

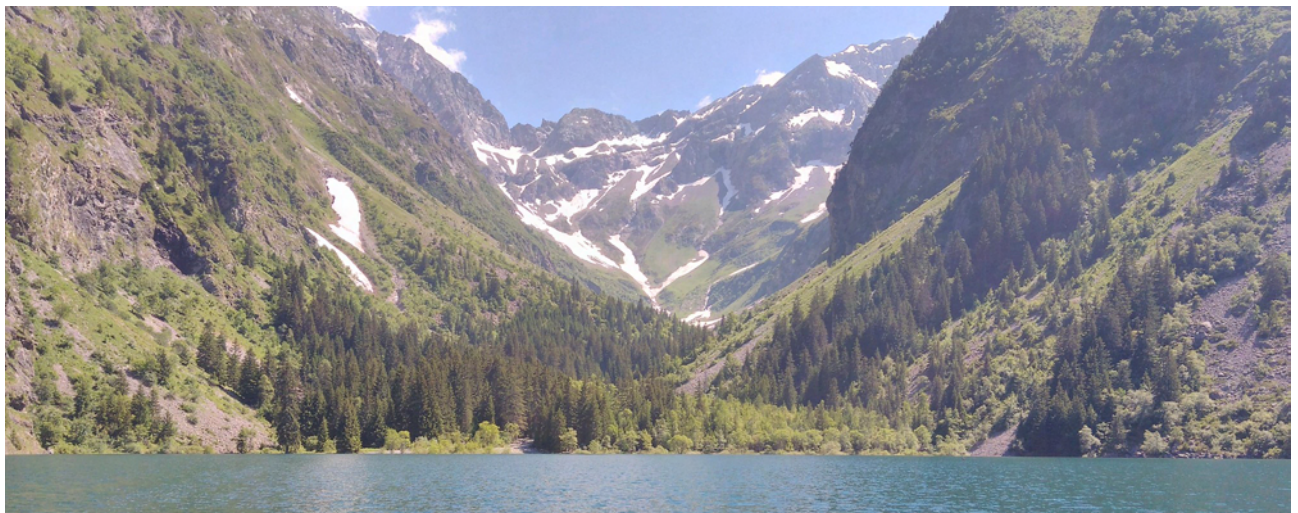
Évolution du peuplement et du bois mort dans un contexte de forêt subnaturelle, en réserve intégrale de Lauvitel

Mémoire de fin d'étude (2 avril – 31 août 2018)

Jérémy CHÂTEAU

AgroSupDijon – formation continue

3ème année de formation d'ingénieur agronome



Enseignant référent :

Thierry CASTEL

Maîtres de stage :

Julien GUILLOUX

Jérôme FORET

Table des matières

I. Contexte.....	1
I.1 Le Parc National des Écrins.....	1
I.2 La biodiversité forestière.....	3
I.3 La naturalité forestière.....	4
I.4 Le Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières.....	6
I.5 Les réserves forestières.....	6
I.6 La réserve intégrale de Lauvitel.....	6
II. Objectif.....	8
III. Méthodologie.....	9
III.1 Comparaison des protocoles d'inventaire.....	9
III.1.1 Surface des placettes.....	10
III.1.2 Diamètres mesurés.....	12
III.2 Inventaire du peuplement.....	12
III.2.1 Protocole.....	12
III.2.2 Localisation des placettes.....	13
III.2.3 Inventaire.....	13
III.2.4 Saisie des données.....	14
IV. Vérification et analyse des données.....	14
IV.1 Saisie et contrôle des données.....	14
IV.1.1 Individus "hors protocole".....	15
IV.1.2 Arbres oubliés dans le précédent inventaire.....	16
IV.1.3 Données des précédents inventaires.....	19
IV.2 Description du peuplement.....	19
IV.2.1 Surface terrière.....	19
IV.2.2 Essences.....	23
IV.2.3 Hauteurs.....	24
IV.2.4 Ages.....	25
IV.2.5 La régénération.....	26
IV.3 Le bois mort.....	28
IV.3.1 Les bois morts au sol ($D \geq 30$ cm).....	29
IV.3.2 Les bois morts sur pied ($D \geq 10$ cm).....	30
IV.3.3 Les bois morts au sol ($5 \text{ cm} \leq D < 30$ cm).....	32
IV.3.4 Le bois mort total.....	32
IV.4 Description du cycle sylvigénétique.....	34
V. Conclusion.....	38
VI. Bibliographie.....	39
VII. Annexes.....	42
VII.1 Extraits du Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières.....	42
VII.2 Calendrier du stage.....	47
VII.3 Scripts d'analyse (logiciel R).....	49

I. Contexte

Afin de mieux comprendre la dynamique de ses forêts le Parc National des Écrins (PNE) s'est lancé dans la quatrième campagne d'inventaire de la forêt de sa réserve intégrale dans le vallon de Lauvitel.

L'échelle de temps des études forestières est souvent confrontée à l'homogénéité des protocoles successifs et la forêt de la réserve intégrale de Lauvitel n'y fait pas exception depuis son premier inventaire en 1993 jusqu'à celui de 2018. Cette étude a donc tout d'abord consisté à déterminer la comparabilité des différents inventaires et les séries temporelles réalisables. L'inventaire proprement dit a ensuite été réalisé selon le Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières (PSDRF), protocole déjà utilisé lors de la précédente campagne. Enfin l'analyse des données issues de l'ensemble des inventaires du peuplement a été réalisée afin d'en décrire les grandes caractéristiques et d'en déterminer la dynamique, tant du peuplement lui-même que du bois mort. Ces habitats abritent une grande diversité d'organismes vivants qui font l'objet d'études de plus en plus nombreuses.

I.1 Le Parc National des Écrins

Le Parc National des Écrins est un établissement public administratif créé en 1973. Son territoire est composé d'un cœur de 93 000 ha et d'une aire d'adhésion de 160 000 ha. Il a pour cœur de métier la production et la diffusion de connaissances sur le patrimoine naturel, culturel et paysager ainsi que la protection de ce patrimoine (charte du Parc national 2013-2028 validée en conseil d'état le 28 décembre 2012).

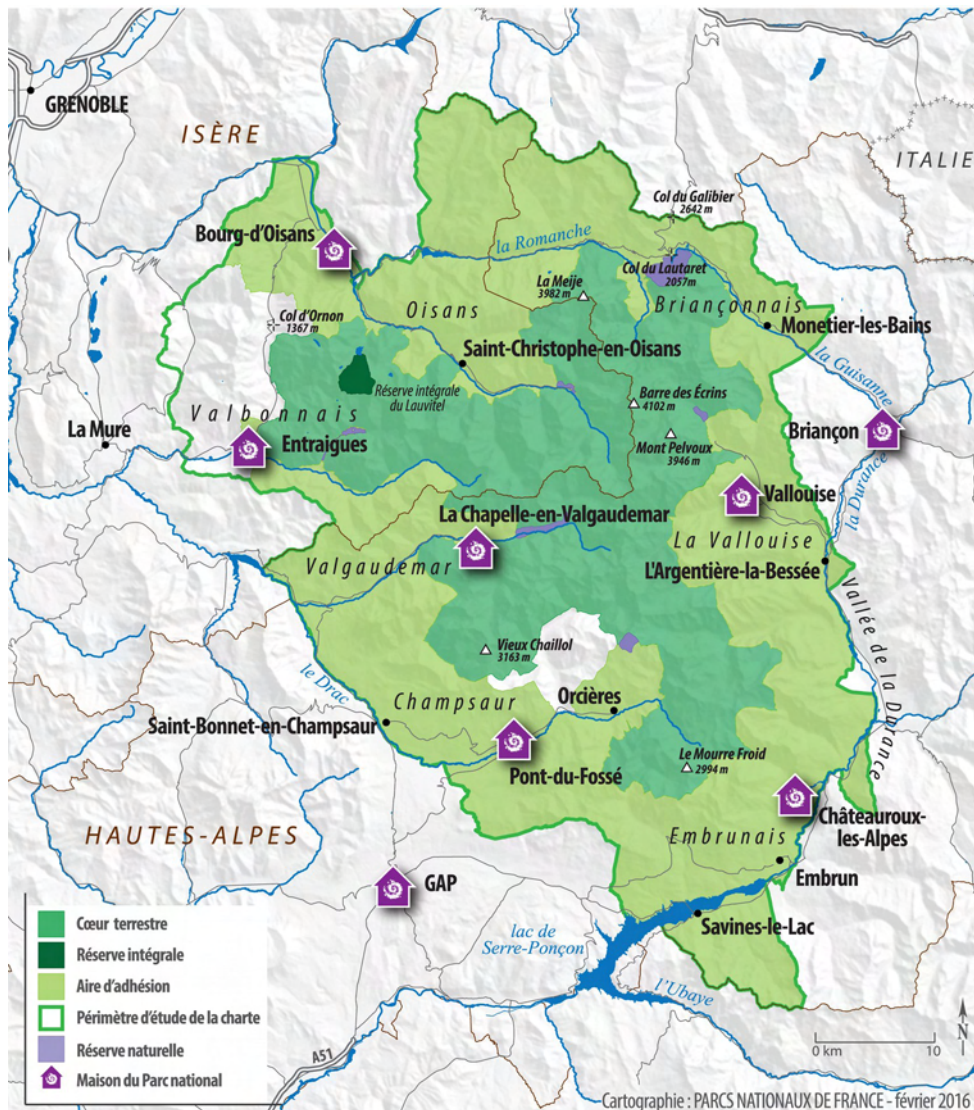


Figure 1: Les limites du parc national des Écrins.

La charte insiste sur la nécessité de produire des séries longues en matière de suivi des milieux, en lien notamment avec le monde de la recherche. A ce titre, le Parc national contribue à la Zone Atelier Alpes (ZAA) dans l'étude de la dynamique des écosystèmes alpins couplée aux usages et au changement climatique. La ZAA fait elle-même partie du réseau international Long Term Ecological Research (LTER) (Zone Atelier Alpes, 2018) dont l'objectif général est la compréhension des écosystèmes dans l'espace et dans le temps (LTER Network, 2017).

L'étude et la conservation, voire l'amélioration de la biodiversité, dont la biodiversité forestière, est une des missions de l'établissement public parc national.

1.2 La biodiversité forestière

Le parc national des Écrins compte un espace boisé assez faible dans sa partie cœur (espace strictement réglementé et caractérisé par un milieu de montagne et de haute

montagne). Si la forêt n'occupe que 3 % du cœur (sans compter les arbustes en voie de colonisation), elle occupe toutefois 30 % de l'aire d'adhésion. La forêt est donc un élément important du paysage, des grandes hêtraies sapinières de l'Oisans jusqu'aux mélézins de la Durance.

Le Parc national des Écrins vient de commencer différentes études pour évaluer l'impact du changement climatique sur les milieux forestiers. Par exemple, des relevés d'espèces saproxyliques sont conduits depuis 2015, la cartographie des forêts anciennes a été réalisée en 2017, certaines espèces forestières ont fait l'objet de prospections plus poussées (Epipogon, Buxbaumie...). Le Parc national s'intéresse également aux modalités de gestion forestière et à leur impact sur la biodiversité. En effet, le gradient de gestion peut varier d'une forêt fortement exploitée (pour la production de bois principalement) à une forêt sans intervention (cas du peuplement de la réserve intégrale de Lauvitel).

Dans un contexte de libre évolution (sans intervention humaine), les forêts se caractérisent par l'alternance de phases de croissance, de maturation, de vieillissement, d'écroulement et de régénération (Rossi et Vallauri, 2013) formant le cycle sylvigénétique (Figure 2).

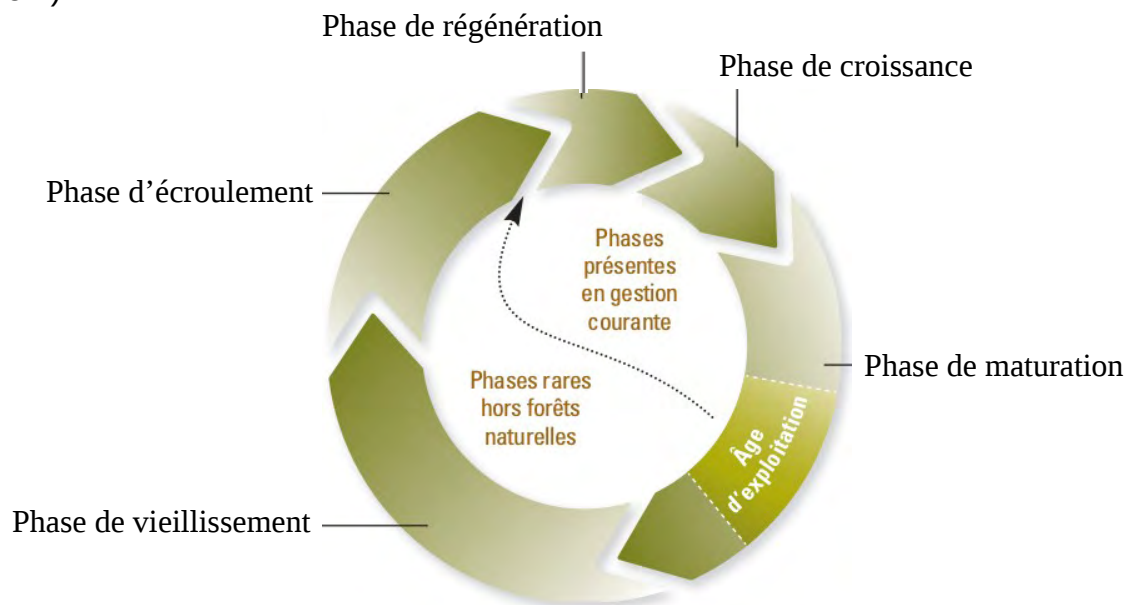


Figure 2: Cycle sylvigénétique - schéma d'après Rossi et Vallauri, 2013.

Dans des forêts de tailles suffisantes, toutes ces phases se côtoient : les bois morts sont très présents de même que la diversité des organismes vivants qui y sont associés.

Toutefois, les impératifs de gestion orientés vers la production de bois pour l'énergie, la construction et de nombreuses autres utilisations telles que le papier, les tonneaux ou le mobilier, conduisent à un cycle sylvicole restreint à l'exploitation du bois (Bouget, 2007). Le volume de bois mort laissé en forêt est minimal et les arbres sont exploités avant qu'ils n'atteignent les phases de vieillesse et d'effondrement (Bütler, 2006).

Or, on sait maintenant qu'une part importante de la biodiversité forestière (au « simple » sens de la biodiversité alpha, c'est à dire de la variabilité des organismes présents en forêt) est liée à la présence de bois mort, soit près de 20 % de la faune forestière et plus de 2500 espèces de champignons supérieurs ainsi que des plantes, des lichens, des bactéries, algues et myxomycètes (Schiegg Pasinelli et Suter, 2000). Le bois mort a ainsi été retenu au niveau européen parmi les indicateurs de gestion durable des forêts révélant l'état de conservation et de renforcement de la diversité biologique des écosystèmes forestiers (MCPFE, 2003).

Le contexte de politiques publiques vise à intensifier l'exploitation forestière afin de produire d'avantage de matériaux et énergies renouvelables (directive 2009/28/CE du parlement européen et du conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, et LOI n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement). Ainsi se pose la question de l'impact de cette exploitation sur le long terme en matière de biodiversité et particulièrement sur la question de la résilience des peuplements (Akroume, 2014). La résilience des peuplements forestiers, c'est à dire leur capacité à se régénérer et à maintenir un état boisé, est devenue un enjeu majeur dans le contexte du changement climatique.

I.3 La naturalité forestière

Le concept de naturalité englobe une grande quantité de notions : forêts naturelles et subnaturelles, forêts en libre évolution, vieilles forêts, forêts sauvages, forêts anciennes, forêts mûres, etc.

La naturalité forestière ne renvoie pas uniquement à des principes d'écologie, mais également à des notions de sociologie, d'éthique, voire d'anthropologie (Siipi, 2004).

Selon Rossi & Vallauri (2013), il est possible de caractériser la naturalité d'une forêt à travers 8 qualités écologiques :

- **La diversité des espèces, des peuplements et des habitats associés.** Dans les forêts naturelles les peuplements comportent généralement plus de cinq espèces (Mosseler et al., 2003 ; Bauhus et al., 2009) et plus celles-ci sont nombreuses plus la biodiversité associée augmente (Gosselin et Laroussinie, 2004).

- **L'indigénat des arbres** et des autres espèces, sélectionnés sous la pression des facteurs biotiques et abiotiques (par opposition aux espèces importées par l'Homme).
- **La structure du peuplement** avec une grande variabilité des âges et des strates favorisant la biodiversité et notamment la richesse spécifique des oiseaux et des papillons (Larrieu et Gonin, 2008).
- **Les Microhabitats et habitats d'espèces** augmentent avec la maturité des arbres (Larrieu et Gonin, 2008, Larrieu et al., 2011).
- **Une maturité du peuplement vivant, une nécromasse** et une biodiversité associée importantes.
- **La dynamique sylvicole** avec la présence de toutes les phases du cycle sylvigénétique.
- **La continuité dans l'espace** à l'échelle du paysage.
- **L'ancienneté.** Certaines espèces, de par leur faible pouvoir de dispersion, sont inféodées aux forêts anciennes (Hermy et al., 1999 ; Hermy & Verheyen, 2007 ; Dupouey et al., 2002)

Ces études complémentaires montrent une part plus importante de biodiversité forestière dans les forêts anciennes plutôt que dans des forêts récentes, dans des peuplements avec un taux de bois mort important ou encore en présence de gros et de très gros arbres. L'ensemble de ces éléments favorables à la biodiversité est donc régulièrement qualifié de « naturalité forestière ». Il est montré également que les forêts plus « naturelles » présentent une meilleure résilience pour s'adapter aux modifications climatiques.

Ainsi, les gestionnaires forestiers cherchent dorénavant à maintenir des bois mort et sénescents en forêts (ONF, 2014 ; Blanchard, 2006) et à augmenter la « naturalité » des peuplements, c'est à dire leur proximité à un milieu qui aurait été laissé en libre évolution (Vallauri 2007) que ce soit pour la préservation de cette biodiversité en elle-même, pour les éventuels bénéfices fonctionnels qu'elle peut apporter ou pour d'autres raisons (Bouget, 2009).

Toutefois les connaissances lacunaires de la dynamique des peuplements à forte naturalité en France, du bois mort et des bénéfices fonctionnels de la biodiversité qui leur est associée (prédation de ravageurs, symbioses, adaptation au changement climatique, etc.) ne permettent pas d'évaluer clairement les mesures de conservation ou de restauration prises dans les forêts exploitées (Paillet et Gosselin, 2011). Il est donc nécessaire d'évaluer la biodiversité d'un peuplement par comparaison avec un peuplement de référence doté d'une forte naturalité.

I.4 Le Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières

Le protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières (PSDRF, annexe 1) a été conçu par AgroParisTech, Réserves Naturelles de France (RNF), l'Office National des

Forêts (ONF), l'Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA) et l'Institut Géographique National Forestier (IGNf).

L'objectif de ce protocole est de réaliser un état des lieux et un suivi dans le temps des peuplements forestiers et du bois mort, via l'installation de placettes permanentes et leur inventaire périodique. Le déploiement du PSDRF vise la création d'un référentiel national comprenant l'inventaire de forêts à haut niveau de naturalité et permettant d'évaluer la naturalité des forêts gérées (Réserves Naturelles de France, 2012).

I.5 Les réserves forestières

Réserves Naturelles de France -RNF- est une association regroupant des professionnels intervenant au sein de plus de 340 réserves naturelles ainsi que des bénévoles, des organismes gestionnaires et des organismes de protection de la nature. Elle supervise le déploiement du PSDRF en métropole en formant les gestionnaires des réserves forestières et en centralisant et vérifiant les données d'inventaire. Ces réserves forestières peuvent avoir différents statuts :

- Réserves Naturelles nationales ou régionales (346 en 2018) : créées par l'État ou les Régions leurs objectifs sont de protéger, gérer et sensibiliser la population aux milieux naturels.
- Réserves Biologiques Intégrales (RBI) et/ou Dirigées (RBD) (252 en 2016) situées dans les forêts gérées par l'ONF.
- Réserves Intégrales de parcs nationaux (2 en 2018) : les moins nombreuses, elles ont le statut de protection le plus élevé des réserves. Elles ne subissent aucune perturbation humaine et sont d'accès restreint aux seules recherches scientifiques.

I.6 La réserve intégrale de Lauvitel

Parmi les forêts ayant été peu impactées par les activités humaines en France métropolitaine, la forêt de la réserve intégrale de Lauvitel (Figure 3), dans le cœur du parc national des Écrins constitue une base d'étude particulièrement fournie. Sa difficulté d'accès l'a préservée des activités humaines, la dernière exploitation de bois ayant eu lieu en 1922 avec la coupe de gros arbres dont certains n'avaient pas été exportés des parcelles et étaient restés sur place. Après la dernière guerre une pratique d'affouage au bénéfice de quatre chalets de la digue du lac a perduré quelques jours par an pour leur approvisionnement en bois de chauffage. Lors de la création de la réserve intégrale en 1995, il a été convenu de baisser progressivement les prélèvements, les derniers ayant eu lieu en 1999 (parc national des Écrins, 2012).

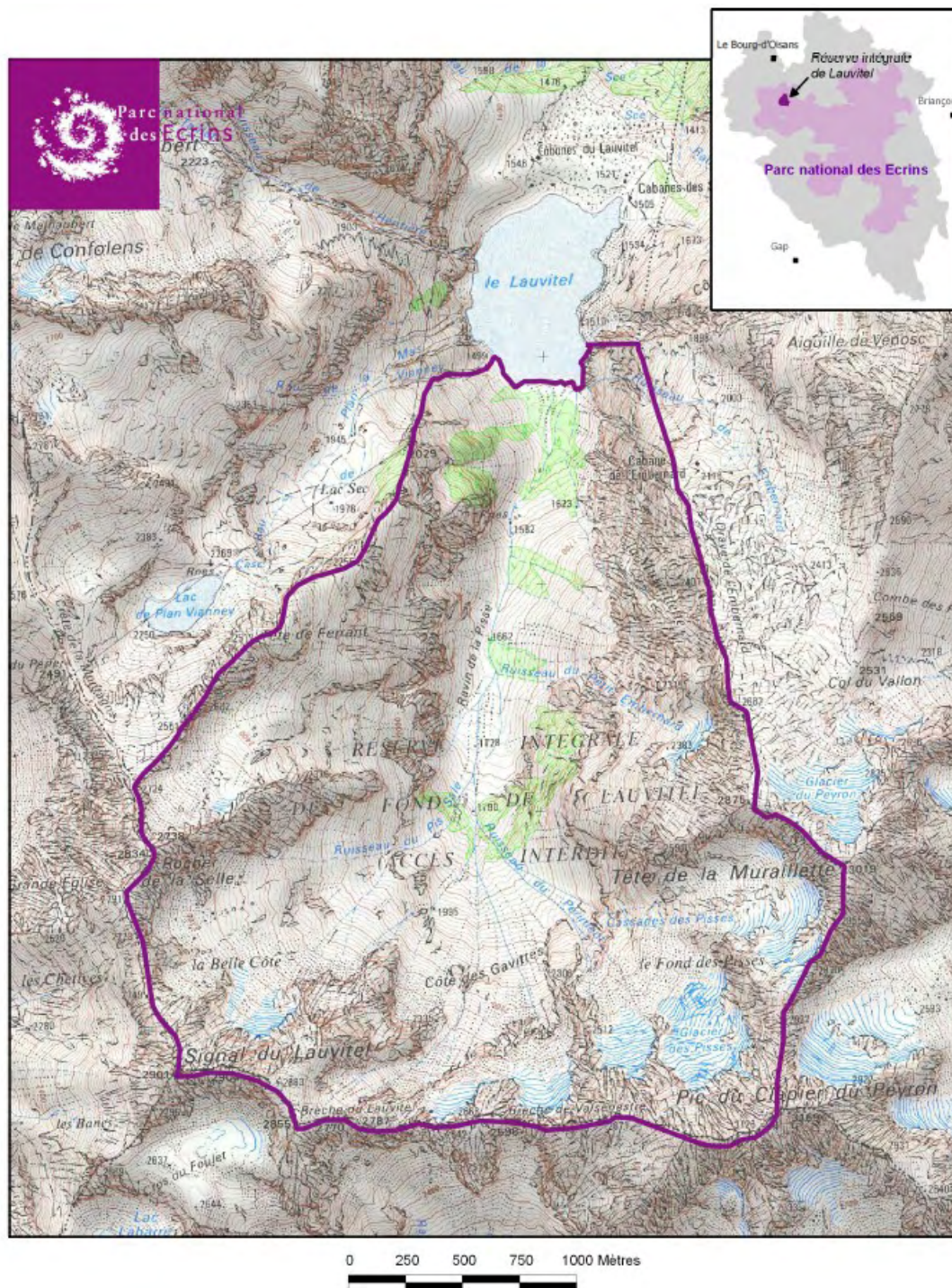


Figure 3: Localisation de la réserve intégrale de Lauvitel (source : parc national des Écrins).

Sur les 689 ha de réserve intégrale d'accès strictement réservé aux activités scientifiques, ce peuplement d'une dizaine d'hectares est suivi depuis 1993 pour sa partie peuplement forestier et depuis 2006 pour le compartiment bois mort.

Une étude des charbons de bois sur l'ensemble du vallon (en amont du lac) a permis de reconstruire l'historique holocène de la végétation (Talon et Chapron, 2017). Le peuplement forestier a été par le passé plus étendu et la végétation plus diversifiée, évoluant au grès des périodes d'avancées glacières. Une étude des pollens contenus

dans les sédiments du lac a également révélé que l'épicéa (qui constitue actuellement l'essence majoritaire du peuplement forestier) est apparue il y a à peine plus de deux millénaires. L'activité humaine a également eu un impact important : pâturage et exploitation de bois ont eu pour conséquence l'augmentation de la fréquence des avalanches. Un document de 1172 mentionne ainsi l'interdiction des coupes de bois suggérant déjà à l'époque un problème de stabilité du bassin versant.

L'étude du peuplement forestier du Lauvitel avec le protocole PSDRF s'inscrit dans un contexte plus large visant à mieux comprendre l'évolution de ce milieu forestier particulier et de ses différentes composantes.

La réserve intégrale est également le support d'un inventaire généralisé de tous les taxons de la biodiversité, qui se met en place depuis 2013 (All-taxa biodiversity inventory ou ATBI). Il a été réalisé jusque là pour les champignons saproxyliques (Rivoire, 2013), les coléoptères (Dodelin, 2013, Chevillot, 2013), les orthoptères (Braud et Dusoulier, 2013), les rhopalocères (Boutin, 2013) et s'enrichit depuis d'autres espèces (chiroptères, mollusques, araignées, etc.). Cet ATBI ne permet pas un suivi dans le temps mais cette lacune est comblée par la mise en place d'un autre dispositif depuis un an sur la réserve de Lauvitel : l'Observatoire des Relations Climat / Homme / milieux Agro-sylvo-pastoraux du Massif alPin (ORCHAMP) (Saillard, 2017). Cet observatoire suit un réseau de placettes permanentes, travail méthodique s'inscrivant dans le très long terme. Il permet de mesurer l'évolution de nombreuses espèces (qualitativement et quantitativement) et de déterminer leurs corrélations éventuelles avec les changements de leur environnement (climat, activité humaine, etc.).

ORCHAMP est toutefois trop récent pour donner lieu à une analyse. Il vise de plus un suivi à plus large échelle, ses sept placettes permanentes étant disposées sur l'ensemble du vallon de Lauvitel (dont une dans la forêt de la réserve intégrale).

Un suivi plus ancien existe toutefois dans cette vallée et concerne la forêt de la réserve intégrale. Le premier inventaire du peuplement remonte à 1993 et permet après quatre inventaires et 25 années de données d'étudier des tendances d'évolutions du peuplement forestier.

II. Objectif

La problématique posée ici est celle de la détermination de la dynamique à la fois du peuplement forestier laissé en libre évolution, celui de la réserve intégrale de Lauvitel, et du bois mort associé : le peuplement évolue-t-il dans son ensemble ? Quelles sont les caractéristiques de son cycle sylvigénétique ?

On cherche à caractériser le peuplement dans ses grandes variables (proportion en essences, surface terrière par catégories de diamètres, surface en régénération, volume de bois mort et vitesse de décomposition) et à en déterminer la dynamique tant à l'échelle

de son cycle sylvigénétique (succession des stades du peuplement et du bois mort) qu'à l'échelle de la forêt.

La première hypothèse testée est que la taille de ce peuplement est insuffisante pour montrer tous les stades d'évolution simultanément et que le peuplement dans son ensemble montre une évolution dans le temps. La seconde est que le recul de 25 années d'inventaires sur les 32 placettes suffit à reconstruire la succession des différents stades du peuplement forestier et la dynamique du bois mort.

Dans un premier temps une étude des protocoles successifs est réalisée afin de déterminer la comparabilité des données. Cette étude pourra conduire à la révision des objectifs initiaux en fonction des analyses identifiées comme possibles. Ensuite, après avoir déterminé les grandes caractéristiques descriptives de la forêt une étude de leur évolution sera réalisée lorsque cela s'avéra possible. Enfin la reconstruction du cycle sylvigénétique sera tenté à partir de la structure des peuplements décrits au sein des différentes placettes.

III. Méthodologie

III.1 Comparaison des protocoles d'inventaire

La difficulté de l'analyse est accentuée dans le domaine forestier par la longueur du cycle étudié. Les problématiques (objectifs de production, adaptation aux ravageurs, au climat, etc.) et techniques d'inventaire évoluent entraînant des modifications de protocole.

On observe ainsi sur le peuplement forestier de la réserve intégrale de Lauvitel une succession d'inventaires depuis 1993, plus ou moins différents les uns des autres (type et surface des placettes, méthodes de mesure, etc.). Les précédents inventaires ont eu lieu en 1993 (Blanchemin, 1993), 2001 (Balmain et Desplanque, 2001) et le dernier s'est étalé de 2006 à 2008. Tous se sont réalisés sur des placettes géolocalisées dès 1993 (figure 4). Les inventaires de 1993 et 2001 ne concernaient que la partie peuplement tandis que les deux derniers incluent également le compartiment bois mort.

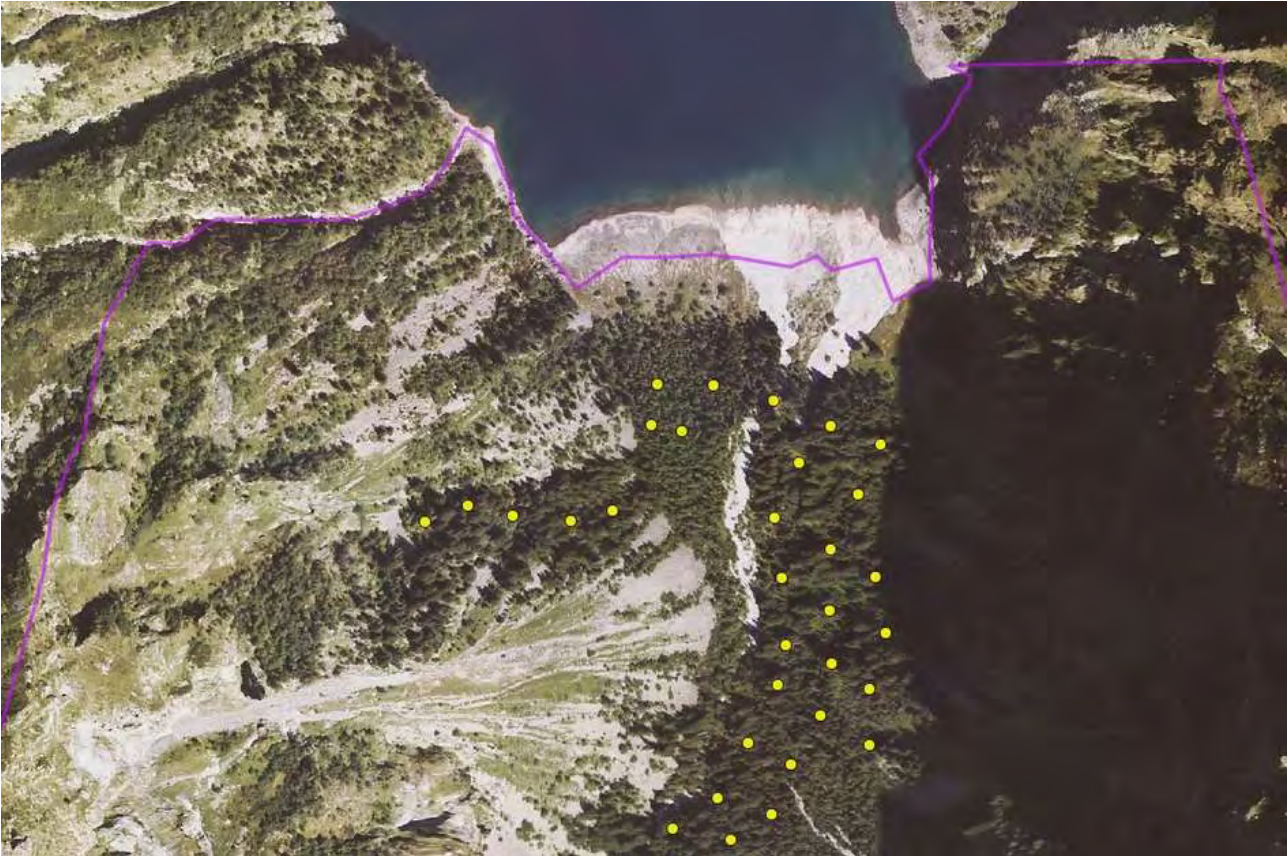


Figure 4: Les placettes forestières d'inventaire dans la forêt de la réserve intégrale du Lauvitel (source : parc national des Écrins, en jaune les placettes d'inventaire, en violet la limite nord de la réserve intégrale).

Un étude préalable a donc dû être réalisée afin de déterminer la comparabilité des données d'un inventaire à l'autre et la possibilité de réaliser des séries temporelles (tableau 1). Cette comparaison s'est faite par catégorie d'arbres et de bois mort (identifiées selon le diamètre). Pour chaque catégorie les protocoles d'inventaire successifs ont été analysés afin de déterminer si tant les mesures réalisées que les types de placettes utilisés permettaient la réalisation de séries temporelles par placette ou à minima à l'échelle du peuplement.

III.1.1 Surface des placettes

Si les 32 placettes sont centrées sur les mêmes coordonnées depuis 1993 leurs surface diffèrent.

En 1993 sont inventoriées des placettes circulaires de 12,62 m (pour obtenir une surface de 500 m²) en distance réelle (non horizontale). La pente étant connue la surface horizontale peut être calculée mais le positionnement des arbres n'ayant pas été réalisé (mesure de l'azimut et la distance au centre de la placette) il est impossible de reconstruire à posteriori des placettes comparables aux placettes actuelles.

		1993	2001	2006-2008	2018
Arbres vivants	BM&GB (D>=30)	R12,62m (5 ares en surface réelle et non horizontale) : - inventaire des arbres par ess. et par classe de D (de 2,5 cm) à partir de la classe 10 cm à partir du D 10cm . - H de chaque arbre. - Dendrochronologie	R12,62m (5 ares) : - inventaire des arbres (ess. et D1 à partir de 10 cm). - H des 5 arbres dominants.	Angle fixe 3 : Ess, D1 (perpendiculaire au rayon), D2 (parallèle), dist. (corrigée si pente>20%), Azimut, pente	Angle fixe 3 : Ess., D1 (perpendiculaire au rayon), D2 (parallèle), dist., Azimut (grades), pente (si dist non corrigée), code écologique
	PB (7,5<=D<30)			R10m : Ess, D1, dist. (corrigée si pente>20%), Azimut, pente, origine végétative	R10m : Ess., D1, dist., Azimut, pente (si dist. non corrigée), code écologique, origine végétative (O/N)
	Perches (D<7,5)	R12,62m (5 ares) : régénération dénombrée par ess. et par classe de H (5) : 1 (<10 cm), 2 (11 à 50 cm), 3 (51 à 100 cm), 4 (101 à 150 cm), 5 (>150 cm et D1,30 < 10 cm)	R12,62m (5 ares) : régénération (cartographie et support) par classe de H (semis, <20cm, <100cm >100cm)	3*R1,5m : nb/ess. et par classe de H et de D	3*R1,5m : nb/ess. et par classe de H et de D, % de recouvrement pour les semis, abrutissement (O/N). Classes : 1 (0,5<H<1,5m) ; 2 (H>1,5m et D<2,5cm) ; 3 (2,5<D<7,5cm) ; semis (<0,5m)
	Régénération			3*R1,5m : %recouvrement de semis <50cm, nb tiges entre H0,5 et D2,5.	
Bois mort	Sur pied D>=30			R20m : ess. (si possible), azimut, distance, type (arbre, volis, souche), D1,30 pour les arbres sur pied ou médian, H, stade de décomposition, observation	R20m : ess., H, azimut, dist., pente (si dist non corrigée) type (A arbre, V volis, S souche), D1,30 (A/V) ou médian (S), codes écologiques, stade de décomposition
	Sur pied D<30			R10m : ess. (si possible), azimut, distance, type (arbre, volis, souche), D1,30 pour les arbres sur pied ou médian, H, stade de décomposition, observation	R10m : ess., H, azimut, dist., pente (si dist non corrigée) type (A arbre, V volis, S souche), D1,30 (A/V) ou médian (S), codes écologiques, stade de décomposition
	Au sol D>=30	Inventaire chablis (orientation de la chute, L, D1,30, distance de la base du chablis et azimut par rapport au centre, cartographie).	Inventaire chablis (état, ess, L, D – lequel ? -, parfois Dmédian, orientation, distance au centre de la placette, schéma)	R20m : n° arbre, ess. (si possible), L(m), D (possibilité de mesurer 3 D),%L contact sol, stade de décomposition, origine chablis, distance et azimut de la partie la plus proche du centre de la placette.	R20m : n° arbre, ess. (si possible), azimut, dist., L(m), Dmédian + Dmin et Dmax si billon>5m),%L contact sol, stade de décomposition, origine de la pièce au sol (chablis O/N), distance et azimut de la partie la plus proche du centre de la placette. (bois limites : seule la partie à l'intérieur de la placette est mesurée) (chablis : mesure à partir du collet)
	Au sol D<30			3*L20m : n° transect, ess. (si possible), Dintersection, angle/horizontal, stade de décomposition, contact avec le sol (O/N), chablis : indiquer si pièce de bois rattachée à la souche.	3*L20m (5<D<30) : n° transect, ess. (si possible), Dintersection, angle/horizontal, stade de décomposition (intersection), contact avec le sol (O/N) (intersection), origine de la pièce au sol (chablis O/N), distance.

Tableau 1: Comparaison des différents inventaires forestiers réalisés dans la réserve intégrale de Lauvitel depuis 1993. D : diamètre (à 1,30m de hauteur pour les bois sur pied), H : hauteur, L : longueur, R : rayon, dist. : distance, ess. : essence, nb : nombre, PB : petits bois, BM : Bois Moyens, GB : Gros bois.

En 2001 le protocole de 1993 a été repris en mesurant cette fois des distances horizontales. Cette correction du protocole n'a non seulement pas permis la reconstruction de placettes comparables avec les placettes actuelles (surface toujours différente et

arbres non cartographiés) mais empêche également la comparaison avec les placettes de 1993 pour les mêmes raisons.

III.1.2 Diamètres mesurés

En 1993 les arbres ont été inventoriés par classes de diamètres à partir du diamètre 10 cm (nombre d'arbres de 10 à 12,5 cm, de 12,5 à 17,5 cm, etc.).

En 2001 les diamètres sont également mesurés à partir de 10 cm mais cette fois les mesures sont notées au centimètre près.

Enfin les deux derniers inventaires (selon le PSDRF) inventorient les arbres individuellement à partir du diamètre 7,5 cm avec un diamètre mesuré là encore au cm près.

Les différences de protocoles permettront donc d'analyser l'évolution du peuplement à partir du diamètre 10 cm.

III.2 Inventaire du peuplement

III.2.1 Protocole

Le protocole suivi en 2018 est le Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières (PSDRF), détaillé en annexe 1.

Sur chaque placette trois catégories de bois sont prises en compte : les bois vivants, les bois morts encore sur pied et les bois morts au sol. Pour un suivi plus précis, différentes catégories de bois morts et vivants sont suivies en fonction de leur taille. Au total pour chaque placette ce sont en fait sept inventaires qui sont réalisés (Figure 5) :

- Cinq inventaires à surfaces fixes (les individus sont comptabilisés sur des placettes circulaires de 1,5 m à 20 m de rayon selon la catégorie visée) (a),
- Un inventaire à angle fixe de 3 % (inventaire de tous les arbres ayant un diamètre en cm supérieur ou égal à 3 fois sa distance au centre de la placette en mètres grâce à un relascope de Bitterlich) (b),
- Un inventaire selon trois transects linéaires partant du centre de la placette (c).

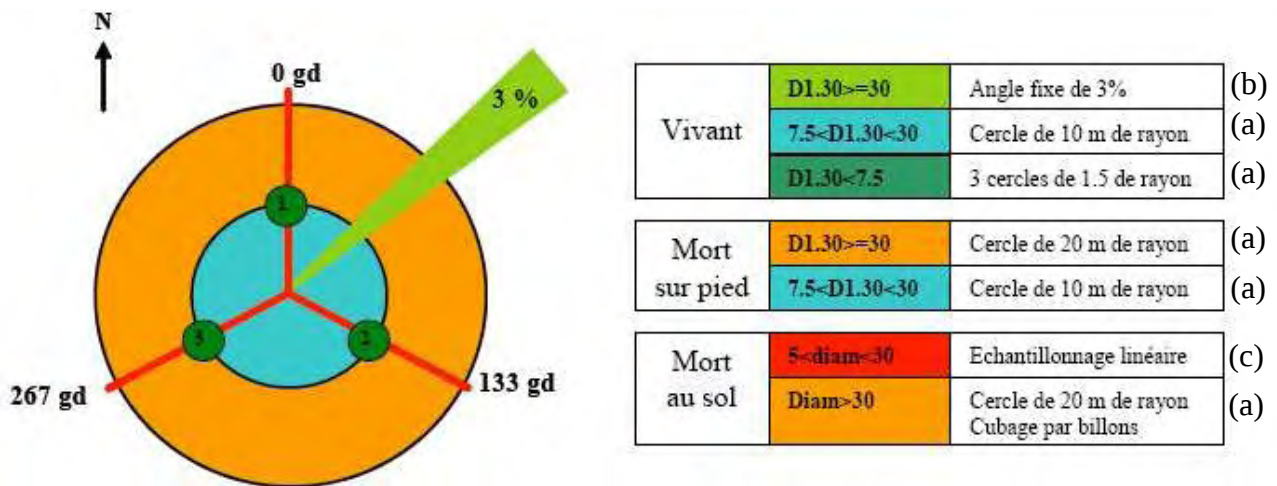


Figure 5: Placette d'inventaire (Réserves Naturelles de France, 2012). D1.30 = diamètre de l'arbre mesuré à 1,30 m de hauteur en cm. (a) placettes à surfaces fixes, (b) placette à angle fixe, (c) placette à transect linéaire.

III.2.2 Localisation des placettes

Des bornes installées en 1993 matérialisent le centre des placettes. Lorsque celles-ci n'étaient pas directement visibles, leur localisation a été réalisée par GPS et triangulation grâce à des repères fixes (marque sur un rocher, arbre d'essence ou de dimension particulière...). Dans les cas de disparition de bornes causées par des laves torrentielles, leur position est identifiée par triangulation par rapport aux arbres de la placette dont la distance et l'azimut par rapport au centre sont connues et une borne est remplacée (lorsque le terrain le permet).

III.2.3 Inventaire

L'inventaire de l'ensemble des 32 placettes de la réserve a été réalisé au cours des mois de juin et juillet 2018 sur un total de 16 jours plus un jour de formation et un jour de vérification et de complémentation des données (voir calendrier en annexe). La majorité des placettes nécessitaient la présence de trois personnes afin d'optimiser les déplacements de chacun sur un terrain accidenté, instable et régulièrement couvert de chablis.

Les données en montagne étant particulièrement coûteuses à acquérir et le nombre d'hommes-jours de pénétration dans la réserve étant limité par le conseil scientifique afin de minimiser l'impact de l'Homme, il est à noter pour le prochaine inventaire que quelques placettes ne nécessitaient pas la présence d'une troisième personnes. Le nombre optimal de personne par placette est indiqué dans le calendrier mis en annexe. Cela est rendu possible par la plus grande facilité de déplacement sur ces placettes et par la faible présence de bois mort.

Le nombre de placettes inventoriées par jour est dépendant de la difficulté des placettes (pente et quantité de bois mort essentiellement) ainsi que de l'expérience des opérateurs, allant de une à trois placettes par jour, avec une moyenne de 1,9 placettes par jour.

Bien que non idéal pour l'homogénéité des mesures, des rotations étaient opérées entre chaque placette entre les personnes s'occupant des mesures et de la saisie. En effet, les déplacements en terrain accidenté et parsemé de bois mort étant fatigants, le changement s'avère nécessaire.

III.2.4 Saisie des données

La saisie s'est effectuée d'abord sur support numérique puis sur version papier, des problèmes ayant été rencontrés avec la tablette numérique dont nous disposions.

Outre les données générales relatives à chaque placette (numéro, pente, orientation) les données ont été collectées selon quatre grandes catégories :

- les arbres vivants et les arbres morts sur pied,
- le bois mort au sol de diamètre compris entre 5 et 30 cm,
- le bois mort au sol de diamètre au moins égal à 30 cm
- la régénération.

Les données ont ensuite été stockées sous format tableur, soit directement par le logiciel de saisie de la tablette, soit par ressaisie des fiches papier de terrain, les quatre catégories de données citées précédemment constituant quatre feuilles (onglets) distinctes. Ce stockage a été réalisé au format "base de données", chaque colonne constituant une variable et chaque ligne un individu.

La saisie a également été nécessaire pour les données des inventaires de 1993 et 2001, aucune version numérique n'étant disponible. Cette saisie a été réalisée à partir des rapports papier, l'un entièrement manuscrit (1993) et l'autre dactylographié (2001).

IV. Vérification et analyse des données

Toutes les étapes de vérification et d'analyse ont été réalisées à l'aide du logiciel libre R permettant la reproductibilité des résultats (voir les scripts en annexe) et évitant la confusion entre données d'origine et données transformées. Le fichier tableur utilisé comme base de données n'est alors plus modifié sauf lorsque des erreurs flagrantes pouvant être corrigées étaient détectées.

IV.1 Saisie et contrôle des données

Cette étape fastidieuse mais nécessaire à la réalisation d'une analyse fiable a nécessité plus de trois semaines. Elle a consisté essentiellement à ressaisir les fiches papier de terrain puis à comparer les deux derniers inventaires. Les deux premiers n'ayant pas suivi le PSDRF ne pouvait pas être comparés aussi finement (individu par individu).

Il s'est agi dans un premier temps de vérifier si les données essence, azimuth, distance étaient bien identiques pour chaque arbre entre les deux cycles de PSDRF.

Les deux cycles de PSDRF réalisés ont abouti à l'inventaire dont les grands chiffres concernant le peuplement sont résumés dans le tableau (2). Les données bois mort et régénération seront abordées plus loin.

	Inventaire 2006/8	Inventaire 2018
Arbres sur pied inventoriés	1125	1198
Arbres sur pied (arbres hors protocoles exclus)	965	1178
Arbres vivants	897	1076
Arbres morts sur pied	70	103

Tableau 2: Données générales de l'inventaire du peuplement des deux cycles de PSDRF.

IV.1.1 Individus "hors protocole"

Les arbres "hors protocoles" sont les arbres qui ont été mesurés mais n'auraient pas dû l'être car ils sont en dehors des placettes d'inventaire (figure 6). La démarche de vérification du diamètre d'un arbre pouvant prendre du temps (en particulier pour les gros arbres éloignés du centre de la placette), les diamètres mesurés ont souvent été notés même si les arbres se trouvaient hors placette (la mesure ayant été faite cette "sur-information" n'entraîne pas de coût supplémentaire). Lors du cycle 2006/8 une erreur de lecture du protocole pour certaines placettes a également intégré dans l'inventaire un grand nombre d'arbres hors protocole (tous les arbres de plus de 30 cm de diamètre dans un rayon de 20 m). Les arbres hors protocole sont bien entendu exclus de l'analyse du peuplement.

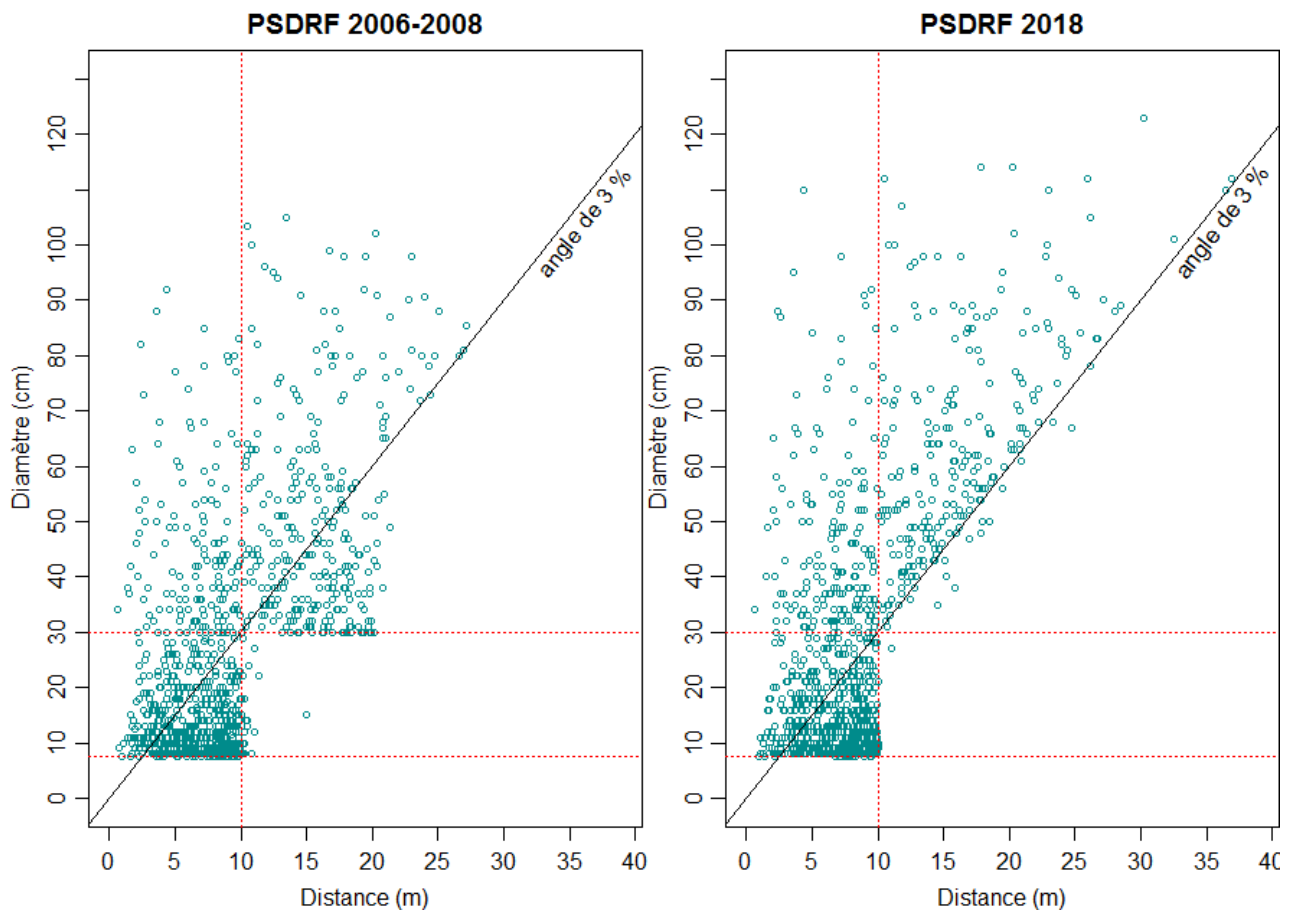


Figure 6: Arbres vivants inventoriés lors des derniers cycles d'inventaires : certains sont situés hors des placettes prévues par le protocole protocole car situés à plus de 10 m du centre et en dehors de la placette à angle fixe de 3%.

IV.1.2 Arbres oubliés dans le précédent inventaire

Lors de l'inventaire 2018 un nombre très importants d'arbres nouveaux par rapport à 2006-8 a été mesuré (+22%). Cette augmentation s'observe dans toutes les catégories de diamètre (voir figure 7).

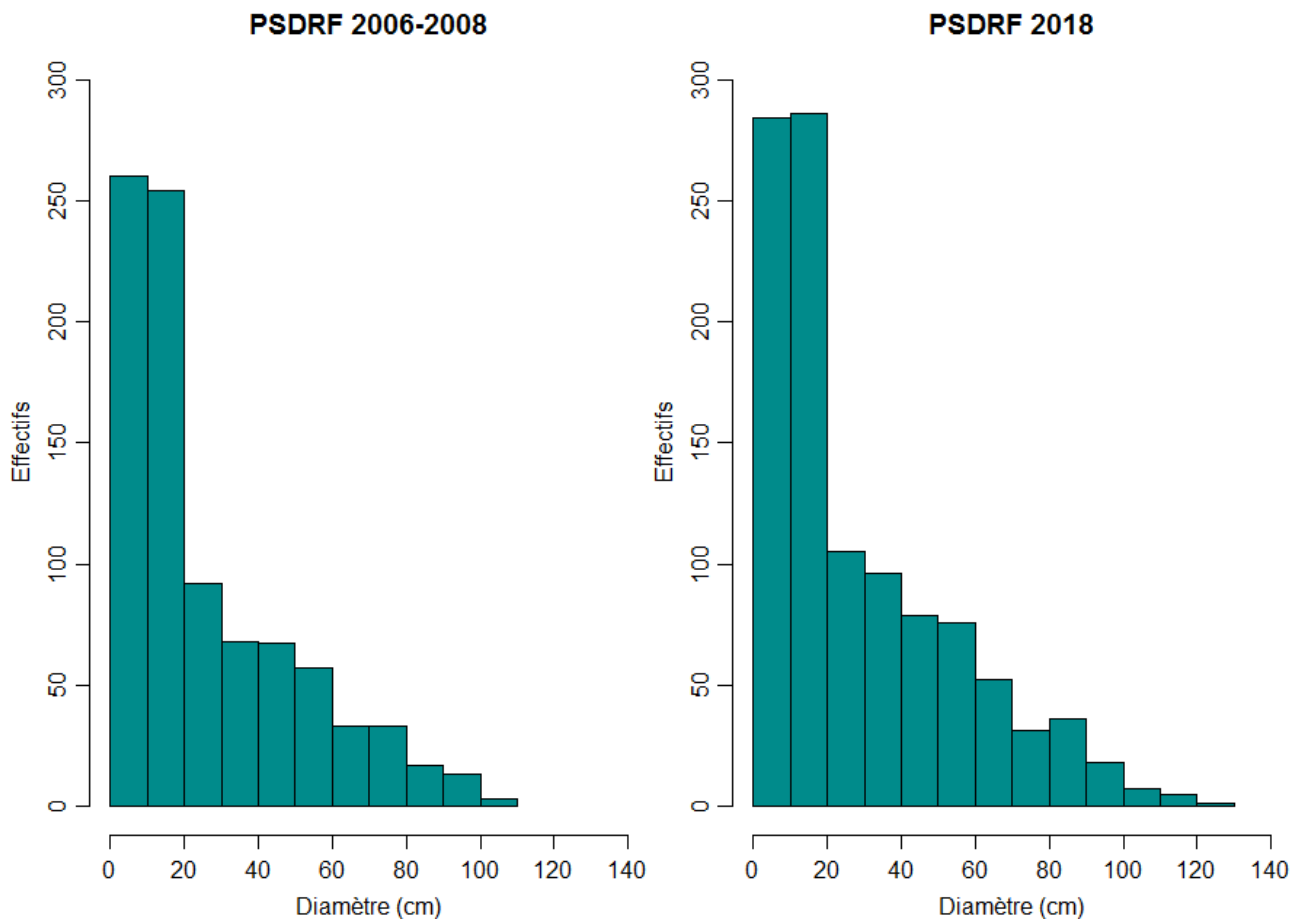


Figure 7: Histogrammes du nombre d'arbres vivants mesurés par catégories de diamètres pour l'ensemble des 31 placettes.

Cette augmentation peut s'expliquer par le recrus de nouvelles tiges (dont le diamètre a dépassé la limite des 7,5 cm) et par le vieillissement et la capitalisation du peuplement depuis le dernier inventaire mais également par l'oubli de tiges lors du précédent cycle d'inventaire. Cela a visiblement été le cas pour certains très gros bois très éloignés du centre de certaines placettes.

Afin de pouvoir mesurer l'évolution du peuplement entre les deux inventaires, ces arbres "faux nouveaux" ont dû être identifiés afin de ne pas être intégrés aux analyses comparatives. Cette identification s'est basée sur la détermination de la croissance que ces nouveaux arbres auraient dû avoir pour être effectivement de nouvelles recrues. Les croissances étaient jugées excessives lorsqu'elles dépassaient la croissance maximale observée sur le peuplement entre les deux derniers cycles d'inventaire (figure 8).

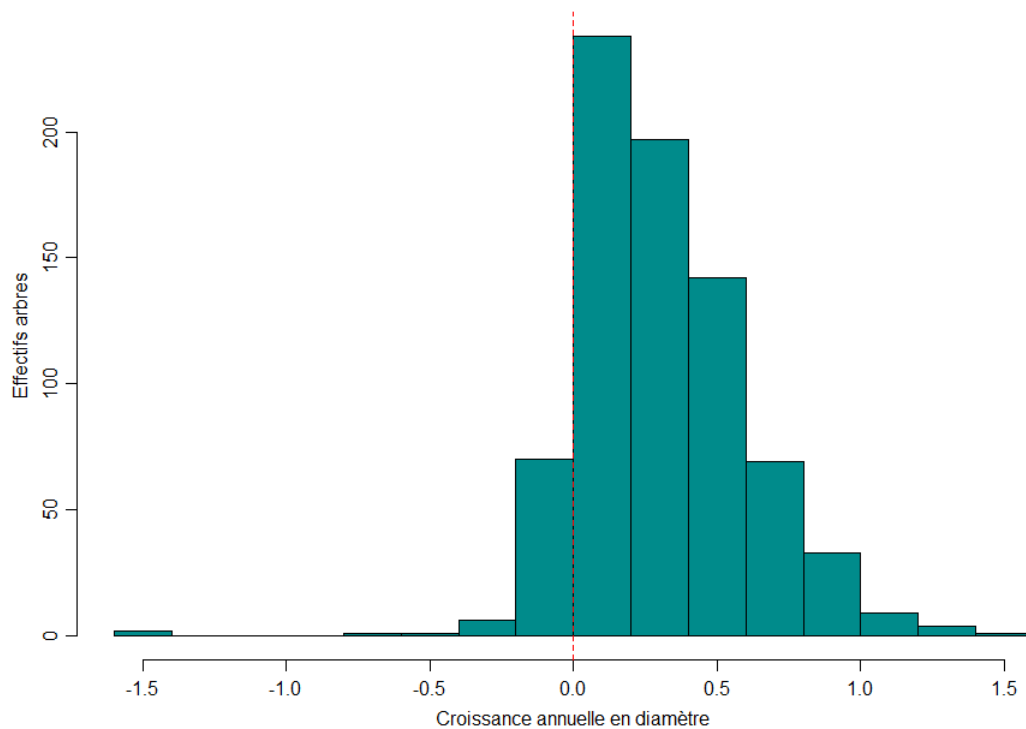


Figure 8: Répartition des croissances annuelles en diamètre des 773 arbres communs aux deux derniers inventaires.

Les données extrêmes et les données négatives sont liées à des erreurs et imprécisions de mesures. En particulier la hauteur à laquelle se mesure le diamètre des arbres sur pied (1,30 m) n'étant pas matérialisée sur les arbres, une imprécision provient de la hauteur réelle à laquelle est réalisée la mesure. Cette imprécision est accrue par la pente, le sol inégal, les arbres penchés et l'éventuelle accumulation de pierres au pied des arbres liée aux éboulements et aux crues torrentielles (pour certains arbres l'accumulation de pierre entre les deux inventaires peut atteindre jusqu'à deux mètres de hauteur). Si on émet l'hypothèse que cette imprécision peut aller aussi bien dans le sens d'une surestimation que d'une sous-estimation, supprimer les accroissements négatifs, même si nous sommes certains de leur aberrance, conduirait à sur-estimer le croissance du peuplement.

Sur les 773 arbres communs aux deux inventaires, la croissance maximum mesurée sur le diamètre est de 1,4 cm/an. En considérant cette valeur comme limite maximale de croissance mesurée pour les arbres nouveaux en 2018, tout nouvel arbre devant dépasser cette valeur pour passer du diamètre limite à son diamètre actuel sera considéré comme étant "faux nouveau". Si cette opération ne permet pas d'éliminer tous les faux-nouveaux, elle permet au moins de supprimer des valeurs extrêmes susceptibles d'influencer faussement et de façon importante la comparaison entre les inventaires (tableau 3).

Catégories inventoriées	PSDRF 2006/2008	PSDRF 2018
Arbres vivants	897	1076
Arbres communs aux deux inventaires	773	
Arbres nouveaux en 2018		303
dont "faux-nouveaux" identifiés		14

Tableau 3: Nombre d'arbres inventoriés communs aux deux inventaires et arbres nouvellement inventorié en 2018 (les "faux-nouveaux" sont les arbres non inventoriés en 2006/2008 mais qui auraient dû l'être).

IV.1.3 Données des précédents inventaires

Les données saisies d'après les rapports de 1993 et 2001 ont également été vérifiées après avoir été ressaisies numériquement, seule des versions papiers étant disponibles (le rapport de 1993 ainsi que les données étaient entièrement manuscrites !). Afin de corriger les erreurs de saisie la cohérence entre données des rapports et données saisies a été testée en comparant le nombre de données ainsi que les moyennes fournies par les rapports et calculées d'après les données saisies. Lorsque des incohérences apparaissaient, les données étaient comparées puis corrigées si l'erreur venait de la ressaisie. Ces vérifications ont également permis de faire ressortir quelques erreurs dans les calculs du rapport d'origine. La cohérence des données elle-même (erreurs de mesure et/ou de saisie) a également été testée graphiquement en projetant le diamètre en fonction de la hauteur.

IV.2 Description du peuplement

IV.2.1 Surface terrière

La surface terrière (G) constitue la donnée la plus fiable et la plus communément utilisée permettant de décrire le capital d'un peuplement forestier. Elle est plus simple à obtenir et plus précise que le volume de bois. Elle correspond à la surface occupée par les section des troncs d'arbres coupés à 1,30 m et s'exprime en mètres carrés par hectare (m²/ha) (Cordonnier et al., 2007).

Elle est calculée séparément par type de placette (à surface fixe ou à angle fixe) puis agrégée par placette. Elle se rapporte systématiquement à la surface horizontale des placettes (et non à la surface réelle au sol).

Le calcul de la surface terrière pour la placettes à angle fixe de 3 % est réalisé en multipliant le nombre d'arbres inventoriés par le coefficient multiplicateur k associé à l'angle, soit k = 2,25 pour l'angle de 3 % (Pardé, 1956) :

$$G_{\text{(arbres de diamètre } \geq 30)} = k \times N$$

$$k = (\text{angle en } \% / 100)^2 \times 2\,500$$

Soit dans notre cas :

$$k = (3 / 100)^2 \times 2500 = (1,5/50)^2 \times 50^2 = 1,5^2 = 2,25$$

Pour les placettes à surface fixe, la surface terrière a été déterminée en sommant les surfaces des section des arbres à hauteur de mesure (1,30 m) rapportée à la surface des placettes :

$$G_{(\text{arbres de diamètre} < 30 \text{ cm})} = 10\,000 \times \sum(n_i \times \pi \times R_i^2) / (\pi \times R_{\text{placette}}^2)$$

$$\text{soit } G_{(\text{arbres de diamètre} < 30 \text{ cm})} = 10\,000 \times \sum(n_i \times R_i^2) / (R_{\text{placette}}^2)$$

La distribution de la surface terrière par placette suit une loi normale (tests de Shapiro tableau 4) permettant d'en étudier la moyenne sur la forêt et son évolution dans le temps.

Test de Shapiro (normalité)	Année	p-value
	1993	0,1889
	2001	0,1303
	2006-2008	0,9435
	2018	0,9792

Tableau 4: Test de Shapiro au seuil $\alpha = 5\%$ indiquant la normalité de la distribution des surfaces terrières des placettes lors des différents inventaires.

La surface terrière totale varie en 2018 de 14 à 73 m²/ha (Figure 9) avec une moyenne pour la forêt de 40 m² et un écart-type de 15 m².

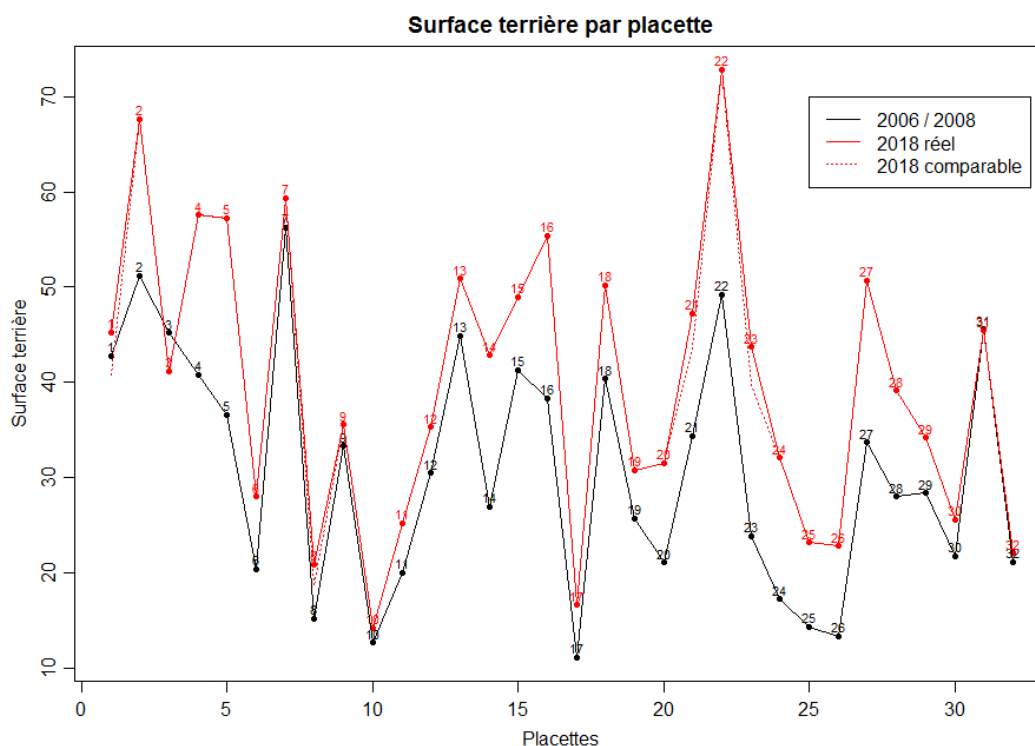


Figure 9: Comparaison des surfaces terrières des 32 placettes entre les deux derniers cycles d'inventaire. La ligne rouge en pointillés représente la surface terrière de 2018 sans les arbres "faux-nouveaux" clairement oubliés en 2006/2008.

On observe une augmentation presque généralisée de la surface terrière, seule une placette voit sa surface terrière diminuer entre les deux derniers cycles d'inventaires. Cette comparaison par placette ne peut malheureusement pas se faire avec les inventaires précédents les placettes ayant des tailles différentes. Toutefois, en considérant que la

moyenne de la surface terrière des placettes constitue une estimation suffisamment bonne de la surface terrière à l'échelle de la forêt, l'évolution de cette dernière peut alors être étudiée.

Bien que lors de la phase terrain certains très gros arbres se soient retrouvés inventoriés simultanément sur des placettes voisines, la figure 10 montre graphiquement la relative indépendance des placettes les unes par rapport aux autres : la surface terrière semble être répartie aléatoirement, sans être influencée par les placettes voisines (on n'observe pas de dégradé systématique et des placettes de faibles surfaces terrières côtoient des placettes de fortes surfaces terrières).

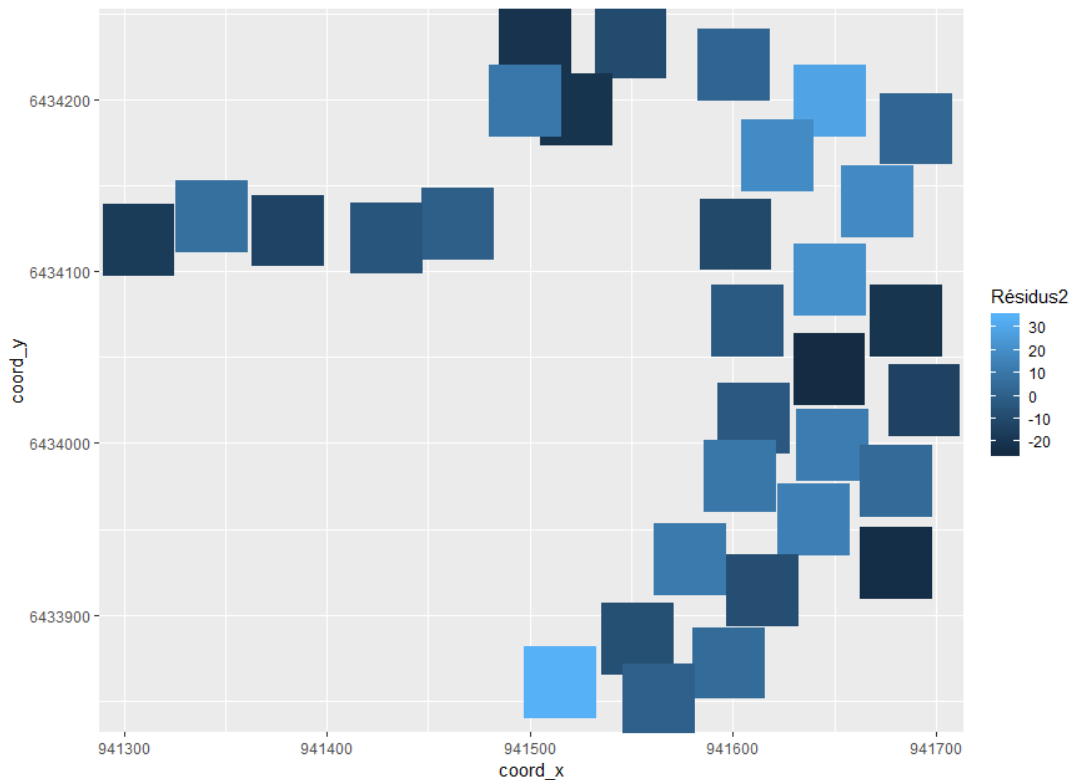


Figure 10: Surface terrière : cartographie des résidus 2018 (différence entre la surface terrière totale de la placette et la moyenne sur la forêt).

Cette indépendance, associée à la distribution normale des placettes et à l'égalité des variances entre les inventaires (test de Bartlett, tableau 5), autorise la réalisation d'une analyse de variance (ANOVA) afin de déterminer si les différences de surfaces terrières observées entre 1993 et 2018 sont significatives.

Test de Bartlett (homoscédasticité)	0,5346
--	--------

Source de variation	Somme des carrés des écarts (SCE)	Degrés de liberté (ddl)	Carrés moyens	F observé
totale	23949,38	99		
facteur placettes	16757,53	24	698,23	10,47
facteur années	2388,35	3	796,12	11,93
résiduelle	4803,50	72	66,72	

Tableau 5: Résultat de l'analyse de variance pour plans à mesures répétées (pour les 25 placettes communes aux 4 inventaires entre 1993 et 2018) au seuil $\alpha = 5\%$ concluant à une différence significative entre les surfaces terrières des inventaires successifs.

Cette analyse de variance se faisant entre échantillons dépendants (on compare les mêmes échantillons mesurés à différentes dates), il a été utilisé l'ANOVA pour plans à mesures répétées avec pour modèle statistique :

$$y_{is} = \mu + \alpha_i + \tau_s + \varepsilon_{is}$$

Avec :

y_{is} : la surface terrière observée pour la placette i l'année s

μ : la moyenne de surface terrière entre les différentes années sur l'ensemble de la forêt

α_i : l'effet année

τ_s : l'effet dû à la dépendance des échantillons (effet placette)

ε_{is} : l'erreur

Ce modèle permet d'isoler l'effet année de l'effet placette ce qui est particulièrement important dans notre cas lorsqu'on sait que certaines placettes peuvent varier grandement d'un inventaire à l'autre.

Afin d'avoir des échantillons comparables, les arbres de diamètres inférieurs à 10 cm ont été exclus de l'analyse car non inventoriés en 1993 et 2001, ainsi que les cinq placettes non inventoriées en 2001 (placettes 3, 17, 19, 26, 30, 31 et 32). Une approximation a également été faite pour la troisième campagne d'inventaire en considérant que toutes les placettes avaient été inventoriées la même année.

Le calcul de la surface terrière de 1993 a nécessité la transformation de la surface réelle des placettes de rayon 12,62 m (5 ares) en surface horizontale. Une simplification a été faite en considérant que les placettes n'avaient qu'une seule et simple pente correspondant à celle mesurée sur le terrain. Seule la dimension allant dans le sens de la pente se trouve ainsi modifiée en passant du plan réel (pente) au plan horizontal et le conversion de surface a ainsi été réalisée grâce à la trigonométrie par la formule suivante :

$$\text{Surface horizontale} = \text{Surface réelle} \times \cos(\arctan(\text{pente}\% / 100))$$

L'ANOVA (tableau 5) montre qu'il y a bien un effet année, c'est à dire que la surface terrière de la forêt diffère avec le temps. L'effet placette, comme on pouvait s'y attendre, est lui aussi très significatif avec une grande variabilité entre les placettes.

On observe une augmentation globale de la surface terrière depuis 1993 et plus particulièrement depuis l'inventaire de 2006 à 2008 (figure 11), liée à la fois à l'augmentation du nombre et du diamètre des arbres.

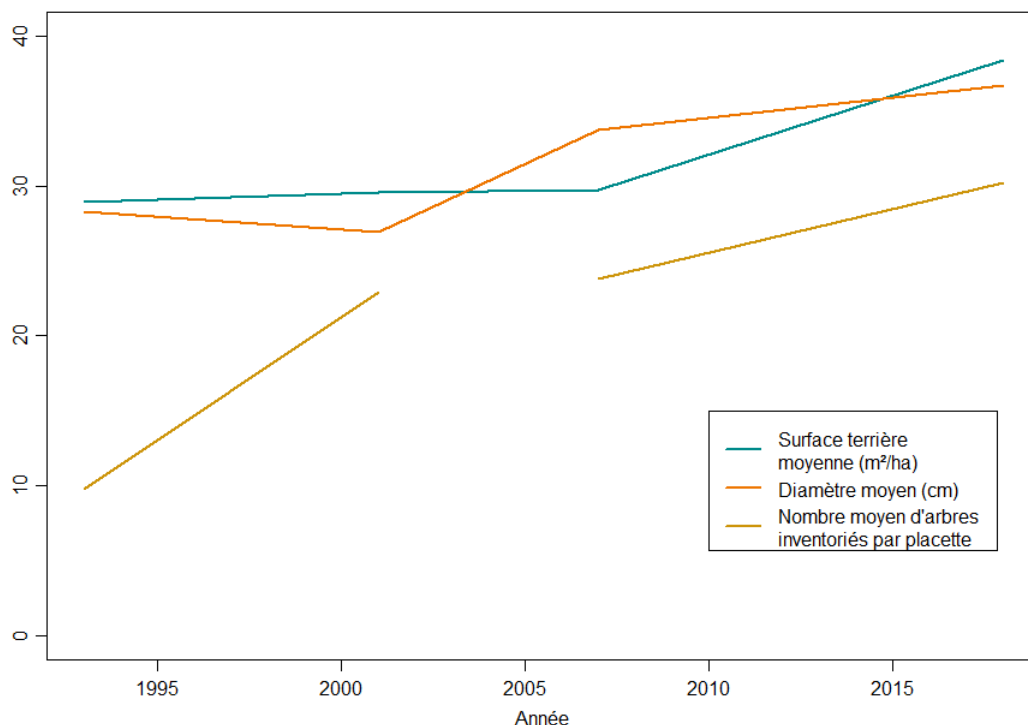


Figure 11: Evolution de la surface terrière moyenne de la forêt, du diamètre moyen des arbres ainsi que du nombre moyen de tiges inventorié par placette.

IV.2.2 Essences

La forêt est essentiellement composée d'épicéa commun (figure 12). La composition en essence n'évolue visiblement pas depuis 1993. Les quelques essences observées autres que l'épicéa sont principalement des essences pionnières apparaissant dans les trouées : bouleaux, sorbier des oiseleurs, etc.

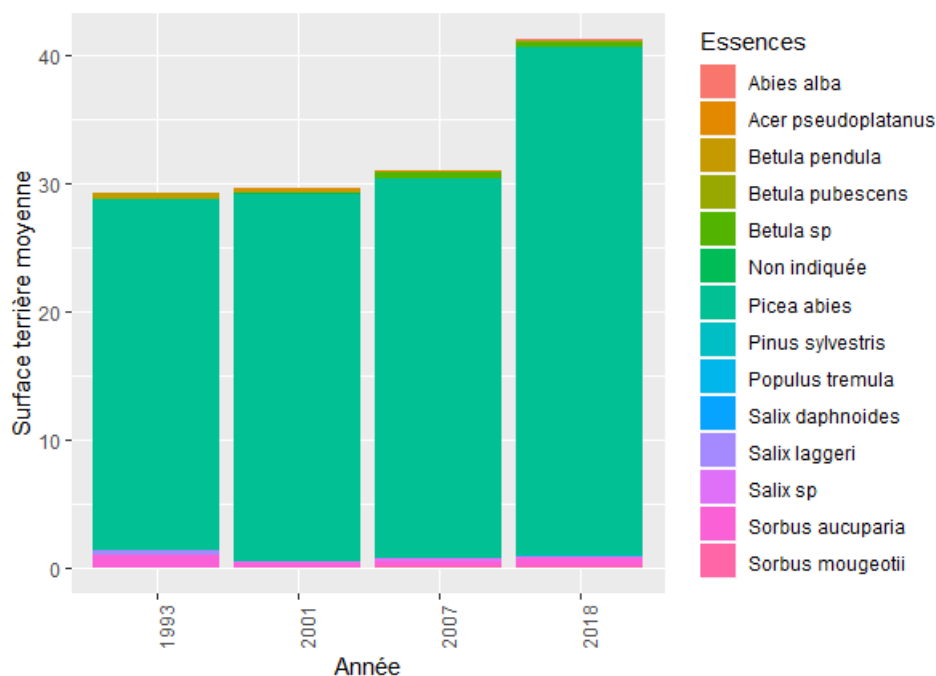


Figure 12: Evolution de la proportion des différentes essences en surface terrière depuis 1993.

En dehors des placettes et des essences représentées figure 12 ont également été observés très ponctuellement, un bouquet de mélèzes et un pin cembro ainsi que quelques sapins pectinés infestés de balaies de sorcières (*Melampsorella caryophyllacearum*).

IV.2.3 Hauteurs

Un important travail de mesures de hauteurs avait été réalisé en 1993. La représentation des ces hauteurs en fonction du diamètre des arbres montre comme cela est commun dans les peuplements irréguliers une dispersion relativement importante liée à la grande variabilité de concurrence rencontrée par les arbres (figure 13). Plus la concurrence est forte et moins les arbres gagnent en diamètre mais continuent à croître en hauteur afin d'accéder à la lumière.

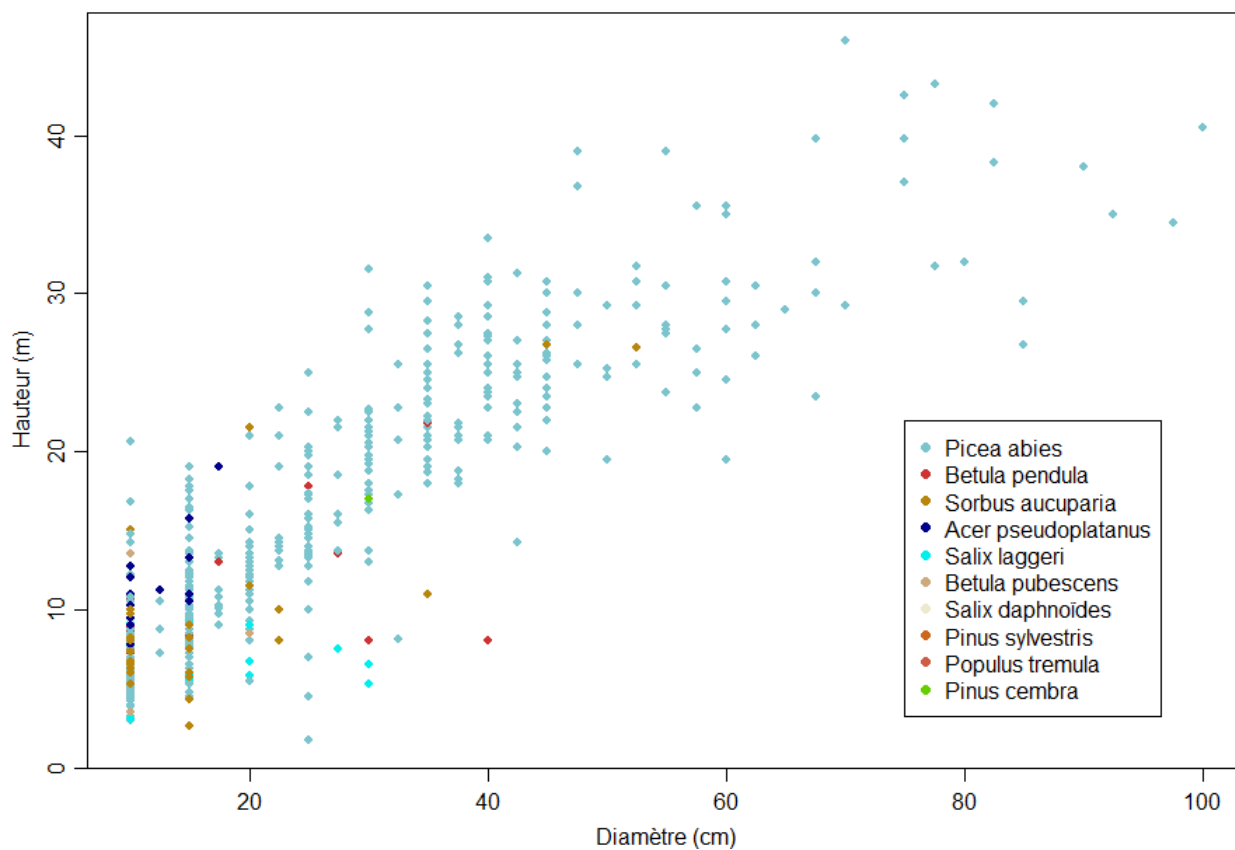


Figure 13: Représentation de la hauteur en fonction du diamètre (données de 1993).

IV.2.4 Ages

L'âge des trois arbres les plus proches du centre de chaque placette avait été déterminé en 1993 grâce à des carottes réalisées à la tarière de Presler (Blanchemain, 1993). Cette détermination avait été réalisée directement sur place mais elle donne une bonne idée de la diversité de l'âge des arbres en fonction de leur diamètre (Figure 14).

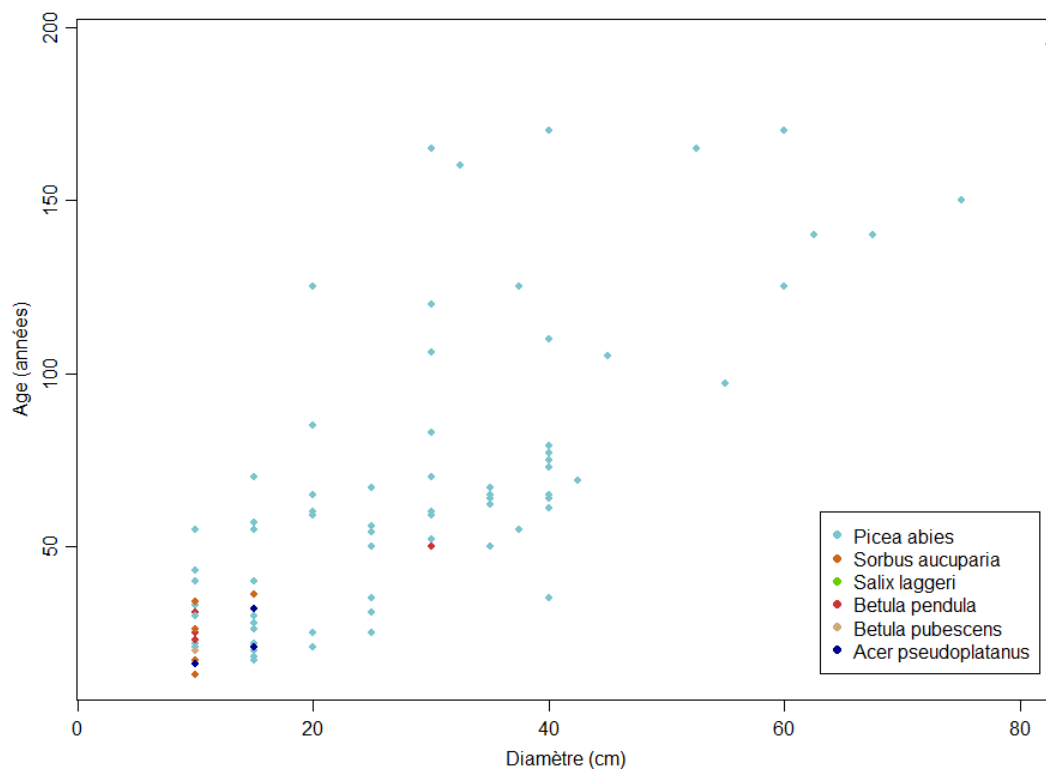


Figure 14: Représentation de l'âge en fonction du diamètre des cinq arbres dominants de chaque placette (données de 1993).

Les prélèvements ayant été réalisés de façon systématique selon un protocole recommandé par Pardé, une estimation de l'âge du peuplement a pu être faite (Edouard, 1999) : l'âge moyen est alors donné à 59 ans (avec une médiane à 50 ans) pour des arbres prélevés ayant un âge maximum de 195 ans et minimum de 17 ans. Une ré-estimation a été faite l'année suivante (1994) avec une analyse plus minutieuse de nouvelles carottes prélevées sur un nombre d'arbres moins important (Edouard, 1999) portant la moyenne à 78 ans, la médiane à 60 ans, l'âge maximum à 223 ans et minimum à 18 ans.

L'étude dendrochronologique plus poussée réalisée par Edouard a par ailleurs été faite sur les arbres semblant les plus vieux. 107 épicéas ont ainsi été prélevés, seule essence pour laquelle une analyse semble avoir été réalisée (Edouard, 1999). Trois arbres de plus de 200 ans ont alors été mis en évidence et l'âge du plus vieil épicéa analysé est alors estimé à environ 245 ans.

IV.2.5 La régénération

La Régénération a été inventoriée selon 4 catégories en fonction de la hauteur des semis puis de leur diamètre à 1,30 m (voir PSDRF en annexe).

Les semis de moins de 50 cm de hauteur sont plus fréquemment présents que lors du précédent inventaire (figure 15). Un tiers des placettes dépasse 5 % de recouvrement et une dépasse les 15 %. Le sorbier des oiseleurs est l'essence la plus fréquemment retrouvée.

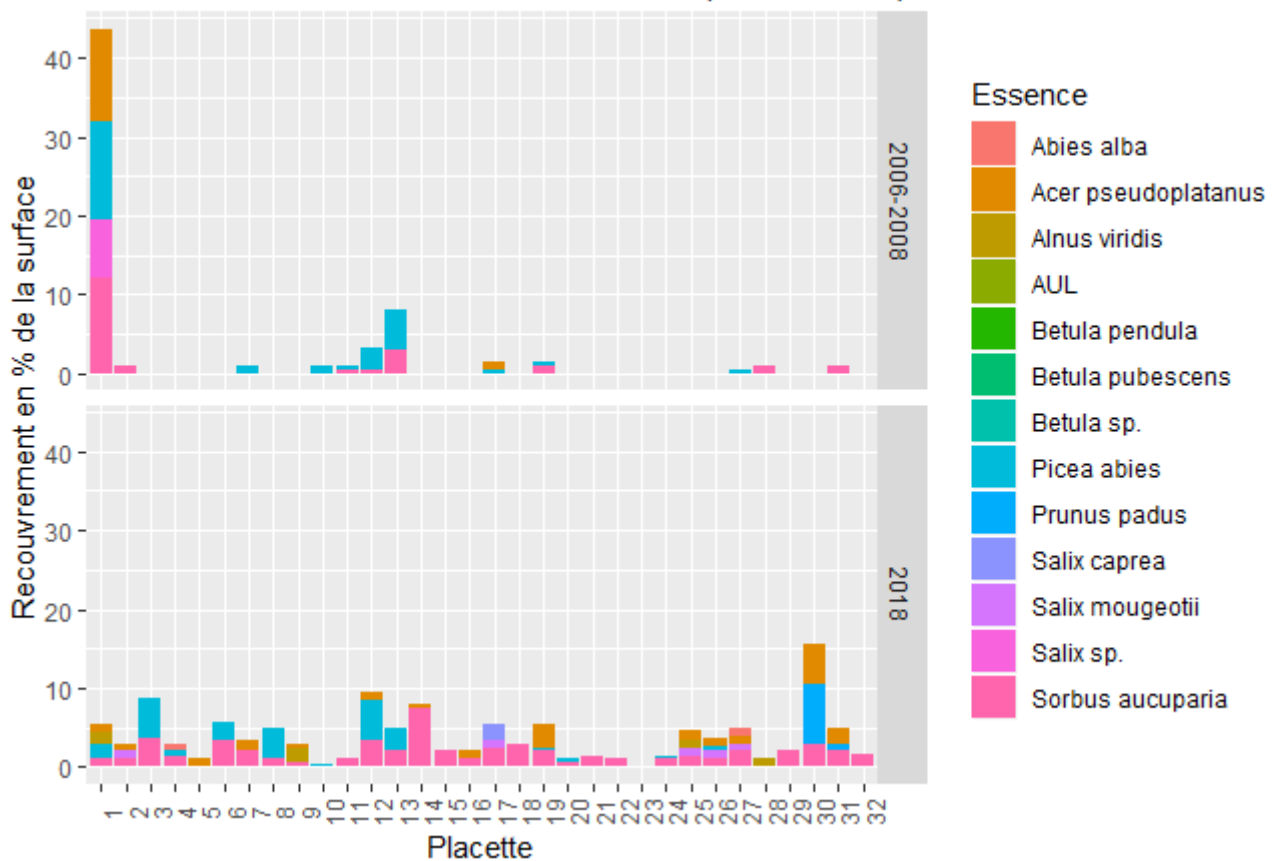


Figure 15: Taux de recouvrement des parcelles en semis de moins de 50 cm de haut.

Ces taux de recouvrement semblent suffire à produire une densité importante de plants de plus de 50 cm (figure 16), densité qui, pour donner un élément de comparaison, serait largement suffisante (répartie de façon homogène) à la régénération complète de la forêt dans son ensemble selon les critères de régénération artificiels courants (Bastien, 1998).

Il est à noter que la diversité des essences inventoriée est enrichie (très localement) par d'autres essences observées hors placettes durant l'inventaire dont le mélèze d'Europe (*Larix decidua*), le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) ou le pin cembro (*Pinus cembra*).

La strate supérieure monopolisée par l'épicéa (figure 12) traduit donc mal la résilience du peuplement c'est à dire sa capacité à s'adapter aux changements de conditions du milieu. Si l'épicéa devait disparaître brutalement la grande diversité déjà présente serait un atout important favorisant les chances de maintien d'un état boisé.

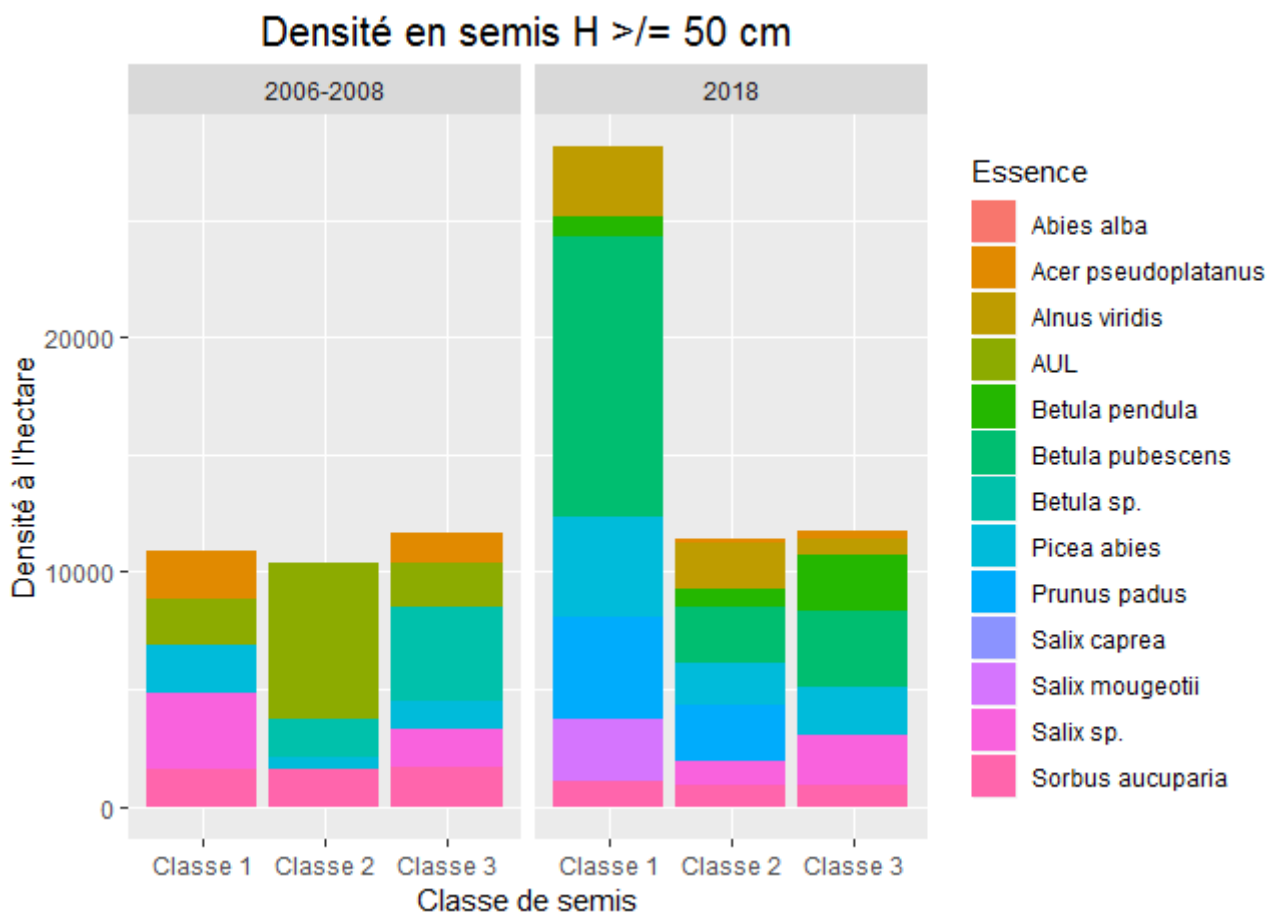


Figure 16: Comparaison de la densité moyenne de semis de plus de 50 cm sur la forêt de la réserve de Lauvitel entre les deux derniers inventaire par classe de semis (classe 1 : $50 \text{ cm} \leq H < 150 \text{ cm}$, classe 2 : $H \geq 150 \text{ cm}$ et $D \leq 2,5 \text{ cm}$, classe 3 : $H \geq 150 \text{ cm}$ et $2,5 \text{ cm} \leq D < 7,5 \text{ cm}$ avec H = hauteur et D = diamètre à 1,30 m).

IV.3 Le bois mort

Trois différentes catégories de bois morts sont inventoriées avec le PSDRF : les bois morts sur pied, les bois morts au sol de diamètre supérieur ou égal à 30 cm et les bois morts au sol de moins de 30 cm de diamètre.

Les formules utilisées pour les calculs de volumes sont données dans le tableau 6. Ce sont les formules utilisées par RNF pour l'analyse des différents sites inventoriés selon le PSDRF.

Catégorie		Formule utilisée pour le calcul du volume	
Bois mort au sol D ≥ 30 cm	L < 5 m	Cylindre de diamètre D_m	$V = \pi * L * D_m^2 / 4$
	L ≥ 5 m	Formule des 3 niveaux	$V = L * (S_1 + S_2 + 4S_m) / 6$ soit $V = (\pi * L * (D_1^2 + D_2^2 + 4D_m^2)) / 24$
Bois mort sur pied	Arbres	Tarifs de cubage	
	Chandelles	Cylindre de diamètre D_c	$V = \pi * D_c^2 * H / 4$ avec $D_c = D - \delta (H/2 - 1,30)$
	Souches	Cylindre de diamètre D_m	$V = \pi * D_m^2 * H / 4$
Bois mort au sol 5 < D < 30 cm		Echantillonnage linéaire	$V = (\pi * D^2) / (25 * 8 * L_{\text{transect}} * \cos(\alpha))$

Tableau 6: Formules utilisées pour les calculs des volumes de bois mort, D = diamètre, D_c = diamètre corrigé, D_m = diamètre médian, D_1 et D_2 = diamètres des extrémités du bois mort, L = longueur, S = section, V = volume, α = angle de la pièce de bois par rapport au sol, δ = décroissance métrique.

Le PSDRF doit initialement permettre de déterminer la vitesse de décomposition du bois mort grâce à la notation du stade de décomposition et au positionnement dans l'espace des différents bois (azimut et distance par rapport au centre des placettes). Cette dernière information n'ayant pas été renseignée lors de l'inventaire 2006/2008 la vitesse de décomposition ne pourra pas être calculée avant l'inventaire suivant.

IV.3.1 Les bois morts au sol ($D \geq 30$ cm)

Ces bois sont inventoriés dans un rayon de 20 m avec mesure de leur longueur, de leur diamètre médian ainsi que, pour les billons de longueur supérieure à 5 m, des diamètres des extrémités. Ce volume est très variable d'une placette à l'autre (figure 17).

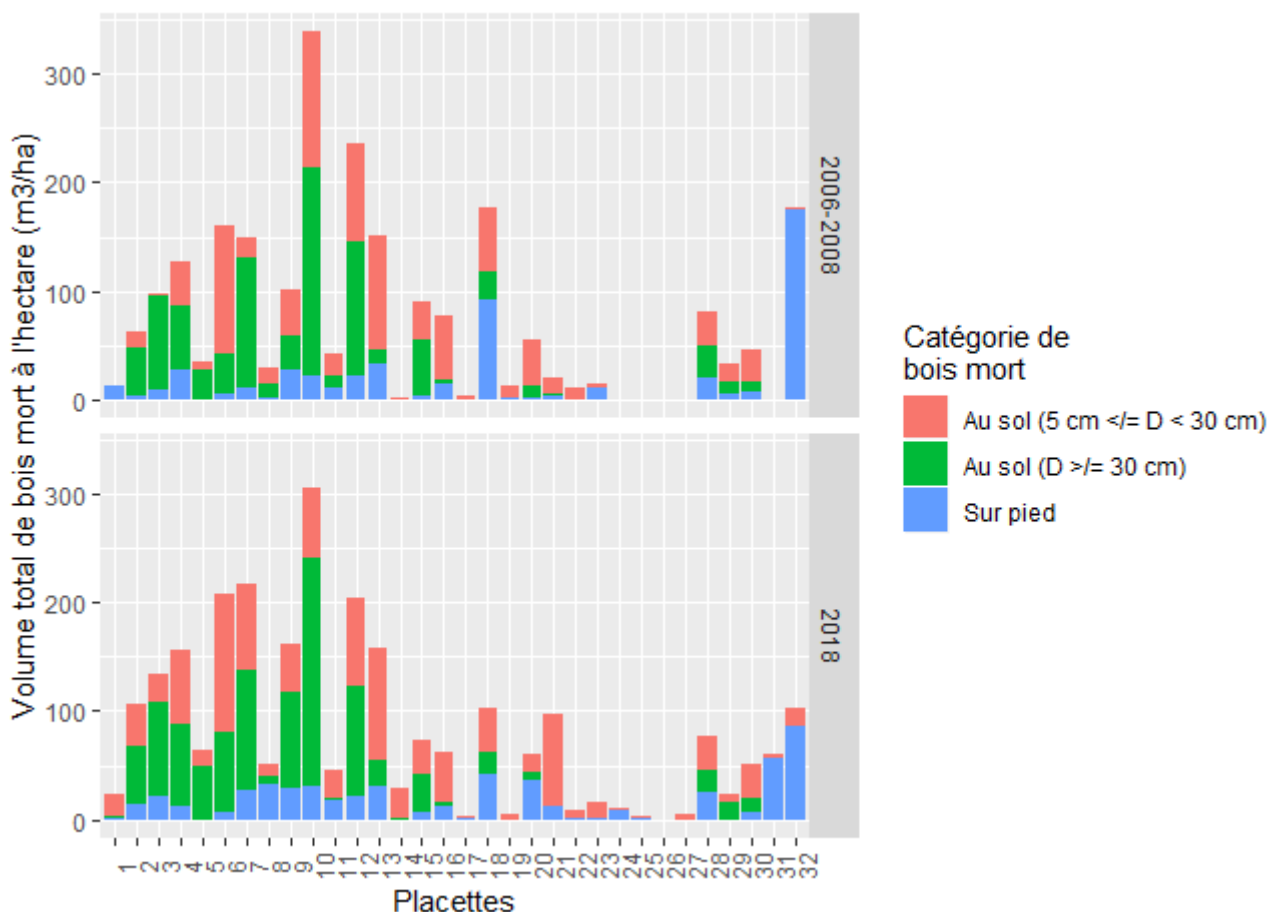


Figure 17: Histogrammes de la densité de bois morts par placette et par catégorie de bois mort pour les deux campagnes de PSDRF (D = diamètre).

Près d'un tiers des placettes présente un volume nul dans cette catégorie de bois mort en 2018 et une placette atteint près de 210 m³/ha avec une moyenne pour l'ensemble à 31 m³/ha.

IV.3.2 Les bois morts sur pied ($D \geq 10$ cm)

Cette catégorie regroupe elle-même trois types de bois morts, les souches (dont la hauteur est inférieure à 1,30 m), les arbres (dont le volume peut être estimé de la même manière que les arbres vivants) et les chandelles (arbres ayant perdu une partie de leur architecture).

- **Type arbre :**

Le volume de la catégorie arbres utilise les tarifs issus du projet de recherche ÉMERGE (Élaboration de Modèles pour une Estimation Robuste et Générique du bois Énergie) abouti en 2014, soutenu par l'ANR et coordonné par l'ONF (Office National des Forêts, 2014). Le volume correspond au volume total, seul volume pouvant être estimé correctement avec les données collectées. Il est à noter que comme tous les tarifs de cubage ce tarif est élaboré pour les arbres vivants. Dans le cas des arbres morts, la perte de branches n'est pas prise en compte et le volume total est légèrement surestimé.

Les tarifs ÉMERGE permettent avec les entrées circonférence à 1,30 m (calculée ici à partir du diamètre), hauteur totale et essence fournies par le PSDRF d'estimer un volume total. Un autre volume (avec une découpe à un diamètre donné par exemple) aurait nécessité la hauteur de décrochement (hauteur à laquelle il y a une forte décroissance du tronc en diamètre, liée le plus souvent à l'apparition d'une grosse branche).

- **Types chandelle et souche :**

Le volume des chandelles et souches est calculé selon la formule du cylindre en prenant comme diamètre le diamètre médian.

L'estimation du volume des chandelles d'après cette formule et donc du diamètre médian (seul le diamètre à 1,30 m étant mesuré) nécessite l'estimation de la décroissance métrique, c'est à dire de la perte de diamètre du tronc à chaque fois que l'on monte d'un mètre. Cette estimation sur la forêt a été réalisée grâce au bois mort au sol les moins décomposés dont on connaît à la fois les diamètres initiaux et finaux ainsi que la longueur.

$\text{Décroissance métrique} = \text{diamètre initial} - \text{diamètre final} / \text{longueur du billon}$			
(cm/m)	(cm)	(cm)	(m)

La distribution de cette décroissance en fonction de la longueur du billon montre une grande variabilité lorsque la longueur du billon est inférieure à 10 m, liée probablement à une imprécision plus grande de la détermination de la décroissance métrique (figure 18). Le diamètre mesuré à la base du tronc pour les chablis, bien que pris théoriquement après l'empatement, est souvent encore influencé par ce dernier et donc sur-estimé (en particulier si ce billon s'arrête avant la fin de l'empatement). La sur-estimation de la décroissance qui en découle est ainsi beaucoup plus marquée lorsqu'elle est rapportée à une faible longueur de billon.

Le choix a alors été fait d'utiliser pour décroissance métrique dans le calcul du volume des chandelles celle correspondant à la médiane des décroissances métriques des billons de plus de 10 m, soit 1,85 cm/m (figure 18).

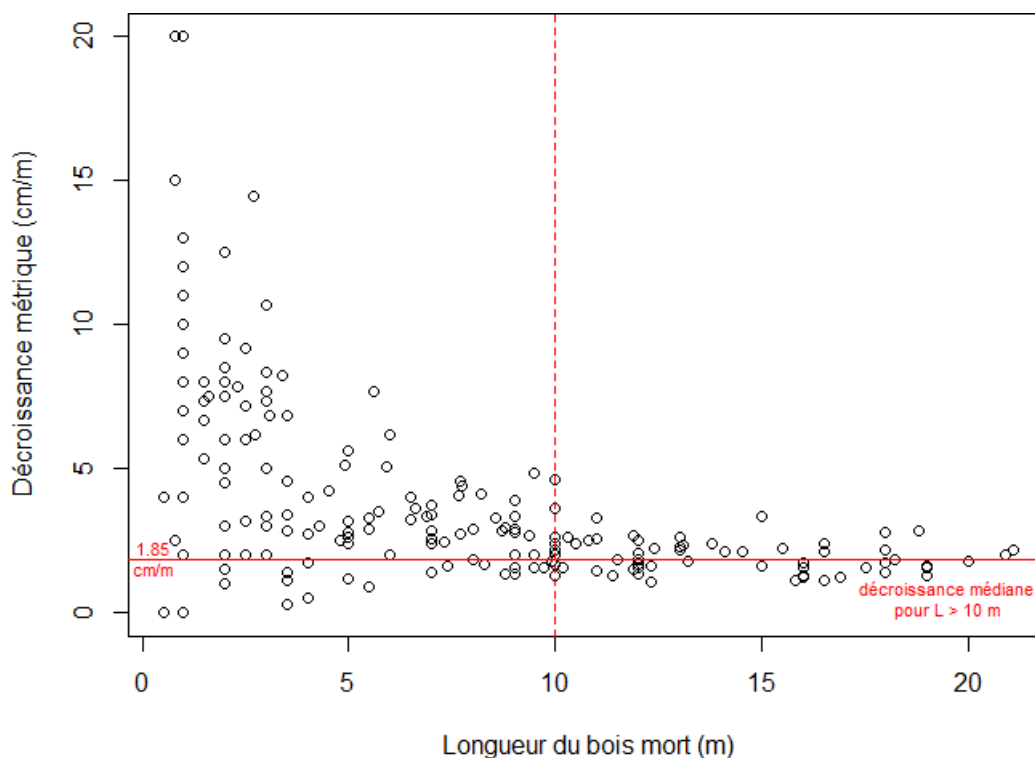


Figure 18: Décroissance métrique en fonction de la longueur des bois morts au sol de plus de 30 cm de diamètre les moins décomposés.

Le volume de bois mort sur pied est lui encore très variable d'une placette à l'autre (figure 17), avec une moyenne à 17 m³/ha et un maximum de 86 m³/ha.

IV.3.3 Les bois morts au sol (5 cm ≤ D < 30 cm)

Le bois mort au sol de diamètre compris entre 5 et 30 cm était inventorié selon trois transects de 20 mètres chacun par placette. La formule utilisée pour le calcul est indiquée dans le tableau 6. C'est la catégorie de bois mort que l'on retrouve le plus sur les placettes (figure 17) avec une moyenne de 33,5 m³/ha et un maximum de 127 m³/ha.

IV.3.4 Le bois mort total

Un tiers de placettes (12 sur 32) présentent moins de 50 m³/ha et un tiers (11 placettes) plus de 100 m³/ha (figure 19). On observe sur les deux derniers cycles d'inventaire une augmentation du volume moyen de bois mort à l'hectare sur la forêt passant de 73 à 82 m³/ha. Cette augmentation s'avère toutefois non significative lorsqu'elle est soumise au test de Wilcoxon sous R. Ce test non paramétrique (la distribution ne suivant pas une loi normale) des rangs signés pour échantillons appariés donne en effet une p-value de 0,115 n'excluant pas l'hypothèse H0 selon laquelle les inventaires 2006-2008 et 2018 seraient réalisés sur une population unique (et non pas deux populations différentes).

Le volume de bois mort n'a donc pas évolué de façon significative à l'échelle de la forêt entre les deux derniers inventaires.

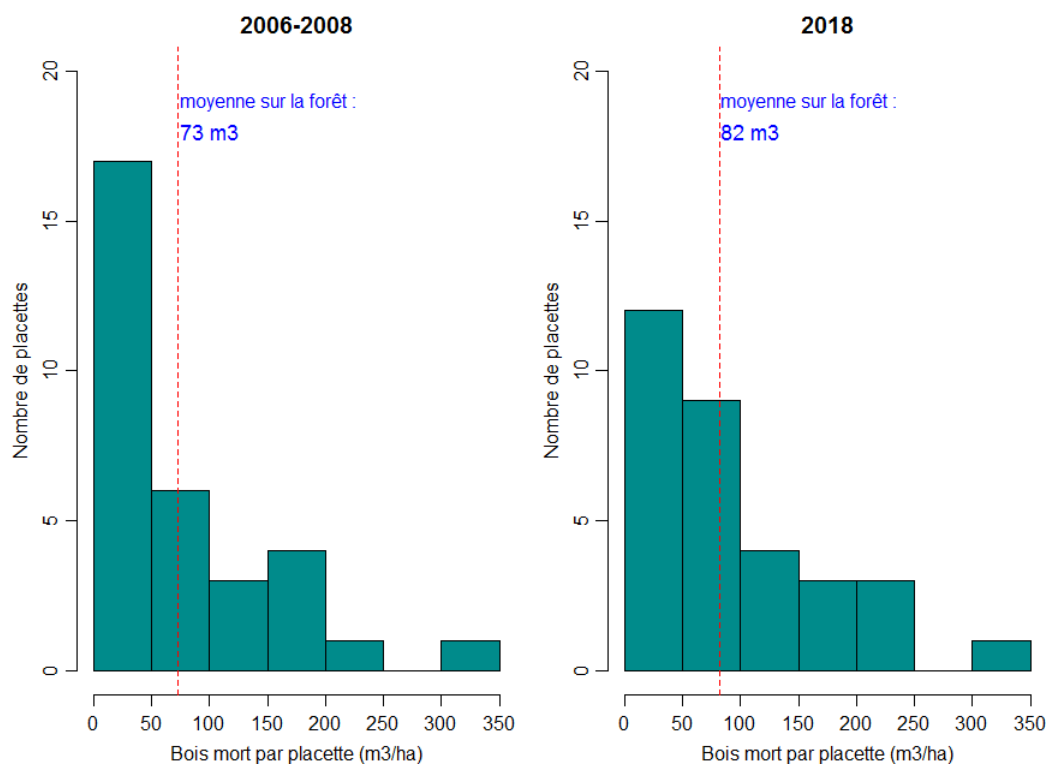


Figure 19: Histogramme représentant la répartition des placettes en fonction du volume de bois mort inventorié lors des deux cycles PSDRF.

On peut noter que le volume de bois mort au sol est près de quatre fois supérieur au volume de bois mort sur pied (figure 20).

Par comparaison aux forêts gérées des Alpes et leur moyenne de 29 m³/ha de bois mort (Institut National de l'Information Géographique et Forestière, 2018), la forêt de la réserve de Lauvitel présente un volume de bois mort deux à trois fois supérieur (82 m³/ha).

Cette comparaison est à nuancer légèrement car quelques différences existent entre le PSDRF et le protocole suivi par l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN) lors de son inventaire des forêts de métropole. Les chiffres issus du PSDRF comprennent le volume aérien des souches contrairement aux données IGN et ces dernières ne comprennent que les sections de plus de 7,5 cm de diamètre des arbres sur pied et des chablis lorsque dans notre cas les arbres sur pied ont été estimés en volume total et les chablis jusqu'au diamètre 5 cm. Dans l'autre sens le PSDRF s'arrête pour le bois mort au sol au diamètre 5 cm quand l'IGN compte jusqu'au diamètre 2,5 cm.

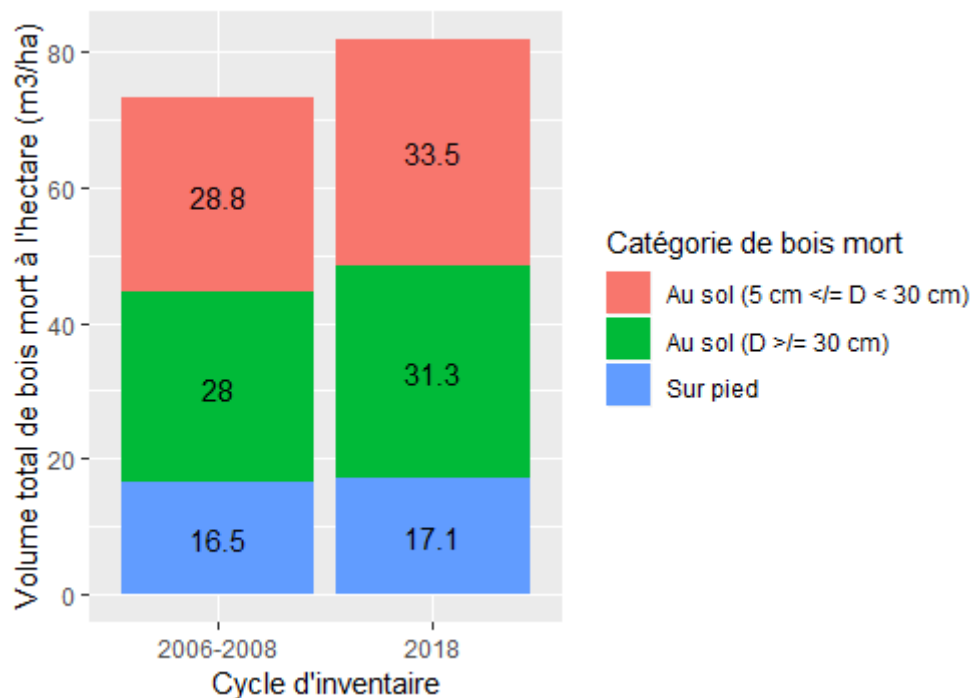


Figure 20: Histogramme représentant le volume de bois mort moyen à l'hectare par catégorie de bois mort et par cycle d'inventaire.

IV.4 Description du cycle sylvigénétique

L'analyse vise à caractériser le peuplement dans l'espace afin de tenter d'identifier des groupes de placette appartenant à différentes phases du peuplement telles que (Rossi et Vallauri, 2013) :

- Régénération : installation de semis, capital sur pied (surface terrière) faible, bois mort de la génération précédente.
- Croissance : faible capital sur pied mais accroissement radial élevé, bois mort anciens ou de faibles diamètres.
- Maturation : apparition de très gros bois, capital sur pied en croissance continue.
- Vieillesse : capital sur pied maximum, présence de très gros bois, augmentation de la mortalité et signes de vieillissement des arbres (cavités, branches mortes, champignons, etc.).
- Écroulement : forte mortalité, grande quantité de bois mort, capital vivant sur pied réduit.

Le peuplement de chaque placette est caractérisée par son peuplement et son bois mort. Afin de caractériser la structure du peuplement, chaque placette est décrite selon :

- sa surface terrière en :
 - petits bois ($7,5 \text{ cm} < D < 30 \text{ cm}$),
 - bois moyens ($30 \text{ cm} \leq D < 60 \text{ cm}$)

- gros bois ($60 \text{ cm} \leq D$)
- sa régénération :
 - semis ($H < 50 \text{ cm}$)
 - régénération de classe 1 ($50 \text{ cm} \leq H < 150 \text{ cm}$)
 - régénération de classe 2 ($H \geq 150 \text{ cm}$ et $D \leq 2,5 \text{ cm}$).
 - régénération de classe 3 ($H \geq 150 \text{ cm}$ et $D \geq 2,5 \text{ cm}$).

Afin de déterminer des groupes homogènes en fonction de ces différentes variables, une classification ascendante hiérarchique (CAH) du moment d'ordre 2 (méthode de Ward) a été réalisée après avoir réduit les dimensions des données par une analyse en composantes principales (ACP) selon le script R suivant :

```
ana_lauvitel_aggrege_2018 <- PCA(lauvitel_aggrege_2018, ncp=7) # (ACP)
classif2018 <- HCPC(ana_lauvitel_aggrege_2018, , nb.clust = 8) # (CAH)
```

Sept dimensions ont été gardées lors de l'ACP afin d'atteindre 90 % de variabilité expliquée. Le nombre de classes a été choisi suffisamment grand pour discriminer les différentes phases du cycle sylvigénétique. Pour chaque groupe obtenu les variables les caractérisant le mieux sont données dans le tableau 7.

Groupe	Placette	Variable	v.test	Moyenne du groupe	Moyenne général de l'ensemble des placettes	Ecart type du groupe	Ecart type de l'ensemble des placettes	p.value
1	24 & 28	Régénération Classe 2	3,2	12201,9	3149,9	5835,7	4094,2	0,00148
		Régénération Classe 1	3,1	23342,7	6482,2	1061,0	7806,8	0,00190
2	17, 19, 25, 26 & 27	Surface terrière (7,5 cm < D < 30 cm)	2,7	19,8	11,0	7,5	7,9	0,00712
		Régénération Classe 3	2,6	7427,2	3183,1	5584,3	3932,2	0,00971
		Bois mort sur pied	-2,1	0,5	17,1	0,7	19,1	0,03677
		Bois mort au sol (5 cm < D < 30 cm)	-2,3	2,6	33,5	1,9	32,3	0,02149
		Surface terrière (30 < D < 60 cm)	-2,3	8,1	18,0	8,2	10,2	0,02027
		Surface terrière (D > 60 cm)	-2,4	0,9	10,8	1,1	9,9	0,01656
3	1, 3, 14 & 30	Recouvrement de semis (H < 50 cm)	3,6	9,3	3,8	3,8	3,2	0,00027
4	5, 15, 16, 21, 22, 23 & 29	Surface terrière (30 < D < 60 cm)	2,0	25,1	18,0	5,9	10,2	0,04146
		Recouvrement de semis (H < 50 cm)	-2,3	1,3	3,8	0,7	3,2	0,02031
		Régénération Classe 1	-2,4	151,6	6482,2	371,3	7806,8	0,01689
5	8, 11, 18, 20, 31 & 32	Bois mort sur pied	3,9	45,1	17,1	21,5	19,1	0,00008
		Surface terrière (D < 30 cm)	-2,5	3,7	11,0	2,5	7,9	0,01325
6	6, 12 & 13	Bois mort au sol (5 cm < D < 30 cm)	3,9	103,3	33,5	18,8	32,3	0,00011
7	10	Bois mort au sol (D > 30 cm)	3,8	209,2	31,3	0,0	46,6	0,00014
8	2, 4, 7 & 9	Surface terrière (D > 60 cm)	3,3	26,4	10,8	11,7	9,9	0,00094
		Bois mort au sol (D > 30 cm)	2,3	81,9	31,3	20,3	46,6	0,02259

Tableau 7: Résultat de la classification automatique hiérarchique avec les variables principales caractérisant chaque groupe ainsi que la valeur test (v.test) traduisant l'écart du groupe avec la moyenne et la probabilité associée (p.value) de l'égalité de moyenne entre le groupe et la population totale (code couleur : vert = régénération, jaune = arbres vivants, rouge = bois mort).

Chaque groupe a alors été décrit en prenant en compte l'ensemble des variables et un diagramme a été réalisé (figure 21) tentant de reconstruire la dynamique du cycle sylvigénétique. L'exercice est toutefois limité par le manque de recul sur l'évolution de chaque placette. En effet il existe des dynamiques locales sur le peuplement liées aux avalanches, éboulement et/ou crues torrentielles qui ne sont pas prises en compte. Il est également à noter l'absence dans ces données de l'historique précis des prélèvements anthropiques.

Le diagramme montre toutefois une répartition des placettes dans toutes les catégories de diamètres de bois indiquant que bien que de petite taille et évoluant dans le temps la forêt de la réserve de Lauvitel semble présenter toutes les phases de son cycle sylvigénétique.

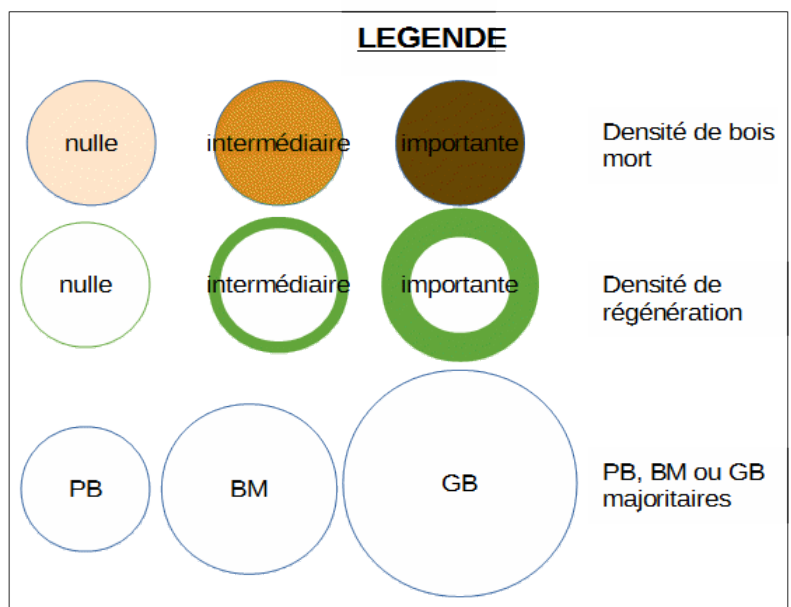
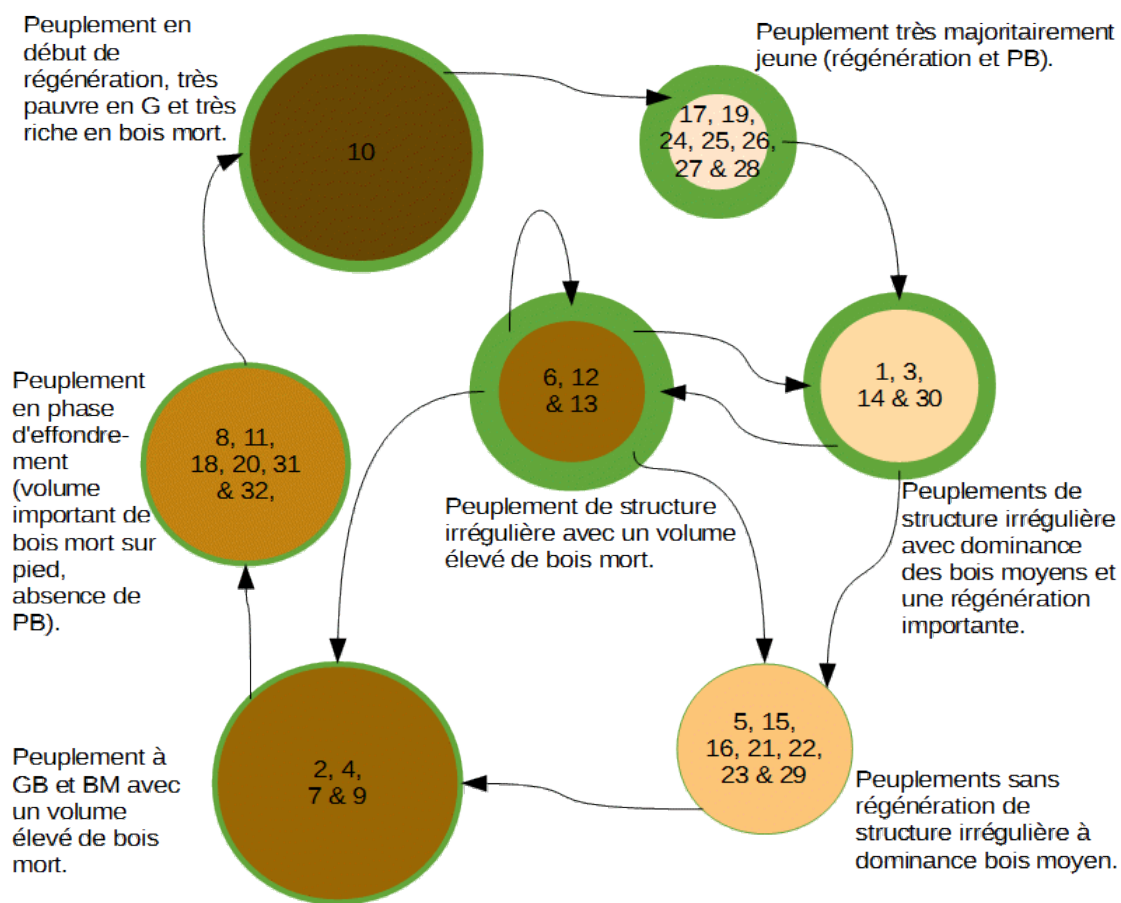


Figure 21: Tentative de reconstruction du cycle sylvigénétique à partir des données peuplement de 2018 (G = surface terrière, PB = Petits Bois, BM = Bois Moyens, GB = Gros Bois). Les numéros correspondent aux placettes d'inventaire.

V. Conclusion

La forêt de la réserve intégrale de Lauvitel a jusqu'ici fait l'objet de nombreuses études dont quatre inventaires du peuplement depuis 1993. Une comparaison des protocoles successifs a mis en lumière les limites de l'analyse des données dans le temps avec en particulier l'impossibilité d'étudier l'évolution des placettes avant 2008 du fait des changements opérés dans les protocoles. Ceux-ci ont conduit aux mesures d'individus statistiques différents d'un inventaire à l'autre, lié en particulier au changement de la surface des placettes.

L'analyse à l'échelle de la forêt a montré une évolution du peuplement. La surface terrière a significativement augmenté depuis 1993, ceci étant dû à la fois à l'augmentation de la densité des arbres et à l'augmentation du diamètre moyen. Cette augmentation est probablement le fait d'une surface forestière trop petite pour contenir tous les stades de son cycle sylvigénétique en proportions équivalentes. Cette évolution serait toutefois à étudier sur une période plus longue en intégrant les épisodes perturbateurs (avalanches, éboulements, crues torrentielles) et l'évolution du climat.

Avec un volume moyen de 82 m³/ha de bois mort en 2018, la forêt de la réserve de Lauvitel dépasse de près de trois fois le volume moyen de bois mort retrouvé dans les forêts gérées des Alpes. Cette richesse rend la forêt susceptible d'abriter une quantité et une diversité importante de faune et de flore associée au compartiment bois mort. Des suivis ont débuté sur divers espèces qui devraient permettre de mieux comprendre le lien entre le volume de bois mort et la diversité des organismes biologiques.

Le peuplement forestier inventorié est presque exclusivement constitué d'épicéa commun dans son étage principal. Toutefois l'inventaire de sa régénération traduit une diversité plus grande susceptible de prendre la relève en cas de changement défavorable à l'épicéa. Cette régénération diversifiée est présente un peu partout et fait de cette forêt un peuplement particulièrement résilient, capable de redonner rapidement un nouveau peuplement à la suite d'une perturbation et de s'adapter à un changement de son environnement.

VI. Bibliographie

- Akroume E., 2014. Impacts d'un retrait intense des rémanents sur la fertilité des sols forestiers et sur leur biodiversité. *Revue Forestière Française*, 2014, Vol.66, N°4, "Ateliers REGEFOR 2013 : la gestion de la fertilité des sols forestiers est-elle à un tournant ?", 573-578.
- Balmain C. et Desplanque C., 2001. Étude de la dynamique de la forêt subnaturelle de la réserve intégrale de Lauvitel. Rapport conjoint du Parc National des Écrins et de l'Office National des Forêts. Disponible au centre de documentation du Parc National des Écrins, 38 pages.
- Blanchard P., 2006. Pourquoi conserver du bois mort en forêt ? *Bois et Forêts en Pays de la Loire* n°84, juin 2006, 6-7.
- Blanchemin L., 1993. Protocole pour la forêt du Lauvitel, Parc National des Écrins, 81 pages.
- Bastien Y., 1998. Sylviculture des essences résineuses - ENGREF Nancy [en ligne]. Disponible sur <https://tice.agroparistech.fr>.
- Bauhus J., Puettmann, K. Messier C., 2009. Silviculture for old-growth attributes. *Forest Ecology and Management*, 258: 525–537.
- Bouget C., 2007. Enjeu du bois mort pour la conservation de la biodiversité et la gestion des forêts. *Les rendez-vous techniques* n°16 – printemps 2007, Office National des Forêts, 55-59.
- Bouget C., 2009. Représentations sociales et intérêts écologiques de la nécromasse (RESINE). Programme « Biodiversité et gestion forestière », Rapport Scientifique Final. 20 février 2009, 49 pages.
- Boutin M., 2013. Inventaire généralisé dans la réserve intégrale de Lauvitel - Sessions des 1er, 2, 3 juillet et 27, 28, 29 août 2013 - Inventaire des rhopalocères. Parc National des Écrins, novembre 2013, 12 pages.
- Bütler, R. (2006). Le bois mort et les vieux arbres: le signe d'une gestion forestière moderne et durable. *La Forêt*, 1: 10-13.
- Braud Y. et Dusoulier F., 2013. Inventaire biologique généralisé (IBG) et suivi scientifique sur la réserve intégrale du Lauvitel (Bourg-d'Oisans, 38) : Les Orthoptères. Parc National des Écrins, 4 décembre 2013, 15 pages.
- Chevailot F., 2013. Inventaire Généralisé de la Biodiversité – Réserve Intégrale du Lauvitel – Session 2013. Parc National des Écrins, 2013, 12 pages.
- Cordonnier T., François D., Piat J. et Tran-Ha M., 2007. La surface terrière : méthodes de mesure et intérêts. *RenDez-Vous techniques ONF* n°18 – automne 2007, pages 9-16.

- Dodelin B., 2013. Prospections pour un Inventaire Biologique Généralisé dans la Réserve Intégrale du Lauvitel (Parc National des Écrins, Le Bourg d'Oisans, Isère). Parc National des Écrins, septembre 2013, 10 pages.
- Dupouey J.-L., Sciama D., Koerner W., Dambrine E., 2002. La végétation des forêts anciennes. *Revue forestière française*, 54 (6), 521-532.
- Edouard J.-L., 1999. La forêt dans la réserve intégrale de Lauvitel - Première approche dendroécologique - Parc National des Écrins - Rapport 1999 destiné au Parc National des Écrins. Institut Méditerranéen d'écologie et de Paléoécologie - CNRS, 9 pages.
- Gosselin M., Laroussinie O., 2004. Biodiversité et gestion forestière. Synthèse bibliographique. Cemagref Éditions, collection Études, 320 p.
- Hermly M., Honnay O., Firbank L., Grashof-Bokdam C., Lawesson J.E., 1999. An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. *Biological Conservation*, 91, 9-22.
- Hermly M., Verheyen K., 2007. Legacies of the past in the present-day forest biodiversity: a review of past land-use effects on forest plant species composition and diversity. *Ecological Research* 22, 361-371.
- Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN), 2018. Bois mort en forêt [en ligne]. Disponible sur <https://inventaire-forestier.ign.fr>. Consulté le 26 août 2018.
- Larrieu L., Cabanettes A., Delarue A., 2011. Impact of sylviculture on dead wood and on the distribution and frequency of tree microhabitats in mountain beech-fir forests of the Pyrenees. *European Journal of Forest Research*, 131(3), 773-786.
- Larrieu L., Gonin P., 2008. L'indice de biodiversité potentielle (IBP) : une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*, 6, 727-748.
- LTER Network – Long Term Ecological Research, 2017. LTER Vision, Mission, and Goals [en ligne]. Disponible sur <https://lternet.edu/vision-mission/>.
- MCPFE, 2003. Improved Pan-European indicators for sustainable forest management, MCPFE Liaison Unit Vienna, Vienne, 6 pages.
- Mosseler A., Lynds J.A., Major J.E., 2003. Old-Growth Forests of the Acadian Forest Region. *Environ. Rev.* 11 : S47–S77.
- Office National des Forêts, 2014. Dossier méthodes - ÉMERGE – Élaboration de Modèles pour une Estimation Robuste et Générique du bois Énergie. *Rendez-vous techniques* n°44 - printemps 2014, 17-81.
- Paillet Y., Gosselin M., 2011. Relations entre les pratiques de préservation de la biodiversité forestière et la productivité, la résistance et la résilience : État des connaissances en forêt tempérée européenne. *Vertigo*, La revue électronique de l'environnement [En ligne] volume 11 Numéro 2 – septembre 2011. Disponible sur <http://journals.openedition.org/vertigo/11133>.

Parc National des Écrins, 2012. plan de gestion de la réserve intégrale de Lauvitel. Validé par le conseil scientifique du Parc National des Écrins du 10 février 2012, approuvé par le Conseil d'administration du Parc national des Écrins par délibération le 9 mars 2012, 21 pages.

Pardé J., 1956. Un appareil révolutionnaire : le relascope de Bitterlich. *Revue Forestière Française*, mars 1956, 172-184.

Réserves Naturelles de France, 2012. Notice pour la mise en place et la saisie des données du protocole de suivi dendrométrique des réserves forestières [en ligne]. Disponible sur http://www.reserves-naturelles.org/sites/default/files/fichiers/notice_psdrf.pdf.

Rivoire, B., 2013. Inventaire mycologique des champignons lignicoles dans la réserve biologique du Lauvitel, France, Département de l'Isère, commune de Bourg d'Oisans – année 2013, Parc National des Écrins, octobre 2013, 17 pages.

Rossi, M., Vallauri, D., 2013. Évaluer la naturalité. Guide pratique, version 1.2. WWF, Marseille, 154 pages.

Saillard A., 2017. Le gradient ORCHAMP du Lauvitel. Parc National des Écrins, octobre 2017, 15 pages.

Schiegg Pasinelli K. et Suter W., 2000. Notice pour le praticien n°33 (2000), Le bois mort – un habitat. Institut Fédéral de Recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL. 6 pages.

Siipi H., 2004. Naturalness In Biological Conservation. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, Novembre 2004, Volume 17, Issue 6, 457-477.

Vallauri D. 2007. Biodiversité, naturalité, humanité. Application à l'évaluation des forêts et de la qualité de la gestion. Rapport scientifique WWF, Marseille, 86 pages.

Zone Atelier Alpes, 2018 . ZA – LTER France – Zone Atelier Alpes [en ligne]. Disponible sur <http://www.za-alpes.org/>.

VII. Annexes

VII.1 Extraits du Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières

(tirés de http://www.reserves-naturelles.org/sites/default/files/fichiers/notice_psdrrf.pdf)

VII.2 Calendrier du stage

PREPARATION					
3 avril - 4 mai	Etude bibliographique. Développement et adaptation de la problématique en fonction des données disponibles. Découverte de la structure Parc National des Ecrins				
7 mai - 1er juin	Saisie des données de 1993 (du papier au numérique), vérification des données saisies. Début de saisie des données 2001. Organisation de l'inventaire : - demande et récupération de matériel auprès de l'ONF et de RNF, - réalisation du calendrier d'inventaire (quatre jours par semaine x trois personnes par jours), - réalisation du menu pour 5 semaines et achat de la nourriture à hélicopter.				
INVENTAIRE	Présents	Total journalier	Total hebomadaire	Placettes réalisées	Nombre optimal de personnes
Formation 22/05/2018 pm & 23/05/2018 am	Nicolas Debaive RNF	4	4	28	3
	Jérémy Château				
	Jérôme Forêt				
	Julien Guilloux				
lun. 4 juin 18	Manon Basset	3	12	2	2
	Jérémy Château				
	Eric Ollieu				
mar. 5 juin 18	Jérôme Forêt	3	12	3 & 5	3
	Jérémy Château				
	Séverine Magnolon				
mer. 6 juin 18	Manon Basset	3	12	4	3
	Jérémy Château				
	Julien Guilloux				
jeu. 7 juin 18	Manon Basset	3	12	6 & 24	3
	Jérémy Château				
	Julien Guilloux				
mar. 12 juin 18	Manon Basset	3	6	1	2
	Jérémy Château				
	Jérôme Forêt				
jeu. 14 juin 18	Manon Basset	3	6	25 & 26	3
	Jérémy Château				
	Manon Whittaker				
lun. 18 juin 18	Jérémy Château	3	13	9	3
	Julien Guilloux			27	2
	Manon Whittaker				
mar. 19 juin 18	Manon Basset	3	13	7 & 10	3
	Jérémy Château				
	Julien Guilloux				
mer. 20 juin 18	Manon Basset	3	13	29	3
	Jérémy Château			30	3
	Julien Guilloux			8	3
jeu. 21 juin 18	Manon Basset	2	13	13	3
	Jérémy Château				
ven. 22 juin 18	Manon Basset	2	13	12 & 15	3
	Jérémy Château				
lun. 25 juin 18	Manon Basset	3	7	31 & 32	3
	Jérémy Château				
	Pierre-Henri Peyret				
mar. 26 juin 18	Manon Basset	2	7	18, 20 & 22	2
	Jérémy Château				
mer. 27 juin 18	Manon Basset	2	7	21	3
	Jérémy Château				

mar. 3 juil. 18	Manon Basset	3	6	14 & 19	3
	Jérémy Château				
	Julien Guilloux				
mer. 4 juil. 18	Manon Basset	3	6	11, 17 & 23	3
	Jérémy Château				
	Julien Guilloux				
jeu. 12 juil. 18	Jérémy Château	1	1	Toutes (compléments et vérifications)	Selon données à prendre
ANALYSE					
jeu. 5 juil. 18	Participation à des inventaires dans le cadre de l'observatoire ORCHAMP avec le PNE et IRSTEA.				
9 au 27 juillet	Ressaisie des fiches d'inventaire papier et vérification des données. Fin de saisie des données de 2001 (avec l'aide de Manon Basset).				
30 juillet - 31 août	Analyse des données et rédaction du rapport final.				

VII.3 Scripts d'analyse (logiciel R)