativement différents (Tableau 16).

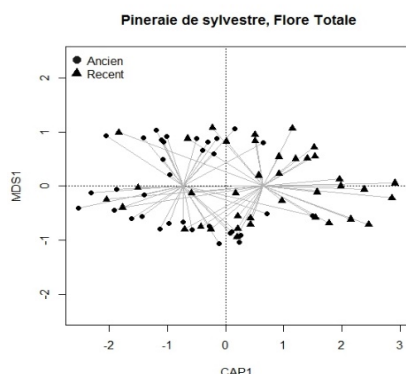


Figure 18 : Répartition de la Flore au sein des pineraies de Pin Sylvestre

Tableau 16 : Résultats de l'analyse statistique de la flore des pineraies de Pin Sylvestre

	Res.Df	Df.diff	Dev	Pr(>Dev)
anc	70	1	174.5	0.041

Cette étude de la diversité β nous permet de déduire que la flore forestière est significativement différente entre les forêts anciennes et les forêts récentes lorsque l'on prend l'ensemble des relevés réalisés dans les quatre types de peuplements initiaux.

Cependant lorsque l'on s'intéresse plus précisément à ce qui se passe au sein de chaque peuplement, on se rend compte que les différences ne sont pas significatives, excepté au sein des peuplements de Pin sylvestre, où la flore est significativement différente si on se trouve en forêt ancienne ou en forêt récente.

2.5. Espèces indicatrices

Pour déterminer la réponse de chaque espèce à l'aspect ancienneté de la forêt et à la continuité de l'état boisé, nous avons utilisé l'analyse des espèces indicatrices (Caceres & Legendre 2010) basé sur l'index des valeurs d'indicateur (IndVal). Cet indicateur prend en compte deux caractéristiques : la concentration de l'abondance dans un groupe particulier de site (exclusivité) et la fréquence relative des espèces dans ce groupe (fidélité). Nous avons donc utilisé l'index IndVal pour étudier les préférences de chaque espèce en fonction de l'ancienneté de la forêt, mais également au sein de chaque peuplement, nous avons appliqué un test de permutation (n=9999) pour tester statistiquement les espèces indicatrices.

Les Tableau 17 et Tableau 18 ci-dessous présentent les espèces indicatrices qui ressortent de l'utilisation de cet indicateur.

Tableau 17 : Espèces indicatrices par type de forêts et par essence

Peuplements	Forêts anciennes			Forêts récentes		
	Essences	Stat	pvalue	Essences	Stat	pvalue
Hêtraie	<i>Fagus sylvatica</i>	0.593	0.0001			
	<i>Cardamine heptaphylla</i>	0.521	0.0001			
	<i>Galium odoratum</i>	0.468	0.0001	<i>Abies alba</i>	0.479	0.0002
	<i>Laburnum anagyroides</i>	0.412	0.0007	<i>Prenanthes purpurea</i>	0.431	0.0007
	<i>Lilium martagon</i>	0.401	0.0024	<i>Melittis melissophyllum</i>	0.431	0.0005
	<i>Mercurialis perennis</i>	0.396	0.0018	<i>Hordeum europaeus</i>	0.427	0.0006
	<i>Clinopodium grandiflorum</i>	0.378	0.0032	<i>Acer opalus</i>	0.424	0.0013
	<i>Neottia nidus-avis</i>	0.374	0.0039	<i>Fraxinus excelsior</i>	0.407	0.001
	<i>Polygonatum odoratum</i>	0.372	0.0031	<i>Lathyrus vernus</i>	0.401	0.0013
	<i>Acer pseudoplatanus</i>	0.361	0.006	<i>Laburnum alpinum</i>	0.376	0.0127
	<i>Luzula nivea</i>	0.356	0.0131	<i>Lactuca muralis</i>	0.36	0.0054
	<i>Hippocrepis emerus</i>	0.338	0.032			
	<i>Stellaria nemorum subsp. Montana</i>	0.298	0.03			
Mélézin	<i>Melampyrum sylvaticum</i>	0.603	0.0001			
	<i>Larix decidua</i>	0.558	0.0001			
	<i>Pinus cembra</i>	0.521	0.0001			
	<i>Ranunculus aduncus</i>	0.49	0.0001			
	<i>Trifolium pratense subsp. Pratense</i>	0.483	0.0002	<i>Chaerophyllum villarsii</i>	0.431	0.0003
	<i>Anemone hepatica</i>	0.441	0.0005	<i>Alchemilla plicatula</i>	0.371	0.0022
	<i>Hieracium prenanthoides</i>	0.434	0.0006	<i>Poa nemoralis</i>	0.369	0.0155
	<i>Festuca flavescens</i>	0.385	0.0019	<i>Thymus serpyllum</i>	0.357	0.0103
	<i>Oxalis acetosella</i>	0.371	0.0049	<i>Festuca laevigata</i>	0.349	0.0094
	<i>Lathyrus pratensis</i>	0.361	0.0067	<i>Rhododendron ferrugineum</i>	0.325	0.0155
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	0.364	0.0094	<i>Achillea millefolium</i>	0.31	0.0322
	<i>Heracleum sphondylium</i>	0.346	0.0102	<i>Homogyne alpina</i>	0.304	0.0312
	<i>Phyteuma ovatum</i>	0.339	0.0104			
	<i>Gentiana lutea</i>	0.345	0.0119			
	<i>Rosa spinosissima</i>	0.306	0.0228			
	<i>Alchemilla vulgaris</i>	0.311	0.0253			
	<i>Pinus mugo subsp. Uncinata</i>	0.598	0.0001			
	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0.45	0.0005			

- Au sein des anciennes hêtraies, on retrouve bien des espèces classiques de hêtraie montagnarde avec un cortège floristique globalement sciaphile et mésophile / Au sein des hêtraies récentes on a des espèces plus thermophiles et des espèces postpionières. (Frêne, Erable à feuilles d'obier).
- Les espèces qu'on retrouve ici dans les anciens mélézins sont typiques de ce type de formations. On remarque que quelques espèces sont plus sciaphiles que dans le mélézin récent / Dans le

mélézin récent on a des espèces plus xéroclines que dans les autres forêts récentes, ainsi que des espèces prairiales. La présence de Rhododendron, espèce plutôt

subalpine, peut être un signe récent de l'abandon du pâturage et de la reconquête de la forêt sur les hauteurs.

Tableau 18 : Espèces indicatrices par type de forêts et par essence (Suite)

Peuplements	Forêts anciennes			Forêts récentes		
	Essences	Stat	pvalue	Essences	Stat	pvalue
Pineraie de pin à crochets	<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	0.436	0.0004	<i>Laserpitium siler</i>	0.465	0.0001
	<i>Anemone alpina</i> subsp. <i>Alpina</i>	0.435	0.0003	<i>Polygala chamaebuxus</i>	0.431	0.0009
	<i>Sesleria caerulea</i>	0.432	0.0007	<i>Carlina acaulis</i>	0.428	0.0009
	<i>Campanula rotundifolia</i>	0.409	0.004	<i>Ononis rotundifolia</i>	0.404	0.0019
	<i>Carex ferruginea</i> subsp. <i>tenax</i>	0.406	0.0015	<i>Juniperus communis</i>	0.387	0.0218
	<i>Hieracium murorum</i>	0.389	0.0062	<i>Cephalanthera rubra</i>	0.376	0.0052
	<i>Leucanthemum vulgare</i>	0.388	0.0122	<i>Globularia cordifolia</i>	0.37	0.0049
	<i>Bellidiastrum michelii</i>	0.35	0.0085	<i>Carex digitata</i>	0.363	0.0046
	<i>Orthilia secunda</i>	0.346	0.0326	<i>Hippocrepis comosa</i>	0.359	0.01
	<i>Carex halleriana</i>	0.344	0.037			
	<i>Pyrola chlorantha</i>	0.331	0.0403			
Pineraie de pin sylvestre				<i>Pinus sylvestris</i>	0.51	0.0001
				<i>Lavandula angustifolia</i>	0.486	0.0003
				<i>Berberis vulgaris</i>	0.457	0.0006
				<i>Poterium sanguisorba</i>	0.453	0.0003
	<i>Amelanchier ovalis</i>	0.478	0.0001	<i>Rosa canina</i>	0.436	0.0005
	<i>Sorbus aria</i>	0.451	0.0005	<i>Lonicera xylosteum</i>	0.4	0.003
	<i>Viburnum lantana</i>	0.398	0.004	<i>Teucrium chamaedrys</i>	0.394	0.0027
	<i>Buxus sempervirens</i>	0.372	0.0041	<i>Acer campestre</i>	0.388	0.0028
	<i>Genista pilosa</i>	0.367	0.0059	<i>Ononis repens</i>	0.385	0.0022
	<i>Veronica chamaedrys</i>	0.359	0.0063	<i>Laserpitium gallicum</i>	0.379	0.0065
	<i>Anthericum liliago</i>	0.355	0.0077	<i>Quercus pubescens</i>	0.356	0.0215
	<i>Cotoneaster tomentosus</i>	0.315	0.0444	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	0.348	0.0655
	<i>Populus tremula</i>	0.31	0.0319	<i>Rhamnus alpina</i>	0.347	0.0093
				<i>Cirsium tuberosum</i>	0.338	0.0164
				<i>Juniperus sabina</i>	0.331	0.0136
				<i>Helleborus foetidus</i>	0.329	0.016
				<i>Lactuca perennis</i>	0.305	0.0286

- Les espèces relevées dans les pineraies de pin à crochets anciennes sont typiques de ce type de peuplement / Au sein des pineraies de crochets récentes, on a un cortège légèrement plus thermophile, mais rien de remarquable.
- Au sein des anciennes pineraies de Sylvestre, on a un cortège à tendance xérothermophile, caractéristique des pineraies stables, ce qui correspond bien au caractère ancienneté / En pineraie récente on retrouve des espèces plus héliophiles et plus mésophiles, c'est-à-dire des espèces de pelouses préexistantes, signe de la mémoire du sol des forêts récentes.

On ajuste nos valeurs en appliquant la méthode d'Hochberg, ce qui permet de ne conserver que les valeurs les plus significatives. Cela nous permet donc de sortir les espèces les plus indicatrices suivantes (Tableau 19 et Tableau 10) :

Tableau 19 : Espèce indicatrice de l'ancienneté

Répartition		Espèces	IndVal	p-value	padjusted
FA	FR				
		<i>Poterium sanguisorba</i>	0.3884043	0.0003	0.0444

Après l'ajustement avec la méthode d'Hochberg (Delorme 2012), on constate que le nombre d'espèces significativement représentatives est nettement moins important.

Tableau 10 : Liste des espèces indicatrices de l'ancienneté par peuplement, FA= Forêts Anciennes, FR = Forêts Récentes

Répartition		Espèces	IndVal	p-value	padjusted
FA	FR				
Hêtre		<i>Cardamine heptaphylla</i>	0.521	0.0001	0.0138
P. Sylvestre		<i>Galium odoratum</i>	0.4680242	0.0003	0.0381
P. à Crochets		<i>Fagus sylvatica</i>	0.5928482	0.0001	0.0138
Mélèze					
Hêtre		<i>Anemone hepatica</i>	0.4406935	0.0001	0.0138
P. Sylvestre		<i>Larix decidua</i>	0.5583064	0.0001	0.0138
P. à Crochets					
Mélèze					
Hêtre		<i>Anemone alpina</i>	0.4347565	0.0003	0.0381
P. Sylvestre					
P. à Crochets					
Mélèze					
Hêtre		<i>Amelanchier ovalis</i>	0.4781718	0.0002	0.0266
P. Sylvestre					
P. à Crochets					
Mélèze					
Hêtre		<i>Abies alba</i>	0.4791509	0.0002	0.0266
P. Sylvestre					
P. à Crochets					
Mélèze					
Hêtre		<i>Chaerophyllum villarsii</i>	0.4314654	0.0003	0.0381
P. Sylvestre					
P. à Crochets					
Mélèze					
Hêtre		<i>Berberis vulgaris</i>	0.4571921	0.0001	0.0138
P. Sylvestre					
P. à Crochets					
Mélèze					

Seulement *Poterium sanguisorba* ressort comme étant une espèce significativement représentative des forêts anciennes, tous peuplements confondus. On a donc regardé par peuplement quelles sont les espèces représentatives de l'ancienneté. Comme nous pouvons le voir dans le Tableau 20. Par type de peuplement on retrouve très peu d'espèces représentatives du facteur ancienneté. Par exemple en hêtraie, on retrouve *Cardamine heptaphylla*, *Galium odoratum* et *Fagus sylvatica* représentatives des forêts anciennes, et *Abies alba* dans les forêts récentes. Lorsque l'on regarde les données autécologiques des trois espèces représentatives des forêts anciennes (Rameau 1994), on constate que ce sont des espèces sciaphiles. Au cours de nos mesures sur le terrain, nous avons pu constater que les anciennes hêtraies étaient généralement très fermées et avec des peuplements denses. Le sapin (*Abies alba*) représentatif des hêtraies récentes, supporte l'ombre au début de sa croissance uniquement, mais a une capacité à coloniser les hêtraies, facilitée par sa régénération naturelle.

2.6. Habitats et espèces d'intérêt communautaire

Les croisements des cartographies d'habitats Natura 2000 et des pointages d'espèces d'intérêt communautaire (faune et flore) avec les polygones de forêts anciennes ont été réalisés afin de mettre en évidence l'importance du patrimoine naturel d'intérêt communautaire dans les îlots de forêts anciennes. Les résultats de ces analyses sont présentés dans les tableaux 21, 22 et 23 ci-dessous.

Habitats forestiers d'intérêt communautaire

Tableau 21 : Comparaison des superficies d'habitats forestiers d'intérêt communautaire se situant en forêts anciennes (FA) et forêts récentes (FR).

	FA (ha)	FR (ha)	Total (ha)	FA (%)	FR (%)
9150 - Hêtraies calcicoles médio-européennes du Cephalanthero-Fagion	1892,99	1781,97	3674,96	73,89 ± 0,87	37,22 ± 0,87
9180 - Forêts de pentes, éboulis, ravins du Tilio-Acerion	100,62	18,78	119,40	120,88 ± 3,51	12,07 ± 3,51
91E0 - Forêts alluviales à <i>Alnus glutinosa</i> et <i>Fraxinus excelsior</i>	50,05	751,74	801,80	8,95 ± 0,90	71,96 ± 0,90
92A0 - Forêts-galeries à <i>Salix alba</i> et <i>Populus alba</i>	53,06	778,77	831,83	9,15 ± 0,89	71,86 ± 0,89
9410 - Forêts acidophiles à <i>Picea</i> des étages montagnard à alpin	379,19	62,33	441,52	123,19 ± 1,74	10,84 ± 1,74
9420 - Forêts alpines à <i>Larix decidua</i> et/ou <i>Pinus cembra</i>	5131,94	4689,53	9821,47	74,95 ± 0,53	36,65 ± 0,53
9430 - Forêts montagnardes et subalpines à <i>Pinus uncinata</i>	3503,94	3104,85	6608,79	76,05 ± 0,64	36,06 ± 0,64

On constate qu'à l'exception des habitats de ripisylves, les différents habitats forestiers d'intérêt communautaire sont plus fortement représentés dans les forêts anciennes que dans les forêts récentes, notamment les forêts de ravin du Tilio-Acerion et les Pessières, mais également les Hêtraies calcicoles et les forêts de résineux de montagne.

Flore d'intérêt communautaire

Tableau 22 : Comparaison du nombre d'observations d'espèces floristiques d'Intérêt Communautaire se situant en forêts anciennes (FA) et forêts récentes (FR).

	FA (nb osb)	FR (nb osb)	TOTAL	FA (%)	FR (%)
<i>Aquilegia alpina</i> L., 1753	29	85	114	36,44 ± 4,30	57,27 ± 4,30
<i>Arnica montana</i> L., 1753	20	27	47	60,96 ± 7,65	44,12 ± 7,65
<i>Astragalus alopecurus</i> Pall., 1800	19	237	256	10,63 ± 1,72	71,10 ± 1,72
<i>Buxbaumia viridis</i> (Moug. ex Lam. & DC.) Brid. ex Moug. & Nestl.	16	7	23	99,66 ± 10,29	23,38 ± 10,29
<i>Cypripedium calceolus</i> L., 1753	182	118	300	86,91 ± 2,96	30,21 ± 2,96
<i>Dracocephalum austriacum</i> L., 1753	93	74	167	79,78 ± 4,04	34,03 ± 4,04
<i>Eryngium alpinum</i> L., 1753	65	331	396	23,52 ± 1,95	64,20 ± 1,95
<i>Gentiana lutea</i> L., 1753	364	605	969	53,82 ± 1,63	47,95 ± 1,63
<i>Saxifraga valdensis</i> DC., 1815	14	5	19	105,56 ± 10,89	20,21 ± 10,89

Il apparaît que deux espèces forestières d'intérêt communautaire sont nettement mieux représentées en forêts anciennes qu'en forêts récentes : le Sabot de Vénus et la Buxbaumie verte. Le Sabot de Vénus est particulièrement abondant dans le massif de Morgon-Boscodon où, du fait de l'histoire de l'occupation humaine, les forêts sont majoritairement anciennes. L'affinité de cette orchidée pour les forêts anciennes vient souligner leur intérêt pour la conservation de cette espèce emblématique. Pour la Buxbaumie verte, bien que son affinité pour les forêts anciennes à forte densité de bois mort soit évidente, nous manquons d'observations pour que ces résultats soient robustes (Cf. les données d'erreur standard). Les autres espèces présentes sur les polygones de forêts n'étant pas spécifiquement forestières, nous ne nous étendrons pas sur l'analyse de leur répartition.

Faune d'intérêt communautaire

Tableau 23 : Comparaison du nombre de contacts d'espèces faunistiques d'Intérêt Communautaire se situant en forêts anciennes (FA) et forêts récentes (FR).

	FA (contacts)	FR (contacts)	TOTAL	FA (%)	FR (%)
Actias isabellae (Graells, 1849)	24	115	139	24,67 ± 3,37	63,64 ± 3,37
Alytes obstetricans (Laurenti, 1768)	17	27	44	55,19 ± 7,78	47,20 ± 7,78
Barbastella barbastellus (Schreber, 1774)	14	84	98	20,41 ± 3,72	65,93 ± 3,72
Eptesicus serotinus (Schreber, 1774)	8	11	19	60,15 ± 12,20	44,53 ± 12,20
Euphydryas aurinia (Rottemburg, 1775)	16	62	78	29,30 ± 4,82	61,14 ± 4,82
Euplagia quadripunctaria (Poda, 1761)	16	46	62	36,87 ± 5,87	57,07 ± 5,87
Hypsugo savii (Bonaparte, 1837)	22	42	64	49,11 ± 6,27	50,48 ± 6,27
Lacerta bilineata Daudin, 1802	19	47	66	41,13 ± 5,89	54,78 ± 5,89
Lepus timidus Linnaeus, 1758	20	7	27	105,82 ± 9,01	19,94 ± 9,01
Maculinea arion (Linnaeus, 1758)	6	7	13	65,93 ± 15,09	41,42 ± 15,09
Myotis brandtii (Eversmann, 1845)	19	17	36	75,40 ± 8,85	36,32 ± 8,85
Myotis daubentonii (Kuhl, 1817)	7	24	31	32,26 ± 8,00	59,55 ± 8,00
Myotis mystacinus (Kuhl, 1817)	10	22	32	44,64 ± 8,73	52,88 ± 8,73
Myotis nattereri (Kuhl, 1817)	22	86	108	29,10 ± 4,08	61,25 ± 4,08
Nyctalus leisleri (Kuhl, 1817)	17	23	40	60,71 ± 8,30	44,23 ± 8,30
Parnassius apollo (Linnaeus, 1758)	17	83	100	24,29 ± 3,96	63,85 ± 3,96
Parnassius mnemosyne (Linnaeus, 1758)	4	11	15	38,10 ± 12,39	56,41 ± 12,39
Pipistrellus kuhlii (Kuhl, 1817)	12	30	42	40,82 ± 7,40	54,95 ± 7,40
Pipistrellus pipistrellus (Schreber, 1774)	97	82	179	77,41 ± 3,91	35,24 ± 3,91
Plecotus auritus (Linnaeus, 1758)	5	12	17	42,02 ± 11,94	54,30 ± 11,94
Plecotus E. Geoffroy , 1818	15	13	28	76,53 ± 10,06	35,71 ± 10,06
Podarcis muralis (Laurenti, 1768)	114	216	330	49,35 ± 2,75	50,35 ± 2,75
Rana temporaria Linnaeus, 1758	33	51	84	56,12 ± 5,62	46,70 ± 5,62
Rosalia alpina (Linnaeus, 1758)	5	29	34	21,01 ± 6,46	65,61 ± 6,46
Rupicapra rupicapra (Linnaeus, 1758)	30	28	58	73,89 ± 6,94	37,14 ± 6,94

On constate le nombre de contact d'espèces faunistiques d'intérêt communautaire est souvent trop faible pour tirer des conclusions claires sur leurs affinités pour les forêts anciennes (Cf. les données d'erreur standard). Par ailleurs la plupart des espèces d'intérêt communautaire présentes sur nos polygones de forêt ne sont pas spécifiquement forestières et fréquentent souvent plusieurs types d'habitats au cours de leur cycle de vie ; aussi nous ne étendrons pas plus sur la signification de la localisation de leurs contacts.

Malgré tout on constate une occurrence plus élevée de l'Isabelle de France dans les forêts récentes de Pin sylvestre, ce qui coïncide avec son écologie (boisements jeunes et accrus de pins sylvestres, majoritairement situés dans les boisements récents).

Quant aux chiroptères forestiers (Barbastelle d'Europe, Murin de Natterer) affectionnant davantage les forêts récentes, on peut envisager un biais de prospection liés aux récentes études par radiotracking, à l'origine d'un grand nombre de contacts) qui ont majoritairement concerné des boisement récents.

Discussion

La compréhension de l'influence de l'ancienneté des forêts sur la biodiversité est une donnée importante pour la mise en place de systèmes de gestion et de préservation de la biodiversité. Notre étude se plaçant exclusivement au sein de sites Natura 2000, l'enjeu principal est de connaître et préserver la biodiversité qui s'y trouve.

Ici nous avons étudié la biodiversité par l'intermédiaire de relevés floristiques au sein de quatre essences « pures » : hêtraies, pineraies de pin à crochets et de pin sylvestre et mélézins. Nous avons sélectionné ces quatre essences car elles sont les plus fréquentes sur les sites Natura 2000 des Hautes-Alpes. Cela nous permet d'avoir un échantillon relativement représentatif de la biodiversité forestière des différents sites.

On peut d'ores et déjà remarquer que pour être encore plus représentatif, nous aurions pu augmenter le nombre de placettes par type de peuplement.

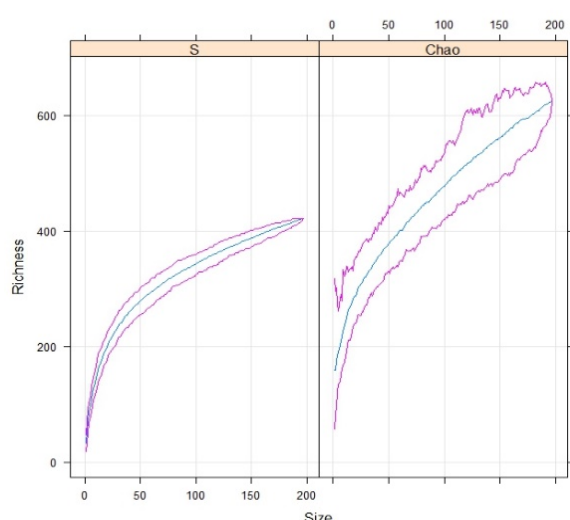


Figure 19 : Estimation du nombre d'espèces présentes

Pour renforcer le dispositif et le protocole, il aurait pu également être utile de repasser sur certaines placettes afin de relever un maximum d'espèces. Nous avons essayé de limiter au maximum ce biais en commençant par les placettes les plus au sud du département, mais dans certains cas nous avons relevé essentiellement des espèces vernaies. Nous avons relevé 422 espèces différentes sur l'ensemble de nos placettes et nous avons estimé le nombre d'espèces potentielles par un test de Chao (Figure 19).

On estime donc que l'on aurait dû relever 637 espèces. Nous avons donc relevé 66% de la flore potentiellement présente sur nos

placettes. Cette proportion peut s'expliquer par une partie de la flore qui a mis du temps à sortir au vu des conditions météo du printemps ; on peut également relever la présence d'un biais de l'observateur principal, qui a certainement omis certaines espèces.

Nous avons constaté que le nombre d'espèces cumulées est significativement plus important en forêts récentes qu'en forêts anciennes, à l'échelle de nos quatre peuplements confondus. Ceci peut s'expliquer par le fait que dans les forêts récentes, on retrouve des espèces qui sont issues de ce que garde le sol en mémoire. On retrouve donc des espèces plutôt prairiales mélangées à des espèces forestières. Lorsqu'on regarde le nombre moyen d'espèces par modalités, on arrive aux mêmes conclusions. Lorsqu'on regarde la flore générale, il ressort des différences significatives mais ce n'est plus le cas au sein de chaque peuplement.

Cependant, on remarque, en ressortant les espèces indicatrices, en étudiant la diversité α et en comparant à l'aide de la diversité β , que les compositions floristiques dépendent de l'ancienneté. Ce sont les mêmes conclusions que l'on peut retrouver dans la thèse de Philippe Janssen, qui nous apprend que la richesse spécifique ne dépend pas de l'ancienneté mais par contre la composition spécifique est, quant à elle, influencée par ce facteur (Janssen 2016).

Espèces indicatrices

Les plantes que l'on retrouve au sein des forêts anciennes possèdent un certain nombre de caractéristiques propres, qui leur permettent de se maintenir dans ces écosystèmes. En effet la plupart des espèces de forêts anciennes possèdent un mode de vie pérenne ou vivace, qui leur permet de se maintenir sur le long terme. Ces espèces possèdent une faible vitesse de déplacement et un faible pouvoir de colonisation (Dwzonko 1993). La plupart du temps elles ont un type de reproduction végétatif via des stolons, des rhizomes ou par des bulbilles. La reproduction sexuée s'opère chez via des graines souvent grosses et lourdes (barochorie) dont la persistance est faible dans le sol forestier.

On compare les plantes indicatrices avec celles qui ont pu ressortir d'autres études, nous allons prendre comme base de comparaison les travaux menés par Jean-Luc Dupouey en 2002 et la base de données fournie par Hermy en 1999 (Tableau 24).

On a remplacé ici uniquement les espèces de nos relevés que l'on retrouve dans ces deux études.

Tableau 24 : Comparaison des relevés avec les travaux de Dupouey et Hermy.

Relevés, Hautes-Alpes 2018	Dupouey 2002	Hermy 1999
<i>Lilium martagon</i>		
<i>Mercurialis perennis</i>		
<i>Neottia nidus-avis</i>		
<i>Acer pseudoplatanus</i>		
<i>Oxalis acetosella</i>		
<i>Luzula sylvatica</i>		

Sur nos 56 plantes indicatrices de l'ancienneté, on constate que seulement 7 espèces sont également mentionnées dans ces études. Plusieurs explications sont possibles. Comme nous l'avons dit précédemment, certaines placettes nécessiteraient peut-être un second passage plus tardif pour relever plus d'espèces. Par ailleurs les relevés présentés dans les autres études ne sont pas réalisés dans les mêmes conditions géographiques et climatiques ou au sein des mêmes types de peuplements. On remarque également que ces espèces sont

caractéristiques des hêtraies anciennes principalement ; on peut donc imaginer que les mesures réalisées dans ces travaux l'ont été principalement en hêtraie contrairement à nos 200 relevés réalisés dans 4 peuplements différents.

Pour aller plus loin dans cette étude et utiliser au maximum l'ensemble des données, nous pourrions pousser l'analyse en allant regarder les indices d'Ellenberg de chaque espèce, de manière à regrouper certaines espèces et mettre en évidence des affinités de certaines caractéristiques écologiques pour les forêts anciennes. Nous pourrions également augmenter le nombre de mesures réalisées au sein de chaque site Natura 2000 pour en déduire quelles sont les tendances par conditions géographiques. Le département des Hautes-Alpes comprenant deux systèmes bio-géoclimatiques bien différents, avec les climats des Alpes internes et des Alpes externes, il serait éventuellement envisageable de considérer ces deux situations comme indépendantes et donc d'ajouter des relevés de part et d'autre afin de limiter l'éventuel biais que nous avons pu rencontrer sur ce point.

3. Conclusion

Cette étude nous a permis d'identifier que l'ancienneté de la forêt est un facteur influençant nettement la composition de la flore vasculaire dans les peuplements étudiés. L'identification d'ensembles d'espèces indicatrices est un travail particulièrement intéressant, nouveau et pertinent dans le cadre géographique des Alpes du Sud et à explorer plus en détail pour éventuellement en faire un outil pratique pour les gestionnaires. Par ailleurs le travail conséquent de cartographie des forêts anciennes fournit aux acteurs des sites Natura 2000 une base de travail cohérente pour mieux prendre en compte ces espaces privilégiés et la biodiversité qui leur est associée, sachant que nous avons pu montrer que les habitats forestiers d'intérêt communautaires se localisent en majorité au sein des forêts anciennes.

Bibliographie

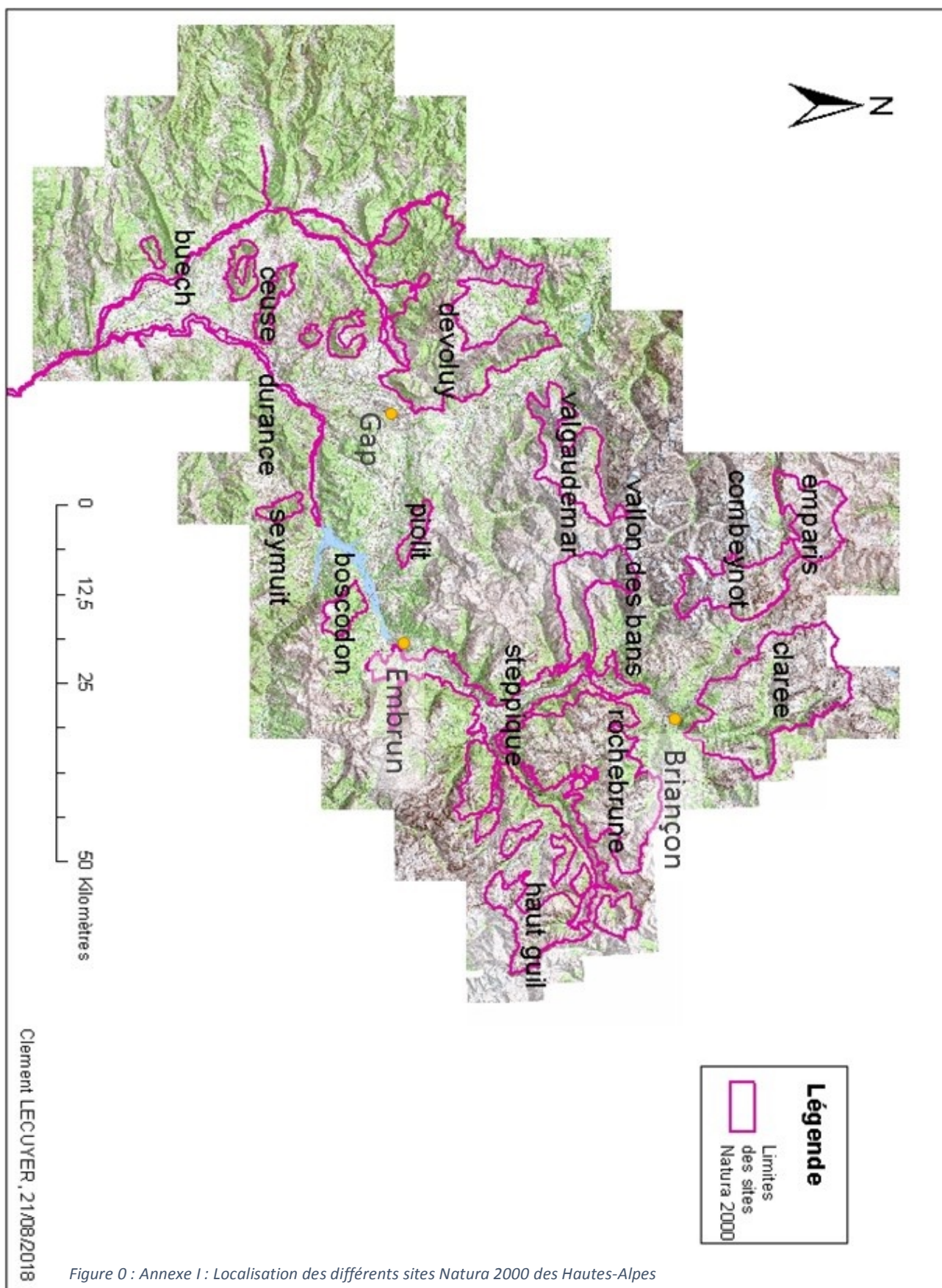
- ABADIE, Julie, AVON, Catherine, DUPOUEY, Jean-Luc, LOPEZ, Jean-Michel, TATONI, Thierry et BERGES, Laurent, 2018. Land use legacies on forest understory vegetation and soils in the Mediterranean region: Should we use historical maps or in situ land use remnants? - ScienceDirect. [en ligne]. 31 mai 2018. [Consulté le 24 août 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112718304845>
- BARBIER, E. B., BURGESS, J. C. et GRAINGER, A., 2010. The forest transition: towards a more comprehensive theoretical framework. *Land Use Policy*. 2010. Vol. 27, n° 2, pp. 98-107.
- BASSATNEH, Marwan Cheikh Al, FADY, Bruno, SIMON-TEISSIER, Sylvie et TATONI, Thierry, 2007. Biodiversité floristique et gestion sylvicole dans les systèmes forestiers supraméditerranéens et montagnards de la montagne de Lure (sud-est de la France). *Ecologia mediterranea: Revue internationale d'écologie méditerranéenne = International Journal of Mediterranean Ecology*. 2007. Vol. 33, n° 0, pp. 29-42.
- BASTIEN, Yves et GAUBERVILLE, Christian (éd.), 2011. *Vocabulaire forestier: écologie, gestion et conservation des espaces boisés*. Paris : Inst. pour le Développement Forestier. ISBN 978-2-904740-99-2.
- BAUDRY Olivier, CHARMETANT Charlotte, COLLET Catherine et PONETTE Quentin, 2013. MESURER L'OUVERTURE DU COUVERT ET ESTIMER LA DISPONIBILITÉ EN LUMIÈRE EN FORÊT FEUILLUE AU MOYEN DU DENSIMÈTRE CONVEXE. 2013. pp. 12.
- BEC & VILLEMÉY, 2016. Cartographier les forêts anciennes à partir des cartes d'État-major. 24 octobre 2016. Vol. 24, p. 13.
- BÉNOS Catherine, [sans date]. LA SAISIE DES DONNÉES IN SITU À L'IFN : ENJEUX ET PERSPECTIVES. pp. 6.
- *brochurejbal2010francais-2.pdf*, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 16 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.jardinalpindulautaret.fr/sites/sajf/files/brochurejbal2010francais-2.pdf>
- BURST, Maxime, [sans date]. Les communautés végétales des interfaces forêt-prairie et leur environnement face aux cas d'afforestation et de déforestation. p. 264.
- CÁCERES, Miquel De, LEGENDRE, Pierre et MORETTI, Marco, 2010. Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos*. 1 octobre 2010. Vol. 119, n° 10, pp. 1674-1684. DOI [10.1111/j.1600-0706.2010.18334.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18334.x).
- CATEAU, Eugénie, LARRIEU, Laurent, VALLAURI, Daniel, SAVOIE, Jean-Marie, TOUROULT, Julien et BRUSTEL, Hervé, 2015. Ancienneté et maturité : deux qualités complémentaires d'un écosystème forestier. *Comptes Rendus Biologies*. 1 janvier 2015. Vol. 338, n° 1, pp. 58-73. DOI [10.1016/j.crv.2014.10.004](https://doi.org/10.1016/j.crv.2014.10.004).
- CINOTTI, B., 1996. Évolution des surfaces boisées en France : proposition de reconstitution depuis le début du XIXe siècle. *Revue Forestière Française*. 1996. N° 6, pp. 547. DOI [10.4267/2042/26776](https://doi.org/10.4267/2042/26776).
- Consultation des données brutes - INVENTAIRE FORESTIER, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 25 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique159>
- DELORME, Philippe, 2012. Approximation du calcul de la taille échantillonnale pour les tests à hypothèses multiples lorsque r parmi m hypothèses doivent être significatives. Décembre 2012. p. 117.
- Dix facteurs clés pour la diversité des espèces en forêt. Comprendre l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP), [sans date]. *calameo.com* [en ligne]. [Consulté le 30 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.calameo.com/books/002350519c7d40841800d>
- DUPOUEY, Jean-Luc, SCIAMA, Delphine, DAMBRINE, Etienne, RAMEAU, Jean-Claude et KOERNER, Waltraud, 2002a. La Végétation des forêts anciennes. *Revue Forestière Française*. 2002. N° 6, p. 521. DOI [10.4267/2042/4940](https://doi.org/10.4267/2042/4940).
- DUPOUEY, J. L., DAMBRINE, E., LAFFITE, J. D. et MOARES, C., 2002. Irreversible Impact of Past Land Use on Forest Soils and Biodiversity. *Ecology*. 1 novembre 2002. Vol. 83, n° 11, pp. 2978-2984. DOI [10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2978:IIOPLU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2978:IIOPLU]2.0.CO;2).
- DZWONKO, Zbigniew, 1993. Relations between the floristic composition of isolated young woods and their proximity to ancient woodland. *Journal of Vegetation Science*. 1 octobre 1993. Vol. 4, n° 5, pp. 693-698. DOI [10.2307/3236135](https://doi.org/10.2307/3236135).
- *Emberger_Larrieu_Gonin_2013_10_facteurs_cles_biodiv_BD_A4_internet.pdf*, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 30 avril 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.pole-gestion.fr/uploads/ged/document/2014-10/Emberger_Larrieu_Gonin_2013_10_facteurs_cles_biodiv_BD_A4_internet.pdf
- F - INVENTAIRE FORESTIER, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 9 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article596>

- FAVRE, Colette, GRANIER, Evelyne, COSSERAT-MANGEOT, Régine, BACHACOU, Jean et DUPOUEY, Jean-Luc, 2011. Digitalisation des cartes anciennes Manuel pour la vectorisation de l'Usage des sols Et le géoréférencement de la carte d'Etat-majour. 28 novembre 2011. p. 40.
- FLOREALPES : Fleurs et arbres des Hautes-Alpes, de montagne et de provence. Organisation de stages de botaniques., [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 23 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.florealpes.com/index.php>
- Forêt mature ou forêt ancienne?, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 14 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.groupe-tetras-vosges.org/site/Foret_mature_ou_foret_ancienne-100.html
- *foret_ancienne_generale_web.pdf*, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 24 août 2018 b]. Disponible à l'adresse : https://www.afbiodiversite.fr/sites/default/files/2018-08/PNF-For%C3%AAts%20anciennes/foret_ancienne_generale_web.pdf
- GONIN, P, LARRIEU, L, EMBERGER, C et DECONCHAT, M, [sans date]. 5 ans de développement à l'échelle nationale. p. 61.
- *GRECO_H.pdf*, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 25 mai 2018]. Disponible à l'adresse : https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/GRECO_H.pdf
- HARPER, Karen A., MACDONALD, S. Ellen, BURTON, Philip J., CHEN, Jiquan, BROSOFSKE, Kimberley D., SAUNDERS, Sari C., EUSKIRCHEN, Eugénie S., ROBERTS, Dar, JAITEH, Malanding S. et ESSEEN, Per-Anders, 2005. Edge Influence on Forest Structure and Composition in Fragmented Landscapes. *Conservation Biology*. 1 juin 2005. Vol. 19, n° 3, pp. 768-782. DOI [10.1111/j.1523-1739.2005.00045.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00045.x).
- HERMY, Martin, HONNAY, Olivier, FIRBANK, Les, GRASHOF-BOKDAM, Carla et LAWESSON, Jonas E., 1999. An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. *Biological Conservation*. novembre 1999. Vol. 91, n° 1, pp. 9-22. DOI [10.1016/S0006-3207\(99\)00045-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00045-2).
- HERRAULT, Pierre-Alexis, SHEEREN, David, FAUVEL, Mathieu et PAEGELOW, Martin, 2015. Vectorisation automatique des forêts dans les minutes de la carte d'état-majour du 19^e siècle. *Revue Internationale de Géomatique*. 2015. Vol. 25, n° 1, pp. 35-51. DOI [10.3166/RIG.25.35-51](https://doi.org/10.3166/RIG.25.35-51).
- IBP : Indice de Biodiversité Potentielle - CNPF - Centre national de la propriété forestière, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 4 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.cnpf.fr/n/ibp-indice-de-biodiversite-potentielle/n:240>
- INPN - Natura 2000 - Les objectifs d'un réseau européen ambitieux, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 29 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <https://inpn.mnhn.fr/programme/natura2000/presentation/objectifs>
- Introduction to mvabund – Environmental Computing, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 23 août 2018]. Disponible à l'adresse : <http://environmentalcomputing.net/introduction-to-mvabund/>
- Inventaire Forestier National, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 4 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.conservation-nature.fr/acteurs2.php?id=13>
- JANSSEN, Philippe, 2016. *Influences relatives de l'ancienneté et de la maturité sur la biodiversité : implications pour la conservation en forêts de montagne* [en ligne]. phdthesis. Université Grenoble Alpes. [Consulté le 14 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01692876/document>
- JANSSEN, Philippe, FUHR, Marc et BOUGET, Christophe, [sans date]. L'ancienneté n'est pas un déterminant majeur de la biodiversité dans les massifs forestiers des Préalpes du nord. p. 14.
- JBLEDUC, [sans date]. Les origines de la carte d'État-majour française. *BCU 1914-1918* [en ligne]. [Consulté le 28 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <https://buclermont.hypotheses.org/3231>
- La Restauration des Terrains en Montagne : 150 ans de lutte contre les risques naturels, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 24 août 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.irma-grenoble.com/05documentation/03phototheque_diaporamaRTM.php
- LADIER, Jean, REY, Freddy et DREYFUS, Philippe, 2012. *ONF - Guide des sylvicultures de montagne - Alpes du Sud françaises* [en ligne]. 2012. Office national des forêts, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture. [Consulté le 24 août 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.onf.fr/++lang++en/lire_voir_ecouter/++oid++1942/@@display_media.html
- LARRIEU, Laurent et GONIN, Pierre, [sans date]. L'indice de biodiversité potentielle ou IBP : un outil pratique au service de la biodiversité ordinaire des forêts. p. 6.
- LARRIEU, Laurent et GONIN, Pierre, 2008. L'indice de biodiversité potentielle (ibp) : une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française* [en ligne]. 2008. N° 6. [Consulté le 30 avril 2018]. DOI [10.4267/2042/28373](https://doi.org/10.4267/2042/28373). Disponible à l'adresse : <http://hdl.handle.net/2042/28373>
- Le réseau européen Natura 2000 fête ses 20 ans, [sans date]. *Actu-Environnement* [en ligne]. [Consulté le 14 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.actu-environnement.com/ae/news/vingt-ans-directive-habitats-reseau-natura-2000-france-15743.php4>

- Les données écologiques de l'IFN - INVENTAIRE FORESTIER, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 29 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique205>
- *Manuel_digitalisation_EM_Favre_et_al_2016_v12.8.pdf*, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 14 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://docs.gip-ecofor.org/public/forets_anciennes/Manuel_digitalisation_EM_Favre_et_al_2016_v12.8.pdf
- *mesures_de_la_biodiversite.pdf*, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 20 août 2018 b]. Disponible à l'adresse : https://www.ecofog.gf/IMG/pdf/mesures_de_la_biodiversite.pdf
- ONF - Forêts françaises: le patrimoine forestier français en forte expansion, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 14 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.onf.fr/gestion_durable/sommaire/milieu_vivant/patrimoine/forets_francaises/20071001-133331-958050/@@index.html
- Opérations de terrain - INVENTAIRE FORESTIER, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 16 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article335>
- PERONNET, Aurélien, [sans date]. France métropolitaine. *Tela Botanica* [en ligne]. [Consulté le 22 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.tela-botanica.org/page:eflore_bdtfx?type_nom=nom_scientifique&nom=Laserpitium&niveau=2&module=rec_herche&referentiel=bdtx&action=rechercheSimple&submit=OK
- PFISTER, Etienne et GUILLOUX, Julien-Pierre, 2017. *Digitalisation des cartes anciennes, Manuel pour la vectorisation de l'usage des sols et leur géoréférencement des minutes 1:40000 de la carte d'Etat-Major*. 7 septembre 2017.
- POUET, Kevin, [sans date]. Natura 2000 Hautes-Alpes <http://hautes-alpes.n2000.fr>. p. 2.
- Qu'est-ce que Natura 2000 ? | Natura 2000 Hautes-Alpes, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 24 août 2018]. Disponible à l'adresse : <http://hautes-alpes.n2000.fr/qu-est-ce-que-natura-2000>
- RAMEAU, Jean-Claude et INSTITUT POUR LE DÉVELOPPEMENT FORESTIER (éd.), 1994. *Flore forestière française: guide écologique illustré. 2: Montagnes*. Paris : Institut pour le Développement Forestier [u.a.]. ISBN 978-2-904740-41-1.
- RAMEAU, Jean-Claude et INSTITUT POUR LE DÉVELOPPEMENT FORESTIER (éd.), 2008. *Flore forestière française: guide écologique illustré. 3: Région méditerranéenne*. Paris : Institut pour le Développement Forestier [u.a.]. ISBN 978-2-904740-93-0.
- Réaliser des relevés IBP - Forêt Privée Française, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 4 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.foretpriveefrancaise.com/n/realiser-des-relevs-ibp/n:1978>
- ROCHEL, Xavier, ABADIE, Juliet, AVON, Catherine, BERGÈS, Laurent, CHAUCHARD, Sandrine, DEFEVER, Sébastien, GREL, Audrey, JEANMONOD, Justine, LEROY, Nathalie et DUPOUEY, Jean-Luc, 2017. Quelles sources cartographiques pour la définition des usages anciens du sol en France? *Revue Forestière Française*. 2017. N° 4, pp. 353. DOI [10.4267/2042/67866](https://doi.org/10.4267/2042/67866).
- RONDEUX, Jacques, LECOMTE, Hugues, FLORKIN, P, THIRION, M et HEBERT, J, 1997. Quelques données inédites sur l'accroissement des peuplements de hêtre en région wallonne. . 1 janvier 1997.
- ROSSI, Jean-Pierre, [sans date]. Introduction to the R package rich. p. 19.
- SALINIER, Jérémy, [sans date]. Accueil du monde Botanique. *Tela Botanica* [en ligne]. [Consulté le 22 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.tela-botanica.org/site:botanique?referentiel=bdtx&niveau=2&module=fiche&action=fiche&num_nom=31516&type_nom=nom_vernaculaire&nom=Hell%C3%A9bore%20f%C3%A9ride
- STATION ALPINE JOSEPH FOURIER, [sans date]. Une zonation bioclimatique des Alpes françaises | Jardin Alpin du Lautaret -. [en ligne]. [Consulté le 21 août 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.jardinalpindulautaret.fr/jardin/cadre-naturel-exceptionnel/zonation-bioclimatique-alpes-francaises>
- TISON, Jean-Marc, FOUCAULT, Bruno de et GUIOL, François (éd.), 2014. *Flora Gallica: flore de France*. Mèze : Biotopie Éditions. ISBN 978-2-36662-012-2.
- VANPEENE BRUHIER, S., MOYNE, M.L. et BRUN, J.J., 1998. La richesse spécifique: un outil pour la prise en compte de la biodiversité dans la gestion de l'espace - Application en Haute Maurienne (Aussois, Savoie). *Ingénieries - E A T*. 1998. N° 15, pp. 47-59.
- WARTON, David I., WRIGHT, Stephen T. et WANG, Yi, 2012. Distance-based multivariate analyses confound location and dispersion effects. *Methods in Ecology and Evolution*. 1 février 2012. Vol. 3, n° 1, pp. 89-101. DOI [10.1111/j.2041-210X.2011.00127.x](https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00127.x).

Annexes

Sites Natura 2000, Hautes-Alpes (05)



Annexe II

Tableau 1 : Annexe II : Nom et surface en ha des différents sites Natura 2000

Sites Natura 2000 des Hautes-Alpes	Surface en ha
Bois de Morgon - Forêt de Boscodon - Bragousse	2516.748
Céüse - Montagne d'Aujourd - Pic de Crigne - Montagne de Saint Genis	7048.238
Clarée	25680.688
Combeynot - Lautaret - Ecrins	9924.342
Dévoluy - Durbon - Charance - Champsaur	35529.784
Gorges de la Méouge	713.482
Haut-Guil - Mont Viso - Valpréveyre	18832.942
Le Buëch	2426.262
Montagne de Seymuit - Crête de la Scie	1400.805
Piolit - Pic de Chabrières	1595.885
Plateau d'Emparis - Goléon	7439.028
Rochebrune - Izoard - Vallée de la Cerveyrette	26801.415
Steppique durancien et queyrassin	19658.331
Valgaudemar	9946.129
Vallon des Bans - Vallée du Fournel	8822.833
La Durance	15920.219

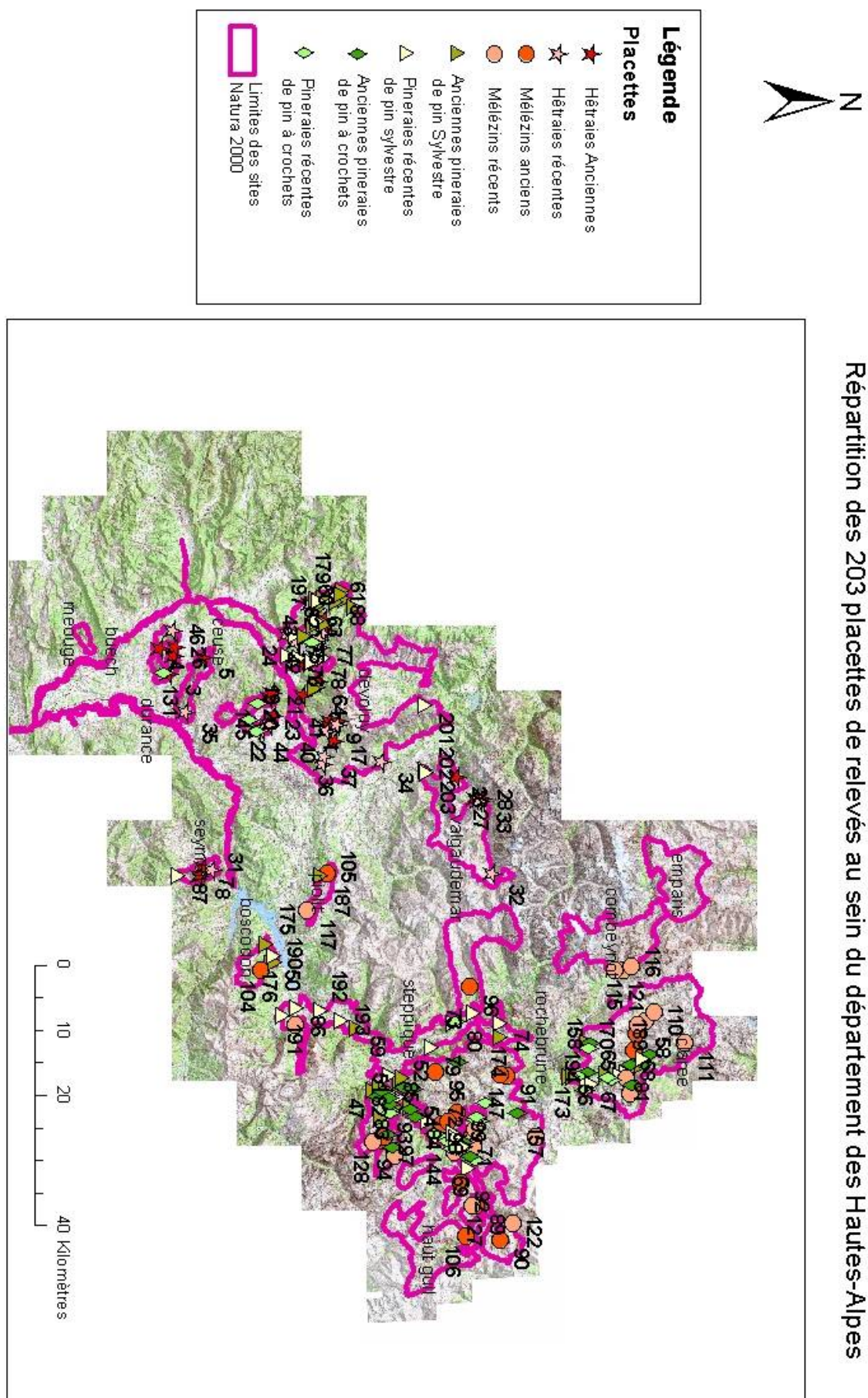


Figure 1 : Localisation des 203 placettes au sein du département des Hautes-Alpes

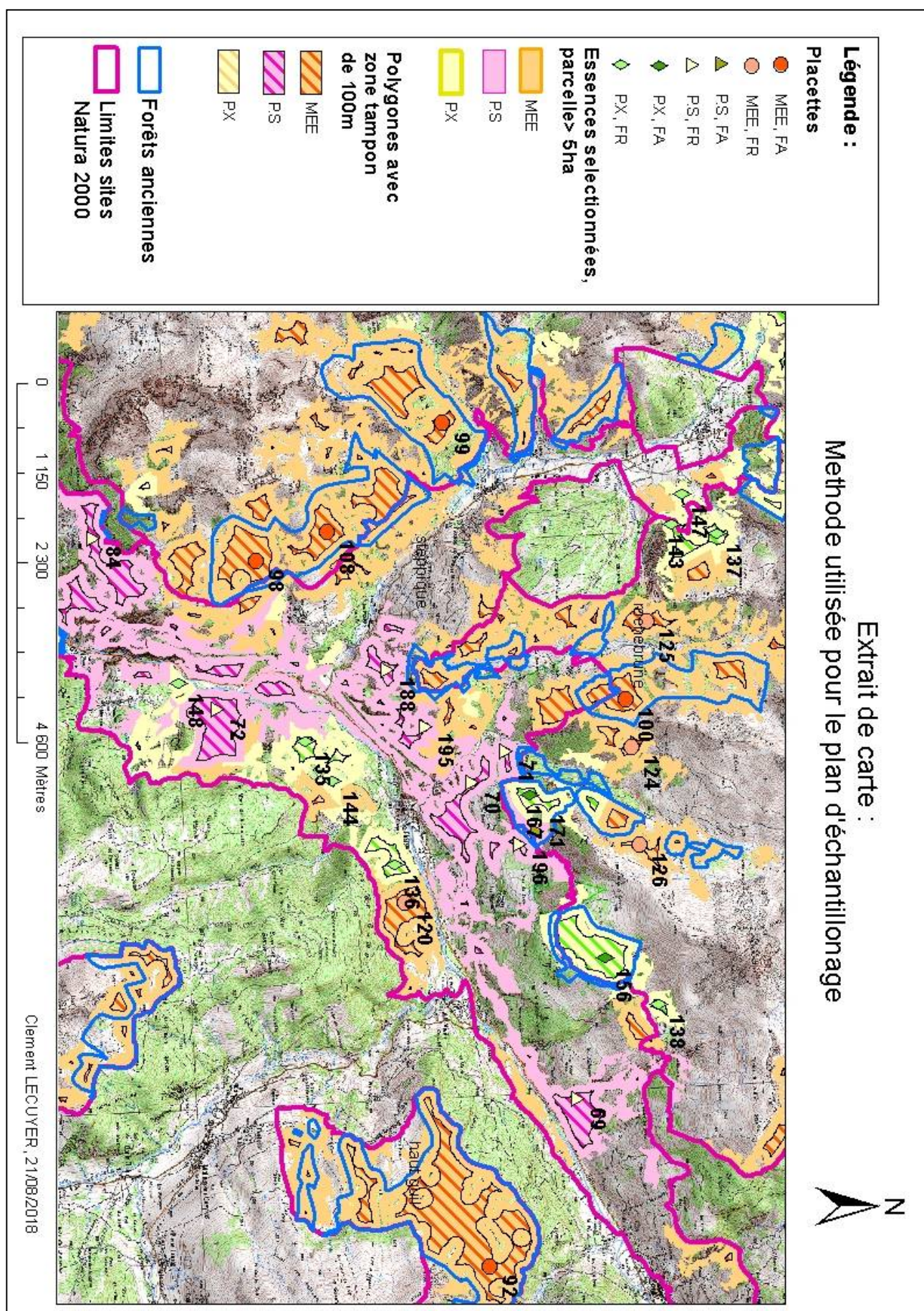


Figure 2 : Méthode utilisée pour sélectionner les parcelles adéquates et placer les placettes dans les peuplements souhaités

Résumé :

Mots clés : Forêts anciennes, Biodiversité, Natura 2000, Relevé floristique

Menée au sein du bureau d'Etude de l'ONF de Gap en partenariat avec le réseau Natura 2000 des Hautes-Alpes, cette étude a pour but de faire un état des lieux de la diversité végétale des forêts anciennes et récentes au sein des sites Natura 2000 du département des Hautes-Alpes. Les forêts anciennes ont été cartographiées sur SIG sur la base des cartes d'Etat-Major en testant différentes méthodes existantes pour y parvenir.

En se basant sur cet important travail, 203 placettes ont fait l'objet de relevés sur le terrain, au sein de 4 grands types de peuplements (hêtraie, mélézin, pineraie sylvestre et pineraie à crochets), réparties entre forêts anciennes et forêts récentes.

Sur chaque placette nous avons relevé la diversité floristique ainsi que des variables propres au paysage, au peuplement et à la localisation de chaque point de mesure.

Les données ainsi récoltées ont fait l'objet de traitements statistiques afin de mettre en évidence les différences entre forêts anciennes et forêts récentes.

Globalement la flore est significativement différente entre les forêts anciennes et récentes mais les différences apparaissent surtout au niveau de chaque type de peuplement. Ainsi quelques espèces caractéristiques des forêts anciennes des Hautes-Alpes peuvent être proposées à l'issue de ce travail.

Abstract

Keywords : Ancient Forest, Biodiversity, Natura 2000, Floristic Survey

This study aims to take stock of the plant diversity of old and recent forests within Natura 2000 sites of the Hautes-Alpes department. The old-growth forests were mapped on GIS on the basis of the Etat-major maps by testing different existing methods to achieve this.

Based on this important work, 203 plots were surveyed in the field, in 4 main types of stands (beech, larch, pine forest and hooked pine), divided between old and new forests.

On each plot we identified the floristic biodiversity as well as variables specific to the landscape, the forest stand and the location of each measurement point.

The data thus collected have been the subject of statistical processing in order to highlight the differences between old and recent forests.

Overall, the flora is significantly different between old and recent forests, but the differences appear mainly in each type of stand. Thus some characteristic species of the old forests of the Hautes-Alpes can be proposed at the end of this work.