

RAPPORT DE STAGE

DARNON Léo

Dans le cadre du stage de **2^{ème} année** :

Stage effectué du (jj/mm/aa) : 08/06/2020 au 31/07/2020

À :

PRO SILVA France, 7 rue du Modenberg, DAMBACH 67110

Sur le thème :

Accroissement des chênes du SIGFRA et compréhension de leurs dynamiques

Eventuellement, rapport confidentiel : ☐ Date d'expiration de confidentialité :
.....

Enseignant référent responsable :

Enseignant référent associé : Eric LACOMBE

Rappel : dans ce cas fournir un 2^{ème} exemplaire du rapport

Maître de stage : Benoit MEHEUX

❶ Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

❷ Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

❸ Sanction : En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

❹ Engagement :

Je soussigné : Léo DARNON

Reconnaît avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

A l'île de la Réunion, le 18/08/2020

Signature :



Résumé :

Les chênes (*Quercus petraea* et *Quercus robur*) du Syndicat Intercommunal de Gestion Forestière d'Auberive (Haute-Marne, 52) présentent des accroissements faibles (0.19cm/an en moyenne sur le diamètre). Une analyse multivariée et différents tests statistiques sont réalisés à partir des données issues des 3 cycles d'inventaires. N'ayant pas les moyens de prédire l'accroissement il a été choisi d'exploiter les facteurs significativement impactants. Ensuite un modèle de concurrence est mis en place mais il ne s'avère pas concluant. L'étude se termine sur une phase de terrain qui confirmera le poids des notes de houppier et de l'impact de la station sur l'accroissement des chênes.

Resume :

In Auberive (France, Haute-Marne), Oaks (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) have very low diametric growths (on average 0.19cm/year). Different statistical tests have been tried, from a 3 times measured database, in order to predict the diametric growth of an individual. Because of the impossibility to predict the growth, it has been choose to exploit the significantly impacting factors. Then a competition model is submitted but it is not conclusive. The report will be ended by a field study, which will confirm the impact of the crown and station's factors above the oak's growing

Table des matières

Liste des Figures :.....	6
Liste des Tableaux :.....	6
Remerciements	7
Introduction	8
I) Contextualisation des données et de leur provenance :.....	9
1) Le SIGFRA	9
2) Les forêts du SIGFRA.....	9
3) Pro Silva France et la Forêt Irrégulière Ecole	11
4) Le suivi des Forêts du SIGFRA	11
5) Observations des accroissements du chêne	12
II) Exploitation de la base de donnée et recherche des éléments corrélés à l'accroissement des chênes.	14
1) Présentation de la base de donnée.....	14
a) La base de donnée	14
b) Recherche des corrélations par ACP	16
2) Tentative de mise en place d'un modèle prédictif des accroissements du chêne	18
a) Le choix du modèle statistique mis en place : L'Analyse de Covariance (ANCOVA)	18
b) Analyse des résidus du modèle	20
c) Interprétation de l'ANCOVA.....	22
3) Face à l'impossibilité de prédire l'accroissement, recherche d'éléments significativement explicatifs.....	22
a) Test d'influence des facteurs (un à un) sur l'accroissement.....	22
b) Mise en place du modèle épuré des données à l'impact non significatif sur l'Accroissement 28	
.....	29
4) Travail sur la base de donnée et mise en place d'une variable de concurrence	30
a) Explication et mise en place de la variable de concurrence	30
b) Résultats et analyses	32
c) Limites et discussions du modèle	32
III) Phase de terrain, remesures et observations	34
1) Mise en place du protocole	34
a) Objectif du protocole.....	34
b) En amont de la sortie de terrain.....	34
c) Sur le terrain.....	34
2) Analyse des résultats et discussions.....	37

a) Répartition des placettes remesurées,.....	37
b) Analyse des valeurs mesurées et des variables mises en places :	38
c) Remesure des diamètres des chênes :	39
3) Réflexions et pistes d'amélioration du protocole	40
4) Améliorer la compréhension des accroissements des chênes	42
Conclusion	44
Liste des sigles et abréviations	45
Bibliographie	46
Annexes.....	47
Annexe 1 : Présentation des résultats des tests ANOVA 1 facteur.....	48
Annexe 2 : Protocole de remesure	52

Liste des Figures :

Figure 1: Répartition de l'ensemble des accroissements calculés sur les chênes du SIGFRA, tous cycles confondus.....	13
Figure 2 : Accroissement en fonction du diamètre	13
Figure 3 : Graphe des variables ACP, pour la modalité Sante	15
Figure 4 : Graphique des corrélations pour la modalité Sante, coefficient de corrélation en ordonnée	15
Figure 5 : Graphe des variables ACP, modalité DEPERIS	17
Figure 6 : Graphique des corrélations pour la modalité DEPERIS, coefficient de corrélation en ordonnée.....	17
Figure 7 : Modèle mis en place pour l'ANCOVA	19
Figure 8 : Présentation des résidus de l'ANCOVA.....	19
Figure 9 : Résultats de l'ANCOVA.....	21
Figure 10 : Logo de Pro Silva France	26
Figure 11 : Chêne indicateur de la proximité d'un centre de placette (avec un P bleu).....	26
Figure 12 : Modèle de l'ANCOVA avec les éléments significativement impactant, écriture sous R.....	27
Figure 13 : Résultats de l'ANCOVA sur les éléments significativement impactant	27
Figure 14 : Schéma détaillé de la prise en compte des arbres sur la placette selon le modèle.....	29
Figure 15 : Schéma détaillé du placement des arbres dans l'espace selon le modèle	29
Figure 16 : Corrélations issues du modèle de gène des chênes, rayon autour des chênes : 3m	31
Figure 17 : Résultats de l'ANOVA pour la note de gene.....	31
Figure 18 : Cas concret de gène du houppier d'un chêne par un hêtre.....	35
Figure 19: Tableau des corrélations entre les variables issues du protocole de remesure	38
Figure 20 : Résultats du test ANOVA de mise en place d'une note de Somme_houppier significative	41

Liste des Tableaux :

Tableau 1 : Présentation des accroissements des chênes du SIGFRA, données issues des 3 cycles d'inventaires	12
Tableau 2 : Répartitions des stations remesurées lors de la phase de terrain	37
Tableau 3 : Différences d'accroissement observées lors des mesures et remesures de diamètre.....	40
Tableau 4 : Répartition des sommes de note de Houppier en classe significatives	41

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier Eric LACOMBE pour son aide à l'obtention de ce stage et pour le rôle de professeur référent qu'il a accepté. Le coronavirus et le confinement ont été plus que perturbants, c'est donc un grand merci que je vous adresse pour cette option inespérée après l'annulation de toutes mes précédentes tentatives.

Je souhaiterais ensuite remercier profondément Benoit MEHEUX pour son soutien et sa sympathie à toutes épreuves, merci d'avoir été mon maître de stage, merci d'avoir rendu ce stage aussi enrichissant et plaisant. Merci pour le temps que tu m'as accordé sur R tout le long du stage. Le fait que tu m'incorpores à d'autres activités (formation, martelage...) m'a vraiment permis de découvrir les réalités de terrains et parfaire mes connaissances. Tu m'as appris plus que tu ne l'imagines.

Enfin je remercie toute l'Unité Territoriale d'Auberive, en particulier son responsable Jean-Jacques BOUTTEAUX . Merci pour l'accueil chaleureux, les martelages que vous m'avez permis de réaliser et les échanges enrichissants que nous avons pu avoir, qu'ils concernent la sylviculture ou des retours d'expériences.

Merci à Alice, ma co-stagiaire, pour les coups de pouces sous R. Ton aide et ta compagnie m'ont vraiment apportés pendant ce stage.

Introduction

Ce stage est né d'un constat, le constat de croissances diamétriques faibles chez certains chênes pédonculés et sessiles sur plateau calcaire. Ce bilan a été réalisé sur les forêts du SIGFRA¹, lors de la réalisation de 3 cycles d'inventaire sur un réseau de plus de 1000 placettes permanentes. Ces faibles croissances vont avoir un impact pour la sylviculture et l'équilibre économique du gestionnaire. Les calculs économiques en forêt (particulièrement en SICPN²) font intervenir la croissance de l'arbre, par conséquent une croissance trop faible peut conduire à considérer que cet arbre a atteint voire dépassé son optimum et mérite d'être récolté (sans préjuger cependant d'autres raisons qui argumenteraient en faveur de son maintien).

La première réflexion serait donc de couper progressivement (afin de ne pas déstabiliser le peuplement) ces chênes qui ne « paient pas leur place » au vu du taux d'actualisation adopté par le gestionnaire. En agissant ainsi le développement d'autres essences, valorisables avec de plus forts accroissements, serait favorisé. Cette réflexion ne pourra cependant être mise en place qu'à condition que le gestionnaire soit capable d'identifier ces chênes aux croissances insuffisantes.

C'est de cette problématique d'identification du déterminisme de la croissance du chêne qu'est née l'offre de stage. Ce rapport présentera les données d'inventaires récoltées et leur valorisation sous R, les réflexions sur le choix des modèles statistiques les plus pertinents et la mise en place d'un modèle de concurrence suivi de l'exploitation des mesures d'une phase de terrain ayant pour but la vérification des observations statistiques réalisées. Il n'a pas été possible de mettre en place une fiche de décision dédiée aux marteleurs au vu du temps imparti et de la qualité des résultats statistiques.

¹ SIGFRA : Syndicat Intercommunal de Gestion Forestière de la Région d'Auvergne

² SICPN : Sylviculture Irrégulière, Continue et Proche de la Nature

l) Contextualisation des données et de leur provenance :

1) Le SIGFRA

Le massif forestier sur lequel porte ce stage appartient au Syndicat Intercommunal de Gestion Forestière de la Région d'Auberive (SIGFRA) et s'étend sur 8 300 ha au sein du département de la Haute-Marne. Le SIGFRA a été créé en 1974 par convention, il regroupe 28 communes qui ont décidé de rassembler la gestion de leurs propriétés forestières. La gestion de la forêt (commercialisation, exploitation, ingénierie, plans d'aménagement) est réalisée en commun dans le respect du régime forestier avec pour gestionnaire l'ONF³.

2) Les forêts du SIGFRA

Le climat de la région est de type semi-continental avec de forts contrastes thermiques et une température moyenne de 8 à 9°C. Les précipitations sont abondantes et bien réparties au cours de l'année avec une moyenne de 900 mm/an. Des sécheresses estivales et automnales dues à la faible réserve utile en eau des sols superficiels sont néanmoins à noter. De plus, de fréquentes gelées tardives et précoces peuvent être préjudiciables aux plantations et aux semis en milieux ouverts.

Le massif forestier présente une grande diversité stationnelle due à des faciès de plateaux calcaires de marnes qui côtoient de nombreuses combes, parfois profondes ; le relief contribue donc fortement à affiner la biodiversité du massif. Les orientations de gestion sont de favoriser le cortège d'essences adapté aux types de station prédominants en prenant soin de ne pas condamner les essences minoritaires qui, localement, pourraient donner des produits de bonne qualité. Les essences autochtones présentes sur le massif sont le hêtre, les érables sycomores, planes et champêtres, les chênes sessiles et pédonculés, les alisiers blancs et torminaux, le frêne, le charme, le cormier, le tilleul, le merisier et autres fruitiers, etc.

³ ONF : Office National des Forêts

En raison d'un passé marqué par la sidérurgie, la forêt a été historiquement gérée en taillis-sous-futaie (TSF⁴) jusque dans les années 30, puis deux phases d'enrésinement se sont succédées :

- une première, d'une centaine d'hectares, en 1963 en réponse à la nécessité de reconstruire les peuplements appauvris par le pâturage ou surexploités ;
- une seconde ensuite, par le biais d'une vingtaine de contrats FFN⁵ qui ont couvert un total de 600 ha (donc un enrésinement minoritaire).

Aujourd'hui, le syndicat a racheté à l'État les obligations financières liées aux contrats FFN (seuls les peuplements résineux sont concernés). L'objectif sylvicole est désormais orienté sur une sylviculture irrégulière de gros bois de feuillus de qualité tout en assurant la protection générale des milieux et des paysages. Le taillis (6000ha d'anciens TSF en conversion vers la futaie irrégulière depuis 1995) est progressivement réduit mais constitue aujourd'hui un atout non négligeable dans le dosage de l'éclaircissement au sol et l'éducation des tiges d'avenir.

D'un point de vue environnemental, la forêt du SIGFRA est le support de 750 ha de Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistiques et Floristique (ZNIEFF⁶) telles que des marais tufeux ou des pelouses. Les mesures demandées à la gestion forestière sont peu contraignantes en raison du traitement irrégulier adopté car elles se résument à la surveillance active du maintien en état de ces zones, à l'amélioration du mélange d'essences en favorisant, si besoin, certaines essences minoritaires et fruitières, au maintien d'une structure pluristratifiée au sein des peuplements et à la conservation sur pied des arbres dépérissant ou creux pour la faune et la flore liées aux vieux bois ou bois dépérissant. En outre, le passage d'engins de débardage sur les marais tufeux est prohibé et des travaux de restauration ont été effectués sur ces zones dans le cadre de la gestion Natura 2000 (extractions des résineux plantés, bouchage des drains créés lors des plantations...). Enfin, le Parc National des forêts de Champagne et Bourgogne intègre cette forêt dans sa zone cœur.

En termes de gibiers, les populations sont actuellement en densités élevées sur le massif. Le cerf est en cours d'expansion mais c'est surtout le chevreuil, aujourd'hui, qui est considéré comme l'espèce ayant le plus d'impact et elle est perçue comme un handicap pour l'acquisition du mélange d'essences.

⁴ TSF : Taillis-Sous-Futaie

⁵ FFN : Fond Forestier National

⁶ ZNIEFF : Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistiques et Floristique

La forêt est ouverte au public par le biais de sentiers inscrits au Plan Départemental des Itinéraires de Promenades et Randonnées qui sont accessibles aussi bien aux piétons, qu'aux cavaliers et aux cyclistes. L'accueil touristique en forêt est un atout potentiel majeur du développement de la région car la surface arborée représente plus de 60% du territoire. Les fréquentations restent néanmoins relativement faibles.

3) Pro Silva France et la Forêt Irrégulière Ecole

Pro Silva France est une association à but non lucratif créée en 1990, elle est actuellement porteuse du projet FIE⁷ (Forêt Irrégulière Ecole) avec l'ONF pour principal partenaire. L'ONF, en plus de la gestion des forêts du SIGFRA, mets en œuvre la futaie Irrégulière.

La Forêt irrégulière école d'Auberive a pour objectif de développer les connaissances techniques et scientifiques, puis l'offre de formation sur le traitement irrégulier des peuplements issus d'anciens taillis-sous-futaie, dans la région des plateaux calcaires du Nord-Est. Il s'agit de la deuxième Forêt Irrégulière Ecole de France, après celle du Bougés dans les Cévennes. La FIE d'Auberive se base sur un massif traité en irrégulier, celui du SIGFRA en Haute-Marne, qui joue à la fois le rôle de laboratoire forestier, pour améliorer les connaissances sur les futaies irrégulières, et de site de formation, avec le développement de dispositifs et de supports pédagogiques. Pro Silva France s'inscrit dans une démarche multi-partenaire.

La FIE constitue une plate-forme d'échanges et de dialogue entre les acteurs du territoire. Pro Silva France a jusqu'alors participé et animé des campagnes d'inventaires, des chantiers démonstrateurs, des formations et des études naturalistes.

4) Le suivi des Forêts du SIGFRA

Au cours des 20 dernières années, un réseau de placettes permanentes a été mis en place sur le SIGFRA. Cette initiative de grande envergure s'inscrit dans le cadre de la surveillance de l'évolution de la forêt. La sylviculture irrégulière est une pratique qui doit, tout particulièrement, faire l'objet d'un suivi des peuplements afin d'adapter la gestion au cas par cas. A chaque campagne de mesures est réalisé **un inventaire précis informant sur la densité des peuplements, sa composition, son accroissement, le renouvellement naturel, l'état**

⁷ FIE : Forêt Irrégulière Ecole

sanitaire et l'état de biodiversité. Le premier cycle de mesure et de pose du dispositif a été réalisé entre 1998 et 1999, le second cycle de mesure a été réalisé de 2007 à 2010 (et 2014) , le dernier cycle de mesure en date a été réalisé entre 2018 et 2019.

5) Observations des accroissements du chêne

La base de donnée du SIGFRA est issue de 3 cycles d'inventaires des placettes permanentes et comporte en tout 26201 mesures de chênes. Cela ne signifie pas que 26201 chênes différents ont été mesurés puisque certains chênes ont été mesurés aux trois cycles donc 3 fois. Sur cet ensemble de mesure, 4461 chênes ont été mesurés et re-mesurés sur les 3 cycles d'inventaires. Ces 4461 arbres représentent donc 13383 mesures soit 51% des mesures.

Concernant le calcul des accroissements, ce calcul n'est permis que lorsque l'on possède au moins 2 mesures de diamètre. Or il arrive que certains chênes n'aient été mesurés qu'une seule fois, il est donc impossible de calculer un quelconque accroissement.

Pour un chêne mesuré aux 3 cycles, il est possible de calculer 3 accroissements : cycle 2 – cycle 1 ; cycle 3 – cycle 2 et cycle 3 – cycle 1. Il a été décidé de travailler avec tous les accroissements possibles puisque pour un même arbre les accroissements peuvent changer en 20 ans, si le taillis monte ou est abattu, si une trouée se crée ou se referme...

Voici quelques informations concernant l'accroissement en diamètre des chênes du SIGFRA.

Indicateurs	Valeurs Accroissements (cm)
Minimum	-1.08
1 ^{er} Quartile	0.10
Médiane	0.184
Moyenne	0.193
3 ^{eme} Quartile	0.27
Maximum	1.50

Tableau 1 : Présentation des accroissements des chênes du SIGFRA, données issues des 3 cycles d'inventaires

Au vu des hauteurs dominantes (H_0) mesurées et de l'âge des peuplements on se rend compte que les stations majoritaires sont sur les plateaux et que celles-ci sont assez peu productives, classées d'après le « Guide des sylvicultures – Chênaies continentales » (ONF, 2008) en station à faible potentialité, classe de fertilité 3.

Répartition des Accroissements des chênes du SIGFRA

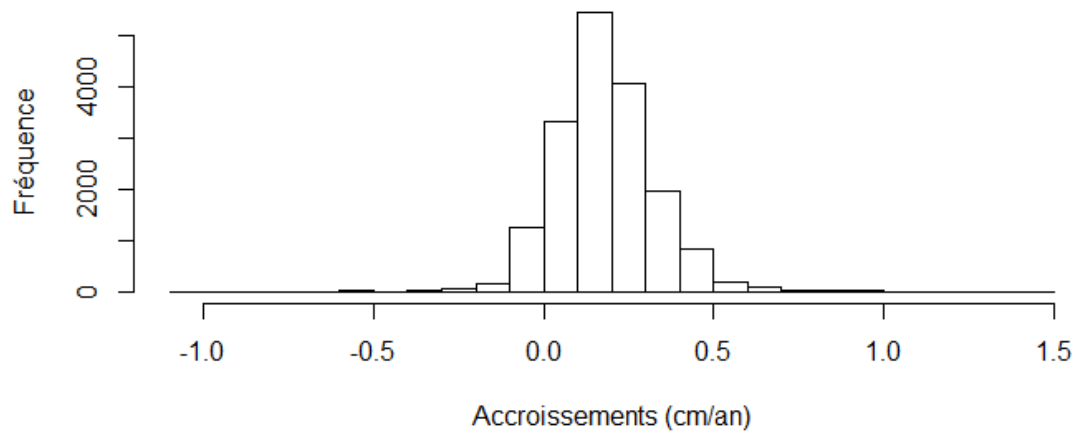


Figure 1: Répartition de l'ensemble des accroissements calculés sur les chênes du SIGFRA, tous cycles confondus

On observe une part d'accroissements négatifs. Globalement les accroissements sont assez faibles avec une moyenne de 0.19cm/an.

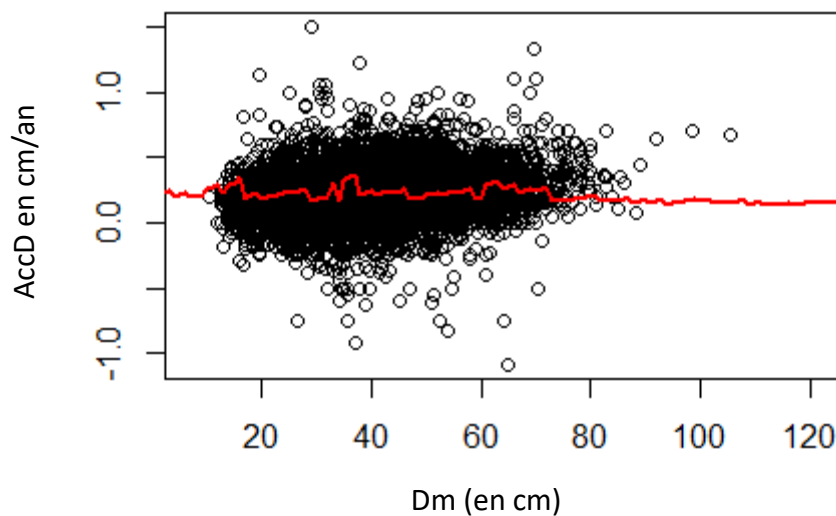


Figure 2 : Accroissement en fonction du diamètre

Contrairement à ce que semble suggérer la littérature (entre autre DHÔTE, 1999) il semblerait que les arbres de gros diamètre n'aient pas un accroissement en diamètre plus important que les autres. Ce résultat est aussi retrouvé par l'AFI⁸, globalement en futaie irrégulière l'accroissement en diamètre est indépendant du diamètre.

⁸ Association Futaie Irrégulière

II) Exploitation de la base de donnée et recherche des éléments corrélés à l'accroissement des chênes.

1) Présentation de la base de donnée

a) La base de donnée

La base de données du SIGFRA contient beaucoup de mesures différentes, certaines sont systématiques et réalisées pour chaque arbre, d'autres ont été prises sous certaines conditions ou seulement à certains cycles de mesure c'est le cas des notes de Houppier par exemple. La plupart des aspects propres à la base de donnée seront traités et détaillés lors du traitement statistique. A gauche une présentation préliminaire de la répartition des accroissements (figure 1) et l'Accroissement en fonction du diamètre (figure 2).

Présentation des Variables utilisées (en Annexe 1 une présentation plus exhaustive) :

- **Diam 1** le diamètre pris en regardant le centre de la placette
- **Diam2** le diamètre perpendiculaire à Diam1
- **Dm** le diamètre moyen
- **AccD** l'accroissement en diamètre des arbres mesurés.
- **G_precomptable** la surface terrière précomptable ($\text{Diam} \geq 17.5\text{cm}$) de la placette de l'arbre concerné en m^2/ha . Donnée toujours calculable puisque chaque placette contient un relevé des individus sur une certaine distance.
- **G_total** la surface terrière précomptable + non_précomptable ($7.5\text{cm} < \text{Diam} < 17.5\text{cm}$ sur un rayon de 10m autour du centre de la placette) de la placette de l'arbre concerné en m^2/ha . Donnée toujours calculable puisque chaque placette contient un relevé des individus sur une certaine distance
- **Houppier** une variable qualitative variant de 1 à 5, 1 caractérisant un houppier très peu développé et 5 au contraire un houppier très étalé.
- **Statut** une variable qualitative caractérisant la dominance de l'arbre, 1 l'arbre est dominant, 2 codominant, 3 dominé.
- **Sante** une variable qualitative prise lors des cycles 1 et 2 variant de 0 à 5. La note évalue le pourcentage de rameaux manquant dans le houppier à la lumière. 0 étant la meilleure note et 5 la pire.
- **Defoliation**, issue du protocole DEPERIS, note prise au cycle 3, attribue une note comprise entre 0 (Défoliation très légère) et 5 (Défoliation massive arbre dépérissant) en fonction du pourcentage de défoliation du houppier (hors mortalité par compétition)
- **Mort_rameaux** issue du protocole DEPERIS, note prise au cycle 3, attribue une note comprise entre 0 (Défoliation très légère) et 5 (Défoliation massive arbre dépérissant) en fonction du pourcentage de mortalité des rameaux du houppier (hors mortalité par compétition).

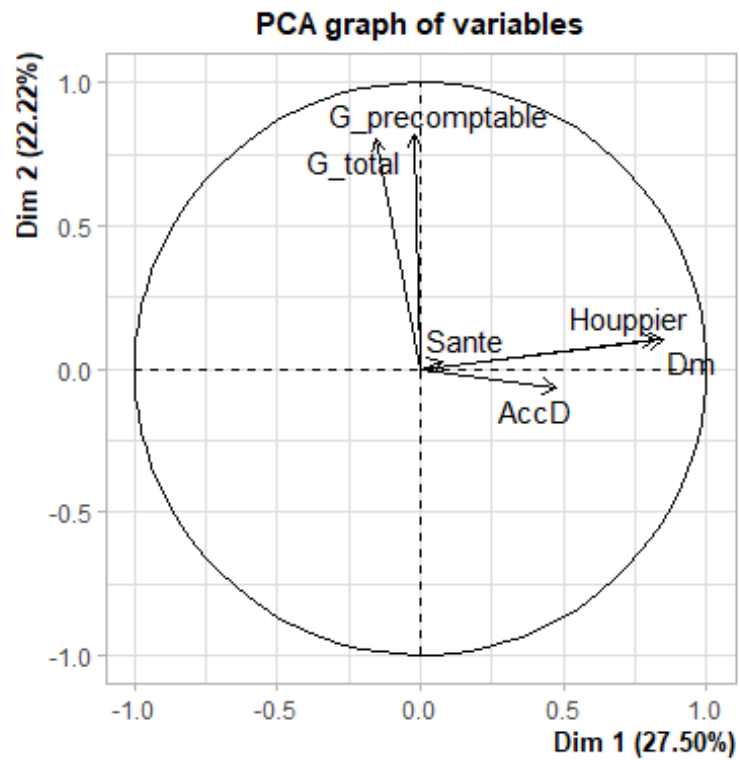


Figure 3 : Graphe des variables ACP, pour la modalité Sante

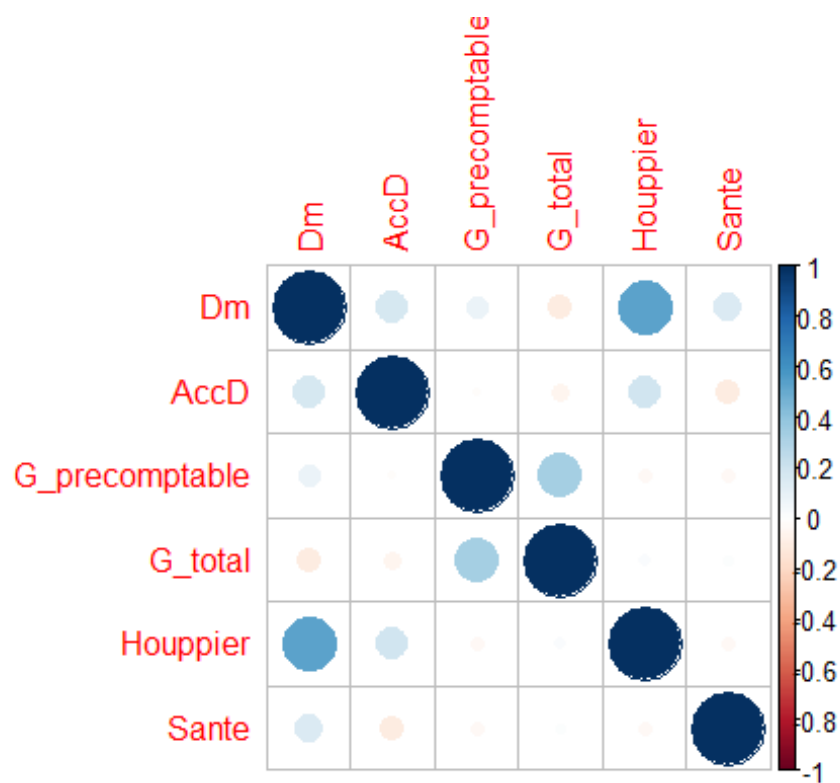


Figure 4 : Graphique des corrélations pour la modalité Sante, coefficient de corrélation en ordonnée

b) Recherche des corrélations par ACP

Les ACP⁹ se réalisent sur des variables numériques quantitatives. Ainsi nous allons réaliser une première ACP avec les valeurs suivantes en prenant ces variables comme numériques (quantitatives) et non comme des facteurs (qualitatifs) :

- **Dm**
- **AccD**
- **G_precomptable**
- **G_total**
- **Houppier**
- **Sante**
- **Defoliation**
- **Mort_rameaux**

La modalité “état sanitaire” a été évaluée selon deux protocoles, la modalité **Sante** mais aussi selon le protocole **DEPERIS** (pour 587 mesures) constitué de deux notes allant de 0 à 5 avec une composante **Mort_rameaux** caractérisant la mortalité des rameaux. A cet aspect s’ajoute la composante **Defoliation**. On reprend les paramètres pris pour la première ACP, hors note **Houppier** car cette note n’est pas attribuée au 3ème cycle de mesure, cycle durant lequel on attribue la note **DEPERIS**

Première analyse du cercle des corrélations avec la modalité sanitaire « **Sante** » : (cf figure 3)

Cette analyse a été menée à partir de 4587 mesures de chênes.

La variable **AccD** ne semble pas être corrélée aux variables caractérisant la surface terrière. La variable **Sante** est assez mal représentée sur les deux premières dimensions et ne semble pas être corrélée avec l’accroissement **AccD**. En revanche la note de **Houppier** est corrélée positivement avec l’accroissement. Ces résultats restent à nuancer car seule 50% de la variance est représentée sur les deux premières dimensions c’est assez faible. Pour un bon modèle on obtient 80% de la variance sur les 2 premières dimensions.

Visualisation des corrélations, paramètre sanitaire « **Sante** » (cf figure 4)

Il

n’y a pas de corrélation flagrante, si ce n’est la relation entre le Diamètre moyen et la note de Houppier. Cette corrélation est assez facilement observable, les gros bois ont souvent de gros houppiers puisqu’ils ont souvent atteint l’étage dominant et qu’ils ont pu se développer.

⁹ ACP : Analyse en Composante Principale

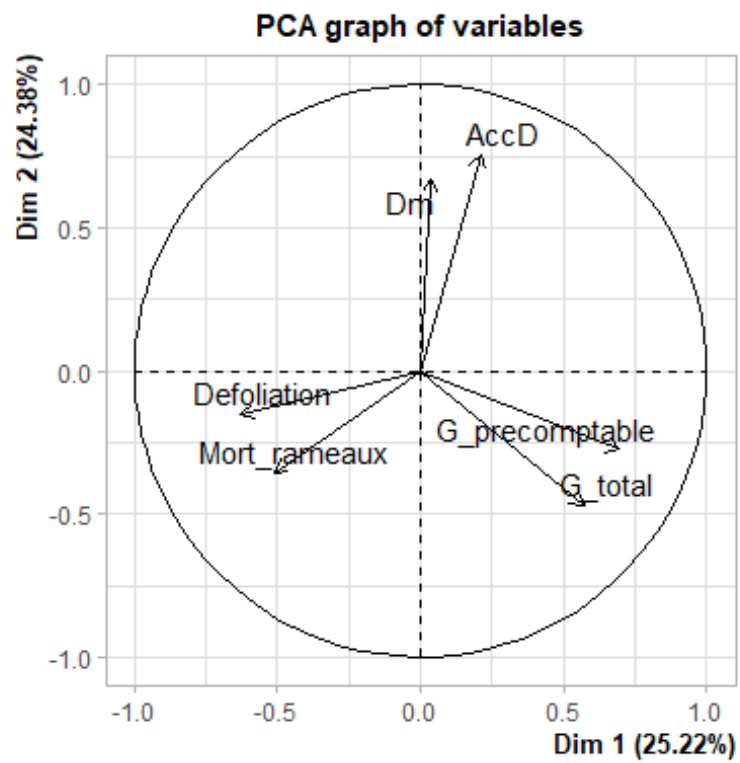


Figure 5 : Graphe des variables ACP, modalité DEPERIS

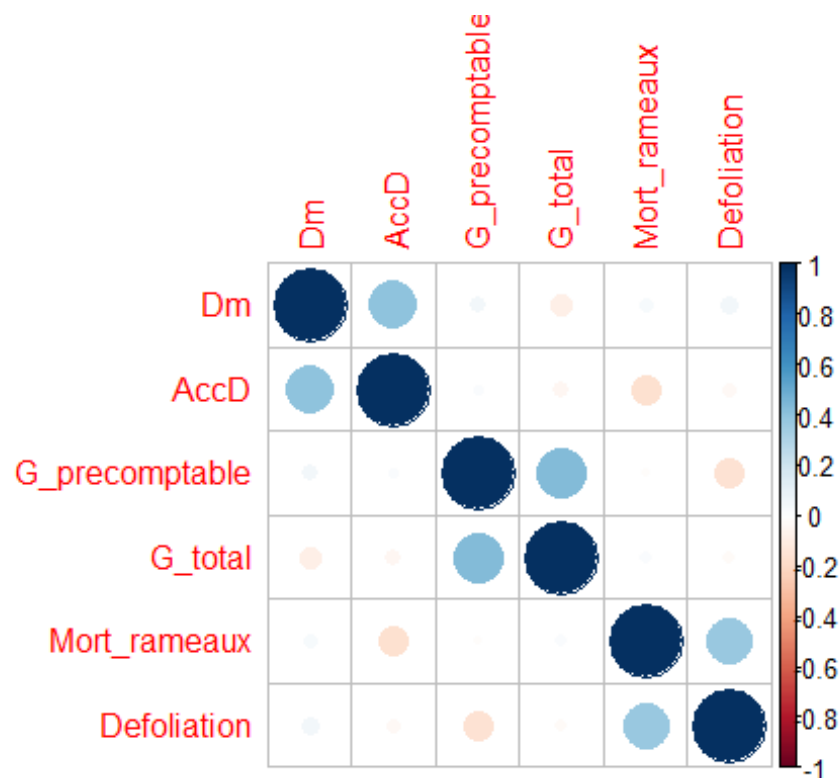


Figure 6 : Graphique des corrélations pour la modalité DEPERIS, coefficient de corrélation en ordonnée

Le G_total et le G_precomptable sont des variables liées puisque G_total prend aussi en compte G_precomptable.

Première analyse du cercle des corrélations avec la modalité **DEPERIS** : (cf figure 5)

Cette analyse a été menée à partir de 587 mesures de chênes.

Seule 49% de la variance est présente sur les deux premières dimensions, il y a des corrélations notables entre les deux notes de DEPERIS, ce qui semble logique, et une nouvelle corrélation entre l'accroissement et le Diamètre moyen. On rappelle que 49% de la variance sur les deux premiers axes, ce n'est pas suffisant pour tirer de réelles conclusions.

Visualisation des corrélations, paramètre sanitaire « DEPERIS »(cf figure 6)

La corrélation entre Dm et l'accroissement apparaît, elle n'apparaissait pas dans le premier graphe, peut-être était-elle cachée par les autres variables, peut-être que les arbres sur lesquels le protocole DEPERIS a été appliqué au cycle 3 sont des gros arbres résistants. La mesure DEPERIS s'est substituée à la note de Sante sur les mêmes arbres, les arbres ayant une note DEPERIS sont donc des arbres qui ont subsisté au cours des trois cycles et qui sont donc potentiellement plus gros et vigoureux (donc accroissements meilleurs) que les autres. C'est peut-être pour cette raison que cette corrélation apparaît ici. On observe aussi une corrélation entre les deux notes de DEPERIS, on en déduit donc que lorsqu'un arbre dépérit ou au contraire à un état sanitaire correcte le feuillage et la branchaison sont approximativement au même niveau.

2) Tentative de mise en place d'un modèle prédictif des accroissements du chêne

Pour tous les modèles mis en place, il faut savoir que c'est une variable quantitative (l'accroissement) que l'on souhaite expliquer / interpréter à partir de variables qualitatives et/ou quantitatives.

a) Le choix du modèle statistique mis en place : L'Analyse de Covariance (ANCOVA)

L'analyse de covariance va permettre l'explication d'une variable **quantitative** par des variables **qualitatives et quantitatives**. Pour ce modèle on choisira de tester le rôle de plusieurs variables retenues et les interactions entre les variables qualitatives et quantitatives.

```
mod=lm(AccD~(Dm+G_precomptable+G_total)*(Houppier+Sante), data=tabsante)
#On teste les interactions entre les facteurs et les variables numériques
par(mfrow=c(2,2))
plot(mod)
```

Figure 7 : Modèle mis en place pour l'ANCOVA

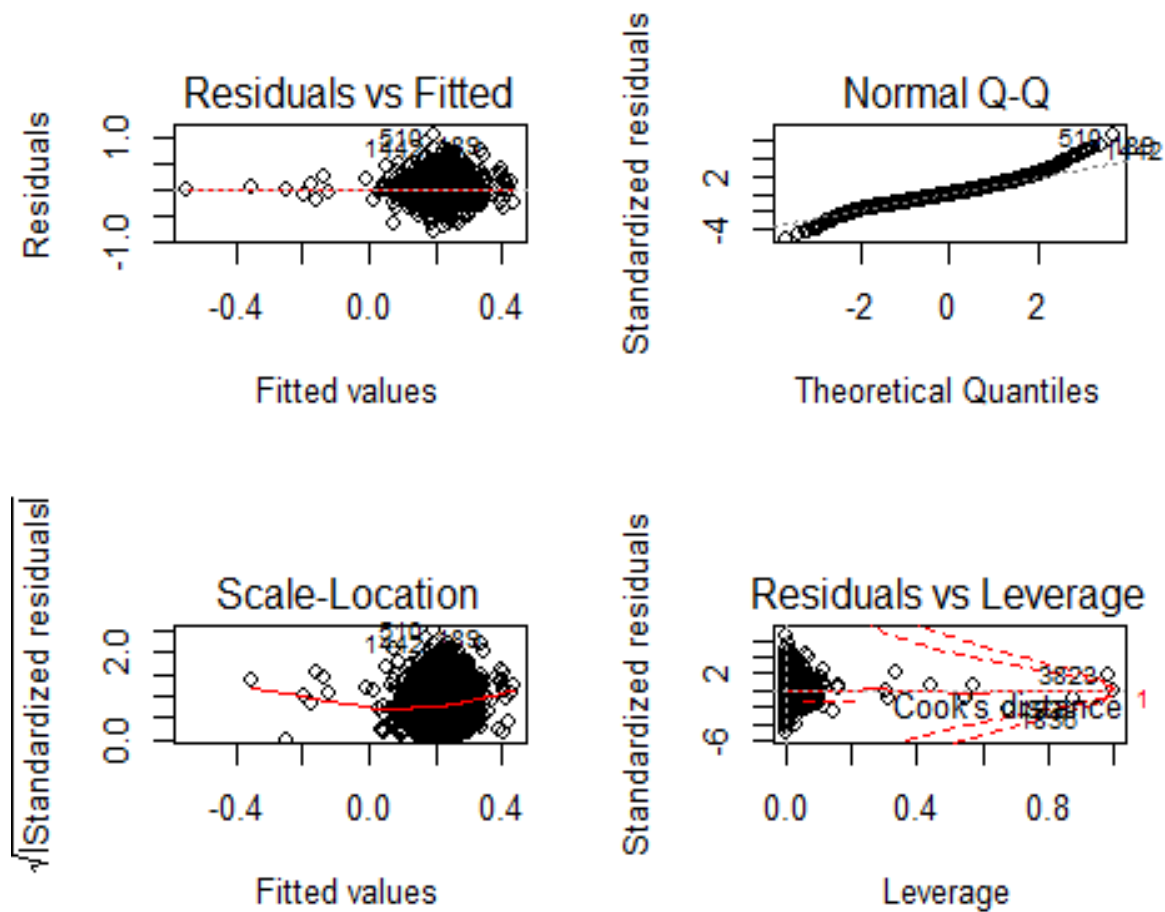


Figure 8 : Présentation des résidus de l'ANCOVA

Afin de ne pas alourdir le modèle nous avons choisi de travailler avec la modalité « **Sante** » plutôt qu'avec les notes de **DEPERIS**, car ces deux notes donnent une information sur l'état sanitaire de l'arbre, et il y a beaucoup plus d'arbre présentant une note de **Sante** qu'une note de **DEPERIS**, de plus avec la note de **Sante** figure aussi une note de « **Houppier** ». Lors des ACP cette note est ressortie corrélée avec l'accroissement. Nous faisons donc le choix de travailler avec tous les arbres présentant : **Dm**, **AccD**, **G_precomptable**, **G_total**, **Houppier** et **Sante**. Comme la variable « **Statut** » est assez redondante avec la note de houppier, il a été jugé préférable de ne pas alourdir le modèle avec celle-ci. Les arbres pour lesquels une de ces informations serait manquante ne seront pas traités. A gauche l'écriture du modèle sous R (figure 7)

b) Analyse des résidus du modèle

La validation des hypothèses de normalité sera ici détaillée, elle est réalisée pour chaque test mais ne sera pas détaillée pour les prochains tests. Les résidus de l'ANCOVA sont présentés sur la page de gauche, figure 8.

Residuals vs Fitted : Nous remarquons que l'hypothèse, $E(E_i)$ est nulle, est vérifiée.

Normal Q-Q : L'hypothèse de distribution normale des quantiles est discutable mais au vu du très grand nombre de valeur, on peut appliquer le Théorème Central Limite et affirmer qu'en moyenne les queues de distribution suivent aussi des lois normales.

Scale-Location : Au niveau des résidus standardisés, la variance est variable, on considèrera cela acceptable en ce qui concerne l'homoscédasticité.

Residuals Vs Leverage : Aucun point ne présente de fort impact sur le jeu de données.

Conclusion : Nous pouvons utiliser le modèle tout en sachant que lors des interprétations que les résidus ne sont pas distribués de façon "idéalement" normale.

```
## Call:
## lm(formula = AccD ~ (Dm + G_precomptable + G_total) * (Houppier +
##     Sante), data = tabsante)
##
## Coefficients: (2 not defined because of singularities)
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)   -6.1076065   5.0195342  -1.217   0.2238
## Dm              0.1662982   0.1443576    1.152   0.2494
## G_precomptable  0.0094028   0.0070363    1.336   0.1815
## G_total       -0.0008187   0.0033565   -0.244   0.8073
## Houppier1      6.2500963   5.0185228    1.245   0.2130
## Houppier2      6.2961226   5.0190709    1.254   0.2097
## Houppier3      6.2290971   5.0190523    1.241   0.2146
## Houppier4      6.2085335   5.0191112    1.237   0.2162
## Houppier5      6.0532515   5.0231556    1.205   0.2282
## Sante1         0.0632407   0.0896138    0.706   0.4804
## Sante2         0.0209562   0.0831949    0.252   0.8011
## Sante3         0.0127643   0.0844210    0.151   0.8798
## Sante4        -0.0015865   0.1135065   -0.014   0.9888
## Sante5        -0.0327945   0.6423033   -0.051   0.9593
## Dm:Houppier1   -0.1650071   0.1443382   -1.143   0.2530
## Dm:Houppier2   -0.1654822   0.1443562   -1.146   0.2517
## Dm:Houppier3   -0.1634436   0.1443557   -1.132   0.2576
## Dm:Houppier4   -0.1637187   0.1443558   -1.134   0.2568
## Dm:Houppier5   -0.1623103   0.1444087   -1.124   0.2611
## Dm:Sante1      -0.0006638   0.0014363   -0.462   0.6440
## Dm:Sante2      -0.0001614   0.0013482   -0.120   0.9047
## Dm:Sante3      -0.0002946   0.0013688   -0.215   0.8296
## Dm:Sante4       0.0001169   0.0019696    0.059   0.9527
## Dm:Sante5      -0.0047661   0.0108754   -0.438   0.6612
## G_precomptable:Houppier1 -0.0115995   0.0067558   -1.717   0.0861
## G_precomptable:Houppier2 -0.0083911   0.0064782   -1.295   0.1953
## G_precomptable:Houppier3 -0.0091943   0.0064671   -1.422   0.1552
## G_precomptable:Houppier4 -0.0043554   0.0065688   -0.663   0.5073
## G_precomptable:Houppier5      NA            NA            NA            NA
## G_precomptable:Sante1    -0.0011372   0.0032619   -0.349   0.7274
## G_precomptable:Sante2    -0.0023891   0.0030363   -0.787   0.4314
## G_precomptable:Sante3    -0.0005617   0.0030910   -0.182   0.8558
## G_precomptable:Sante4    -0.0046589   0.0044951   -1.036   0.3001
## G_precomptable:Sante5     0.0288302   0.0294494    0.979   0.3276
## G_total:Houppier1     0.0019255   0.0031632    0.609   0.5428
## G_total:Houppier2    -0.0005215   0.0029741   -0.175   0.8608
## G_total:Houppier3     0.0003899   0.0029688    0.131   0.8955
## G_total:Houppier4    -0.0009234   0.0030025   -0.308   0.7585
## G_total:Houppier5      NA            NA            NA            NA
## G_total:Sante1       0.0003967   0.0017855    0.222   0.8242
## G_total:Sante2       0.0007331   0.0016664    0.440   0.6600
## G_total:Sante3      -0.0006557   0.0016756   -0.391   0.6956
## G_total:Sante4      -0.0006806   0.0024576   -0.277   0.7818
## G_total:Sante5      -0.0326601   0.0344009   -0.949   0.3425
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.1623 on 4522 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.08191, Adjusted R-squared: 0.07359
## F-statistic: 9.84 on 41 and 4522 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Figure 9 : Résultats de l'ANCOVA

c) Interprétation de l'ANCOVA

Rappel : Les indicateurs de pertinence d'un test :

- **Residual standard error** qui nous donne l'intervalle de confiance au risque $\alpha = 5$,
- **Adjusted R-squared** le r^2 (ajusté) du modèle, donne le pourcentage d'explication de la variance du modèle.
- **Signif.codes** qui donnent la significativité de la variable en question

Ici le modèle est très mauvais (figure 9) puisqu'il propose une prédiction avec un $r^2 = 0.07$ et un intervalle de confiance à $\pm 0.16\text{cm/an}$. Sachant que l'accroissement moyen des chênes mesurés est de 0.19cm/an , la précision du résultat laisse à désirer. Aucune des variables ne ressort comme significativement impactante. Il semblerait qu'il ne soit pas envisageable de prédire l'accroissement des chênes de façon pertinente.

Nous allons donc essayer des modèles plus simples en limitant ainsi les possibles confusions d'effet dû à l'utilisation de trop de variables potentiellement déjà corrélées entre elles.

3) Face à l'impossibilité de prédire l'accroissement, recherche d'éléments significativement explicatifs

a) Test d'influence des facteurs (un à un) sur l'accroissement

Le but de cette partie est de mettre en évidence des corrélations ou des différences significatives notables à plus petite échelle en limitant les confusions d'effets.

Il est possible de trouver des modèles statistiques viables, mais au vu des précédents résultats cela semble peu probable.

Ce qui sera certainement le plus intéressant sera la découverte de différences significatives au cas par cas afin d'isoler ces variables représentatives et, par suite, refaire tourner de plus gros modèles à partir de ces variables sélectionnées dans l'espoir d'améliorer le modèle.

Afin de pouvoir utiliser les variables significatives dans la mise en place de modèles plus pertinents, nous allons isoler de façon binaire les variables (qui sont des variables non numériques de type facteur). Ainsi les variables significatives se verront attribuer un "1" et les non significativement différentes un "0". Ensuite, à l'aide d'un filtre sélectionnant les variables

avec des “1”. On ne fera tourner un modèle qu’avec les paramètres ayant un impact significatif sur les accroissements du chêne.

Pour cette sous partie a), l’ensemble des sorties R des tests ANOVA seront mises en ANNEXE 1.

i) *Test du facteur Station :*

Ecriture du modèle (ce sera le même modèle pour les autres facteurs modulo la variable traitée):

Nous posons l’accroissement :

$$Y_{i,k}$$

avec :

- **i** la i-eme **Station**,
- **k** la k-eme **mesure d’accroissement** pour une station i, allant de $k \in (1, \dots, n_i)$

Nous avons donc :

$$Y_{i,k} \rightarrow N(\mu_i, \sigma^2)$$

D’où, une écriture singulière :

$$Y_{i,k} = \mu + \alpha_i + E_{i,k} \text{ avec } E_{i,k} \rightarrow N(0, \sigma^2)$$

Nous avons $(1 + I)$ paramètres pour I degrés de liberté, on pose donc la contrainte $\alpha_1 = 0$.

R prend la première station en référence et les différences entre les stations seront renseignées par rapport à la station de référence. La significativité des tests repose sur une comparaison entre la station de référence et la station étudiée.

Afin de pouvoir mettre différents types de corrélations en évidence, des groupes stationnels ont été mis en place. Initialement, à chaque placette est attribuée une station Rameau, or ces stations ont aussi des équivalents (moins nombreux) avec les Unités Stationnelles du catalogue des stations de 2004. Le regroupement peut-être intéressant car il donne un poids statistique identique à des groupes stationnels. Ce qui n’est pas le cas lorsque l’on travaille avec les stations Rameaux qui sont très détaillées, dans ce cas on donne autant de poids à chaque station et lorsqu’il y aura 2 stations très proches et une assez différente, R donnera autant de poids au 3 alors qu’a priori on devrait donner plus de poids à la station différente qu’aux deux stations qui, ne se distinguent potentiellement que par la présence d’une espèce indicatrice et quelques cm de profondeur du sol en plus.

Dans un but de réduction des variables on a aussi réduit les stations Rameaux à leur position topographique (“Plateaux Calcaire” , “Versant”, “Fond de vallee”, “Fond de Vallon”)

(cf summary(anovaType_US), Annexe 1)

Le modèle est mauvais mais on choisit de s'intéresser aux différences significatives qui ressortent (avec une p-value < 0.05). Ici tous les éléments ressortent hormis les stations « fond de vallon » qui ne se distinguent pas significativement du type de station « fond de vallée » dont on fera remarquer la forte proximité stationnelle.

Essayons en regroupant les stations rameau selon les unités stationnelles du catalogue de 2004.
(cf summary(anovaUS), Annexe 1)

Après avoir pris connaissance des stations US (moins nombreuses et mieux représentées) significativement impactantes, on trie les stations de façon binaire en ne gardant que les significatives pour le modèle généralisé à venir.

ii) *La station et sa Réserve Utile (RU)*

Avant de passer au prochain facteur, il semble nécessaire d'aborder une variable incluse dans la notion de station : la Réserve Utile (**RU**). Bien que la pluviométrie ne soit pas à disposition, la **RU** des sols reste un stockage potentiel d'eau dont l'effet sur les chênes a déjà été mesuré (BREYSSE et al., 2019).

Chaque station du catalogue Rameau présente un solum de référence avec des textures. De ce solum a été calculé une Réserve Utile. L'intérêt serait donc de tester la corrélation entre la **RU** et l'**Accroissement** des chênes. Ainsi on réalise une régression linéaire simple tenant compte de la **RU** et de l'**Accroissement**. (cf summary(reg), Annexe 1)

Le modèle qui ressort n'explique que 0.1% de la variance de l'accroissement ce n'est pas utilisable d'autant plus que l'intervalle de confiance à 95% donne des intervalles à $\pm 0.14\text{mm/an}$ alors que l'accroissement moyen est de 0.2mm/an . Certes la **RU** a un impact significatif mais celui-ci n'est pas quantifiable et ressort dans les test ANOVA **Station**. On fera donc le choix de continuer à travailler avec les **Stations** et non pas la **RU**.

iii) *Test du facteur Sante :*

(cf summary(Anova1Sante), Annexe 1)

Le modèle est mauvais mais les différences significatives sont cohérentes ! les stades de santé 0,1,2 et 4,5 ont donc un impact significatif sur l'accroissement (attention, cela ne signifie pas que cet impact soit important).

iv) *Test du facteur Houppier*

(cf summary(ANOVA 1 Houppier), Annexe 1)

Toutes les notes de **Houppier** ressortent significativement, le facteur "note de houppier" semble être assez corrélé à l'accroissement, bien qu'on ne puisse pas faire de prédiction.

v) *Test du facteur Statut*

(cf summary(ANOVA1Statut), Annexe 1)

Tout comme la note de houppier, le **Statut** apporte un indice significatif sur l'accroissement du chêne. Les notes de Houppier et de Statut apporte certainement la même information sous des notations différentes, en effet un arbre à gros houppier est très souvent dominant alors qu'au contraire un arbre dominé à souvent une note de houppier assez faible.

vi) *Test du facteur Defoliation (DEPERIS)*

On teste donc dans cette partie deux modalités, la note de Defoliation et la note de Mortalité des rameaux.

(cf summary(anovadefolia), Annexe 1)

Le paramètre **Defoliation** semble très peu significatif il ne sera donc pas conservé dans le cadre de la mise en place d'un modèle n'utilisant que les variables ayant un impact significatif sur l'Accroissement.

vii) *Test du facteur Mortalite_Rameaux (DEPERIS)*

(cf summary(anova_Mort_rameaux), Annexe 1)

On retiendra pour significatives les notes 0 et 3 du protocole DEPERIS pour la catégorie mortalité des rameaux.



Figure 10 : Logo de Pro Silva France



Figure 11 : Chêne indicateur de la proximité d'un centre de placette (avec un P bleu)

```
mod=lm(AccD~(G_precomptable*Houppier+Sante+Station_US+Statut), data=filtres
tation_US_signif)
par(mfrow=c(2,2))
plot(mod)
```

Figure 12 : Modèle de l'ANCOVA avec les éléments significativement impactant, écriture sous R

```
summary(mod)

##
## Call:
## lm(formula = AccD ~ (G_precomptable * Houppier + Sante + Station_US +
##   Statut), data = filtrestation_US_signif)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.77343 -0.10953 -0.01155  0.09070  0.83970
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)      1.217285    0.895435   1.359   0.1741
## G_precomptable    -0.083930    0.058884  -1.425   0.1542
## Houppier1         -0.954339    0.895672  -1.065   0.2867
## Houppier2         -1.024458    0.893954  -1.146   0.2519
## Houppier3         -1.051678    0.893897  -1.177   0.2395
## Houppier4         -1.083898    0.894172  -1.212   0.2255
## Houppier5         -1.245252    0.902250  -1.380   0.1677
## Sante1             0.005777    0.015968   0.362   0.7175
## Sante2            -0.029474    0.014683  -2.007   0.0448 *
## Sante4            -0.112110    0.021332  -5.256 1.59e-07 ***
## Sante5            -0.357734    0.071652  -4.993 6.33e-07 ***
## Station_USUS12     0.177144    0.070353   2.518   0.0119 *
## Station_USUS2      0.077020    0.052815   1.458   0.1449
## Station_USUS3      0.092862    0.053776   1.727   0.0843 .
## Station_USUS4      0.112740    0.053678   2.100   0.0358 *
## Station_USUS5      0.126090    0.072769   1.733   0.0833 .
## Statut2           -0.043414    0.008928  -4.863 1.22e-06 ***
## Statut3           -0.095481    0.022892  -4.171 3.13e-05 ***
## G_precomptable:Houppier1  0.078055    0.058967   1.324   0.1857
## G_precomptable:Houppier2  0.082623    0.058896   1.403   0.1608
## G_precomptable:Houppier3  0.084724    0.058891   1.439   0.1504
## G_precomptable:Houppier4  0.087963    0.058906   1.493   0.1355
## G_precomptable:Houppier5  0.102128    0.059278   1.723   0.0850 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.1664 on 2713 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.08979, Adjusted R-squared:  0.08241
## F-statistic: 12.16 on 22 and 2713 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Figure 13 : Résultats de l'ANCOVA sur les éléments significativement impactants

b) Mise en place du modèle épuré des données à l'impact non significatif sur l'Accroissement

Le test va être réalisé avec la modalité **Sante** concernant l'état sanitaire, cette mesure est couplée à une mesure de **Houppier** dont on se servira dans le modèle. De plus la note de **Defoliation** n'apportait aucune information significative sur l'Accroissement et seules les notes 0 et 3 de mortalité des rameaux apportaient une information significative, ce qui représente trop peu d'individus pour la réalisation des tests statistiques.

Modèle : Réalisation d'une analyse de covariance, les seules variables numériques sont le G_precomptable et l'AccD, les autres sont pris pour des facteurs (cf figure 12)

Hypothèses du test :

$$H_0: Y_{i,k} = \mu + E_{i,k} \text{ avec } E_{i,k} \rightarrow N(0, \sigma^2)$$

$$H_1: Y_{h,s,st,k} = \mu + \alpha_h + \alpha_s + \alpha_{st} + (\beta + \gamma_h) * x_{h,s,st,k} + E_{h,s,st,k} \text{ avec } E_{h,s,st,k} \rightarrow N(0, \sigma^2)$$

On a testé l'interaction **Houppier** et **G_precomptable** car nous savons que le chêne est une essence dont le houppier est sensible à la concurrence (Guide des sylvicultures - Chênaies continentales, ONF, 2008). On a choisi de travailler avec les stations US significatives car en ne retenant que les quelques stations rameau significatives il n'y avait pas assez d'arbres (seulement 2 stations rameau avaient des arbres dont toutes les variables disponibles pour le traitement statistique étaient présentes).

Résultat et Interprétation du test (cf figure 13) :

- Ici l'intercept est le μ , le $x_{h,s,st,k}$ représente le **G_precomptable** de la placette sur laquelle se trouve l'arbre(c'est une variable quantitative à renseigner dans le modèle. Le β représente le estimate **G_precomptable**. Le γ_h représente l'interaction entre G_precomptable et le houppier h (cette valeur est donc l'estimate G_precomptable:Houppier“h”)

On observe sur ce modèle des impacts (dont la quantification est floue) significatifs sur l'Accroissement. En revanche pour ce qui est de l'interprétation des interactions G_precomptable:Houppier c'est plus complexe puisque rien ne ressort.

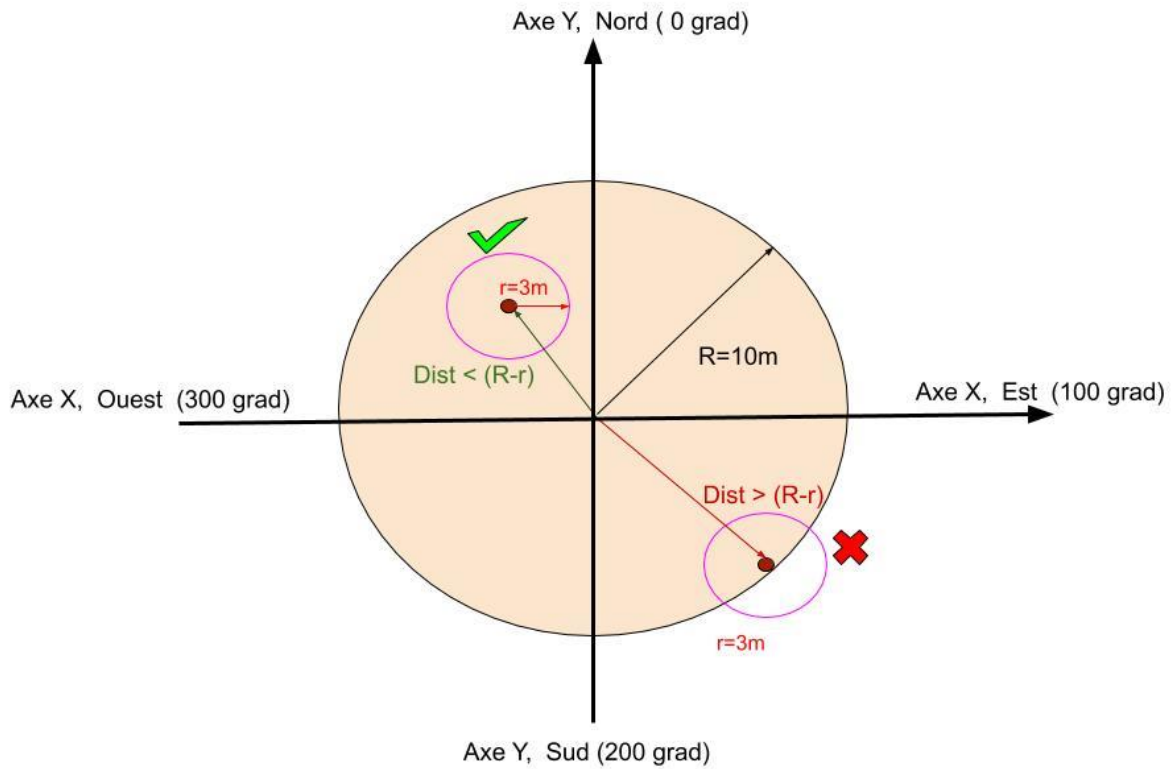


Figure 14 : Schéma détaillé de la prise en compte des arbres sur la placette selon le modèle

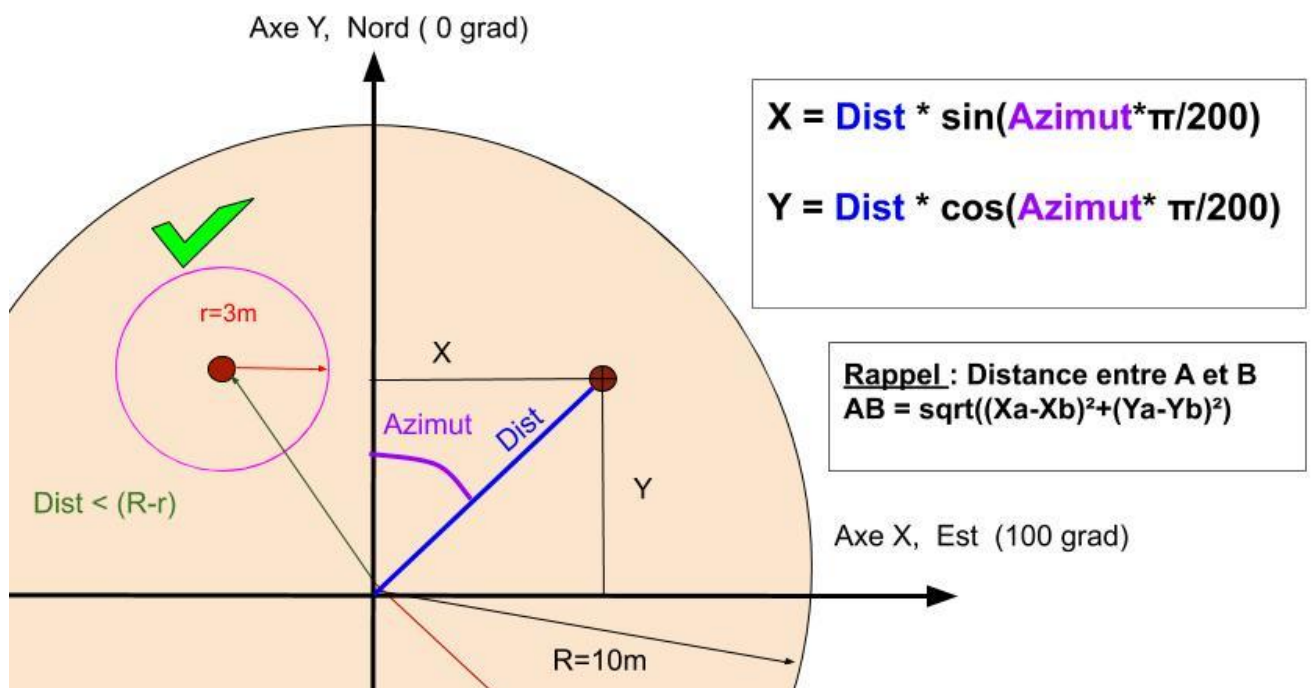


Figure 15 : Schéma détaillé du placement des arbres dans l'espace selon le modèle

4) Travail sur la base de donnée et mise en place d'une variable de concurrence

a) Explication et mise en place de la variable de concurrence

Les notes de Houppier et de Statut faisant partis des facteurs impactant (significativement) l'accroissement des individus mesurés, il semble nécessaire d'approfondir les recherches concernant leurs rôles, d'autant plus que la base de donnée le permet. En effet tous les arbres de diamètre moyen supérieur à 12.5cm ont été relevés (Azimut, Distance et Essence) dans un rayon de 10m. Grâce à ces données il est possible de réaliser une cartographie des arbres présents dans un rayon de 10m.

Le modèle de concurrence souhaite répondre à la problématique suivante « Dans quelle mesure l'accroissement des chênes est-il impacté par la concurrence des houppiers voisins et inférieurs ? ». Par houppier « inférieur » on entend la concurrence dite « par le bas », une concurrence assez présente dans les anciens taillis-sous-futaie du SIGFRA.

Ainsi nous avons souhaité mettre en évidence l'impact de la concurrence sur l'accroissement des chênes. Pour cela il fallait définir un rayon d'étude autour du chêne en question (dont la distance au centre de la placette est inférieure à 10m). La zone d'étude est de rayon $R=10m$, ce qui est assez peu. Si l'on choisit un rayon d'étude autour d'un chêne de r mètre alors on ne pourra travailler que sur les chênes qui ont une distance au centre de $(10 - r)$, (cf figure 14) en effet si on prend $r=5m$ et la distance du chêne au centre de la placette est de 9m alors on ne « verra » pas l'effet d'un arbre de 20cm à 11m...pourtant celui-ci est à 2m du chêne étudié. Plus on prendra r grand et moins on aura de chênes ce qui est assez dérangent pour des études statistiques. Finalement il a été décidé de travailler sur un rayon $r=3m$ ce qui nous autorise à considérer tous les chênes dans un rayon de 7m par rapport au centre de la placette. Il ne reste plus qu'à calculer la distance entre les arbres afin de savoir si ceux-ci interagissent ou non dans un rayon r (cf figure 15).

Pour la concurrence, il a été choisi de considérer les tiges mesurées au cycle 1 pour la note de concurrence puisque ces tiges ont impacté l'arbre et peuvent pour autant ne plus être visibles aux cycles 2 ou 3 si elles ont été coupées. De plus le temps de réaction du chêne se fait en différé dans le temps, on peut donc supposer que l'on observe encore l'impact de ces tiges concurrentielles (ou non) présentes au cycle 1.

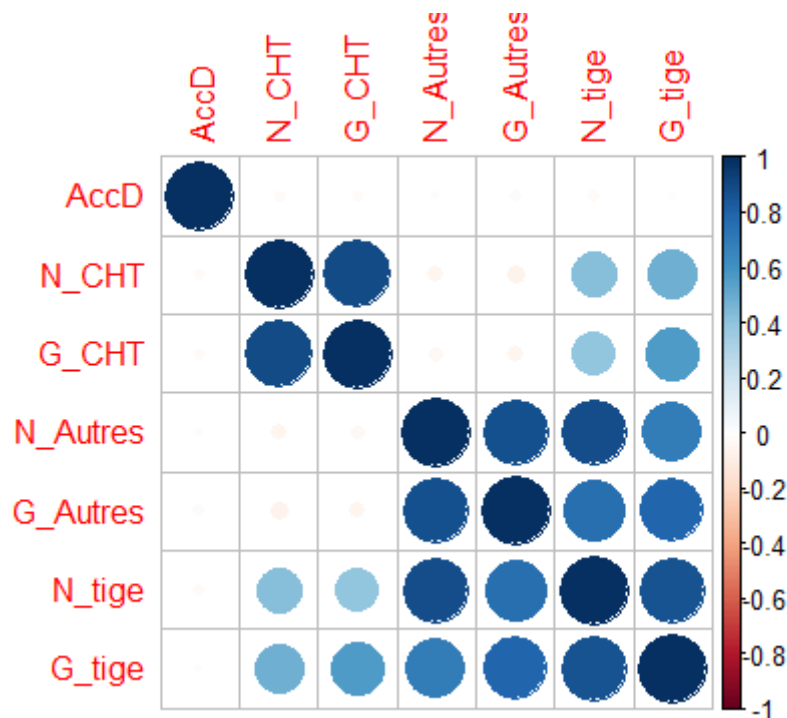


Figure 16 : Corrélations issues du modèle de gène des chênes, rayon autour des chênes : 3m

```
summary(anova1gene)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = AccD ~ Gene, data = chene_stat)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.48909 -0.07346 -0.00620  0.06318  0.66036
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  0.1640931   0.0056350   29.120  <2e-16 ***
## Gene1        0.0005492   0.0100158    0.055   0.956
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.1174 on 633 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  4.749e-06, Adjusted R-squared:  -0.001575
## F-statistic: 0.003006 on 1 and 633 DF, p-value: 0.9563
```

Figure 17 : Résultats de l'ANOVA pour la note de gene

b) Résultats et analyses

Après traitement des données et mise en place du modèle, on réalise une ACP avec les variables numériques calculées. Comme on peut l'observer (cf figure 16), il y a beaucoup de corrélations cependant aucune n'est reliée à l'accroissement « AccD » des arbres. Les corrélations visibles et fortes sont dues au fait que les variables sont liées entre elles. Le nombre de tige de Charme/Hêtre/Tilleul « N_CHT » est relié à la surface terrière de Charme/Hêtre/Tilleul « G_CHT ». En soit le modèle n'apporte pas d'informations.

Le modèle présente aussi une variable « Gene », comptabilisant de façon binaire la gêne des houppiers. Si une tige, peu importe l'essence, est dans un rayon de 3m autour du chêne alors la variable Gene vaut 1, sinon elle vaut 0. En testant cette variable avec un test ANOVA 1 facteur (1 facteur expliquant une observation quantitative, l'Accroissement). On n'observe pas d'impacts significatifs de la variable « Gene » sur l'accroissement (cf summary(anova1gene) figure 17). Or pendant la période de remesure (cf III.) on a bien observé un impact des tiges voisines et de leur houppier sur le houppier des chênes remesurés.

La **conclusion** des résultats du modèle est que **la concurrence ne se mesure pas dans un rayon de 3m.**

c) Limites et discussions du modèle

Le modèle ne tient compte des bois qu'à partir du stade perche (Diamètre moyen >12.5cm) puisque au sein de la placette de rayon 10m seul les bois précomptables sont pris, or il n'est pas dit qu'une tige de charme de 10cm de diamètre à 1m d'un chêne n'empiète pas sur le houppier du chêne.

Il pourrait cependant être envisagé de prendre en compte tous les arbres environnants c'est-à-dire qu'au-delà des 10m de rayon dans lesquels tout est inventorié, l'inventaire relascopique au facteur 1 avec Azimut, Distance et Essence pourrait être utilisé. On continuerait de ne travailler qu'avec les chênes à moins de 10m du centre mais on prendrait en compte les potentiels concurrents éloignés... On ne les verrait certes pas tous mais les ceux qui sont potentiellement gênants seraient visible. Lors des remesures (cf IV)2)) on a pu remarquer que la plupart des arbres gênant les houppiers des chênes par concurrence directe (contact horizontaux) étaient souvent des hêtres de diamètre supérieur à 35cm, à une distance du chêne

comprise entre 5 et 8m. Or au facteur 2 ces arbres sont visibles très loin puisqu'un arbre de classe 35 est visible jusqu'à 17.5m. En faisant cela on prend tout de même le risque de ne plus voir le taillis de charme et tilleul qui peut être très concurrent pour des diamètres <20cm. On pourrait aussi suggérer de regarder la distance du Gros/Moyen Bois le plus proche.

III) Phase de terrain, remesures et observations

1) Mise en place du protocole

a) Objectif du protocole

Le protocole présenté a été mis en place dans le but de vérifier qu'aucun élément flagrant non présent dans la base de donnée n'ait été oublié. Cela peut sembler présomptueux par rapport aux savoirs des forestiers de l'ONF qui parcourent la forêt, cependant l'accroissement est une donnée qu'ils n'ont jamais lorsqu'ils martèlent ou passent en forêt. Ainsi le but est ici de trouver des éléments explicatifs en connaissant déjà l'accroissement des chênes. Le second objectif est la remesure des diamètres afin de les comparer aux diamètres mesurés au 3eme cycle (2018-19) afin de mieux comprendre la présence d'accroissement négatifs. Cette phase d'observation n'a pas vocation à subir un traitement statistique poussé. Au vu du temps imparti il n'y a pas assez de données. L'intérêt restant vraiment l'observation et la compréhension des mécanismes impliqués.

b) En amont de la sortie de terrain

En aval des journées de terrains, un repérage des placettes de remesure est nécessaire. On essaiera de choisir des placettes présentant plus de 6 chênes afin d'optimiser le temps sur chaque placette, car le déplacement entre les placettes est chronophage. On mesurera les chênes dont le diamètre est compris entre [35;55] cm. On supposera de cette façon qu'on mesure des chênes plutôt dominants ou co-dominants, car mesurer des chênes dominés de diamètre plus faibles revient à rajouter un facteur fort dans l'explication de l'accroissement, de plus ceux sont eux qui posent le plus de questions économiques. On essaiera de choisir des placettes représentatives des différentes stations et présentant une forte diversité d'accroissement. Car des accroissements variés sur une station indiqueront soit une hétérogénéité stationnelle (à constater sur le terrain), ou bien au contraire une source de variations observable et non lié à la station.

c) Sur le terrain

i) *Quels chênes mesurer*

Le protocole de remesure (Annexe 2) cherche à approfondir les mesures des éléments qui sont significativement ressortis lors du traitement statistique. Entre autre la note de Houppier, l'aspect sanitaire et la concurrence. Comme l'accroissement est issu d'une mesure de Diamètre, ceux-ci ont été remesurés, les arbres dont le diamètre n'a pas pu être remesuré se



Figure 18 : Cas concret de gêne du houppier d'un chêne par un hêtre

sont vus retirés de la liste des arbres à remesurer. Les critères sélectionnés comme « empêchant une remesure » sont la présence de lierre qui biaise la mesure lorsque la liane est trop importante. Lorsque les arbres possèdent un méplat très marqué (>4cm) il est estimé que la mesure de diamètre est trop aléatoire d'une fois sur l'autre, ces chênes ne seront donc pas pris non plus.

ii) Mesure de la concurrence :

Le premier réflexe a été de penser au comptage des charpentières mortes, ces branches basses peuvent être de bon témoins d'une concurrence passée non visible lors des mesures...Cependant les branches mortes ne sont pas toujours visibles, elles peuvent être tombées et/ou décomposées. De plus l'épaisseur des branches mortes n'est pas mesurable... On a donc décidé de mesurer la hauteur de la première branche verte. Lors du second jour de mesure, face au différence de hauteurs, la décision de prendre la hauteur totale de l'arbre a été prise. En effet une branche verte à 12m ne représente pas la même information sur un arbre de 16 ou 22m. On utilisera donc le rapport (Hauteur première branche / Hauteur totale) suite à l'étude de LEGOFF, 1984.

Afin de vérifier les résultats du modèle de concurrence mis en place avec la base de donnée, les arbres en contact du houppier sont recensés, une attention plus particulière a été portée aux essences dites « agressives » et concurrentielles : Charme, Hêtre et Tilleul. On prendra donc leur nombre en contact du houppier, la distance moyenne et la somme des diamètres des tiges dont le houppier est en contact de celui du chêne. Concernant les autres essences on se contentera simplement de leur nombre en contact.

iii) Mesure de l'extension du houppier

Comme la note de houppier était significativement impactante, on a souhaité mettre en place un protocole de mesure plus précis mais qui ne soit pas trop long. On a donc pris les mesures d'étendue de houppier aux 4 points cardinaux. Pour chaque point cardinal on projette le bout de la branche au sol et on mesure la distance de la projection au tronc (cf schéma du protocole en Annexe 2). Afin de gagner en rapidité la distance de la projection au tronc donne lieu à trois notes en fonction de si la projection est à moins de 3m du tronc, entre 3 et 6m ou plus loin que 6m. Ces 3 classes rendent les estimations plus rapides.

iv) Mesure de l'état sanitaire :

Les blessures au pied ont été relevées en faisant la différence entre blessures cicatrisées et pourries.

Lors de la première journée, il est apparu différents types d'écorce qui ne semblaient pas être dus à l'essence de chênes. Certaines plaques d'écorces étaient sèches, se desquamaient en fines plaque sur le dessus ou étaient perforées. Dans le doute et devant la facilité du constat une colonne de saisie correspondant à l'écorce a été mise en place avec une note binaire.

2) Analyse des résultats et discussions

a) Répartition des placettes remesurées,

Concernant le choix des placettes de remesures, il a été fait en fonction de la proportion des types de stations mesurées dans le cadre de l'inventaire. C'est-à-dire avec une majorité de stations de plateau, des stations de versant et quelques stations bas de versant. Ce choix a été fait afin d'obtenir des chênes représentatifs de ce que l'on trouve dans l'inventaire et donc avoir un échantillon que l'on puisse comparer à l'ensemble de l'inventaire. On rappelle tout de même que les remesures n'ont pas donné lieu à une analyse statistique poussée au vu du faible nombre d'individus remesuré.

Voici la répartition des stations remesurées :

Station Rameau	Catalogue 2004	Intitulé Station	Nombre d'individus	Proportion par intitulé
1210	US2	Plateau Calcaire	5	73%
1220	US2	Plateau Calcaire	35	
1230	US2	Plateau Calcaire	5	
1240	US3	Plateau Calcaire	4	
2810	US10	Versant	12	18%
2900	US12	Bas de Versant	6	9%

Tableau 2 : Répartitions des stations remesurées lors de la phase de terrain

b) Analyse des valeurs mesurées et des variables mises en places :

Après 3 jours de terrains, 67 arbres ont été (re)mesurés. Initialement une trentaine de remesure d'arbre était prévue par journée de terrain. Or une vingtaine d'arbre n'a pas été mesurée pour cause de présence gênante de lierre sur le tronc et dans 1 cas pour cause de mortalité.

Des variables ont été mises en place pour le traitement des données dont :

Somme_houppier : La somme des 4 notes de Houppier

hb_ha : Le rapport Hauteur de la première branche verte sur la Hauteur totale de l'arbre

Diam_dist : Le rapport Diamètre des tiges de Charme/Hêtre/Tilleul en contact avec le Houppier du chêne sur leur distance à celui-ci.

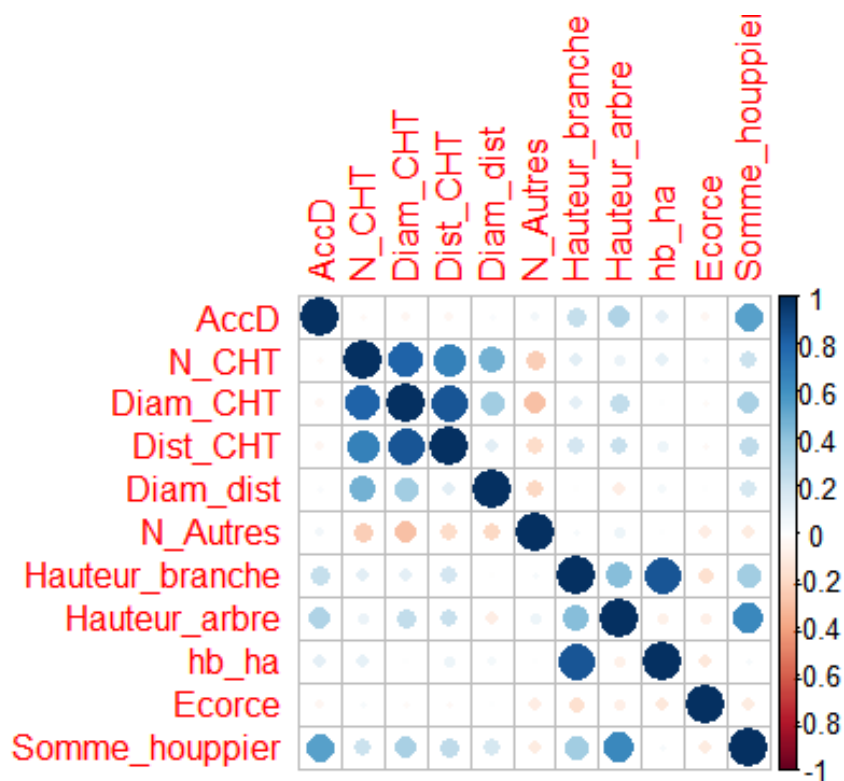


Figure 19: Tableau des corrélations entre les variables issues du protocole de remesure

N_CHT : Nombre de tige Charme/Hêtre/Tilleul en contact du houppier

N_Autres : Nombre de tige différentes de Charme/Hêtre/Tilleul en contact du houppier

Les corrélations présentent ne sont pas toutes indicatrices, en effet pour le quart Nord-Ouest du tableau on observe plusieurs corrélations positives entre les variables de concurrences avec des corrélations assez logiques, les tiges qui gênent les chênes sont d'autant plus grosses qu'elles sont loin, ce qui étaient souvent observé. Attention cependant on pouvait avoir 2 tiges de 40cm à 6 mètre et donc un diamètre de 80cm à 6m alors qu'un Hêtre de 80cm peut gêner depuis bien plus loin que 6 mètre. On observe une légère anticorrélation entre le nombre de tiges « concurrentes » et le nombre de tiges « Autres », cela semble aussi logique, les essences diverses auront, elles aussi, plus de mal à se développer sous la concurrence.

La seule variable qui propose une corrélation satisfaisante et intéressante, c'est la « Somme_Houppier », la sommes des quatre notes de houppier. L'apparition de cette corrélation est cohérente avec ce qui a été mis en évidence jusqu'ici, on proposera un traitement statistique rapide afin d'affiner la note de houppier dans la partie III)3).

c) Remesure des diamètres des chênes :

Le protocole mis en œuvre possède une composante de remesure des diamètres des arbres. Ces mesures ont en effet soulevé plusieurs questions lors du traitement des accroissements puisque sur 17 554 accroissements calculés (grâce à la base de données) seuls 1533 des accroissements sont négatifs, ce qui représente 9% des accroissements. En considérant qu'un arbre ne peut présenter d'accroissement négatif sur des intervalles d'une dizaine d'année, on peut considérer que ces accroissements négatifs sont dus à des erreurs de mesures qu'on supposera aléatoire. Avec pour principale cause, la prise de mesure (hauteur, variation selon l'agent) et l'incertitude du compas (précis au cm près). Il est vrai qu'à l'échelle de la journée les arbres présentent des variations de diamètres mais ces faibles variations sont de l'ordre du dixième de mm (CANTIANI, 1994). Ce taux d'un chêne sur 10 à l'accroissement inférieur à 0 étant assez élevé, il a été décidé de remesurer les chênes (D1 et D2) et de comparer ces remesures par le biais des accroissements. Il n'est pas pertinent de comparer les diamètres remesurés puisque 1 ou 2 ans les séparent de l'ancienne mesure... sachant qu'on souhaite vérifier les accroissements, on ne va pas utiliser ceux-ci pour comparer les diamètres sur la même année.

On compare donc l'accroissement calculé avec la base de donnée (AccD) et l'accroissement tenant compte des remesures de 2020 et des mesures du cycle 2. On obtient donc :

Delta_AccD est calculé selon la formule suivante : $AccD_{remesure} - AccD$

Remesure (cm)	AccD	AccD_remesure	Delta_AccD
Minimum	-0.19	-0.18	-0.32
1 ^{er} Quartile	0.10	0.14	-0.03
Moyenne	0.22	0.20	-0.02
3 ^{eme} Quartile	0.31	0.29	0.04
Maximum	0.63	0.55	0.21

Tableau 3 : Différences d'accroissement observées lors des mesures et remesures de diamètre

En moyenne les accroissements suivant les remesures suggèrent des accroissements plus faibles, bien que très semblables. On aurait pu s'attendre au contraire à trouver des accroissements plus haut lors des remesures afin de démontrer qu'il y avait des fautes de mesures, or ce n'est pas le cas. Au vu de l'imprécision statistique des remesures les raisonnements, explications et potentielles conclusions ne seront pas approfondis. D'autant plus qu'il n'est pas possible de revérifier la prise de diamètre du cycle 2 de mesure.

Dans le cadre des vérifications il aurait pu être intéressant de comparer les notes de houppier attribuées dans la base de donnée et la note de houppier mise en place dans le protocole. Ce n'est cependant pas possible puisqu'il n'y a que 2 arbres remesurés qui possèdent une note de houppier.

3) Réflexions et pistes d'amélioration du protocole

Pour commencer sur un compte-rendu post mise en place du protocole, il s'est avéré que prendre des mesures de Hauteurs en été pouvait être assez délicat, surtout pour les stations en fond de versant/vallon/vallée, car le sous-étage empêche souvent d'avoir une mesure de qualité.

De manière général on se rend compte que la prise de diamètre est très délicate dans certains cas et la précision des calculs qui va ressortir de ces mesures est nuancer.

Somme_Houppier	Classe
5, 6, 7	1
8, 9	2
10, 11, 12	3

Tableau 4 : Répartition des sommes de note de Houppier en classe significatives

```
summary(anova1Groupe_somme_houppier)

##
## Call:
## lm(formula = AccD ~ Groupe_somme_houppier, data = remesuresans4)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.202531 -0.055692 -0.006211  0.055610  0.292206
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)      0.17870     0.01704   10.489 1.88e-15 ***
## Groupe_somme_houppier2  0.06277     0.02500    2.511 0.014628 *
## Groupe_somme_houppier3  0.12910     0.03407    3.789 0.000341 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.09331 on 63 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.2029, Adjusted R-squared:  0.1776
## F-statistic: 8.02 on 2 and 63 DF, p-value: 0.000789
```

Figure 20 : Résultats du test ANOVA de mise en place d'une note de Somme_houppier significative

Au centimètre prêt on peut passer d'un accroissement de 0.2 à 0.3cm/an et ce qui est très différent puisqu'on passe d'un arbre à l'accroissement moyen à un arbre qui croît 1.5 fois la moyenne. Le nombre de facteurs (méplat, lierre, hauteur de mesure...) impactant la mesure de diamètre est grand est donc très souvent présent. Il est donc nécessaire et incontournable d'avoir un protocole de mesure des diamètres qui soit extrêmement clair et surtout appliqué de la même façon par tous. On pourra par exemple proposer une trace de griffe ou de peinture horizontale à l'endroit où a été mesuré le diamètre.

Concernant le choix des stations de remesure, connaissant l'impact du plateau calcaire sur la variabilité de la RU, il aurait pu être proposé de ne remesurer que les stations de versant et de fond de vallée/vallon. Cependant l'effet dalle est présent dans les mesures du SIGFRA, comment comparer les remesures aux mesures du SIGFRA si les mesures ne concernent pas les mêmes arbres. De plus le but des remesures était de repasser dans les peuplements à la recherche d'indices « flagrants », pour ce faire il est donc normal de repasser dans tous les types de stations, surtout les majoritaires.

A partir de la somme des notes de Houppier, il semble possible de mettre en place trois classes regroupant les notes de « Somme_houppier » (cf tableau 4). Ces trois classes sont significativement explicatives pour l'accroissement (cf figure 19).

4) Améliorer la compréhension des accroissements des chênes

Après cette phase de remesure, il est plus aisé d'avoir un avis sur l'accroissement d'un arbre. La phase de remesure aura été très importante car elle conforte ou contredit l'observation et la réflexion développée devant l'arbre. Il semble judicieux par ailleurs de faire ces séances avec des gestionnaires et professionnels de la forêt, par exemple en ayant cette donnée à disposition lors des discussions sur les martelosopes.

Des éléments particulièrement marquants sont ressortis pendant cette phase de terrain, entre autre la note de houppier a été un élément particulièrement indicateur et qui en plus reflète souvent la concurrence qui n'est pas visible sur la base de donnée pour des raisons de distance, d'inclinaison du tronc ou autres. Il est arrivé que la note de houppier ne soit pas cohérente avec les accroissements mesurés, la plupart du temps (lorsqu'il n'y avait pas d'incertitudes énormes sur la prise de diamètre), cette incohérence était due (supposition de l'observateur) à la station. Observations particulièrement remarquables sur Plateaux Calcaires.

Concernant le modèle de concurrence mis en place dans la première partie. Il a été observé sur le terrain que la plupart de la concurrence par le bas se situe à une distance comprise entre 1 et 6 m du tronc, ce qui est moyennement visible sur le modèle mis en place (allant chercher des tiges jusqu'à 3m). Or cette concurrence par le bas n'est qu'un aspect puisqu'il existe une concurrence latérale des houppiers par des Bois Moyen et Gros Bois de hêtre (souvent) qui sont généralement situés à une distance supérieure à 6m du chêne concerné. Si l'on décide de considérer que l'impact de la concurrence des gros hêtres est important et qu'il faut approfondir la connaissance de cet effet. Lors des remesures il a été observé que les hêtres sont souvent gênant pour les chênes s'ils ont un rapport Diamètre sur Distance suffisamment important. Je préconiserai donc des prises de mesures par individu avec un analogue du tour relascopique. Ainsi en se positionnant au niveau du chêne étudié, on sélectionnerait la concurrence grâce à un rapport (Diamètre / Distance). Cette préconisation n'est que le fruit d'observations et le « facteur relascopique » à choisir devra faire l'objet d'une étude, de la même façon la gêne n'est peut-être pas linéairement dépendante du rapport diamètre sur distance.

S'il s'avère qu'il existe un analogue du facteur relascopique utilisable et qui exprime bien la concurrence subie par les chênes, alors on pourra réaliser une étude plus poussée sur la base de donnée qui possède les informations nécessaires sur un certain périmètre. Cette méthode permettrait d'évaluer, plus que le contact, le seuil de gêne (seuil qui serait directement en lien avec le facteur relascopique choisi).

Une fois de plus on rappellera que **les travaux suggérés ne peuvent se passer de mesures de diamètre fiables.**

Conclusion

Après plusieurs traitements statistiques, il ressort rapidement que l'accroissement des chênes du SIGFRA n'est pas prédictible de façon précise. En revanche il a été possible de faire ressortir des facteurs impactant cet accroissement. La note de houppier et la station sont les facteurs qui sont ressortis statistiquement et qui ont été observés sur le terrain. Les modèles de concurrence des houppiers de chênes tenant compte des tiges environnantes sont des pistes à approfondir. Il sera cependant nécessaire de mieux caractériser la concurrence et de définir si la base de donnée actuelle est suffisante ou non pour se passer d'une grosse phase de terrain. L'hypothèse selon laquelle le taillis aurait eu un impact fort empêchant tout phénomène de reprise du chêne est aussi envisageable. Le plus important à souligner reste la prise de mesure. Il est impératif d'améliorer la justesse des mesures de diamètre afin de pouvoir travailler sur une base de donnée dont chaque accroissement soit fiable. Il faut donc préconiser la mesure envisagée par Pro Silva France, mesure consistant en la mise en place d'un trait horizontal de griffe sur les troncs à l'endroit de la prise de diamètre.

Liste des sigles et abréviations

SIGFRA : Syndicat Intercommunal de Gestion Forestière de la Région d'Auvergne

ONF : Office National des Forêts

TSF : Taillis-Sous-Futaie

SICPN : Sylviculture Irrégulière, Continue et Proche de la Nature

FFN : Fond Forestier National

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

FIE : Forêt Irrégulière Ecole

AFI : Association Futaie Irrégulière

ACP : Analyse en Composante Principale

RU : Réserve Utile

Bibliographie

SARDIN (T.) . — Guide des sylvicultures - Chênaies continentales — ONF, 2008.

(Document consulté en interne)

LE GOFF (N.) . — Indice de productivité des taillis-sous-futaie de Chêne dans la région Centre . — Annales des Sciences forestières, vol . 41, n° 1, 1984, pp . 1-35.

CANTIANI et al. — Rythmes d'accroissement en diamètre des arbres forestiers — Revue Forestière Française, n°46, 4, 1994.

BREYSSE (B.) et al. — Trop ou trop peu, le déperissement du chêne est une histoire d'eau — Forêt entreprise, n° 246, Mai-Juin 2019.

DHÔTE (JF.) . — Compétition entre classes sociales chez le chêne sessile et le hêtre — Revue Forestière Française, n°51, 2, 1999

RAMEAU (JC.) . — Typologie des stations forestières de Haute-Marne, Plateau calcaires et vallée oxfordienne — 1987. (Document consulté en interne)

MILARD (L.) ; — Les plateaux calcaires de Champagne-Ardenne, du nord-est de la Bourgogne. Guide pour l'identification des stations et le choix des essences — 2004.
(Document consulté en interne)

Annexes

Annexe 1 : Présentation chiffrée des variables mesurées sur les chênes

summary(acc)

```
##      NumForet      NumPlac      VraiForet      Station      Cycle
## Min.   :10    9_2408 :   71 Min.   :1.000    1230 :8553    1:10335
## 1st Qu.:10    65_937 :   68 1st Qu.:3.000    1220 :6760    2: 7549
## Median :10    120_834 :   61 Median :5.000    1240 :2269    3: 8228
## Mean   :10    4_2408 :   59 Mean   :4.737    1310 :2231
## 3rd Qu.:10    162_2160:   58 3rd Qu.:7.000    2810 :1859
## Max.   :10    182_3338:   57 Max.   :9.000    1210 : 806
##      (Other) :25738      (Other):3634
##      Azimut      Dist      NumArbre      Essence
## Min.   : 0.0    Min.   : 0.10    Length:26112    Chêne :11138
## 1st Qu.: 96.0    1st Qu.: 8.00    Class :character    Chêne P: 2128
## Median :196.0    Median :11.60    Mode  :character    Chêne S:12846
## Mean   :197.4    Mean   :12.33
## 3rd Qu.:301.0    3rd Qu.:16.20
## Max.   :399.0    Max.   :50.00
##
##      Diam1      Diam2      Dm      Deltat_Acc
## Min.   : 7.00    Min.   : 3.00    Min.   : 7.00    1_2      :1666
## 1st Qu.: 28.00    1st Qu.: 28.00    1st Qu.: 28.00    1_2_complet:4461
## Median : 36.00    Median : 36.00    Median : 36.00    1_3      :1537
## Mean   : 37.09    Mean   : 37.02    Mean   : 37.06    1_3_complet:4461
## 3rd Qu.: 45.00    3rd Qu.: 45.00    3rd Qu.: 45.00    2_3      : 968
## Max.   :121.00    Max.   :122.00    Max.   :121.50    2_3_complet:4461
##      NA's      :8558
##      AccD      G_precomptable      G_total      Houppier      Statut
## Min.   : -1.083    Min.   : 1.00    Min.   : 1.50    0 : 24    0 : 24
## 1st Qu.: 0.100    1st Qu.:14.00    1st Qu.: 19.66    1 :2111    1 :9426
## Median : 0.184    Median :17.00    Median : 24.39    2 :6775    2 :6754
## Mean   : 0.193    Mean   :17.39    Mean   : 26.52    3 :6599    3 :1555
## 3rd Qu.: 0.273    3rd Qu.:20.00    3rd Qu.: 30.73    4 :2147    4 : 2
## Max.   : 1.500    Max.   :37.00    Max.   :104.02    5 : 107    NA's:8351
## NA's :8558      NA's :4      NA's :4      NA's:8349
##      Sante      Mort_rameaux      Defoliation      Date
## 0 : 353    0 : 158    0 : 81    Min.   :1998
## 1 : 854    1 : 701    1 : 499    1st Qu.:1998
## 2 : 2993    2 : 202    2 : 358    Median :2008
## 3 : 1722    3 : 34     3 : 107    Mean   :2008
## 4 : 190     4 : 6      4 : 15     3rd Qu.:2018
## 5 : 19      5 : 2      5 : 4      Max.   :2019
## NA's:19981    NA's:25009    NA's:25048
```

Annexe 2 : Présentation des résultats des tests ANOVA 1 facteur

summary(anovaType_US)

```
## Call:
## lm(formula = AccD ~ Type, data = tab_US)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.28304 -0.09444 -0.01094  0.07964  1.30030
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)      0.30257    0.02905   10.417 < 2e-16 ***
## TypeFond de vallons -0.04888    0.03197   -1.529 0.126358
## TypePlateau Calcaire -0.10287    0.02907   -3.539 0.000403 ***
## TypeVersant      -0.14164    0.02916   -4.857 1.2e-06 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.1452 on 17537 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.01241, Adjusted R-squared:  0.01224
## F-statistic: 73.44 on 3 and 17537 DF, p-value: < 2.2e-16
```

summary(anovaUS)

```
## Call:
## lm(formula = AccD ~ Station_US, data = tab_US)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.31644 -0.09260 -0.00839  0.08013  1.28483
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)      0.157886    0.012850   12.287 < 2e-16 ***
## Station_USUS10    0.001875    0.013446    0.139 0.889084
## Station_USUS11   -0.059261    0.018962   -3.125 0.001779 **
## Station_USUS12    0.079662    0.015026    5.302 1.16e-07 ***
## Station_USUS13    0.067331    0.020038    3.360 0.000781 ***
## Station_USUS14    0.097670    0.049767    1.963 0.049715 *
## Station_USUS15    0.171132    0.038281    4.470 7.85e-06 ***
## Station_USUS2     0.034713    0.012924    2.686 0.007241 **
## Station_USUS3     0.057286    0.013361    4.288 1.81e-05 ***
## Station_USUS4     0.075223    0.013340    5.639 1.74e-08 ***
## Station_USUS5     0.095359    0.020864    4.571 4.90e-06 ***
## Station_USUS6     0.044028    0.033997    1.295 0.195320
## Station_USUS7     0.001202    0.015144    0.079 0.936729
## Station_USUS8     0.005475    0.015667    0.349 0.726755
## Station_USUS9    -0.013359    0.013789   -0.969 0.332651
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```



```
##
## Residual standard error: 0.1442 on 17526 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.0264, Adjusted R-squared:  0.02562
## F-statistic: 33.94 on 14 and 17526 DF,  p-value: < 2.2e-16

summary(reg_RU)

##
## Call:
## lm(formula = AccD ~ RU, data = tab_US)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.27631 -0.09161 -0.00706  0.08111  1.29613
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  1.840e-01  2.315e-03  79.463  < 2e-16 ***
## RU           1.676e-04  3.706e-05   4.522 6.16e-06 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.146 on 17539 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.001165, Adjusted R-squared:  0.001108
## F-statistic: 20.45 on 1 and 17539 DF,  p-value: 6.163e-06
```

```
summary(anova1sante)

##
## Call:
## lm(formula = AccD ~ Sante, data = tabsante)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.81950 -0.10843 -0.01950  0.09868  1.02793
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  0.191198  0.010972  17.426  < 2e-16 ***
## Sante1       0.058907  0.012731   4.627 3.81e-06 ***
## Sante2       0.028306  0.011524   2.456  0.0141 *
## Sante3       0.008144  0.011896   0.685  0.4936
## Sante4      -0.072702  0.018614  -3.906 9.53e-05 ***
## Sante5      -0.305339  0.056660  -5.389 7.44e-08 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.1668 on 4581 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.02621, Adjusted R-squared:  0.02515
## F-statistic: 24.66 on 5 and 4581 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

```
summary(anova1houppier)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = AccD ~ Houppier, data = tabhouppier)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.29002 -0.09095 -0.00761  0.08498  1.32572
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) -0.03654    0.04213  -0.867   0.386
## Houppier1    0.17083    0.04233   4.036 5.47e-05 ***
## Houppier2    0.21082    0.04218   4.998 5.87e-07 ***
## Houppier3    0.24323    0.04218   5.766 8.28e-09 ***
## Houppier4    0.27515    0.04229   6.506 8.02e-11 ***
## Houppier5    0.33182    0.04500   7.373 1.77e-13 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.1519 on 13029 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.03919,    Adjusted R-squared:  0.03883
## F-statistic: 106.3 on 5 and 13029 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

```
summary(anova1Statut)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = AccD ~ Statut, data = tabStatut)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.29536 -0.09179 -0.01202  0.08798  1.32488
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  0.212024    0.001784  118.86 <2e-16 ***
## Statut2      -0.036903    0.002823  -13.07 <2e-16 ***
## Statut3      -0.099082    0.005378  -18.43 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.1522 on 13017 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.03185,    Adjusted R-squared:  0.0317
## F-statistic: 214.1 on 2 and 13017 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

```
summary(anova1defolia)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = AccD ~ Defoliation, data = tabdefolia)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.31249 -0.07616 -0.01715  0.06698  0.36737
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)   0.23390    0.02011  11.631  <2e-16 ***
## Defoliation1 -0.02667    0.02116  -1.261    0.208
## Defoliation2 -0.02628    0.02139  -1.228    0.220
## Defoliation3 -0.03205    0.02443  -1.312    0.190
## Defoliation4 -0.03430    0.06568  -0.522    0.602
## Defoliation5 -0.03171    0.06568  -0.483    0.629
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.1083 on 581 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.003257, Adjusted R-squared: -0.00532
## F-statistic: 0.3797 on 5 and 581 DF, p-value: 0.8627
```

```
summary(anova1mort)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = AccD ~ Mort_rameaux, data = tabmort)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.33278 -0.07092 -0.01378  0.06196  0.36122
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)   0.22751    0.01170  19.440  < 2e-16 ***
## Mort_rameaux1 -0.01374    0.01282  -1.072  0.284210
## Mort_rameaux2 -0.05191    0.01560  -3.329 0.000924 ***
## Mort_rameaux3 -0.04441    0.03421  -1.298 0.194768
## Mort_rameaux4 -0.14982    0.07630  -1.964 0.050021 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.1066 on 615 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.02762, Adjusted R-squared:  0.0213
## F-statistic: 4.368 on 4 and 615 DF, p-value: 0.001723
```

Protocole de remesure de Placettes SIGFRA

Matériel :

- Compas forestier trigone + pige 1m30
- Tablette (GPS + Saisie Excel)
- Vertex
- Double décamètre
- Boussole et clinomètre

Protocole :

- En amont du terrain :

Choisir des placettes avec un nombre de chênes conséquent (>6 chênes), on focalisera sur les chênes de diamètre [35;55] cm.

Choisir des placettes sur lesquelles les chênes ont des accroissements variés.

On essaiera de remesurer une quinzaine de placette

- Sur le terrain :

- Quels chênes mesurer ?

Chênes ayant moins de 3cm de diamètre cumulé de lierre (à l'œil).

Chênes ayant des méplats <4cm

On évite les jumelles si la mesure semble complexe

- Prise des deux diamètres D1 et D2

Prise de D1 en pointant le centre de la placette avec les deux dents du compas, puis prise de D2 perpendiculaire à D1.

- Mesure de la concurrence :

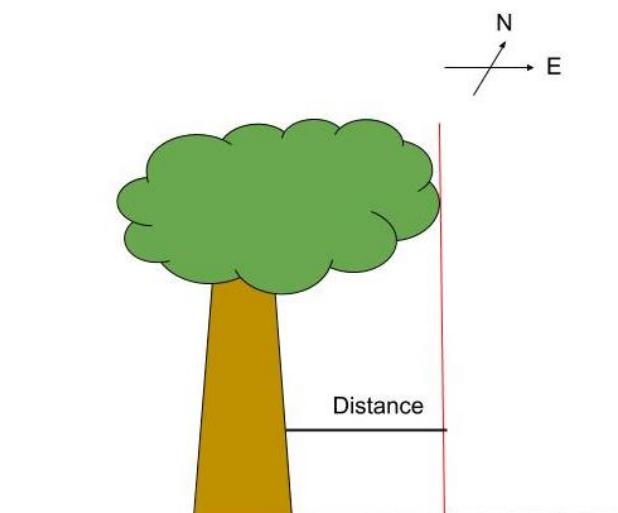
Hauteur de l'arbre et de sa 1ere branche verte, on ne prend pas les gourmands (<5cm).

Nombre/Diamètre/Distance (par rapport au chêne) des tiges de Charme/Hêtre/Tilleul qui sont en contact (moins de 50cm de distance entre 2 houppiers) avec le houppier du chêne.

Nombre de tiges hors Charme/Hêtre/Tilleul en contact avec le houppier.

- Extension du houppier :

Note de houppier selon protocole. On se place aux 4 points cardinaux et on regarde à la verticale la branche la plus étendue sur chaque point cardinal. Ensuite on répartit en 3 classes la distance entre la projection de la branche et le tronc (cf schéma). On prend donc 4 mesures par chênes.



Distance de la projection (en mètre)	Note
< 3	1
[3 ; 6]	2
> 6	3

- Etat sanitaire au pied

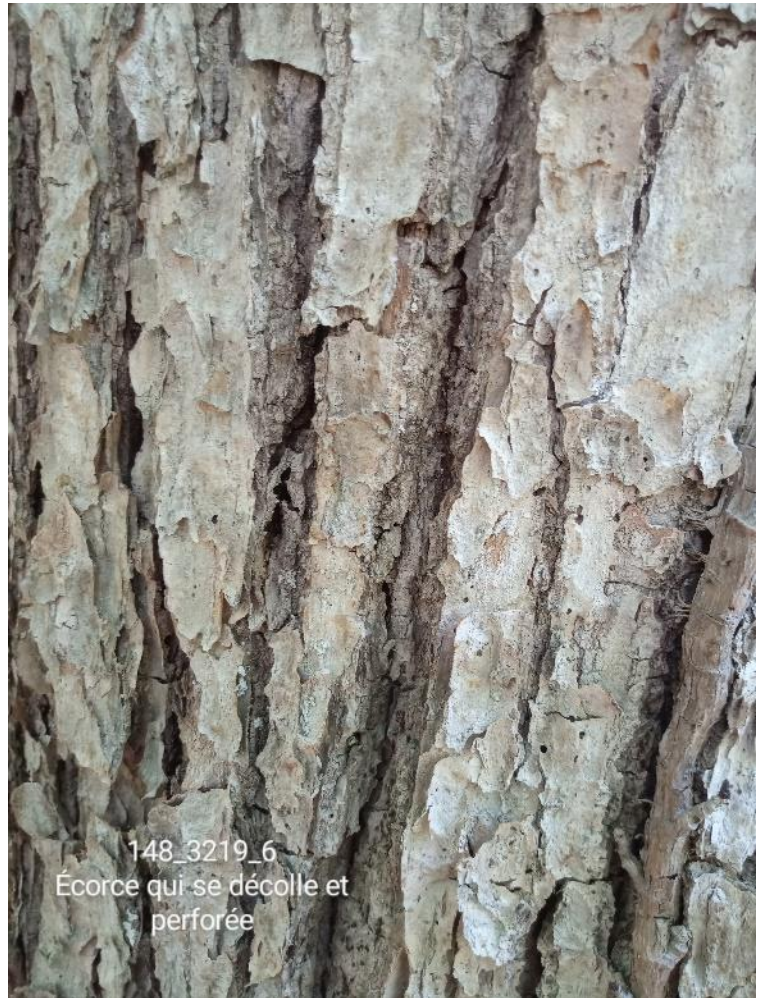
L'arbre a-t-il une blessure au pied ? Si oui est-elle cicatrisée ? Surface estimée
Pourriture ? Surface estimée ?

Blessure au pied	Cicatrisée	Note	Surface estimée (en cm ²)
NON	/	0	/
OUI	OUI	1	A renseigner
OUI	NON	2	A renseigner

- Description du sol au pied de l'arbre

Est-ce la même chose qu'au centre de la placette ? **0** si oui, **1** sinon.
Par exemple si le chêne se trouve sur des lapiazes affleurant ou en bord de plateau alors que le centre de la placette se trouve en haut de versant...

- Note d'écorce
Si l'écorce se désquame en fine lamelle, qu'elle est sèche ou qu'elle est assez perforée, noter **1** et mettre les caractéristiques en observations. Si aucune anomalie mettre **0**.
Exemple d'écorce ayant obtenue la note de 1 →



- Observation(s) autres
Y a-t-il des caractéristiques remarquables/indicateurs sur l'arbre ? Il est fortement conseillé de noter le maximum d'informations potentiellement intéressantes.