



Rapport de stage niveau Master 1

Master STVE

Mention « Espaces Ressources Milieux »

Stage effectué du **30/04/2013** au **12/07/2013**
Par **MONMOUSSEAU Marie**

À : **Avignon**



Sur le thème de :

Suivi et analyse des causes du dépérissement du Sapin pectiné

Année scolaire 2012-2013

Enseignant-tuteur responsable : Erwan PERSONNE
Maître de stage : Hendrik DAVI

Résumé

L'observation d'un dépérissement du Sapin pectiné dans sa limite Sud de son aire de répartition en France questionne l'impact des changements climatiques et de la sécheresse. Ce dépérissement inclut la défoliation de l'arbre et/ ou sa mort et peut avoir des causes biotiques et abiotiques. Durant ce stage, nous avons démontré l'impact des effets « site » et « altitude » sur la mortalité du sapin. A ceux-là se rajoutent d'autres causes pour la défoliation, telles que la hauteur, la circonférence de l'arbre et la présence de scolytes. Nous avons aussi trouvé de nouveaux indicateurs qui ont une relation significative avec la mortalité des sapins : des indices en rapport avec la distribution des circonférences des arbres.

Summary

The observation of a decline of silver fir in its southern range in France has brought some interrogations about the impacts of climate change and of drought. This decline includes defoliation and / or death and may have biotic and abiotic causes. During this internship, we showed the impact of the effects “site” and “altitude” on the mortality of the fir. For defoliation, other causes are added to these two, such as height, circumference of the tree and the presence of bark beetles. We also found new indicators that have a significant relationship with the firs' mortality: parameters linked to the distribution of the trees' circumferences.

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier mon maître de stage, Hendrik Davi, qui m'a guidé dans ce stage avec sa présence, ses conseils, ses remarques et sa bonne humeur. J'ai beaucoup appris auprès de lui sur le métier de chercheur, mais surtout sur la recherche en général. Mes remerciements vont également à l'unité URFM entière, où mon stage se déroulait, pour leur accueil chaleureux et la bonne ambiance qui règne dans ce lieu de travail et qui motive à aller travailler. Un grand merci aux personnes qui m'ont aidé à comprendre les subtilités du logiciel R lorsque j'en avais besoin, je pense notamment aux deux thésards Cindy Gidoin et Guillaume Marie. Finalement, je voudrais remercier tous les techniciens que j'ai accompagnés sur le terrain lors des mesures, pour leur pédagogie, leur bonne humeur et leur soutien : Nicolas Mariotte, Olivier Ambrosio, William Brunetto, Damien Gounelle, Arnaud, Olivier, et tout particulièrement Florence Courdier, qui a été comme une deuxième mentor pour moi. J'ai également une pensée pour la stagiaire Solène avec qui je m'entendais très bien et avec qui nous nous motivions mutuellement.

Sommaire

Introduction.....	4
Matériel et Méthodes	
Lieu d'étude.....	5
Espèce étudiée.....	7
Méthodes.....	7
Résultats.....	9
Discussion.....	12
Conclusion.....	12
Bibliographie.....	12

Introduction

Les changements climatiques, conduisent à une augmentation des températures qui risquent d'impacter fortement la végétation. En effet cet accroissement des températures entraîne une augmentation de la transpiration et sera probablement associé en région méditerranéenne à une baisse des précipitations. Les réserves d'eau dans le sol sont alors plus faibles en été ce qui peut affecter l'état sanitaire de la végétation.

Dans l'arrière pays méditerranéen, le Sapin pectiné, se situe dans la limite Sud de son aire de répartition, et devrait donc être sensible à ce réchauffement. Un dépérissement des sapinières a d'ailleurs été observé ces dernières décennies. La question s'est alors posée de la place du sapin dans cette région. De plus, cette situation préfigure aussi ce qui pourrait se passer plus au nord dans 100 ans si le changement climatique persiste. La recherche finalisée de l'INRA à ce sujet, vise à comprendre les mécanismes de ce dépérissement, ce qui pourra servir à la gestion pour limiter l'impact de la sécheresse ou pour prédire les zones où le sapin ne pourra pas survivre. Le dépérissement a deux composantes : la défoliation, qui inclut la perte de productivité, et la mortalité. La figure 1 représente les relations qui peuvent exister entre un arbre sain, un arbre qui subit une défoliation et un arbre mort.

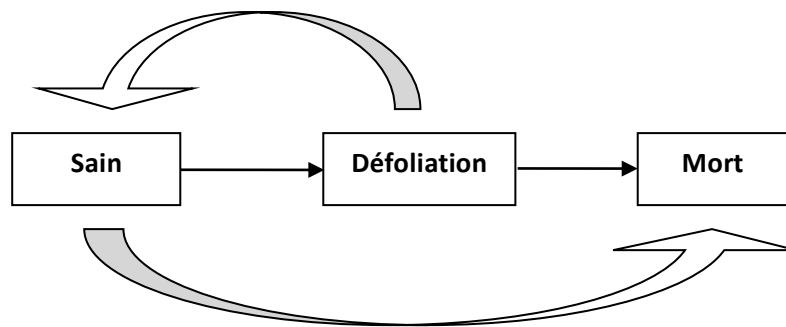


Fig. 1 : Relations entre trois différents états d'un arbre

Les mécanismes du dépérissement peuvent être étudiés à différentes échelles et peuvent avoir différentes causes. Tout d'abord nous pouvons distinguer les causes biotiques et abiotiques. Concernant les causes biotiques, le dépérissement peut être analysé à l'échelle de l'arbre, en corrélant son état sanitaire (sain, défolié et mort) et les variables comme sa hauteur, sa circonférence ou son âge... ou à l'échelle du peuplement en corrélant le taux de défoliation/mortalité estimée sur une parcelle et la structure ou le degré de compétition. Concernant les causes abiotiques du dépérissement, il y a le climat et le sol. L'effet sol est plutôt observé à l'échelle du versant et correspond à un effet placette. Le climat peut être subdivisé en un effet microclimat (e.g effet altitude à l'échelle du versant), et en un macroclimat qui combiné au type de sol représentera un effet site.

L'objectif de ce stage est d'analyser les données obtenues en 2007 et 2012 sur 3 sapinières situées dans l'arrière-pays méditerranéen et ainsi de compléter notre connaissance concernant les mécanismes impliqués dans le dépérissement du sapin pectiné. Cette analyse vient en complément d'une thèse soutenue en 2011 par Maxime Cailleret qui s'intitulait : « Causes fonctionnelles du dépérissement et de la mortalité du sapin pectiné en Provence » en 2007-2011. Un autre objectif est également de déterminer si la mortalité est toujours précédée d'une défoliation.

Matériel et Méthodes

Lieu d'étude :

Cette étude porte sur 15 placettes de forêt (délimitées par des carrés de 20m sur 20m) dans 3 sites différents. Les trois sites sont le Mont Ventoux, la forêt domaniale de l'Issole, qui sont tous deux localisés dans la partie occidentale des Alpes du Sud nommé les Pré-Alpes sèches, et la forêt de Turini en Vésubie qui est située dans les Alpes ligures (figure 2). Ces sites se situent entre la Provence et les Alpes suivant un axe Sud-Ouest à Nord-Est, le long duquel l'influence méditerranéenne faiblit et apparaît la continentalité de l'axe alpin. Au Mont Ventoux et en Issole, les sols sont principalement des altérites calcaires, qui peuvent être recouvertes par endroit par des éboulis. En Vésubie les sols sont des schistes gréseux qui apparaissent sous les éboulis (Cailleret, 2011).

Chaque site est composé de 5 placettes situées à différentes altitudes. Au Mont Ventoux, les placettes intitulées Dvx1, Dvx2, Dvx3, Dvx4 et Dvx5 se trouvent respectivement à 995, 1020, 1117, 1247, 1340 mètres d'altitude (figure 3). En Issole les placettes Diss1, Diss2, Diss3, Diss4 et Diss5 se trouvent respectivement à 1108, 1196, 1281, 1468, 1585 (figure 4) et en Vésubie, Dves1, Dves2, Dves3, Dves4 et Dves 5 sont à 1078, 1130, 1242, 1330 et 1497 mètres d'altitude (figure 5) (Document de l'INRA).

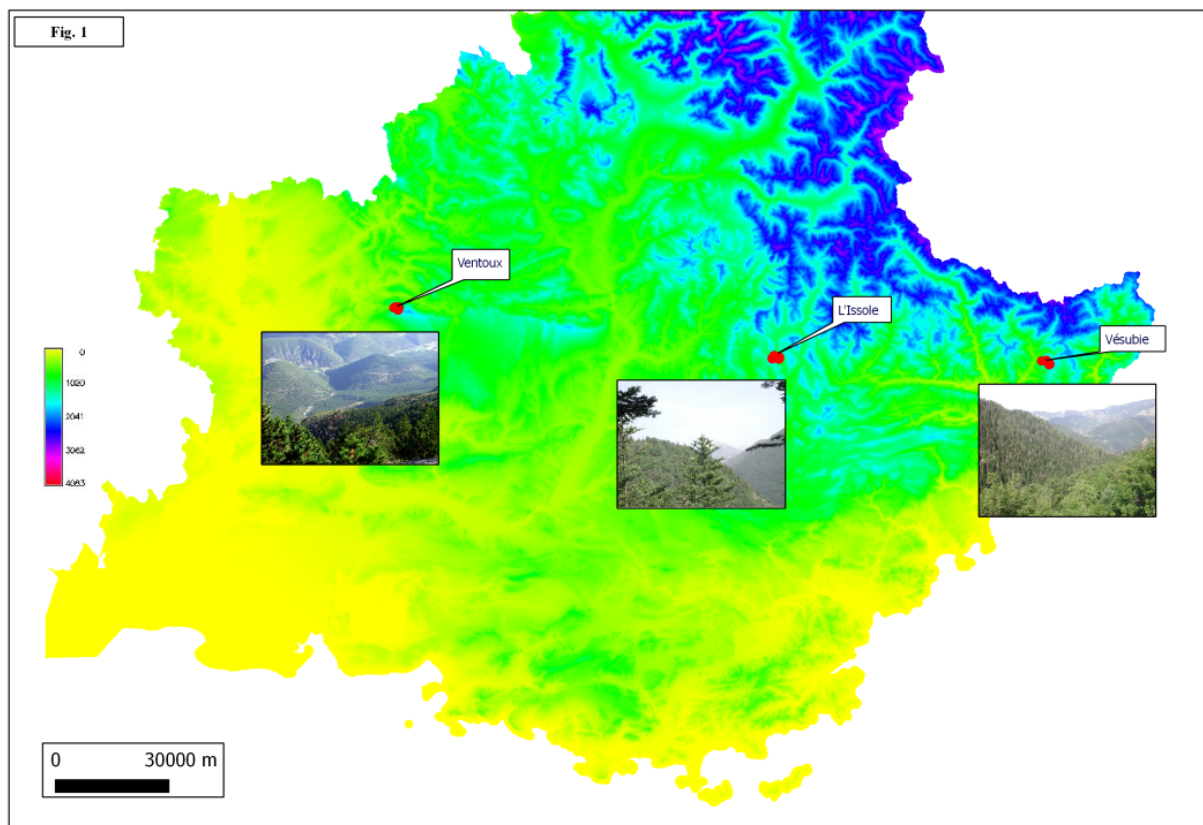


Fig. 2 : les 3 régions d'étude

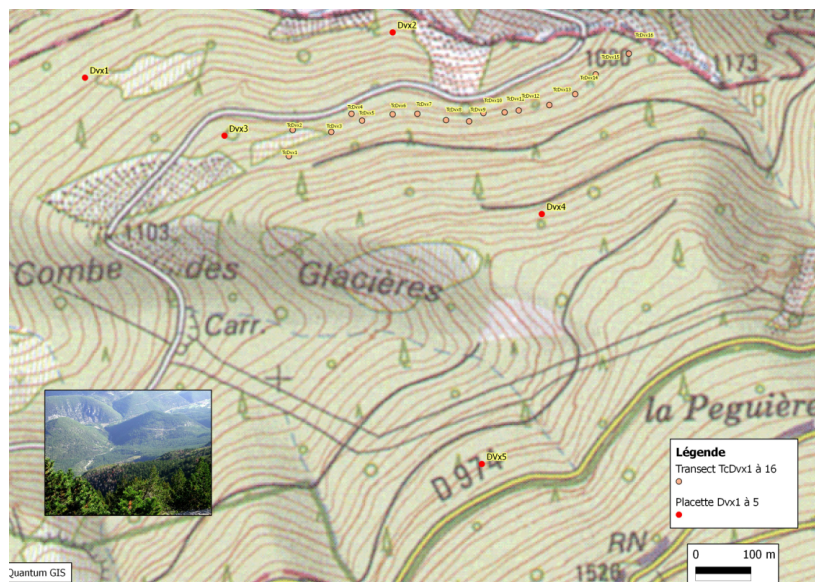


Fig. 3 : Localisation des placettes (Dvx1 à Dvx5 et TcDvx1 à TcDvx16) sur le Mont-Ventoux

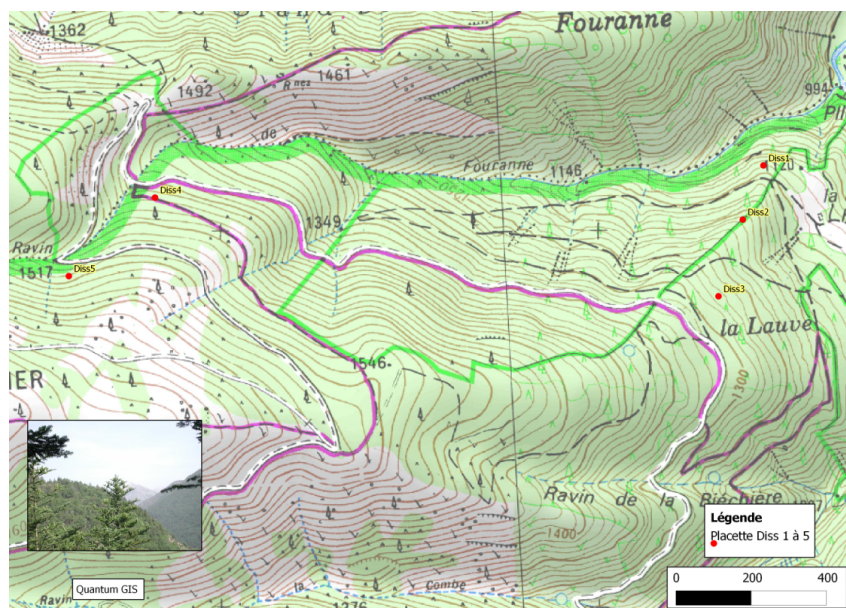


Fig. 4 : Localisation des placettes (Diss1 à Diss5) en FD de l'Issole

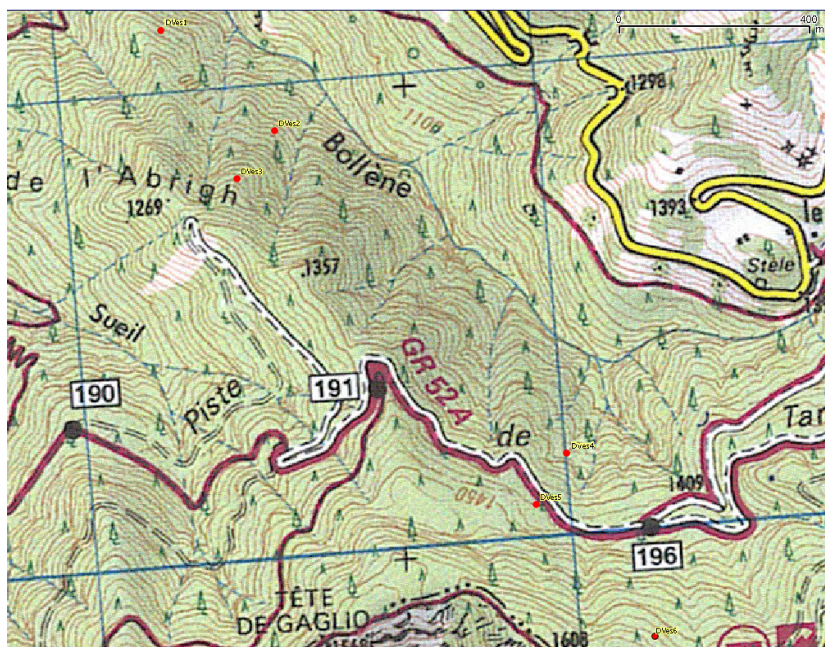


Fig. 5 : Localisation des placettes (Dves1 à Dves6) en FC de Bollène-Vésubie

L'espèce étudiée :

Le Sapin pectiné (*Abies alba*) est un conifère qui appartient à la famille des Pinaceae. C'est une espèce clé de voute présente à l'état naturel en France et en Europe, dans la plupart des massifs montagneux, généralement entre 400 et 1800 mètres d'altitude. Elle est sensible à la sécheresse et tolère bien l'ombrage. Ce sapin a une longue durée de vie (jusqu'à 600 ans) et peut atteindre 60 mètres de hauteur dans des conditions très favorables. En France, la moitié des peuplements de sapin est monospécifique, mais l'épicéa et le hêtre peuvent également être associés avec (Cailleret, 2011).

Le Sapin pectiné a également un intérêt sylvicole, vu qu'il représente la deuxième espèce de conifères après l'épicéa en termes de biomasse et environ 13% du volume total de bois en France. Malheureusement, les sapinières subissent des phénomènes de mortalité, notamment au Mont Ventoux et en Vésubie. La forêt étudiée en Issole ne présentait pas de mortalité en 2007, mais le houppier des arbres était très endommagé (Cailleret, 2011).

Méthodes :

Chaque placette de 4 ares (20 m x 20 m) est subdivisée en 4 cellules carrées de 10 m x 10 m (distance horizontale), comme représentée dans la figure 6 :

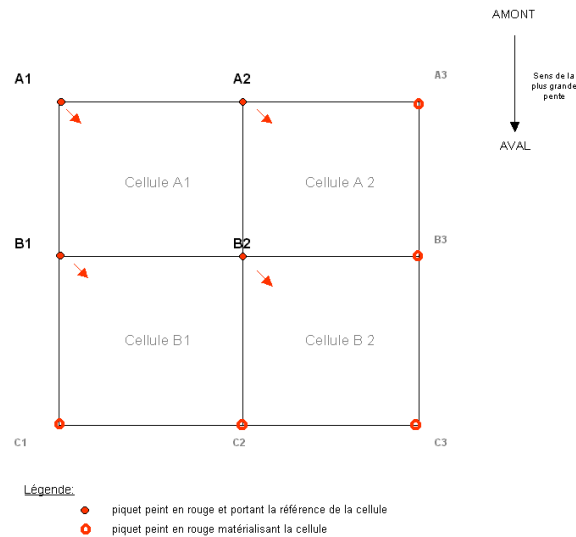


Fig. 6 : Schéma d'une placette

Chaque placette a fait l'objet de deux types d'inventaire : un inventaire dendrométrique et un inventaire sanitaire.

L'inventaire dendrométrique sert à évaluer la dynamique démographique et la dynamique de croissance des peuplements. Cet inventaire se déroule 5 ans après le premier et se décompose en plusieurs procédures :

- la remesure de la circonférence des arbres à 1,30 mètre en notant l'espèce;
- la remesure en hauteur des 5 arbres dominants de la placette ;
- le dénombrement de la régénération (individu en dessous de 1,30m de haut) ;
- donner une approximation du recouvrement du sol.

L'inventaire sanitaire est utilisé pour faire un état des lieux du dépérissement et de la mortalité des sapins. Le protocole est le suivant : il faut comparer les arbres dominants choisis à un arbre de référence qui ne présente aucun symptôme de dépérissement et évaluer les composantes suivantes : la coloration anormale, la mortalité de branche, le pourcentage de vide, le déficit foliaire, le gui et le nombre de cônes. Les sapins suivis ne sont pas forcément dans la placette mais peuvent être dans les alentours. L'indicateur qui nous intéresse dans cette étude est le suivi de la défoliation de l'arbre (Documents de l'INRA).

Ces données récoltées sont ensuite analysées avec un logiciel d'analyse statistique, nommé R. Nous allons nous concentrer sur 3 indicateurs :

- le taux de mortalité (avec l'inventaire dendrométrique) ;
- la défoliation 2007 (avec l'inventaire sanitaire) ;
- le taux de mortalité (avec l'inventaire sanitaire).

Ces analyses vont surtout être des analyses de variance, connues sous l'abréviation ANOVA, ou dans le cas de R « aov », pour voir si différents paramètres (les données acquises) ont une influence sur ces trois indicateurs. Lorsque ce test statistique indique qu'un paramètre semble être une variable explicative significative, nous utilisons ensuite un modèle linéaire généralisé « glm », qui nous permet d'avoir des indications sur la relation de ces deux facteurs, tel que la pente.

Résultats

Tout d'abord nous avons analysé la mortalité du sapin dans sa globalité, c'est-à-dire le taux de mortalité (de l'inventaire dendrométrique) de toutes les placettes sur chaque site, en différenciant les sites et en indiquant l'altitude de chaque placette. Le taux de mortalité est calculé en fonction de la surface terrière, intitulé G, des sapins. La surface terrière d'un arbre est la surface de la section transversale de son tronc à 1,30 m de hauteur. Pour un peuplement, ici les sapins, c'est la surface que représenteraient tous les troncs des arbres d'un hectare de la forêt que l'on aurait coupé à 1,30 mètre de hauteur. (Source : fiche n° 181102 de Forêt Privée française). Le taux de mortalité est alors calculé en utilisant l'équation suivante : $(G \text{ sapins secs}) / (G \text{ sapins totaux})$.

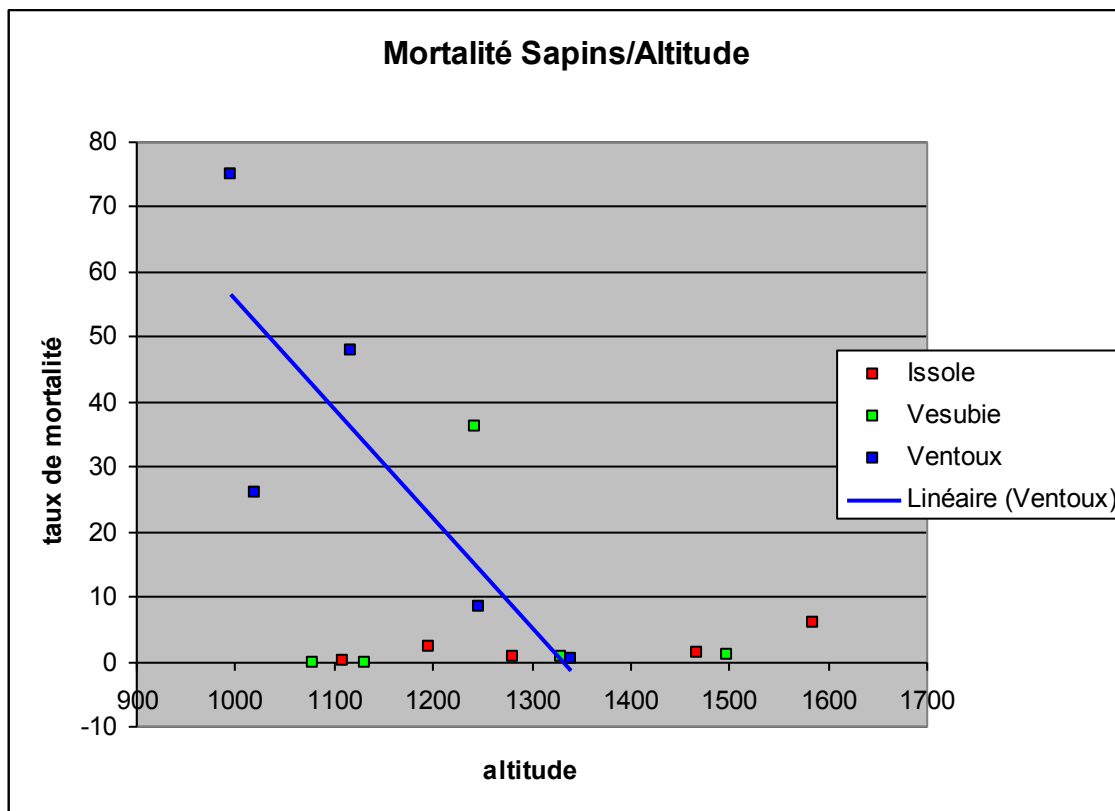


Fig. 7 : Mortalité des sapins en fonction de l'altitude et des sites

La figure 7 montre que la mortalité des sapins dépend du site (effet climat régional et/ou type sol). En effet, l'Issole présente des taux de mortalité plus faibles, la Vesubie aussi sauf dans une placette, alors que le Ventoux présente une mortalité beaucoup plus forte. Nous remarquons également que l'altitude peut jouer un rôle sur ce phénomène en fonction des sites. Dans le cas de l'Issole, l'altitude ne semble pas jouer de rôle significatif, en Vesubie la placette d'altitude intermédiaire a un taux élevé, celle-ci se situant sur une crête, et au Ventoux la mortalité diminue avec l'altitude.

Ce rôle de l'altitude semble se confirmer avec les analyses, bien qu'il ne soit pas très significatif (p entre 0.05 et 0.1). En prenant en compte tous les taux de mortalité, sans distinction des sites, nous trouvons une valeur de 0.0628 pour l'effet altitude qui diminuerait la mortalité.

En regardant spécifiquement le site du Ventoux, dont le rôle de l'altitude semble le plus fort d'après la figure 7, nous obtenons une valeur de 0,09. Ceci signifierait que l'effet altitude n'est pas aussi significatif que la figure ne nous le laisse penser. Ce résultat un peu surprenant pourrait s'expliquer par le faible nombre d'observations, qui est seulement de 5. Par contre, les autres sites analysés un par un ne présente pas de relation significative entre les taux de mortalité et l'altitude.

Nous avons ensuite recherché des « indicateurs » qui auraient une relation significative avec ces taux de mortalité. Ceux qui sont ressortis sont les paramètres associés aux distributions des circonférences et les coefficients de Kurtosis et Skewness de ces mêmes distributions.

La distribution des circonférences des arbres de chaque placette est d'une certaine manière une représentation du peuplement présent. Elle nous permet de voir si le peuplement est homogène, ou dans le cas contraire quels types d'arbres sont présents en majorité, tel que les gros arbres, les arbres de taille intermédiaire, etc. Pour chacun des inventaires, nous avons ajusté les données d'inventaire à plusieurs types de distribution pour pouvoir ainsi les comparer entre elles. Cet ajustement se fait par estimation des arguments caractéristiques de la distribution, qui diffèrent selon les fonctions. Il existe un grand nombre de types de distributions, mais nous n'en avons retenues que trois (celles qui nous paraissaient le mieux s'ajuster à toutes les distributions de circonférences) : gamma, Weibull et la binomiale négative (nbinom). Ce choix s'est fait en utilisant la fonction MLE (estimation du maximum de vraisemblance) et en comparant les loglik (log-likelihood value), ce qui peut donner une indication de quelle distribution est la mieux ajustée. Ce choix a ensuite été confirmé en regardant les différentes distributions par rapport à la représentation graphique des données.

Ensuite nous avons regardé pour ces trois distributions, comment les paramètres de ces distributions étaient corrélés au taux de mortalité. L'argument « rate » de la distribution gamma est celui qui explique le mieux le taux de mortalité ($p=0,000202$) contre 0,00187 pour l'argument « mu » de nbinom et 0,0022 pour l'argument « scale » de Weibull.

Les autres indicateurs qui présentent une corrélation significative avec les taux de mortalité sont les coefficients de Kurtosis et Skewness de la distribution des circonférences. Ces indices proviennent directement de la distribution elle-même, et non d'une distribution ajustée. Le coefficient de Kurtosis indique le degré d'écrasement de la courbe : lorsqu'il est positif, cela signifie que la distribution est « pointue », lorsque celui-ci est négatif, cela indique que la distribution est relativement « écrasée ». Le coefficient de Skewness, lui, montre le degré d'asymétrie de la distribution : si le coefficient est nul, la distribution est symétrique, si celui-ci est négatif, la courbe est asymétrique vers la gauche, et inversement à droite lorsqu'il est positif. (Source : D.N. Gujarati, Basic Econometrics, McGraw Hill, 3^eed.)

Les résultats de nos analyses montrent que ces deux coefficients pris ensemble sont significativement reliés aux taux de mortalité dans les placettes : 0,01129 pour Kurtosis et 0,00424 pour Skewness. Nous avons également montré qu'il y a un effet interaction significatif entre ces deux coefficients, avec une valeur de 0,00183.

Nous avons ensuite regardé les relations qui pourraient exister entre le dépérissement (la défoliation et la mortalité) de l'inventaire sanitaire et les données mesurées sur chacun des arbres. Les paramètres suivants étaient significatifs : la hauteur (0,014), le site ($1,28e-6$), les scolytes ($<2e-16$), la placette ($<2e-16$), l'altitude ($3e-05$). Tous ces paramètres représentent les

différentes types de causes impliquées dans le dépérissement: la hauteur, le gui et les scolytes pour les causes biotiques (structure des arbres et du peuplement), les trois autres représentent les causes abiotiques : l'effet site, l'effet placette, et l'effet altitude. Les différentes échelles semblent donc importantes à prendre en compte afin de déterminer la cause du dépérissement des sapins.

Les différents paramètres ont les relations suivantes avec le dépérissement. Les sapins du Ventoux et de Vésubie subissent un plus grand dépérissement, mais celui-ci diminue avec l'altitude. En fonction des placettes, le dépérissement peut également être significativement (entre 0,001 et 0,0048) moins fort, comme pour les placettes Dvx3, Dves1,2,4,5 et Diss3,4,5. De même, plus un arbre est grand, moins il subit de dépérissement (défoliation et/ou mortalité). Par contre, pour les scolytes, leur présence à un « niveau 3 » est corrélée à un dépérissement plus fort.

Ensuite nous avons analysé l'effet de ces paramètres sur les seuls arbres vivants, mais subissant de la défoliation, de ce même suivi sanitaire. Ceci nous permet de regarder seulement la défoliation, car les arbres morts (ayant une défoliation de 100%) pèsent beaucoup dans l'analyse présentée ci-dessus. La plupart des paramètres qui étaient significatifs pour tous les arbres le sont encore : hauteur (0.00208), site (7.91e-06), scolytes (1.75e-06), placette (1e-14), sauf l'altitude. Par contre, d'autres paramètres deviennent significatifs, comme la circonférence (2.96e-07), l'âge (1.28e-13), et le statut (1.51e-05). Les paramètres biotiques apparaissent en plus grand nombre et semblent donc avoir également un rôle important à jouer dans la défoliation.

Dans l'analyse des causes de la défoliation, les relations ne semblent pas toujours aller dans le même sens que dans celles des causes de mortalité. Les scolytes ont la même corrélation et les sites du Ventoux et de Vésubie subissent encore une plus grande défoliation, mais l'altitude ne semble pas avoir de rôle significatif. D'autre part, la hauteur joue le rôle inverse : plus un arbre est grand, plus il subit de la défoliation. D'autres vont dans le même sens : plus un arbre est gros, âgé ou dominant, plus la défoliation est forte.

Ces résultats semblent indiquer que la défoliation et la mortalité (qui peut être représenté par le dépérissement, vu son poids dans l'analyse), n'ont pas toujours les mêmes causes. Ceci irait dans le même sens que les résultats de thésard Maxime Cailleret lors de ses recherches.

Finalement, nous avons voulu analyser comment la défoliation et la mortalité s'organisent entre elles. Au niveau des analyses, nous n'avons pas pu aller aussi loin que prévu, mais les résultats semblent indiquer qu'il n'y ait pas de relation entre ces deux phénomènes. Nous avons donc décidé de regarder si les arbres défoliés mourraient les années suivantes (Table 1). On constate alors que la majorité des arbres défoliés ne meurent pas, mais qu'en avançant dans le temps le taux de mortalité augmente.

	2008 morts	2011 morts	2012 morts
2007 vivants et défoliés	2 (271)	5 (45)	13 (126)
2008 vivants et défoliés		7 (59)	20 (184)
2011 vivants et défoliés			3 (62)

Table. 1 : Mortalité des sapins défoliés en fonction des années
Les nombres entre parenthèses indiquent le nombre d'arbres défoliés qui ne meurent pas mais restent défoliés

Discussion

Durant ces deux mois de stage, l'utilisation du logiciel R étant indispensable pour pouvoir analyser les données, la découverte et la maîtrise de ce logiciel prirent une partie assez importante du temps imparti (Kauffmann et Mayeul, 2009 et The R Core Team Version, 2012). Ceci n'empêcha pas de faire les analyses nécessaires pour essayer de répondre aux objectifs, mais a cependant pu les ralentir. Par exemple, certains paramétrages, dont l'ajustement de courbes aux distributions de circonférences, ont pris un certain temps au vu de la complexité à trouver et utiliser les bonnes fonctions.

L'objectif n'a également pu être entièrement complété, car seules les données de 2007 ont pu être analysées. En effet, les données 2012 sont en cours d'acquisition. Cependant ayant contribué aux mesures sur le terrain, celles-ci m'ont permises entre autres de mieux comprendre les données que j'analysais et d'avoir une certaine vision des différences entre les sites, au niveau du dépérissement des sapins pectinés.

Des résultats intéressants sont quand même ressortis de nos analyses : l'effet altitude sur la mortalité du sapin pectiné, les indicateurs en lien avec cette mortalité (la distribution gamma avec son paramètre « rate », et les coefficients de Kurtosis et Skewness), et les différentes causes du dépérissement et de la défoliation. Ces derniers résultats n'ont pas eu le temps d'être analysés plus profondément, mais apportent tout de même une vision intéressante sur le sujet, qu'il serait important de creuser avec l'arrivée des données 2012.

Conclusion

Le thème de ce stage, «Suivi et analyse des causes du dépérissement du Sapin pectiné», est un sujet assez complexe et prend en compte beaucoup de paramètres différents. La thèse de Maxime Cailleret a beaucoup analysé ce sujet et mon stage a permis de remonter quelques uns de ses résultats. Ces résultats incluent les différentes causes du dépérissement qui peuvent être biotiques et abiotiques à différentes échelles. Nous avons ainsi ressorti l'effet altitude sur la mortalité du sapin, et la différence entre la défoliation et la mortalité qui n'ont pas forcément les mêmes causes. Les résultats « nouveaux » qui sont ressortis de nos analyses sont les indicateurs en lien avec la mortalité du sapin de l'inventaire dendrométrique : la distribution gamma avec son paramètre « rate », et les coefficients de Kurtosis et Skewness, où un travail important a été fourni.

Bibliographie

Différents documents de l'INRA

Cailleret Maxime, 2011, Causes fonctionnelles du dépérissement et de la mortalité du sapin pectiné en Provence, Thèse de l'université Paul-Cézanne - Aix-Marseille III

D.N. Gujarati, Basic Econometrics, McGraw Hill, 3^eed

Fiche n° 181102 de Forêt Privée française

Kauffmann et Mayeul, 2009, Méhodes statistiques appliquées aux questions internationales, L'Harmattan, La Librairie des Humanités

The R Core Team Version 2.15.2, 2012-10-26, R: A Language and Environment for Statistical Computing, Reference Index