La régénération naturelle du Pin noir d'Autriche en Lozère : étude des facteurs influençant son apparition et son développement

Dominante d'approfondissement : Gestion Forestière

Présenté par : Maxime DAGAND

Stage effectué du 19/02/2018 au 30/09/2018

À l'Office National des Forêts – Agence départementale de Lozère

5 Avenue de Mirandol 48 000 MENDE

Maître de stage : Séverine DELORME

Enseignant référent : Éric LACOMBE

Soutenu le : 24 septembre 2018

Année 2017/2018

Crédits photographiques : Maxime DAGAND

La régénération naturelle du Pin noir d'Autriche en Lozère : étude des facteurs influençant son apparition et son développement

Mémoire de fin d'études – 3ème année d'ingénieur AgroParisTech-Nancy

Résumé

Au cours de mon apprentissage à l'Office National des Forêts – Agence de Lozère, j'ai étudié le comportement de la régénération du Pin noir d'Autriche sur les causses de ce département. Cette étude de six mois a en particulier ciblé les forêts domaniales de Mende et des Gorges du Tarn sur lesquelles trois inventaires ont été mis en place : inventaire de la régénération dans les peuplements du groupe de régénération, à proximité des lisières ainsi que dans les trouées tempêtes et leurs environs. Ceux-ci ont permis de répondre à des questionnements des forestiers locaux tels que l'effet réel des lisières sur la régénération, le comportement de cette dernière dans les trouées, ou encore l'effet de certaines variables environnementales. L'analyse statistique des données à l'aide du logiciel R a permis de mettre en évidence les effets des différentes variables étudiées et mesurées lors des inventaires. Ainsi, il semblerait que le contrôle de la surface terrière soit un facteur clef de la réussite d'une coupe d'ensemencement, celle-ci devant être initialement assez élevée puis abaissée pour permettre la croissance des semis. Les herbacées et les arbustes, de par leur concurrence peuvent être à l'origine d'échecs de régénération, tout comme des pentes fortes qui empêcherait l'installation pérenne des jeunes pins. Des contextes plus locaux, comme les éboulis, les dalles rocheuses ou l'amoncellement de rémanents influencent aussi négativement la régénération. Ces effets permettent d'en apprendre plus sur le comportement de la régénération, et ainsi d'adapter les pratiques actuelles de sylviculture. Le bilan actuel de la régénération a été établi, indiquant certains échecs par endroit. Des conseils de gestion sylvicole ont alors pu être promulgués en s'inspirant des dynamiques naturelles rencontrées sur le terrain, aboutissant à la rédaction de fiche de synthèse pour chacune des parcelles inventoriées. Deux pistes d'approfondissement ont été données avec la mise en place de parcelle d'expérimentation sylvicole de régénération par bandes et par trouées.

Abstract

During my apprenticeship at the National Office of Forestry – Lozère agency, I worked on Austrian black pine renewal on the limestone plateaus of this French department. This six-month study particularly targeted the state-owned forests of Mende and of the Tarn Valley, in which three kind of inventories were rolled out: regeneration inventory in all the stands of the renewal planning group, near the edges and in the windstorm-made gaps. They led to the answer of various issues from the local foresters such as the real effect of forest edges on the saplings, their behavior in the gaps, or even the particular effect of this or that environmental variable. The statistical analysis using R allowed me to shed light on the effects of several variables measured during the inventory phase. This way, basal area control seems to be a main effect to master a renewal, it has to high in the beginning and then lowered to allow saplings to grow. Weeds and shrubs, by competitive interaction, could also lead to renewal failure, just as sharp slopes which seem to prevent the young pines to settle down in the ground. Other and more local effects, such as rock slides, rock slabs or piling up of forest residue have a negative influence over the saplings. These effects enable the foresters improving their regeneration behavior knowledge, and thus adapting the actual silviculture. I then drew the regeneration assessment, showing some failure here and there I eventually gave some advice inspired from the natural patterns I have met on the field, leading to the writing of synthesis sheets for each inventoried plot. I left two protocols for a further study, with the settling of two silvicultural experimentations of regeneration using strips or gaps.

AgroParisTech

Engagement de non plagiat

❶ Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris a 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 (e) Maxime DAGAND

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

A Merde le 3 Septembre 2018

Signature :

Cet engagement de non plagiat doit être inséré en début de tous les rapports, dossiers, mémoires.

Remerciements

Après deux ans passés en tant qu'apprenti à l'ONF en Lozère, je ne pourrais limiter mes remerciements aux seuls six derniers mois. Aussi, je tiens tout d'abord à remercier chacun des membres de l'agence et des UT auprès desquels j'ai beaucoup appris pendant ces deux ans. Ne pouvant remercier individuellement toutes ces personnes ici, je remercie chacun d'avoir contribuer à sa façon à mon apprentissage dont je garderai un très bon souvenir. En particulier merci aux personnes qui ont pris le temps de m'emmener avec elles en forêt : Éric, Françoise, Jean-Philippe, Jocelyn, Laurent B., Laurent T., Mathieu, Raymond, Séverine, Suzy et Sylvie, qui m'auront toutes et tous fait découvrir une facette du métier.

Merci à mon tuteur AgroParisTech, Éric, pour son aide et ses remarques, pertinentes et utiles, permettant d'avancer et d'apprendre toujours de ses erreurs. Merci également pour toutes ces heures de cours et de tournée pendant lesquelles j'aurais énormément appris.

Je tiens également à remercier tous les membres de l'UT Causses, Michel, Laurent, Christophe, Hervé, Yannick, David, Corentin, Vincent et Lou. Merci de m'avoir invité aux martelages et autres manifestations emblématiques de la culture forestière. En particulier merci à Laurent qui, par sa proximité, a subi toutes mes questions pratiques sur le terrain.

Merci à Lou pour son aide précieuse sur le terrain, il est toujours plus simple de galérer avec le soutien moral d'une autre personne que seul, et je garderai un bon souvenir de toutes ces journées de terrain ! Merci également de m'avoir supporté au bureau, je te le confie pour l'année prochaine, tu auras même le « bon » siège ! Je te souhaite de réussir tes études, de profiter comme il se doit de ta dernière année d'apprentissage et surtout de conserver tes expressions « on ne peut plus atypiques » … à plus dans le couscoussier !

Un grand merci à Françoise, même si j'aurais voulu aller plus souvent sur le terrain pendant ces derniers mois, chaque sortie était un plaisir. Merci pour tes conseils et ta bonne humeur tous les jours dans les bureaux. Merci aussi de m'avoir fait découvrir le joli monde des papillons, j'espère que tu te plairas en Afrique, mais j'espère aussi qu'on se recroisera un jour !

Et enfin je ne saurais suffisamment remercier Séverine, une maître d'apprentissage toujours disponible et prête à partager son expérience, merci pour tout ce que tu m'as apporté en connaissances et en savoirs. Ces deux ans auront été courts mais très riches pour moi, que ce soit pendant les sorties de terrain ou lors des multiples réflexions sur la régénération ! Merci pour tous tes conseils tant professionnels que personnels (et jardiniers !), et merci de m'avoir sorti et permis de découvrir un peu plus la Lozère. Je te souhaite une bonne poursuite de carrière et plein de bonnes choses même si je compte bien rester en contact !

Table des matières

Introduction 3

Liste des abréviations 4

1. Les peuplements de Pin noir d'Autriche lozériens : un cadre d'étude précis et singulier 5

1.1. Cadre général de l'étude 5

1.1.1. Localisation et particularités de la Lozère 5

1.1.2. Origine des peuplements de Pin noir d'Autriche en Lozère 6

1.1.3. Importance des peuplements à l'échelle de la Lozère 6

1.1.4. Enjeux de la régénération naturelle 7

1.1.5. Études précédemment réalisées en Lozère 8

1.2. Objectifs du rapport et déroulement de l'étude 9

1.2.1. Étude de la régénération dans les peuplements 9

1.2.2. Étude de la régénération dans les lisières et dans les trouées 9

1.2.3. Démarche générale de l'étude 10

2. L'inventaire de la régénération de Pin noir d'Autriche dans les FD de Mende et des Gorges du Tarn . 11

2.1. Une première phase d'enquête et de recherche bibliographique 11

2.1.1. Définition biologique du Pin noir d'Autriche 11

2.1.2. Comportement de la régénération vis-à-vis des paramètres du milieu 12

2.1.3. Sylviculture actuellement préconisée et réalisée 12

2.1.4. Enquête auprès des différents acteurs 13

2.2. Élaboration d'un protocole d'inventaire de la régénération dans les peuplements 15

2.2.1. Peuplements ciblés lors de l'inventaire 16

2.2.2. Comptage et mesure des semis 16

2.2.3. Évaluation du contexte stationnel 17

2.2.4. Inventaire du peuplement 18

2.2.5. Autres facteurs du milieu 18

2.3. Rédaction d'un protocole d'inventaire de la régénération en lisière et dans les trouées 18

2.3.1. Peuplements ciblés lors de l'inventaire 18

2.3.2. Inventaire des lisières par transects 19

2.3.3. Inventaire des trouées par axes 20

2.4. Application des protocoles et déroulement de la phase de terrain 21

3. Analyse des données recueillies et présentation des résultats de l'étude sur la régénération du Pin noir d'Autriche en Lozère 22

3.1. Résultats de l'inventaire des peuplements 22
3.1.1. Objectifs et variables utilisées 22
3.1.2. Démarche générale de modélisation 23
3.1.3. Modèles expliquant la densité de semis comme variable quantitative 25
3.1.4. Modèles expliquant la densité de semis comme variable qualitative 26
3.1.5. Différents effets mis en évidence par les modèles 28
3.1.6. Autres résultats de l'inventaire des peuplements 34
3.2. Résultats de l'inventaire des lisières et des trouées 38
3.2.1. Comportement de la régénération dans les lisières 38
3.2.2. Comportement de la régénération à l'intérieur des trouées 42
3.2.3. Limites et extrapolation à la sylviculture 44
4. Synthèse des résultats et propositions de gestion 46
4.1. Synthèse générale sur la régénération actuelle 46
4.1.1. Bilan de l'acquis et sylviculture actuelle 46
4.1.2. Pistes d'amélioration de la sylviculture 47
4.1.3. Extrapolations des inventaires des lisières et des trouées à la sylviculture 50
4.2. Proposition d'une clef de détermination d'itinéraire sylvicole de fin de régénération 51
4.3. Applications concrètes 53
4.3.1. Consignes de gestion future 53
4.3.2. Propositions d'expérimentations sylvicoles 54
4.4. Limites de l'étude et perspectives futures 56
Conclusion 58
Références bibliographiques 59
Liste des contacts 60
Annexes 61

Introduction

Dans le cadre d'un apprentissage à l'Office National des Forêts en Lozère, département de moyenne montagne à l'interface des climats continentaux, méditerranéen et océanique, les six derniers mois de mon contrat ont été pour partie dédiés à l'étude des facteurs d'apparition de la régénération du Pin noir d'Autriche sur les causses lozériens. Ces peuplements sont le fruit de la politique de restauration des terrains de montagne (RTM) et ont ainsi été plantés vers la fin du XIX^{ème} siècle. Les plus vieux arbres sont donc âgés de 150 ans environ, et par conséquent leur régénération a été entamée et doit être poursuivie dans les années à venir, ne sachant pas quelle est la durée de vie de cette essence sous le climat local, et certains semenciers commençant à montrer des signes de faiblesse (aiguilles rougies, arbres morts sans raison apparente).

Plusieurs études ont déjà été menées sur la régénération du Pin noir d'Autriche, mais la plupart dans le cadre des peuplements des Alpes du Sud, qui ont été implantés dans des contextes bien différents de ceux qui se retrouvent dans le Sud du Massif-Central, que ce soit d'un point de vue climatique, pédologique ou sylvicole. Localement, il conviendrait donc de développer davantage les connaissances que les forestiers peuvent avoir de cette essence, et en particulier de la conduite de sa régénération dont le comportement semble dans certains cas inexplicable et imprédictible.

Ainsi, en se basant sur un inventaire de la régénération dans deux forêts domaniales (FD) situées sur les causses lozériens, nous essaierons de répondre aux problématiques suivantes. La régénération actuelle des peuplements du groupe de régénération est-elle suffisante en quantité et en qualité pour poursuivre la sylviculture préconisée dans l'aménagement en cours ? Quels facteurs influencent le plus la régénération de cette essence, et comment le forestier peut-il agir dessus ? Quelle sylviculture serait la plus appropriée dans le cadre des peuplements actuels pour mener à bien leur régénération sans avoir recours à la régénération artificielle ?

Afin de répondre à ces différents questionnements des forestiers locaux, le cadre général et spécifique de l'étude sera présenté, ainsi que les différents protocoles qui ont été déployés afin de cerner au mieux le comportement de la régénération du Pin noir d'Autriche. Les résultats des inventaires seront ensuite présentés et analysés dans le but d'obtenir des modèles de prédiction, ou *a minima* de dégager des grandes tendances. Enfin, en s'inspirant de l'analyse des données, et en la confrontant aux connaissances actuelles, des consignes de gestion future seront proposées.

Liste des abréviations

AIC : *Akaike Information Criterion*

ANCOVA : ANalyse de la COVAriance

BDR : Base de Données de Régénération

BTS GF : Brevet de Technicien Supérieur en Gestion Forestière

FD : Forêt Domaniale

ITTS : Itinéraires Techniques de Travaux Sylvicoles

MNT : Modèle Numérique de Terrain

ONF : Office National des Forêts

RTM : Restauration des Terrains de Montagne

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture

1. Les peuplements de Pin noir d'Autriche lozériens : un cadre d'étude précis et singulier

1.1. Cadre général de l'étude

1.1.1. Localisation et particularités de la Lozère

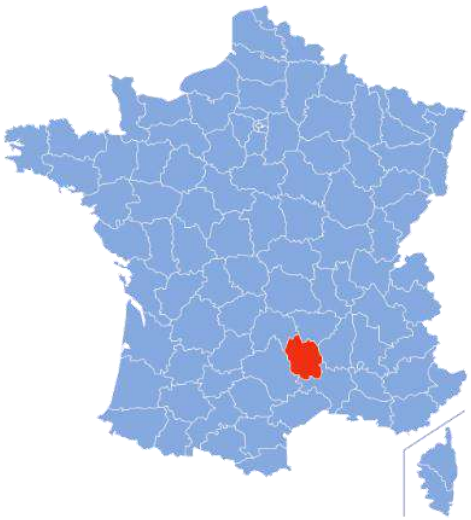


Figure 1: Carte de situation de la Lozère (en rouge) en France (source : www.wikipedia.fr)

La Lozère est un département du Sud-Est du Massif-Central (Figure 1), caractérisé par son altitude moyenne élevée, notamment dans la moitié Nord du département essentiellement constituée de plateaux d'altitude souvent supérieure à 1 000 m. Le Sud du département est en partie composé de causses, hauts plateaux calcaires sillonnés de gorges profondes qui constituent le cadre général de l'étude (le reste correspondant au massif des Cévennes). Ainsi, trois des sept Grands Causses sont (au moins en partie) situés en Lozère (Causse de Sauveterre, Causse Méjean et Causse Noir), mais d'autres causses moins élevés en altitude s'étendent également sur le département : c'est notamment le cas du causse de Mende, centre de la FD du même nom. Ces causses sont principalement formés de dépôts calcaires du Jurassique (BRGM, 2005) qui ont été peu déformés au cours de leur histoire. Seule l'érosion karstique a creusé ces couches qui restent donc de faible pendage. Du fait de leur nature géologique et de leur histoire, les causses offrent donc une maigre ressource en eau aux végétaux qui parviennent à s'y développer.

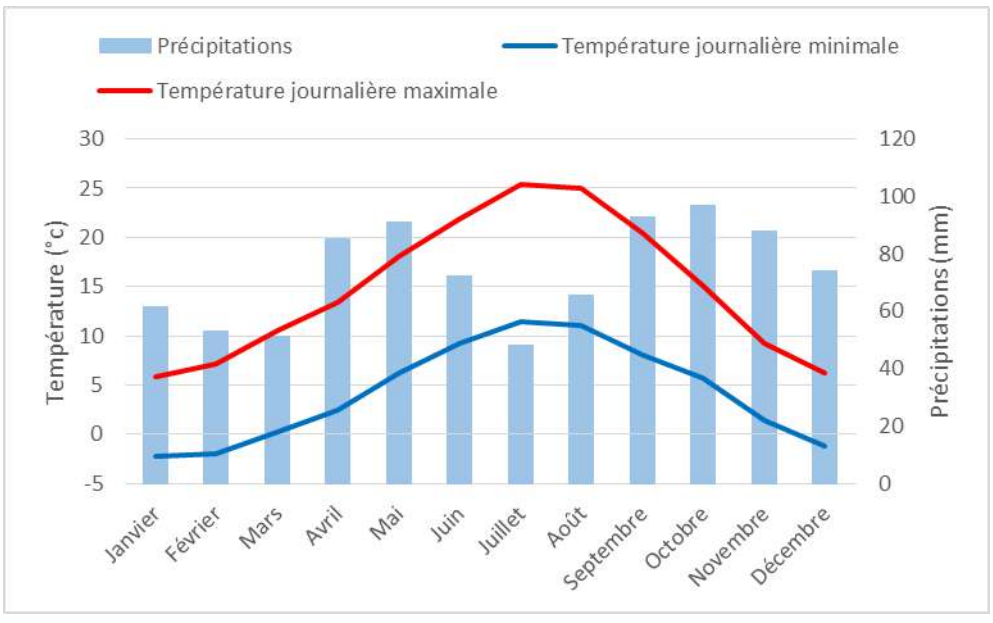


Figure 2: Diagramme ombrothermique de la FD de Mende sur la période 1981-2010 (données du modèle AURELHY)

En plus de son altitude et de ses reliefs, la Lozère se caractérise également par son climat aux influences continentales, océaniques et méditerranéennes dues à sa position géographique bien particulière. Il en résulte un climat assez instable, mais en général froid avec des hivers longs, et des étés pouvant être secs et chauds (Figure 2). Ainsi sur la période 1981-2010, 91 jours de gel ont été enregistrés en moyenne chaque année

(MétéoFrance, 2017), pour une température moyenne annuelle de 8.2°C sur la seule station de Mende-Brénoux. Les précipitations moyennes annuelles sur les deux forêts sont de l'ordre de 900 mm/an, et sont globalement bien réparties avec toutefois deux pics de précipitation au printemps et à l'automne correspondant aux épisodes cévenoles automnaux qui peuvent être assez violents selon les années.

1.1.2. Origine des peuplements de Pin noir d'Autriche en Lozère

Du Moyen-Âge à la fin du 19ème siècle, le surpâturage et l'agriculture ont largement fait régresser la forêt lozérienne, qui ne couvrait plus que 6 % de la surface du département en 1835 (HUGO, 1835). Actuellement, cette surface s'élève à 45 %, les reboisements étant largement dus à la politique de restauration des terrains de montagne.

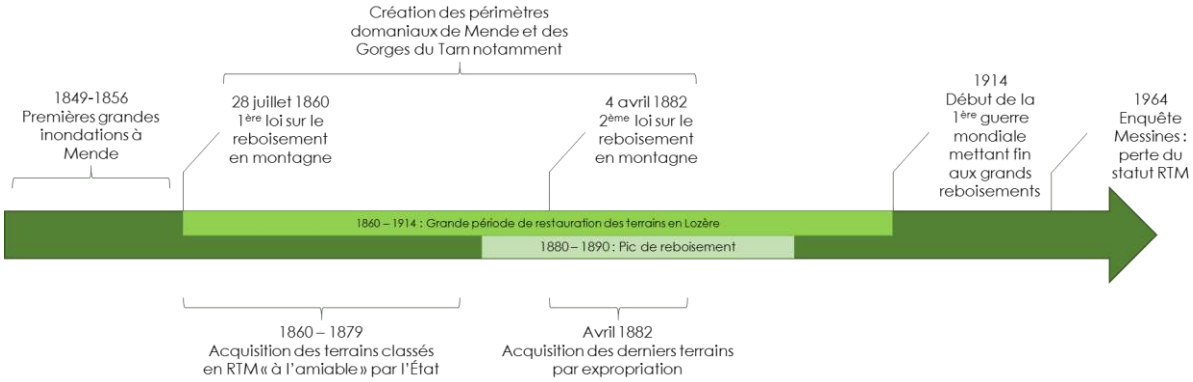


Figure 3: Chronologie du reboisement en forêt domaniale de Mende

Ainsi, comme l'illustre la Figure 3, les travaux de restauration des terrains en FD de Mende ont eu lieu de 1860 à 1914, et majoritairement dans les années 1880 (ce constat est aussi valable pour la FD des Gorges du Tarn). Les reboisements se sont faits par semis et surtout par plantation, principalement de Pin noir d'Autriche. Ils étaient également accompagnés de travaux de réhabilitation du sol : ouvrages torrentiels (murets, fascines de saule) et introduction de cytise pour enrichir le peu de sol alors en place (PLAGNES & SARAMITO, 1972).

Le choix de l'essence de reboisement ne s'est pas immédiatement porté sur le Pin noir d'Autriche. En effet, de multiples essais avec des essences « locales » ont été menés (pin sylvestre et chênes méditerranéens notamment), mais sont restés infructueux. Puis finalement, lors d'un voyage au Montenegro, FABRE rapporte des semences et des jeunes plants de Pin noir d'Autriche (PLAN, 1973-1974) qui parviennent à s'installer sur les sols lessivés des causses. De nombreuses pépinières sont alors installées afin de reboiser l'ensemble des versants et des causses lozériens. Ainsi 80 % des surfaces ont été reboisées avec du Pin noir d'Autriche, et les 20 % restants avec d'autres résineux tels le Pin sylvestre, le Pin à crochet, le Sapin, l'Épicéa ou encore le Mélèze.

1.1.3. Importance des peuplements à l'échelle de la Lozère

Le Pin noir d'Autriche est l'une des essences les plus répandues dans les reboisements artificiels de Lozère (la première essence du département en surface étant le Pin sylvestre, provenant d'accrus naturels suite à la déprise agricole). En particulier, les futaies de Pin noir issues de plantation représentent 27% des surfaces boisées de la région des Causses (soit le tiers Sud-Ouest du département), cette proportion représentant près de 14 000 ha (Inventaire Forestier National, 1992). L'enjeu de sa régénération est donc important, d'autant plus qu'il représente en moyenne 34% du volume commercial total martelé depuis 2009 en forêt publique (Figure 4). Il y a donc à la fois un enjeu d'occupation des sols et d'activité économique pour la filière bois.

Les FD ont été les premières à sortir de terre, mais d'autres forêts (communales, sectionnales ou privées) sont apparues par la suite, au début du 20ème siècle. De fait, la présente étude, étant réalisée sur les peuplements les plus anciens, permet d'apporter des enseignements qui pourront être utiles dans un futur proche afin de régénérer les plus jeunes peuplements de Pin noir d'Autriche.

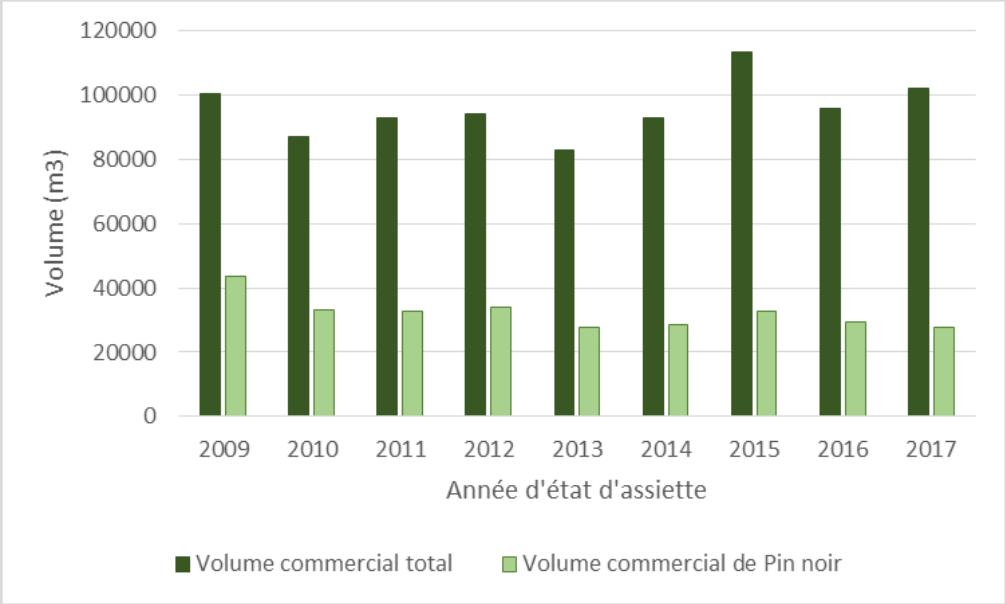


Figure 4: Volume de bois martelé par année sur l'agence départementale de Lozère et part de Pin noir dans ce volume (données issues du fichier FME)

De surcroît, lors des derniers aménagements des deux FD étudiées, des signes de dépérissement ont été relevés, et des coupes sanitaires ont même dû être programmées en raison de houppiers séchés. La durée de survie du Pin noir dans les conditions topo-climatiques locales n'étant pas connue, il a été décidé de jouer la carte de la prudence et de régénérer les peuplements assez tôt, soit aux alentours des 150 ans d'âge au maximum. Ainsi, cette régénération a été entamée depuis une quarantaine d'années et continue d'être pleinement d'actualité.

1.1.4. Enjeux de la régénération naturelle

Parmi les nombreuses pépinières qui avaient par le passé été installées en Lozère, aucune n'a perduré sur le département. Or un enjeu majeur lors de la plantation est l'adaptation du plant au sol sur lequel il sera planté, ce qui est largement favorisé par des pépinières implantées localement, dans lesquelles les plants ont pu s'acclimater. En effet, le personnel de terrain signale que les plants venant de départements lointains et différents peinent à prendre racine, aboutissant à d'importants échecs de plantation par endroit. Par ailleurs, les problèmes croissants de sécheresse estivale ont des effets plus sévères sur les plantations car les jeunes arbres se retrouvent sans la protection qu'offre le couvert forestier. De même, les dégâts de gibier semblent plus importants en plantation selon les techniciens de terrain.

En plus de son taux de réussite qui n'est pas toujours satisfaisant, la plantation est coûteuse, avec une moyenne de plus de 6000 €/ha sur la période 2009-2016 (Figure 5). Cette moyenne comprend les opérations suivantes :

- *Pre*-plantation : nettoyages de la végétation (si nécessaire) ;
- Plantation : travail du sol et mise en terre des plants pour les plantations en plein et les regarnis ;
- *Post*-plantation : travaux de dégagement et de dépressage.

La régénération naturelle offre donc une alternative *a priori* moins coûteuse, qui peut éventuellement être complétée et accompagnée de regarnis si elle n'est pas suffisante.

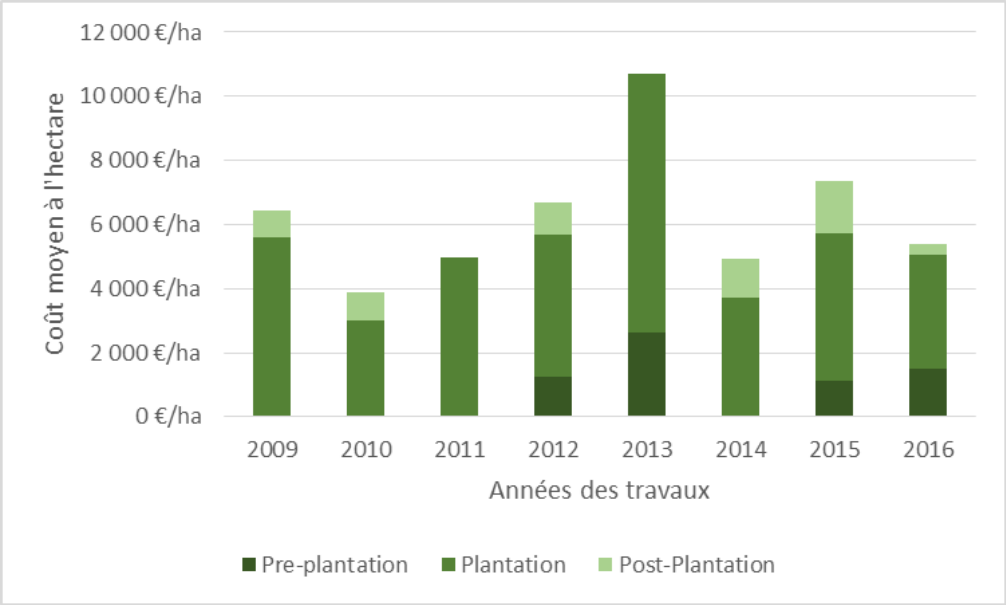


Figure 5: Coûts moyens à l'hectare des opérations de plantation sur la période 2009-2016 en forêt domaniale de Mende (données issues du bilan de mi-aménagement de la forêt)

Par ailleurs, comme présenté au titre 1.1.2. Origine des peuplements de Pin noir d'Autriche en Lozère, les FD de Mende et des Gorges du Tarn sont d'origine RTM. Bien qu'elles aient perdu ce statut, les derniers aménagements (Office National des Forêts - Agence de Mende, 2009) classaient près de 516 ha en série de protection physique des sols (et 3 326 ha en série de protection/production) pour la FD de Mende d'une surface totale de 5 416 ha, et 250 ha en enjeu de protection moyens ou forts pour la FD des Gorges du Tarn, d'une surface totale de 1 122 ha (Office National des Forêts - Agence de Mende, 2016). Ces surfaces correspondent pour la plupart à des peuplements de Pin noir d'Autriche accrochés sur des versants plus ou moins abrupts, situés en amont de zones à enjeux humains (villages ou axes de circulation principaux). De fait, il est primordial d'assurer autant que possible une certaine continuité du couvert forestier afin de maintenir les sols en place dans le but de limiter les risques d'érosion et de chutes de blocs.

Enfin, la ville de Mende se développant touristiquement, et le cadre naturel étant l'un de ses atouts majeurs, il est important que la sylviculture s'inscrive dans ce cadre le plus discrètement possible. De la même façon, les Gorges du Tarn sont inscrites au patrimoine mondial de l'UNESCO et en tant que Grand Site de France, et sont un haut lieu de tourisme estival dans la région. Ainsi, les coupes rases suivies de plantation restent au mieux cantonnées aux situations d'impasse sylvicole et à faible enjeu paysager. La régénération naturelle, de par la permanence du couvert végétal, diminue grandement l'impact et la visibilité des coupes sur le paysage.

Ainsi, la régénération naturelle semble offrir plusieurs avantages par rapport à la régénération artificielle des peuplements de Pin noir d'Autriche en Lozère, c'est pourquoi il est nécessaire d'essayer d'augmenter notre savoir sur sa conduite.

1.1.5. Études précédemment réalisées en Lozère

La problématique de la régénération des peuplements de première génération de Pin noir d'Autriche n'étant pas récente (ceux-ci étant âgés de 110 ans pour les plus jeunes en Lozère), de nombreuses études ont été menées à ce sujet. Les départements alpins présentent en effet une bibliographie relativement fournie sur le Pin noir et sa sylviculture.

Néanmoins, les conditions de croissance entre ces peuplements et ceux de Lozère demeurent différentes (avec notamment des tranches d'altitude décalées, des sols et des climats qui ne sont pas toujours comparables, d'où des croissances « déconnectées » des peuplements). Peu d'études abordent la question pour le Pin noir d'Autriche en Lozère, sauf celles qui ont été menées par l'ONF local.

Dans tous les cas, ces études sont pour la grande majorité des études expérimentales consistant à étudier la germination et le développement des plants dans des conditions particulières. Seule une des références bibliographiques se base sur un inventaire de l'existant (CHAUVEAU, 1994) en Lozère. L'avantage d'un tel travail était qu'il renseignait à la fois sur les conditions d'apparition de la régénération et de son développement à l'échelle locale, mais aussi qu'il dressait un panorama de ce qui existait alors, donnant ainsi un bilan aux gestionnaires. Ce rapport datant d'il y a plus de vingt ans, et du fait des constats d'échecs de régénération persistant, une nouvelle étude apporterait des éléments de compréhension et de connaissance.

Ainsi, les diverses sources bibliographiques, bien qu'elles ne soient pas forcément directement applicables au département de la Lozère, ont servi de base de connaissance afin de mettre en avant les facteurs principaux qui semblent avoir un effet sur la régénération du Pin noir. Ces différents facteurs ont dans la mesure du possible été relevés sur le terrain (2.2. Élaboration d'un protocole d'inventaire de la régénération) afin d'en étudier localement l'influence, mais l'un des objectifs de l'étude est également de dresser un bilan de la régénération et des travaux entrepris à son profit.

1.2. Objectifs du rapport et déroulement de l'étude

1.2.1. Étude de la régénération dans les peuplements

L'objectif principal de cette étude est double : réaliser un inventaire de la régénération afin de déterminer son état actuel dans les peuplements, puis par le biais de cet inventaire, mettre en avant des causes de mise en échec de la régénération, ou des facteurs semblant favoriser sa réussite. Ainsi, grâce à une analyse statistique des résultats de l'inventaire, des actions pourraient être envisagés afin de pallier à ces difficultés de régénération, comme des travaux ou des coupes par exemple. Cette dimension provient d'une demande conjointe du Pôle aménagement et des techniciens de terrain.

1.2.2. Étude de la régénération dans les lisières et dans les trouées

Suite à des discussions avec les techniciens responsables des triages des deux FD étudiées (2.1.4. Enquête auprès des différents acteurs), un « effet lisière » a été mentionné à plusieurs reprises. En effet, la régénération serait favorisée dans les lisières du fait de l'apport latéral de lumière. Ce constat se basant uniquement sur des observations, il a été décidé d'essayer de le confirmer et si possible de le quantifier.

De même, le comportement de la régénération de Pin noir dans les trouées étant mal connu, certaines ont été inventoriées afin d'en apprendre plus sur cet aspect. Les peuplements domaniaux ont en effet été perturbés lors de la tempête de 1999 et lors d'épisodes suivants plus locaux, laissant des trouées intraforestières en plusieurs endroits.

L'intérêt principal à cette double étude de la régénération en lisière et dans les trouées serait de pouvoir reproduire son comportement dans les zones « naturelles » étudiées sur des interventions sylvicoles qui pourraient permettre de régénérer les peuplements : coupes d'ensemencement par bandes se rapprochant des lisières, et coupes d'ensemencement par trouées se rapprochant des trouées tempête.

1.2.3. Démarche générale de l'étude

Une première phase de bibliographie et d'entretien avec les différents acteurs internes a eu lieu afin d'initier l'étude et de bien dégager les principaux objectifs présentés dans les parties précédentes. Cette phase a ensuite abouti par la rédaction des protocoles et leur application sur le terrain afin de collecter des données. Les résultats des inventaires ont alors été analysés, permettant de rédiger le présent mémoire qui sera présenté lors d'une soutenance faisant également office de compte-rendu aux techniciens ayant été sollicités au cours de l'étude.

En réfléchissant à reculons, un planning prévisionnel a pu être établi, comme l'illustre la Figure 6.

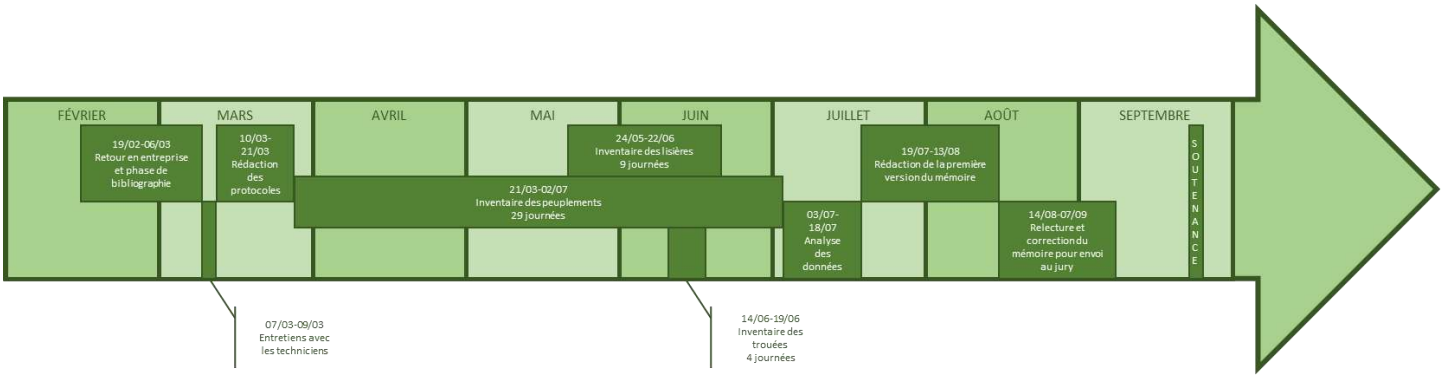


Figure 6: Chronologie des différentes étapes de l'étude

Le temps alloué à chaque phase d'inventaire a été inégal, avec près de 30 journées de terrain pour le protocole d'inventaire des peuplements contre moins de la moitié pour les deux autres protocoles réunis. Cette différence résulte du fait que le protocole d'inventaire de la régénération dans les peuplements était incompressible puisqu'il s'agissait d'inventorier tous les peuplements des groupes de régénération dont l'action de régénération avait été entamée. Les deux autres protocoles d'inventaire (dans les lisières et dans les trouées) ont ainsi été réalisés en inventoriant un maximum de site tout en laissant un temps suffisant aux étapes d'analyse des données et de rédaction du mémoire. Les inventaires se sont également chevauchés dans le temps car les journées d'inventaire de la régénération dans les peuplements de la FD de Mende ont été réalisées en binôme avec une apprentie BTS GF qui sera amenée à traiter un sujet proche dans le cadre de son examen, et il convenait donc de trouver des périodes communes de présence en entreprise.

La régénération naturelle apparaît donc comme un enjeu majeur et d'actualité pour les peuplements de Pin noir d'Autriche en Lozère, et des réponses restent à apporter quant à son apparition et son développement dans différents contextes, pouvant s'apparenter à différentes sylvicultures. Pour cela, plusieurs protocoles ont été rédigés, afin de répondre au mieux aux questionnements énoncés précédemment.

2. L'inventaire de la régénération de Pin noir d'Autriche dans les FD de Mende et des Gorges du Tarn

Dans un souci de commodité de langage, le terme « semis » pourra par la suite être utilisé pour désigner les individus formant la régénération, regroupant ainsi les semis *sensu stricto* et les gaules (diamètre à 1,30 m inférieur à 7,5 cm).

2.1. Une première phase d'enquête et de recherche bibliographique

2.1.1. Définition biologique du Pin noir d'Autriche

Le Pin noir d'Autriche, *Pinus nigra nigricans austriaca*, est l'un des nombreux représentants de l'espèce *Pinus nigra*. Il se caractérise principalement par son tronc droit, recouvert d'une écorce crevassée noirâtre, et par ses fortes branches latérales formant un houppier dense à cime obtuse (RAMEAU, MANSION, DUMÉ, & GAUBERVILLE, 1993), comme l'illustre la Figure 7.

Figure 7: Photographies de cime et de troncs de Pin noir d'Autriche en FD de Mende (crédits photographiques : Séverine DELORME)

Il s'agit d'une essence de lumière, qui semble toutefois tolérer un certain ombrage dans le jeune âge (Office National des Forêts). Elle résiste aussi bien au froid qu'à la sécheresse, tolère les sols acides à basiques, et notamment calcaires, d'où sa grande utilisation en reboisement des massifs montagneux de la bordure méditerranéenne. Outre ce rôle de protection, son bois est utilisé pour la production de palettes ou dans une moindre mesure de poteaux ainsi que de sciage si la rectitude est bonne et le diamètre suffisant.

Comme son nom l'indique, cette essence trouve son aire d'origine en Europe méridionale, où les peuplements se régénèrent correctement et naturellement. En France, et notamment en Lozère, de nombreuses études indiquent que la fructification est abondante uniquement tous les deux ou trois ans (MICHAUD & LEVEQUE, 2002), et qu'en couplant cela aux variables climatiques, une régénération importante apparaîtrait seulement tous les six ans.

2.1.2. Comportement de la régénération vis-à-vis des paramètres du milieu

L'apparition de la régénération reste toutefois dépendante de la capacité du milieu à fournir aux graines et *a fortiori* aux semis les différentes ressources dont ils ont besoin pour se développer.

L'étude bibliographique menée en début de stage a permis de dresser la liste des facteurs ayant un impact potentiel, ou avéré dans certains contextes, sur la régénération (détails en annexe A). Ainsi, ces facteurs sont :

- l'altitude, devant être comprise entre 650 et 1200 m selon la plupart des sources ;
- la pente, qui ne doit pas être trop importante, même si bien souvent aucune définition exacte de l'importance d'une pente n'est donnée ;
- la fraîcheur de la station, et par là même l'exposition (la plus fraîche possible selon les sources, en relativisant puisque le Pin noir a surtout été implanté dans le Sud de la France) et la topographie du versant ;
- la luminosité, peu importante dans le jeune âge mais une forte luminosité est primordiale au développement des semis dès l'âge de 3 à 4 ans ;
- l'âge des peuplements, et intrinsèquement leur capacité à produire des graines en quantité ;
- la sylviculture, qui peut influencer plusieurs des facteurs cités précédemment.

De fait, dans la mesure du possible, le protocole a été construit de sorte à mesurer au mieux les différents facteurs cités ci-dessus (2.2. Élaboration d'un protocole d'inventaire de la régénération dans les peuplements).

2.1.3. Sylviculture actuellement préconisée et réalisée

2.1.3.1. Sylviculture préconisée dans les documents d'aménagement

Les documents d'aménagement des FD de Mende et des Gorges du Tarn prévoient le traitement régulier des peuplements de Pin noir d'Autriche, avec différentes modalités de régénération :

- régénération artificielle pour les peuplements de versant Sud et ceux présentant un sous-étage arbustif très important (alors jugé impossible à maîtriser),
- et régénération naturelle pour les autres peuplements par coupes progressives, le rapport de Mme C.CHAUVEAU mettant en avant les avantages d'un tel mode de régénération.

Bien souvent, la régénération artificielle n'implique pas de changement d'essence puisque du Pin noir est replanté. Concernant la régénération naturelle, les coupes d'ensemencement doivent prélever la moitié des tiges, et l'autre moitié est prélevée lors de la coupe définitive, soit environ 6 ans plus tard. Dans le cas des peuplements à très forte densité (plus de 300 tiges/ha), l'ensemencement se fait en deux temps avec une coupe d'ensemencement (à proprement parlé) abaissant la densité à 300 tiges/ha, et une secondaire prélevant la moitié des tiges, dans le but d'avoir un peuplement d'environ 150 tiges/ha pour un capital correspondant d'environ 20-25 m²/ha.

2.1.3.2. Sylviculture appliquée sur le terrain

Le bilan de mi-aménagement de la FD de Mende et les inventaires de terrain réalisés pour la présente étude ont permis de mettre en évidence plusieurs différences entre la sylviculture préconisée et celle appliquée.

Selon les consignes préconisées, la moitié des tiges doivent être enlevées à l'ensemencement, ce qui correspond également à la moitié de la surface terrière au vu de la régularité des peuplements. Or, comme l'illustre la Figure 8, sur aucune des parcelles étudiées le prélèvement en surface terrière n'atteint jamais les 50 %, mais se situe plutôt aux alentours de 30 %. Cette différence s'explique par la difficulté de tenir la cadence

de martelage imposée (une tige sur deux) dans des peuplements aussi denses. Selon les techniciens, il est possible de respecter le prélèvement pendant une demi-journée au mieux, mais le travail est trop fastidieux et fatiguant pour être tenu plus longtemps. Ce constat se retrouve donc dans les mesures réalisées puisque la plupart des parcelles ensemencées présentent une surface terrière plus proche des 30 m²/ha que des 20-25 m²/ha préconisés.

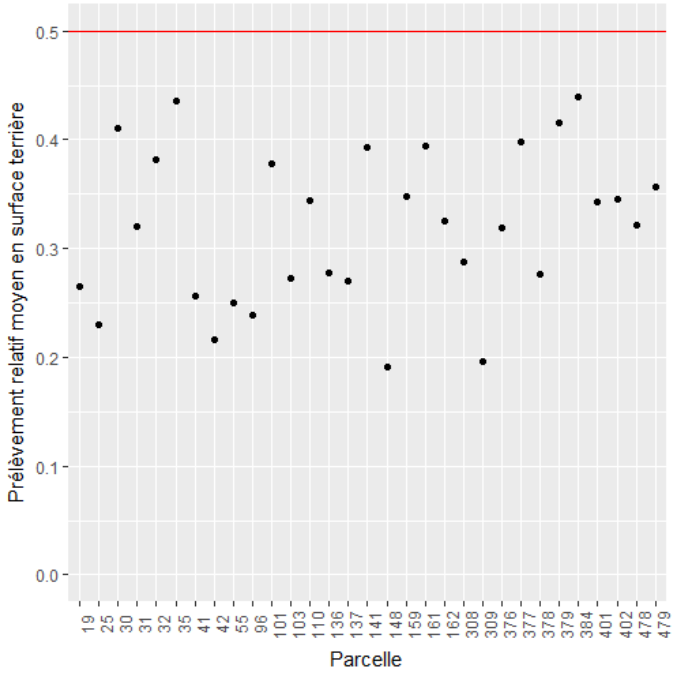


Figure 8 : Graphique représentant le prélèvement relatif moyen en surface terrière sur chaque parcelle inventoriée

De surcroît, les travaux de dégagement ou du sol préconisés par les aménagements sont très rarement appliqués car jugés non nécessaires sur le terrain.

Des différences très nettes sont donc observées entre la sylviculture envisagée et celle qui est réalisée. Cela illustre bien toute l'importance des avis des techniciens de terrain, qui sont ceux qui tiennent le marteau et réalisent la sylviculture.

2.1.4. Enquête auprès des différents acteurs

Des entretiens individuels ont été menés avec les différents responsables de triage des deux forêts étudiées, dans le but de recueillir le ressenti du personnel de terrain, de connaître leur appréhension de la régénération du Pin noir sur leur secteur, et enfin de mettre en avant d'éventuelles difficultés spécifiques à certains peuplements. Ces entretiens se sont faits sans guide formel, mais plutôt avec des grands thèmes (correspondant aux entêtes du Tableau 1) à aborder pour ne pas influencer les réponses possibles par une orientation des questions. Il en ressort des constats d'échecs de régénération à l'échelle locale, mais selon les agents, la régénération apparaît dans l'ensemble sans trop de difficulté sur les zones de pente nulle ou faible (moins de 20%). De plus, un effet lisière a été évoqué à de nombreuses reprises, *id est* l'apparition de semis de Pin noir d'Autriche dans les peuplements en bordure de coupes définitives ou de trouées.

Tableau 1 : Synthèse des entretiens avec les techniciens forestiers des deux FD étudiées

Agent	Contexte du triage	Problématiques	Notion de régénération	Zones d'intérêt indiquées
Agent A	La majorité des parcelles ont été régénérées artificiellement, seule une (P.198) s'est régénérée naturellement mais des regamis vont avoir lieu cette année. Dans tous les cas les semenciers ont déjà été enlevés.	• Cytise envahissant sur La Roche ➔ travaux de nettoyage puis plantation directement car la dynamique naturelle ne semble pas suffisante. • Buis envahissant sur Le Sabatier ➔ travaux de plantation peu fructueux car le buis résiste bien. • Incendie sur Marijoulet ➔ plantations obligatoires du fait de la mort des semenciers. • Lièvre et chevreuil causant des dommages, mais principalement aux plantations. • Mouflon causant des dommages aux régénérations naturelles, mais cette problématique n'existe que sur la FD des Gorges du Tarn.	Une bonne régénération naturelle se caractérise par un recouvrement important du sol par les semis, avec une certaine densité. Si ces deux conditions ne sont pas réunies, des regarnis sont entrepris	Aucune puisque l'ensemble des parcelles du groupe de régénération ont finalement été plantées. La régénération ne semble pas venir dans les groupes d'amélioration
Agent B	La majorité des parcelles du groupe de régénération non prévues en plantation à l'aménagement se régénèrent très bien naturellement. Tant que le sol n'est pas sale, le Pin noir d'Autriche se régénère bien. Des travaux sont entrepris pour favoriser la régénération naturelle.	• La pente serait un facteur limitant important, mais il reste seulement « limitant » et n'empêche pas une bonne régénération dans tous les cas. • Le chevreuil et le lièvre ont un impact sur les régénérations artificielles mais pas naturelles. • Herbacées et mousses bloquantes sur Le Causse, mais un travail du sol en parcelle 478 a donné de très bons résultats l'année dernière, il sera réitéré sur la parcelle 479 cette année.	Une bonne régénération naturelle se caractérise par une dizaine de semis acquis par m² dans le Pin noir d'Autriche.	Aucune autre forêt de Pin noir d'Autriche adulte.
Agent C	Le triage se situe majoritairement sur le causse de Mende, avec le plateau et ses rebords abrupts. La régénération naturelle pose des problèmes ponctuels, mais sa dynamique est importante sur de nombreuses parcelles. Pour certaines parcelles, des plantations ont lieu directement sans essayer de recourir à la régénération naturelle. Des travaux sont entrepris pour favoriser la régénération naturelle.	• Le gibier (lièvre et chevreuil) est très abondant sur le causse, notamment dans les cantons concernés par l'accueil du public où la chasse est interdite (Le Tuff, La Chaumette et Baupilhac principalement), et causerait des dégâts à la régénération naturelle. Le lièvre a une très forte dynamique de population suite à trois années favorables à sa reproduction. Des dégâts sur semis ne sont pas vraiment observés car la régénération est absente de ces zones, mais les herbacées et feuillus sont largement touchés. • Couvert en sous-étage des feuillus qui peut être gênant sur les versants Nord notamment (Le Tuff).	Une bonne régénération naturelle se caractérise par un tapis de régénération acquise, soit des semis à hauteur de botte.	La régénération est déjà présente dans le groupe d'amélioration, ce qui soulève un questionnement quant au dynamisme de la sylviculture.
Agent D	Le triage est très morcelé et éclaté dans des contextes bien différents de l'Ouest à l'Est de Mende en passant par le Nord. Aucuns travaux réalisés en faveur de la régénération naturelle car les coupes semblent suffire.	• Cytise bloquant sur certains versants Sud (Le Villaret), le recours à la régénération naturelle a été abandonné pour la régénération artificielle. • Le chevreuil et le lièvre se cantonnent aux régénérations artificielles. • Dans plusieurs parcelles la régénération naturelle n'est pas venue, sans explication particulière, des coupes secondaires ont été engagées	Une bonne régénération naturelle se caractérise par des semis qui recouvrent une bonne proportion de la parcelle concernée.	FC d'Allenc et de Barjac trop jeunes (stade de la 3ème éclaircie pour les peuplements les plus âgés). *A priori* pas de régénération dans le groupe d'amélioration.

Les difficultés ponctuelles rencontrées pour régénérer les peuplements sont expliquées par trois hypothèses, qui peuvent ou non se cumuler selon les parcelles concernées :

- la concurrence avec la végétation (arbustive avec le cytise et le buis notamment, ou herbacée avec diverses graminées) ;
- la pente qui empêcherait l'installation des jeunes pins ;
- le gibier (lièvre et chevreuil) qui s'attaquerait à la régénération naturelle (avis divergents selon les agents, certains soutenant que les dégâts du gibier ne sont importants que sur les régénérations artificielles).

En outre, les pratiques vis-à-vis de la régénération sont différentes selon les agents, certains n'hésitent pas à programmer des travaux de grattage du sol ou d'élimination de la végétation concurrente par exemple, tandis que d'autres préfèrent ne rien tenter afin de ne pas risquer des dépenses importantes sans retour aucun. À noter toutefois que seules deux parcelles ont bénéficié d'un travail du sol parmi celles qui ont été inventoriées

Enfin, afin d'avoir une idée plus précise de la régénération attendue, chaque agent a été amené à décrire ce qui caractérise pour lui une régénération satisfaisante. Dans l'ensemble, les personnes enquêtées indiquent qu'une bonne régénération se caractérise par un fort recouvrement du sol par des semis d'au-moins 50 cm de hauteur. Un seul agent a indiqué une donnée chiffrée, avec une densité recherchée d'une dizaine de semis au m², soit une densité optimale qui serait de 100 000 semis/ha. Selon les itinéraires techniques de référence (ITTS), « la notion de semis acquis et suffisants est définie par la présence de semis de hauteur supérieure à 20 cm, et à une densité minimale de 1 800 par ha de surface productive » (Office National des Forêts - Languedoc-Roussillon, 2002). Dans une note de service sur le suivi surfacique de la régénération (Office National des Forêts - Pôle recherche sylviculture et environnement, 2005), il est également précisé que la régénération est installée lorsqu'il y a « des semis dont la hauteur est supérieure à 50 cm, en quantité suffisante (densité supérieure à 1 100 semis/ha) ». Il y a donc un décalage entre les préconisations des guides et les attentes ainsi que la perception de la régénération par le personnel de terrain. Cela illustre bien la difficulté d'appréhender de façon qualitative et visuelle la problématique de la régénération.

Le bilan plus complet des entretiens (pouvant être utile au gestionnaire) est présenté dans un tableau en annexe B.

2.2. Élaboration d'un protocole d'inventaire de la régénération dans les peuplements

Le protocole d'inventaire a été rédigé et testé avant le commencement de la phase de terrain à proprement parlé. Comme indiqué précédemment, il comprend la mesure de la régénération et de différents paramètres du milieu, dont les explications sont données ci-après. Les détails pratiques des mesures sont donnés dans le protocole en annexe C.

2.2.1. Peuplements ciblés lors de l'inventaire

Afin d'apporter une aide à la gestion pour la deuxième période de l'aménagement de la FD de Mende, et pour l'intégralité de celui de la FD des Gorges du Tarn (celui-ci ayant été révisé en 2015), les unités de gestion étudiées dans le cadre de l'inventaire de la régénération dans les peuplements sont celles pour lesquelles la régénération a été entamée mais non terminée. D'un point de vue sylvicole, cela correspond aux peuplements passés en coupe d'ensemencement ou secondaire, mais n'ayant pas encore reçu la coupe définitive. Ainsi, ces mises en régénération s'étalent sur une période de dix ans entre 2008 et 2018, comme l'illustre la Figure 9. Toutes ces parcelles ont été étudiées sans autre filtre préalable afin de répondre à un des objectifs initiaux qui était de connaître l'état de la régénération dans les groupes de régénération de ces forêts.

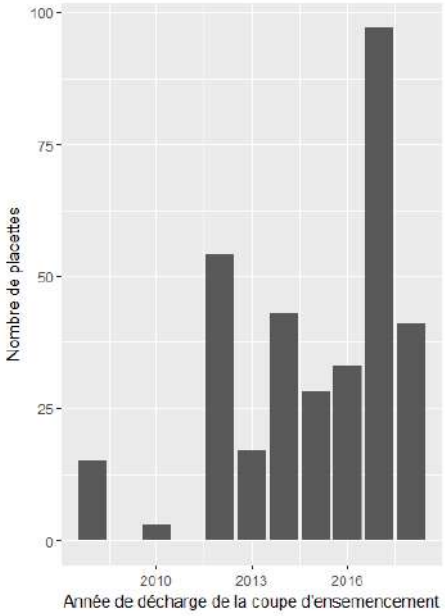


Figure 9 : Histogramme du nombre de placettes par année de passage en régénération

Cela représente 173,97 ha de forêt répartis sur une trentaine de parcelles ou parties de parcelles (annexe D).

Remarque : Le nombre de parcelles n'est pas réparti de façon homogène entre les années de passage en coupe du fait de la volonté d'inventorier l'ensemble des parcelles passées en régénération. Cela n'est pas non plus dérangeant pour l'analyse des données puisque les modèles retournés par le logiciel R ne seront pas bons si jamais cela causait problème.

2.2.2. Comptage et mesure des semis

Pour chaque placette, les semis ont été comptés sur trois placeaux de 2 m de rayon chacun (schéma d'une placette d'inventaire représenté en Figure 10), choisis selon une règle assurant le caractère systématique (et non choisi) de la mesure d'inventaire. Le fait de mesurer la régénération sur trois placeaux, et non sur un seul, permet de limiter les problèmes de « vides » sans pour autant trop surcharger la prise de données sur une placette. De plus, la surface ainsi inventoriée permet d'atteindre un taux d'échantillonnage d'environ 10 % de la surface de la placette (qui correspond à la surface d'inventaire du peuplement). Ce taux peut paraître faible mais la lourdeur du protocole ne permettait pas de l'améliorer de façon satisfaisante, et les données auront deux vocations :

- dresser bilan de la régénération par parcelle : plusieurs placettes seront donc regroupées entre elles, permettant de pondérer l'aléa induit par la faiblesse du taux d'échantillonnage ;
- analyser les effets de différentes variables : l'ensemble des placettes réalisées alimentera alors les modèles et les valeurs absurdes pourront être détectées et éliminées.

La régénération correspond à tous les semis de Pin noir d'Autriche de diamètre à 1,30 m inférieur à 7,5 cm. Celle-ci a été répartie selon 6 classes, de façon à coïncider avec les cinq classes de la base de données régénération (BDR) de l'ONF, en rajoutant la classe « semis de moins de 10 cm » afin de distinguer la régénération de l'année (dont l'avenir est moins que certain) de celle plus ancienne. De plus, pour les cinq classes de la BDR, la viabilité de la régénération a été relevée de façon individuelle, afin de pouvoir préjuger de la pérennité du peuplement futur. Un semis viable est donc un semis qui pourrait –sauf accident majeur–

devenir un arbre dans son état actuel (en pratique, les semis rejetés correspondaient à des pins végétant depuis de nombreuses années et ne dépassant guère le mètre de hauteur).

Outre la densité, une autre variable à expliquer est la croissance annuelle des brins de régénération. Dans cet objectif, la hauteur et le nombre de verticilles (permettant d'estimer l'âge) ont été mesurés pour les trois plus grands semis de chaque placeau, ce qui a permis par la suite de calculer un accroissement moyen de la régénération.

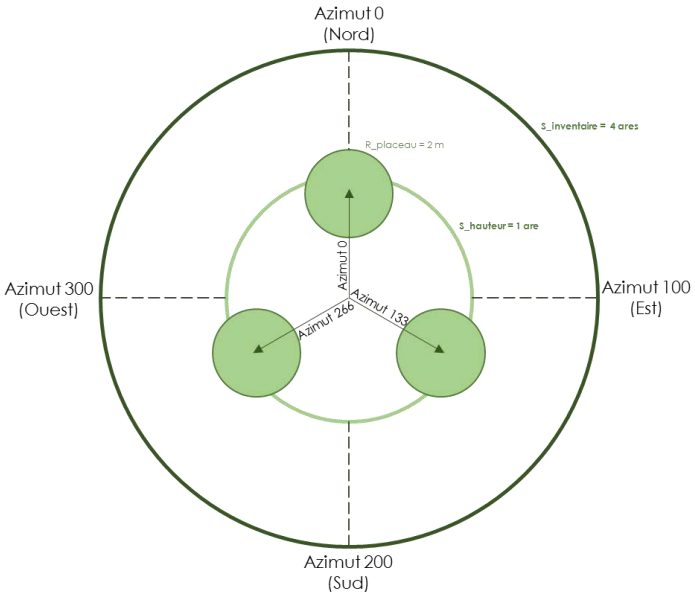


Figure 10: Schéma d'une placette d'inventaire de la régénération dans les peuplements

2.2.3. Évaluation du contexte stationnel

Cinq paramètres permettent de définir le contexte stationnel d'une placette : la pente, l'orientation, la microtopographie, le confinement et la fertilité.

Outre son rôle dans la quantité de lumière reçue, la pente influerait aussi sur les jeunes semis en provoquant leur déchaussement lors des épisodes de pluie assez importants (Office National des Forêts). De plus, avec la microtopographie, la pente influe sur le régime hydrique local par une redistribution des eaux de l'amont vers l'aval, d'autant plus dans ces massifs calcaires à pendage nul.

L'orientation a été mesurée en grades sur le terrain, permettant une analyse plus fine que les modèles numériques de terrain (MNT). De plus, le confinement a été relevé, soit la hauteur d'horizon dans les quatre directions principales, dans le but de modérer les effets de l'orientation et de la pente, et d'avoir accès à l'indice de climat lumineux (Becker & Schipfer, 1982). Un autre paramètre relevé et jouant dans le confinement est la présence ou non d'une lisière, *id est* d'une rupture brutale du couvert forestier en direction de chacun des points cardinaux.

Enfin, la fertilité a été identifiée pour chaque placette selon le catalogue des stations établi dans le cadre de l'aménagement de la FD de Mende par Vivien DORAT (annexe E), et qui distingue 10 types de station selon l'affleurement de la roche mère, sa nature, la topographie et l'exposition. Cette clef des stations est basée sur leur fertilité pour le Pin noir d'Autriche.

2.2.4. Inventaire du peuplement

En outre, afin d'évaluer l'effet du peuplement sur la régénération, celui-ci a été inventorié sur une surface de 4 ares, par essence et par diamètre. Cela a permis d'avoir accès à la surface terrière des arbres sur pied et des arbres passés en coupe lors de la dernière exploitation (mesure réalisée mais abandonnée pour l'étude car les données n'étaient pas toujours cohérentes avec les fiches de martelage, si bien qu'il a été décidé d'analyser l'effet du prélèvement avec des données propres à chaque parcelle et non à chaque placette). La mesure de la hauteur du Pin noir le plus gros (qui correspondait dans presque tous les cas à l'arbre le plus gros) sur une surface d'un are autour du centre de la placette a permis d'estimer la hauteur dominante du peuplement, celle-ci pouvant également jouer un rôle dans le couvert qu'apportent les arbres, notamment dans les versants.

Le choix de réaliser l'inventaire par placette à surface fixe a été fait car les peuplements de Pin noir sont d'une densité telle qu'il est difficile de visualiser à coup sûr tous les arbres qui pourraient rentrer dans une placette à angle fixe. Ce problème est par ailleurs accru dans les situations de pente puisque les arbres sont recherchés plus loin en distance horizontale. L'inventaire par surface fixe a donc été jugé préférable dans ce cas précis.

2.2.5. Autres facteurs du milieu

Sur chaque placeau, en plus d'inventorier la régénération, le couvert des différentes strates (muscinale, herbacée et arbustive) a été évalué afin de pouvoir estimer l'impact de la concurrence de la végétation sur la régénération.

Les dégâts de gibier ont également été relevés afin de répondre à la question des agents de terrain qui était de savoir si chevreuils, lièvres et mouflons s'attaquaient à la régénération naturelle ou se cantonnaient aux régénérations artificielles. À noter qu'il s'agit d'un indice d'abroutissement sur le Pin noir d'Autriche uniquement.

2.3. Rédaction d'un protocole d'inventaire de la régénération en lisière et dans les trouées

Suite au premier protocole et dans l'objectif de répondre aux questionnements des gestionnaires quant à l'effet réel des trouées et surtout des lisières sur la régénération, voire de mettre en évidence de nouvelles méthodes de régénération, deux protocoles d'inventaire de la régénération ont été rédigés. Le premier consiste à inventorier la régénération dans les lisières, et le second traite le cas des trouées intraforestières. Ces protocoles sont disponibles en annexe F et la cartographie des lisières et trouées inventoriées est présentée en annexe G.

2.3.1. Peuplements ciblés lors de l'inventaire

Afin de ne pas générer de biais trop important lors de l'inventaire, seuls des peuplements des groupes d'amélioration et de préparation ont été inventoriés lors de ces inventaires. En effet, il arrive dans les groupes de régénération que les lisières soient reculées ou que les trouées soient agrandies afin de profiter à la régénération s'y étant éventuellement développée. De même, des trouées peuvent être créées *ex nihilo* au-dessus de cônes de régénération apparus sous le couvert forestier. Ainsi, il était primordial de ne pas inventorier de telles zones où l'effet de la lisière ou de la trouée est totalement artificiel.

L'hypothèse a donc été faite que dans les groupes d'amélioration et de préparation, et les peuplements étant gérés en futaie régulière, le martelage se fait principalement selon un critère d'espacement et sans prise en

compte de la régénération (ou avec une prise en compte minime), contrairement aux martelages en groupe de régénération.

Par ailleurs, de par des contraintes temporelles, cette étude a été limitée aux zones de plateau (Causse de Mende pour la majorité), avec une volonté de faire varier certains paramètres propres à chaque protocole :

- l'orientation de la lisère : 12 lisières différentes ont été étudiées, avec une répartition des orientations comme celle présentée dans le Tableau 2. L'échantillonnage n'est pas équilibré entre les cas de figure, ce qui s'explique par les contraintes d'existence des différents cas de figure.
- la surface de la trouée : 5 trouées ont été inventoriées, avec des surfaces variant de 784 à 1993 m². De même que dans le cas des lisières, l'existence des trouées a largement conditionné l'échantillon possible, de même que le temps disponible à la réalisation de ces protocoles.

Tableau 2: Nombres de lisières et de transects réalisés pour chaque exposition

Exposition	NORD	EST	SUD	OUEST
Nombre de lisières	2	5	2	3
Nombre de transects	15	27	9	26

Par ailleurs, dans le but d'enrichir la base de données de l'inventaire des lisières, les transects réalisés dans les peuplements autour des trouées dans le cadre du protocole d'inventaire des trouées y ont été ajoutés, en précisant bien qu'il s'agissait de lisières tamisées et non franches.

2.3.2. Inventaire des lisières par transects

Comme l'illustre la Figure 11, la régénération a été inventoriée dans les lisères en réalisant des transects depuis l'extérieur du peuplement et en rentrant dans celui-ci en suivant une direction perpediculaire à la lisière. Au total, six placeaux de rayon 1,5 m ont été réalisés pour chaque transect, le choix ayant été fait de réduire le rayon des placeaux afin d'améliorer l'efficacité des comptages. En effet, en s'attendant à trouver de la régénération en quantité dans les lisières, il paraissait compliqué de conserver le rayon de 2 m utilisé dans le protocole précédent (2.2. Élaboration d'un protocole d'inventaire de la régénération dans les peuplements) sans perdre trop de temps à comptabiliser les semis.

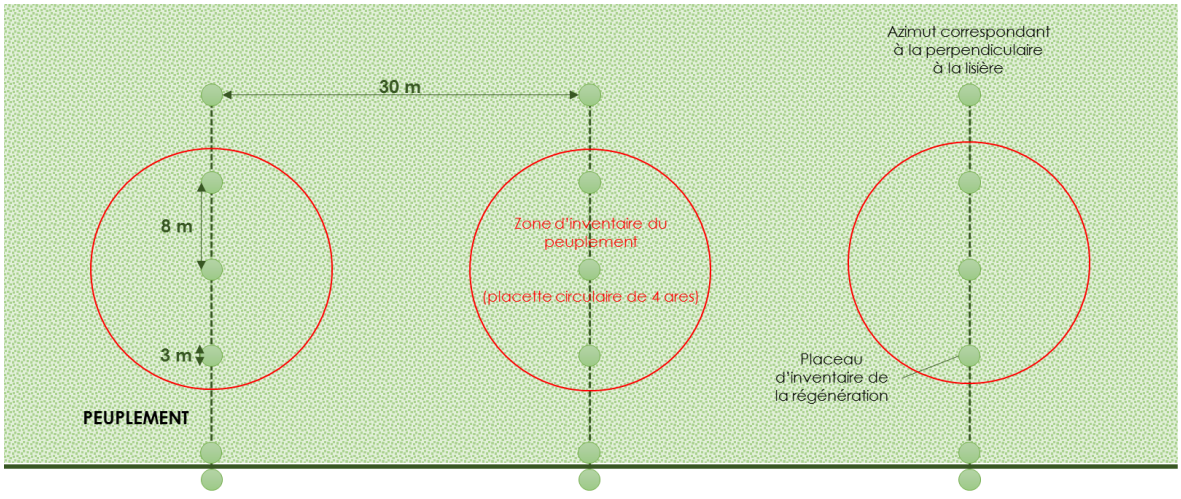


Figure 11 : Schéma illustrant l'inventaire des lisières par transect

Chaque transect a été caractérisé par le peuplement dans lequel il a été réalisé et par l'orientation de la lisière. Hormis la surface des placeaux, l'inventaire de la régénération sur le placeau est le même que celui réalisé dans le cadre du protocole « peuplement », la mesure des verticilles ayant été abandonnée car jugée trop chronophage. Ainsi, pour chaque placeau ont été mesurés : le nombre de semis pour chaque classe de hauteur en distinguant les semis viables des non viables (même définition que pour le protocole d'inventaire dans les peuplements), le recouvrement surfacique des strates muscinale, herbacée et arbustive, celui des blocs rocheux, des éboulis éventuels et des rémanents, puis une note de dégât de gibier a été attribuée. De plus, le peuplement a été inventorié comme pour le protocole précédent en réalisant une placette circulaire à 17,5 m vers l'intérieur du peuplement (soit au niveau du quatrième placeau).

2.3.3. Inventaire des trouées par axes

Dans le cadre des trouées intraforestières, la régénération a également été inventoriée par placeaux circulaires de rayon 1,50 m tous les 8 m, selon les axes Nord-Sud et Est-Ouest (Figure 12). Les mêmes paramètres ont été mesurés que dans le cadre de l'inventaire des lisières.

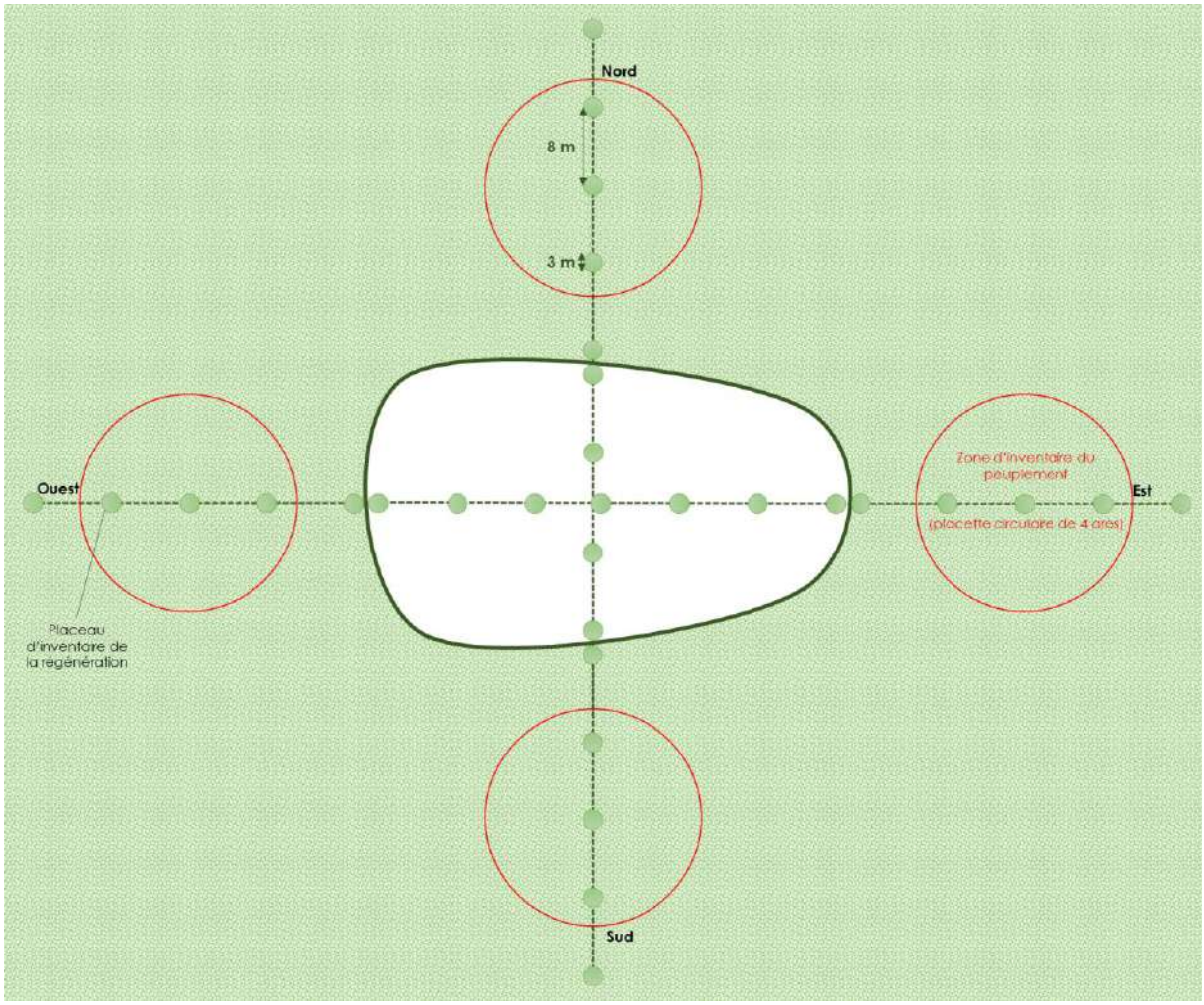


Figure 12 : Schéma illustrant l'inventaire des trouées par axe

De plus, chaque placeau est identifié par ses coordonnées dans l'espace et par sa position par rapport à la lisière pour ceux situés à l'intérieur de la trouée, permettant d'agréger les données lors de l'analyse.

2.4. Application des protocoles et déroulement de la phase de terrain

Figure 13: Illustration des difficultés de cheminement sur certaines parcelles

Suite à la rédaction et au test des trois protocoles, la phase de terrain a pu débuter à partir du 21 mars jusqu'au 2 juillet. Au total, 42 journées ont été passées à inventorier la régénération, comme indiqué dans la Figure 6. Ainsi, presque toutes les journées travaillées des mois d'avril, mai et juin ont été dédiées à l'inventaire de la régénération.

Sur les 42 journées de terrain, 22 ont été réalisées en binôme (avec Mme S.DELORME en début de période de terrain afin de s'assurer que le protocole était conforme et réalisable, et pour la grande majorité avec Mme L.VANBESELAERE en apprentissage BTS Gestion Forestière qui travaille sur un sujet analogue). L'inventaire de la régénération dans les peuplements en FD des Gorges du Tarn, ainsi que les inventaires dans les trouées et en lisière ont été réalisés seul. Bien que le travail en binôme facilite grandement les déplacements, il n'est pas plus efficace que le travail en solitaire d'un point de vue de la rentabilité, mais permet de travailler plus longtemps et dans de meilleures conditions morales. En effet, le travail d'inventaire était assez répétitif, ce qui pouvait rapidement entacher le goût de chacun pour le terrain.

De plus, le printemps ayant été particulièrement pluvieux cette année, à plusieurs reprises des journées de terrain ont dû être annulées car le matériel ne parvenait parfois pas à fonctionner (notamment le vertex sous les pluies orageuses). Par ailleurs, le rythme d'avancement des placettes pouvait varier du simple au double selon le terrain : entre 15 et 20 par jour en zone de plateau contre 10 à 15 par jour sur les versants, selon la pente (pente moyenne de 57% avec un maximum mesuré de 100 %) et la présence d'éboulis (comme l'illustre la Figure 13).

Les trois protocoles mis en place ont permis de recueillir un grand nombre de données dans différents contextes afin de tenter d'améliorer les connaissances sur la régénération du Pin noir dans les peuplements, dans les trouées et en zone de lisière. Les données ainsi récoltées ont été analysées avec le logiciel R, comme nous allons le voir dans la partie suivante.

3. Analyse des données recueillies et présentation des résultats de l'étude sur la régénération du Pin noir d'Autriche en Lozère

Afin de simplifier l'analyse des données sans pour autant mélanger des variables qui ne signifient pas la même chose, les modèles codés sous R ont à chaque fois été réalisés pour trois strates de régénération : les semis de hauteur inférieure à 10 cm, les semis de strictement plus de 10 cm mais moins de 50 cm et les semis de strictement plus de 50 cm, et en ne comptabilisant que les semis viables. Ainsi, la première catégorie (hauteur ≤ 10 cm) renvoie au potentiel d'apparition de la régénération, la seconde (10 cm < hauteur ≤ 50 cm) à son développement, et la dernière (50 cm < hauteur) représente la régénération « acquise ».

3.1. Résultats de l'inventaire des peuplements

3.1.1. Objectifs et variables utilisées

Le but de l'étude statistique est non pas d'établir un modèle de prédiction, mais plutôt de mettre en évidence, parmi tous les facteurs relevés sur le terrain, lesquels ont un effet significatif sur la densité de régénération de Pin noir (variable à expliquer, la densité d'une placette correspondant à la moyenne des densités des trois placeaux la composant) et d'essayer de corréler cet effet avec les connaissances biologiques que nous avons de cette essence.

Afin de simplifier le code (annexe H), chacun de ces effets potentiels a été codé lors de la saisie des données, comme présenté dans le Tableau 3.

Tableau 3: Tableau des variables explicatives du modèle

Code	Variable	Nature	Modalités	Échelle du relevé et calcul
FOR	Nom de la forêt	Qualitative	2 : MEN (FD de Mende) ou GDT (FD des Gorges du Tarn)	Parcelle
PEN	Pente (%)	Quantitative	De 0 à 100 %	Placette
COS_EXP	Cosinus de l'exposition (gradient Nord-Sud)	Quantitative	De -1 à 1	Placette
SIN_EXP	Sinus de l'exposition (gradient Est-Ouest)	Quantitative	De -1 à 1	Placette
TOP	Topographie	Qualitative	7 : Bas de versant, Croupe, Cuvette, Haut de versant, Milieu de versant, Plateau, Talweg	Placette
STA	Station	Qualitative	9 : Stations 1 et 3 à 10	Placette
G_TOT	Surface terrière (m²/ha)	Quantitative	De 6 à 59 m²/ha	Placette
H.0	Hauteur dominante (m)	Quantitative	De 14,0 à 34,8 m	Placette
TOT_MOU	Couvert de la strate muscinale (%)	Quantitative	De 0 à 95 %	Moyenne des 3 placeaux
TOT_HER	Couvert de la strate herbacée (%)	Quantitative	De 0 à 97 %	Moyenne des 3 placeaux
TOT_ARB	Couvert de la strate arbustive (%)	Quantitative	De 0 à 90 %	Moyenne des 3 placeaux
TOT_BLO	Couvert des blocs rocheux (%)	Quantitative	De 0 à 25 %	Moyenne des 3 placeaux
TOT_CAI	Couvert des éboulis (%)	Quantitative	De 0 à 100 %	Moyenne des 3 placeaux
TOT_REM	Couvert des rémanents (%)	Quantitative	De 0 à 93 %	Moyenne des 3 placeaux
DUR	Durée écoulée depuis l'ensemencement (années)	Quantitative	De 0 à 10 ans	Parcelle
PRE_PAR_REL	Prélèvement relatif en surface terrière de l'ensemencement (%)	Quantitative	De 19 à 44 %	Parcelle
PRE_PAR_ABS	Prélèvement absolu en surface terrière de l'ensemencement (m²/ha)	Quantitative	De 7 à 25 m²/ha	Parcelle
RAY_2012	Énergie lumineuse reçue pour une année moyenne (Wh/m²)	Quantitative	De 599 500 à 1 372 000 Wh/m²	Placette (SIG)
AGE_PPT	Âge des peuplements (années)	Quantitative	De 104 à 150 ans	Parcelle

Suite à une première analyse, les prélèvements par placette évalués grâce au comptage des souches ont été écartés au profit des prélèvements par parcelle jugés plus fiables et plus représentatifs de la décapitalisation du peuplement. De même, la note de dégât de gibier a été enlevée car l'absence de régénération impliquait une note nulle, ce qui faussait les données, et initialement cette note avait été mesurée dans le but de détecter localement d'éventuelles surpopulations.

Le protocole prévoyait la mesure des horizons des versants opposés et de la pente afin de calculer le rayonnement solaire incident, mais suite à ce calcul se basant sur des tables de référence établies il y a quarante ans (BECKER & CLAUDE, 1979), cette variable a été abandonnée au profit du rayonnement solaire calculé sous ArcGIS à l'aide du MNT au pas de 25 m qui s'est avéré plus précis et plus discriminant. Cette donnée a toutefois été abandonnée car elle générait des erreurs dans les modèles du fait de sa trop forte colinéarité avec d'autres variables. De la même façon, le relevé des lisières a été abandonné puisqu'il a finalement été décidé de dédier un protocole à l'influence de celles-ci sur la régénération, qui apportera certainement des résultats plus précis et plus fiables.

À noter que la durée écoulée depuis l'ensemencement a été calculée en partant du principe que l'année de la coupe d'ensemencement correspondait à l'année du printemps suivant la coupe. Par exemple, une coupe déchargée en octobre 2015 et une coupe déchargée en mars 2016 se sont toutes deux vues attribuer une année de passage en coupe de 2016. Ce choix a été fait afin de correspondre au mieux au cycle biologique du Pin noir puisque les semis de l'année apparaissent au mois de mai et disparaissent éventuellement à cause de la sécheresse au mois de juin. Ainsi, toute coupe réalisée au mois de juin ou après a été attribuée à l'année suivante.

En outre, afin de quantifier l'effet de l'orientation des peuplements, il a été décidé de calculer le sinus et le cosinus des expositions (en grade). Sachant que les allures du cosinus et du sinus pour les expositions sont celles présentées en Figure 14, il apparaît que :

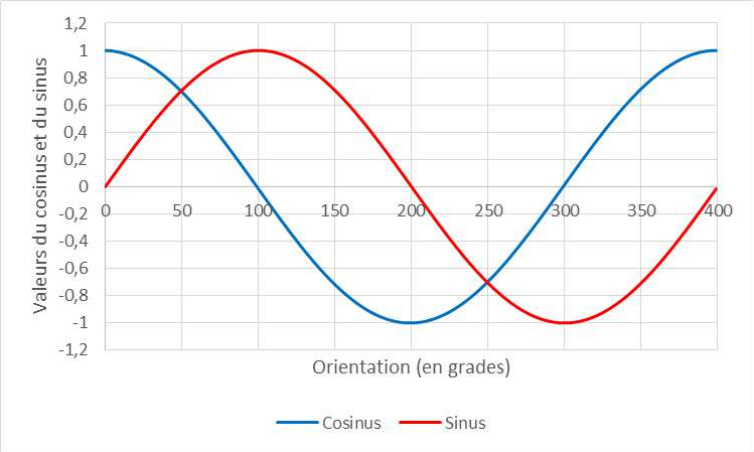


Figure 14: Graphique représentant les valeurs du cosinus et du sinus en fonction de l'orientation

- le cosinus génère un gradient du Nord – 0 et 400 grades (valeurs positives) vers le Sud – 200 grades (valeurs négatives) en égalisant les données pour l'Est et l'Ouest ;
- le sinus génère un gradient de l'Est – 100 grades (valeurs positives) vers l'Ouest – 300 grades (valeurs négatives) en égalisant les données pour le Nord et le Sud.

Cette quantification permettra par la suite de faciliter l'analyse statistique mise en œuvre.

3.1.2. Démarche générale de modélisation

Un premier modèle d'analyse de la covariance (ANCOVA) a été réalisé sur chacune des trois strates de régénération étudiées. Toutefois, l'hypothèse d'homoscédasticité qui est importante pour les résultats n'était pas satisfaisante, ce qui signifiait que le modèle était d'autant moins précis que les résidus étaient grands, et

ce même après d'éventuelles transformations par la racine carrée ou le logarithme de la densité (cette hypothèse n'est cependant pas primordiale pour déterminer l'influence d'une variable, elle l'est davantage pour déterminer la force exacte de cette influence). Ainsi, il a été décidé d'établir ce modèle en enlevant toutes les valeurs nulles qui pesaient et contraignaient les sorties du modèle, ce qui a permis d'améliorer l'hypothèse d'homoscédasticité. Dans chacun des cas, le meilleur modèle a été conservé en se basant sur le critère d'Akaike (*Akaike Information Criterion* ou AIC) et en conservant le modèle d'AIC la plus faible. Cela revient à maximiser la vraisemblance du modèle en minimisant le nombre de variables explicatives, ce qui permet d'obtenir le modèle le plus parcimonieux.

Par ailleurs, ce modèle enlevant les valeurs nulles du spectre des densités, il n'est pas forcément satisfaisant, c'est pourquoi d'autres modèles ont été codés, comme présenté dans le Tableau 4. Les modèles de poisson et de quasi-poisson sont adaptés aux données issues de comptage, tandis que la loi négative binomiale, les modèles de types hurdle et zero-inflated permettent souvent de corriger la surdispersion due à un trop grand nombre de valeurs nulles. Une autre approche a également été tentée en analysant les données non pas à l'échelle de la placette mais à l'échelle d'un groupe de placettes plus ou moins homogène. Ces modèles présentent chacun leurs avantages et leurs inconvénients, mais comme l'indique la colonne 'Commentaire', aucun n'est parfait. L'analyse se basera donc préférentiellement sur la concordance entre ces modèles, et sur les modèles de régression logistique binomiale présentés plus loin, mais qui présentent l'inconvénient de « hacher » les données en fixant des seuils de régénération.

Tableau 4 : Tableau de synthèse des modèles codés pour modéliser la densité de semis de pin

Modèle	Commentaire	Présenté dans le rapport
Modèle d'ANCOVA sur toutes les données	Homoscédasticité très mauvaise	non
Modèle ANCOVA sans les valeurs nulles	Homoscédasticité passable, limite d'application du théorème central limite car le jeu de données reste déséquilibré	oui
Modèle linéaire généralisé à loi de poisson (avec ou sans les valeurs nulles)	Homoscédasticité mauvaise, Valeurs d'Eigen absurdes	non
Modèle linéaire généralisé à loi de quasi-poisson (avec ou sans les valeurs nulles)	Homoscédasticité assez mauvaise	oui (avec les valeurs nulles)
Modèle à loi négative binomiale	Aucune mesure de la qualité, Erreur de code pour la régénération de plus de 50 cm	oui
Modèle hurdle	Aucune mesure de la qualité	oui
Modèle zero-inflated	Aucune mesure de la qualité, Résultats absurdes entre les deux sous-modèles	non
Modèles linéaires généralisés par groupe de placettes à loi de poisson et quasi-poisson (sur la densité de semis et la proportion de placeaux régénérés)	Homoscédasticité très mauvaise, Gommage des variables très ponctuelles	non

La significativité de l'effet d'une variable est testée au seuil de 5 %, ce qui se traduit concrètement par une *probability value* (communément abrégée en *p-value*) inférieure à ce seuil (en effet, la *p-value* correspond à la probabilité, sous l'hypothèse que l'effet n'est pas significatif, d'avoir le même résultat que le résultat observé, permettant ainsi de rejeter ou non cette hypothèse initiale).

Enfin, pour certaines variables explicatives pour lesquelles on s'attend à un effet de seuil, à savoir la surface terrière du peuplement et les prélèvements absolu et relatif, le carré de la variable a également été introduit, en veillant à ce que le résultat du modèle ne soit pas aberrant d'un point de vue sylvicole. Ces variables ont été sélectionnées car elles correspondent aux seules variables quantitatives sur lesquelles le forestier peut facilement avoir un moyen d'agir.

3.1.3. Modèles expliquant la densité de semis comme variable quantitative

Les différents modèles qui ont été sélectionnés, comme indiqué dans le Tableau 4, sont tous basés sur la même équation, qui est la suivante, ce qui simplifie les comparaisons qui peuvent être faites entre les coefficients de chaque variable.

$$\ln(densité_{semis}) = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \cdots + \alpha_n x_n$$

Les coefficients α_i sont propres à chaque modèle et peuvent se lire dans le Tableau 5 pour la régénération de moins de 10 cm (les résultats pour les strates supérieures figurent en Annexe M) qui récapitule les résultats des différents modèles. À titre d'exemple, pour le modèle de régression quasi-poissonienne pour la régénération de moins de 10 cm, le coefficient associé au couvert arbustif est de -2,70, et l'effet de la strate arbustive sera donc égal au produit de ce coefficient et du couvert d'arbustes effectivement relevé. Pour comparer les résultats des modèles, il suffit de comparer les coefficients alloués à chaque variable (en vert les coefficients positifs, en rouge ceux qui sont négatifs, et la cases blanches correspondent à des effets non significatifs). Pour les variables qualitatives (topographie et station), un coefficient propre à chaque modalité est ressorti, d'où la mention 'variable' dans le tableau de synthèse, les effets en seront détaillés plus loin.

Tableau 5 : Tableau de synthèse des régressions sur la densité de régénération de moins de 10 cm

Code	Variable	Régénération de moins de 10 cm				
		linéaire sans les 0	quasi-poisson	neg-bin	hurdle-count	hurdle-binomial
INTERCEPT	Terme constant	1,43E+01	1,14E+01	2,00E+01	1,61E+01	2,46E+01
PEN	Pente					
COS_EXP	Cosinus de l'exposition	4,01E-01			3,18E-01	
SIN_EXP	Sinus de l'exposition		2,90E-01			
TOP	Topographie					
STA	Station			variable	variable	variable
G_TOT	Surface terrière	1,91E-02				
G_TOT²	Surface terrière (carré)					
H.0	Hauteur dominante					
TOT_MOU	Couvert muscinal					
TOT_HER	Couvert herbacé					-2,97E+00
TOT_ARB	Couvert arbustif	-1,66E+00	-2,70E+00	-3,52E+00	-1,90E+00	-5,12E+00
TOT_BLO	Couvert des blocs					
TOT_CAI	Couvert des éboulis					
TOT_REM	Couvert des rémanents					-3,08E+00
DUR	Durée écoulée depuis la coupe					
PRE_PAR_REL	Prélèvement relatif		-4,17E+01	-4,72E+01	-3,21E+01	-2,11E+02
PRE_PAR_REL²	Prélèvement relatif (carré)		6,04E+01	6,66E+01	5,04E+01	2,78E+02
PRE_PAR_ABS	Prélèvement absolu	-6,98E-02	7,60E-01			2,01E+00
PRE_PAR_ABS²	Prélèvement absolu (carré)		-2,41E-02		-1,10E-02	-5,17E-02
AGE_PPT	Âge du peuplement	-4,85E-02			-3,23E-02	

Aucun élément de comparaison entre les modèles telle que l'*AIC* n'a été fourni pour deux raisons principales :

- le modèle de régression linéaire sans les valeurs nulles n'a pas été ajusté sur le même jeu de données que les autres modèles puisque les valeurs nulles ont été enlevées, or l'*AIC* ne permet de comparer que des modèles ajustés exactement sur les mêmes données ;
- les modèles de quasi-poisson et hurdle ne permettent pas de calculer de vraissemblance, et donc pas d'*AIC*.

À titre d'information, pour les modèles d'ANCOVA sans les valeurs nulles, 22 à 48 % de la variabilité des données est expliquée par les modèles. Pour une telle étude, ce résultat est plutôt positif. De plus, les modèles expliquent d'autant plus de variance que la strate de régénération est grande. Cela peut notamment provenir du fait que l'arrivée de régénération inférieure à 10 cm est « hasardeuse » et très variable spatialement et dans le temps.

3.1.4. Modèles expliquant la densité de semis comme variable qualitative

Les modèles précédemment présentés étant imparfaits, il a été décidé d'écrire des modèles de régression logistique binomiale, *id est* de binariser la variable à expliquer en 0 « la densité de semis est inférieure ou égale au seuil de X semis par hectare » et en 1 « la densité de semis est supérieure au seuil de X semis par hectare ». Le seuil d'analyse de X semis étant un paramètre sur lequel il est possible d'agir, il a donc été possible de le modifier afin d'étudier les multiples effets à différents seuils de régénération. Un autre avantage de cette méthode est de permettre à chacun d'observer les variables influençant significativement la régénération selon le seuil qu'il considère optimal pour chaque strate de régénération.

Les résultats de ces différents modèles sont présentés dans le Tableau 6. De manière générale, les modèles d'une même strate de régénération se ressemblent, avec parfois de légères variations (variable sans effet significatif à un seuil, mais significatif pour les autres seuils) qui se concentrent majoritairement pour les modèles de seuils extrêmes, soit ceux avec des seuils de 0 semis/ha (probabilité d'avoir de la régénération ou de ne pas en avoir du tout) et 10 000 semis/ha (probabilité d'être régénéré au seuil de 10 000 semis/ha ou de ne pas l'être). Par convention, il a été décidé de coder « positivement » la probabilité d'avoir une densité supérieure au seuil fixé, si bien qu'une variable avec un effet négatif indique une augmentation de la probabilité d'avoir une densité de régénération inférieure ou égale au seuil fixé, alors qu'une variable avec un effet positif indique une augmentation de la probabilité d'avoir une densité de régénération supérieure au seuil fixé.

En s'intéressant aux résultats en eux-mêmes, il apparaît que plusieurs variables ont des effets significatifs sur la régénération de Pin noir d'Autriche.

Tableau 6 :Tableau bilan des résultats des modèles de régression logistique binomiale

vert = effet positif significatif au seuil de 5 %
rouge = effet négatif significatif au seuil de 5 %

Code	Variable	Régénération de moins de 10 cm						Régénération de 10 à 50 cm						Régénération de plus de 50 cm					
	Seuil de régénération (semis/ha)	0	500	1000	2000	5000	10000	0	500	1000	2000	5000	10000	0	500	1000	2000	5000	10000
INTERCEPT	Terme constant	4,99E+00	6,18E+00	9,80E+00				1,61E+01	1,31E+01	4,47E+00	1,10E+01			5,89E+00	1,07E+01	5,73E+00			
PEN	Pente									-3,45E+00	-5,20E+00	-7,90E+00	-5,73E+00		-4,83E+00	-3,16E+00	-7,85E+00	-3,80E+00	-4,93E+00
COS_EXP	Cosinus de l'exposition			4,88E-01	6,05E-01			-5,58E-01	-8,68E-01	-5,61E-01	-6,22E-01			-4,85E-01	-8,35E-01	-7,51E-01	-1,05E+00	-1,06E+00	-7,19E-01
SIN_EXP	Sinus de l'exposition									6,47E-01		6,58E-01					7,73E-01	9,97E-01	9,89E-01
TOP	Topographie																		
STA	Station	Variable*	Variable*	Variable*	Variable*					Variable*									
G_TOT	Surface terrière	4,72E-02	2,37E-01	4,87E-02	5,00E-02	5,95E-02	4,46E-02	-3,95E-02						-4,31E-02					
G_TOT²	Surface terrière (carré)		-2,92E-03												-8,60E-04	-1,05E-03	-9,70E-04	-3,56E-03	
H.0	Hauteur dominante		-1,17E-01																2,24E-01
TOT_MOU	Couvert muscinal					1,91E+00													
TOT_HER	Couvert herbacé	-1,44E+00						-2,80E+00	-3,04E+00	-3,34E+00	-1,81E+00	-1,72E+00		-3,73E+00	-4,53E+00	-5,43E+00	-6,61E+00	-7,52E+00	-5,88E+00
TOT_ARB	Couvert arbustif	-3,94E+00	-3,19E+00	-3,28E+00	-2,52E+00	-3,45E+00	-3,51E+00	-3,79E+00	-4,30E+00	-4,55E+00	-4,52E+00	-5,37E+00	-6,70E+00	-3,87E+00	-3,88E+00	-4,29E+00	-5,79E+00	-7,42E+00	-6,96E+00
TOT_BLO	Couvert des blocs							-1,38E+01	-1,39E+01						-9,01E+00		-1,44E+01		
TOT_CAI	Couvert des éboulis				2,04E+00			-1,68E+00						-2,96E+00	-5,01E+00	-5,40E+00	-4,45E+00	-4,16E+00	
TOT_REM	Couvert des rémanents							-3,25E+00	-3,57E+00	-2,55E+00				-5,61E+00	-6,43E+00	-8,69E+00	-8,28E+00	-6,76E+00	-8,33E+00
DUR	Durée écoulée depuis la coupe								1,32E-01	2,80E-01	1,67E-01			-1,13E-01					
PRE_PAR_REL	Prélèvement relatif		-7,63E+00	-6,05E+00	-7,61E+00				-1,02E+01	-2,63E+01	-8,23E+01	-1,22E+01	-2,91E+01						
PRE_PAR_REL²	Prélèvement relatif (carré)																		
PRE_PAR_ABS	Prélèvement absolu					6,67E-01		-4,92E-01		8,85E-01	1,13E+00								
PRE_PAR_ABS²	Prélèvement absolu (carré)					-2,53E-02	-2,08E-02			-1,79E-02	-2,52E-02		8,72E-03						
AGE_PPT	Âge du peuplement			-4,22E-02			-8,05E-02	-5,04E-02					-9,84E-02						
AIC	Critère d'information d'Akaike	278	325	353	360	324	220	296	319	344	335	247	170	363	338	305	251	195	145
R^2 ajusté	Coefficient de détermination ajusté	35%	33%	30%	30%	30%	21%	30%	35%	34%	33%	40%	38%	22%	34%	35%	45%	48%	49%
Prédictions justes		85%	80%	73%	73%	79%	86%	84%	81%	78%	77%	87%	92%	74%	78%	77%	85%	89%	92%

3.1.5. Différents effets mis en évidence par les modèles

En s'appuyant sur les modèles de régression présentés au titre 3.1.3. Modèles expliquant la densité de semis comme variable quantitative qui permettent de quantifier l'effet des variables du milieu, et en les confrontant avec les modèles de régression binomiale, différents effets ont pu être explicités.

3.1.5.1. Effets de la pente

La pente influerait négativement sur la densité de la régénération supérieure à 10 cm. En s'intéressant aux coefficients, il est même possible de quantifier l'effet de la pente sur la régénération (exemple suivant pour la strate de semis supérieurs à 50 cm). Soient deux situations A et B identiques à la pente près, avec p_i la pente dans la situation i, de sorte que $p_A = p_B + 0{,}05$ (soit 5 % de pente en plus). En réappliquant l'équation du modèle, on obtient l'égalité suivante (avec $densité_{>50\ cm,B} \neq 0$ selon les hypothèses initiales du modèle).

$$\ln\left(densité_{>50\ cm,A}\right) - \ln\left(densité_{>50\ cm,B}\right) = \alpha_1 p_A - \alpha_1\, p_B$$

$$\leftrightarrow \ln\left(\frac{densité_{>50\ cm,A}}{densité_{>50\ cm,B}}\right) = \alpha_1(p_B + 0{,}05) - \alpha_1 p_B \leftrightarrow \frac{densité_{>50\ cm,A}}{densité_{>50\ cm,B}} = \exp(0{,}05\alpha_1) = 0{,}86 \text{ à } 0{,}90$$

Ainsi, une augmentation de 5 % de la pente impliquerait selon les modèles une diminution de 10 à 14 % de la densité de semis de plus de 50 cm, toutes choses égales par ailleurs et donc sous l'hypothèse qu'une telle variation de pente n'implique pas de variation des autres variables. Ce constat est le même pour la densité de semis de 10 à 50 cm, avec une baisse du même ordre de grandeur (8 à 15 %). Nonobstant, l'effet de la pente sur les semis de moins de 10 cm n'est pas significatif, ce qui confirmerait les hypothèses de la bibliographie selon lesquelles les semis de moins de 10 cm seraient déracinés au cours des épisodes orageux estivaux soit après la période de réalisation des relevés (Office National des Forêts). Ils auraient donc été comptabilisés avant d'être éventuellement déracinés, d'où l'absence apparente d'effet. Cela pourrait aussi venir d'un bilan hydrique défavorable du fait de l'écoulement gravitaire des eaux de pluie, qui commencerait à être défavorable lorsque les besoins en eau des semis sont les plus importants en volume : lorsqu'ils grandissent. Cette hypothèse expliquerait bien pourquoi l'effet n'apparaît que sur les strates supérieures de régénération.

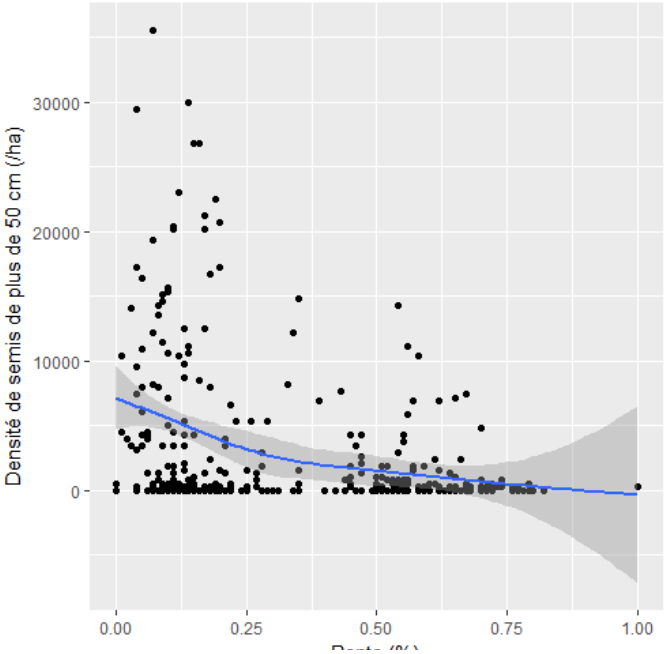


Figure 15 : Graphique représentant la densité de semis de plus de 50 cm de hauteur en fonction de la pente mesurée

Par simple représentation graphique de la densité de semis supérieurs à 50 cm en fonction de la pente, il a pu être déterminé que la pente commence à faire chuter la densité de façon importante au-delà des 25 % (Figure 15). La courbe bleue est la courbe de tendance associée aux données, et l'ombre située de part et d'autre représente son intervalle de confiance à 95 %.

La dernière étude réalisée en Lozère (CHAUVEAU, 1994) ne montrait aucun effet de la pente sur la densité, mais plutôt sur l'accroissement des semis. Toutefois, les techniciens restaient persuadé qu'elle avait un rôle important (*a priori* à juste titre).

3.1.3.3. Effets de l'exposition

L'étude menée par Claude CHAUVEAU en Lozère mettait en évidence un effet de versant négatif au Sud par rapport aux versants Nord, sans différence significative au seuil de 5 % entre ces versants et les versants Est et Ouest. Les coefficients en sortie du modèle semblent ici montrer :

- un effet semblable aux constats de C. CHAUVEAU pour les semis de moins de 10 cm (effet positif du cosinus dans les régressions logistiques aux seuils de 1000 et 2000 semis/ha et dans deux des modèles de régression généralisée),
- un effet contraire aux observations de C. CHAUVEAU pour les semis de plus de 10 cm (effet négatif du cosinus).

En effet, le cosinus de l'orientation d'un versant permettant de créer « artificiellement » un gradient Nord-Sud (positif au Nord et négatif au Sud), et comme le coefficient du modèle est positif pour les semis de moins de 10 cm, cela signifie bien qu'il y aurait une augmentation de leur densité en exposition Nord et une baisse en exposition Sud. Toutefois, c'est le contraire pour les semis de plus de 10 cm. Cela pourrait s'expliquer par le fait que lorsque les semis sont jeunes, le facteur limitant à leur survie est l'eau, tandis que lorsqu'ils grandissent et pour qu'ils grandissent, la lumière pourrait devenir le facteur limitant bien que l'eau jouerait encore un rôle. C'est d'ailleurs ce qu'indiquerait le coefficient du sinus de l'exposition qui est positif, ce qui signifie que l'effet est négatif à l'Ouest et positif à l'Est, la lumière matinale étant plus bénéfique et moins desséchante que la lumière du soir.

Toutefois, cet effet « positif » de versant Sud sur la régénération de 10 à 50 cm est à pondérer par l'effet des stations. En effet, la station 8 (soit la station correspondant à une fertilité moyenne sur versant sec) apparaît comme la plus défavorable à cette strate de régénération. En combinant les deux effets, il apparaît donc que les semis de 10 à 50 cm sont d'autant plus présents qu'il y a de lumière, mais pas dans les expositions les plus chaudes.

Par ailleurs, un autre élément qui pourrait avoir une influence sur l'analyse est que lors de la prise de données, quelle que soit la pente, une orientation était relevée, si bien que les placettes de « plateau » pourraient fausser l'analyse. Cette hypothèse a toutefois pu être écartée en réitérant l'analyse avec les placettes de pente supérieure ou égale à 30 % uniquement, qui a donné les mêmes résultats.

3.1.3.4. Effets de la topographie et de la station

La station aurait un effet significatif au seuil de 5 % sur la régénération de moins de 10 cm selon les régressions logistiques binomiales. Cet effet se retrouve également dans les modèles généralisés, mais un effet de la station apparaît aussi pour la régénération de 10 à 50 cm.

Cette variable étant qualitative, afin de pouvoir conclure sur les effets réels, il convient de comparer les moyennes de densité de régénération toutes autres variables étant fixées (ce qui n'est pas le cas dans la table de coefficients présentée précédemment). La fonction *lsmeans* du logiciel R permet de réaliser ces tests de comparaison des moyennes deux à deux selon chaque modalité. Il est alors possible d'affirmer que pour la régénération de moins de 10 cm, seule la différence entre les stations 7 et 10 est significative au seuil de 5 %. Cela signifierait qu'il y aurait davantage de semis de moins de 10 cm sur les stations de lithosol (codées par le numéro 10) que sur les stations de fertilité moyenne sur marne (codées par le numéro 7). Il serait possible d'envisager un blocage de la régénération dû aux marnes, mais ce résultat ne se retrouvant pas sur les strates de régénération supérieures, il ne paraît pas intéressant de l'approfondir.

De la même façon, pour la régénération de 10 à 50 cm, il semblerait que seules les différences entre les stations 4 et 5, et entre les stations 5 et 8 soient significatives au seuil de 5 % (avec une densité plus élevée sur station 5 que sur les stations 4 et 8). Cela signifie qu'il y aurait davantage de régénération sur les stations de bonne fertilité de versant (codées par le numéro 5) que sur les stations de plateau (numéro 4) et les stations de fertilité moyenne sur versant sec (numéro 8). Il paraîtrait logique que les semis parviennent mieux à se développer sur les stations de bonne fertilité en versant, toutefois cet effet n'apparaît pas sur la strate de semis supérieure, ce qui questionne quant à l'effet réel sur les semis. De même, il est étrange d'obtenir un résultat indiquant que les stations de plateau se régénèrent moins bien que certaines de versant, alors que ce sont en principe celles où il y a le moins de difficultés selon les techniciens. Un problème de sous-représentativité pourrait être avancé mais pourtant la station 5 a été relevée sur 31 placettes dans 6 contextes bien différents et sur les deux forêts.

La microtopographie relevée sur le terrain n'a pas d'effet significatif, quelle que soit la strate de régénération considérée selon les modèles de régression logistique binomiale. Certains modèles généralisés indiquent qu'elle aurait un effet sur la régénération de plus de 10 cm. L'analyse des moyennes comparées montre une différence significative seulement entre les situations de croupe et celles de cuvette (avec davantage de semis sur les croupes). Ce constat est étonnant, et pourrait venir de la faible représentativité de ces deux situations dans le jeu de données global (3 placettes décrites en croupe, et 8 en cuvette) ou d'un effet caché (par exemple avec une strate arbustive plus importante dans les cuvettes, qui pourrait expliquer la moindre densité de régénération). Cet argument est étayé par le fait que lorsque la comparaison se fait avec des modalités mieux représentées (milieu de versant, plateau) aucune différence n'est indiquée.

3.1.3.5. Effets des variables du peuplement

Les variables de peuplements semblent avoir des effets différents selon les strates de régénération considérées. Ainsi, la surface terrière a un effet significatif positif sur la régénération de moins de 10 cm, ce qui rejoindrait les avis des différents experts dans la bibliographie selon lesquels l'apparition des semis pourrait se faire sous un fort capital sur pied (Institut National de Recherche Agronomique, 1979). Effectivement plus il y a de semenciers, plus la régénération basse serait abondante, sans que la moindre luminosité ne l'affecte particulièrement dans son jeune âge. Ce propos est toutefois à pondérer car la présente étude n'a été menée que dans les groupes de régénération des deux forêts étudiées, soit dans des peuplements déjà passés en ensemencement et par conséquent un minimum « clairs ». Ainsi, dans la gamme de surface terrière étudiée, une augmentation de 5 m²/ha de la surface terrière augmenterait de 10 % la densité de semis de moins de 10 cm. De plus, en s'intéressant au terme de la surface terrière au carré qui ressort une fois avec un effet significatif dans les modèles de régression logistique binomiale (seuil de 500 semis/ha), il apparaît que la surface terrière optimale pour maximiser la probabilité d'avoir plus de 500 semis/ha de moins de 10 cm est de 40 m²/ha. Cela correspondrait aux peuplements de Pin noir qui ne sont pas encore passés en régénération (comparaison faite avec un peuplement de 400 tiges/ha de diamètre moyen de 35 cm), bien qu'il ne soit pas possible de l'affirmer puisqu'aucun relevé n'a été fait dans des peuplements non ensemencés. Une nouvelle campagne de mesure pourrait donc être envisagée dans ce type de peuplement.

Dans le cas de la régénération de plus de 50 cm, la surface terrière semble avoir un effet plutôt négatif dans les deux types de modèles (logistiques et généralisés). De plus, les modèles de régression linéaire sans les 0 indiquent un effet significatif de la surface terrière et de son carré. En solutionnant les racines du trinôme ainsi obtenu, il apparaît que la densité de régénération des semis de plus de 50 cm (hors cas d'échec de régénération) serait maximale pour une surface terrière de 22 m²/ha, rejoignant ainsi les préconisations des derniers

itinéraires techniques de travaux sylvicoles du Pin noir (Office National des Forêts - Languedoc-Roussillon, 2002), stipulant que la coupe d'ensemencement doit conserver au maximum 20 m²/ha de capital. Cela reviendrait à laisser 150-175 tiges/ha de diamètre 40 cm, ce qui correspond également aux préconisations de l'aménagement en cours.

En procédant de même pour le trinôme correspondant à la régénération de 10 à 50 cm, il apparaît que la surface terrière optimale serait alors de 34 m²/ha. Ainsi, ces résultats sur les trois strates de régénération suggèrent que la coupe d'ensemencement doit être légère et n'intervenir que dans les peuplements où la régénération de moins de 10 cm est présente, et qu'une coupe plus forte ou que la coupe d'ensemencement elle-même peut attendre que la régénération dépasse les 10 cm de hauteur.

En outre, la hauteur dominante du peuplement n'aurait pas d'effet significatif net sur la régénération, quelle que soit la strate considérée.

3.1.3.6. Effets de la concurrence des autres strates de végétation

Comme le pensaient déjà certains chercheurs (Centre national du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et Forêts, 1987), la mousse n'a pas d'effet significatif au seuil de 5 % sur la régénération de Pin noir. Toutefois, ce n'est pas le cas des herbacées qui auraient un effet négatif sur les semis de plus de 10 cm et des arbustes qui auraient un effet négatif sur l'ensemble des strates de régénération.

D'après les résultats des régressions logistiques binomiales, il apparaît effectivement que le couvert herbacé n'a un effet significatif sur la régénération de moins de 10 cm que pour le seuil de 0 semis/ha. Cela signifierait que la régénération peut être bloquée par un tapis herbacé dans les situations les plus critiques, mais que dès que les semis sont capables d'apparaître avec une densité d'au moins 500 semis/ha, les herbacées n'ont plus d'effet significatif sur la densité de semis. Ce constat est confirmé par les résultats des modèles généralisés. Cela va à l'encontre de l'opinion générale selon laquelle le tapis herbacé empêcherait la germination. En effet, s'il n'y a statistiquement pas moins de semis de moins de 10 cm (en ne considérant que les cas où il y en a) sur un sol très enherbé que sur un sol forestier net de toute herbe, mais qu'il y a moins de semis de plus de 10 cm, cela signifierait que c'est davantage un effet de concurrence qu'un effet de blocage. Il pourrait notamment s'agir de la concurrence pour la ressource en eau, le tapis herbacé agissant comme une pompe absorbant toute la réserve superficielle avant que l'eau ne puisse être utilisée par les semis. L'opinion générale de blocage de la régénération par les herbacées pourrait aussi venir du fait que lorsque celle-ci fait moins de 10 cm, elle n'est pas visible dans les herbes, et un simple regard ne permet pas de la déceler. Dans tous les cas, en procédant comme précédemment pour quantifier l'effet de la pente, il apparaît qu'une augmentation de 10 % du couvert des herbacées diminuerait de 7 à 17 % la densité de semis de 10 à 50 cm et de 21 à 24 % la densité de semis de plus de 50 cm. Cet effet est donc très important sur les semis de plus de 50 cm. Les principaux cas de fort couvert herbacé correspondaient à de la Canche cespiteuse, de la Seslérie bleue ou du Genêt d'Espagne, soit des plantes dites « sociales » car capables de former des tapis denses et continus.

Concernant les arbustes, les principales espèces pouvant présenter des couverts importants sont la Cytise ou un mélange de plusieurs espèces (Amélanchier, Prunelier, Camérisier) aboutissant à un couvert assez opaque à la lumière, qui expliquerait l'effet négatif sur les strates supérieures de régénération. De même que le tapis herbacé, les arbustes présentent également une concurrence sérieuse pour la ressource en eau. En raisonnant comme précédemment, une augmentation de 10 % du couvert arbustif entraînerait une diminution de l'ordre de 20-25 % de la densité de semis pour chaque strate, ce qui est important et peut mettre en péril une régénération déjà en peine.

3.1.3.7. Effets du couvert du sol

Les couverts surfaciques de rémanents et d'éboulis rocheux ont un effet négatif significatif uniquement sur la régénération de plus de 50 cm, et dans une moindre mesure sur la régénération de 10 à 50 cm (uniquement dans les modèles de régression logistique binomiale), tandis que les blocs rocheux n'ont pas un effet reconnu par autant de modèles (ce qui pourrait provenir d'un manque de placettes avec un fort recouvrement de dalles rocheuses, il s'agissait plutôt d'éboulis).

Le fait que l'effet des rémanents ressorte uniquement sur la régénération haute pourrait s'expliquer par le fait qu'il s'agit ici d'un phénomène d'encombrement spatial, car plus les semis sont grands et plus ils ont besoin d'espace. Le problème des rémanents peut sembler anecdotique, toutefois sur de nombreuses placettes, le pourcentage de couverture en rémanents est important (près de 10 % des placettes avec au moins un tiers de la surface occupée par un épais tapis de rémanents, comme dans le cas de la Figure 16 par exemple). Ce couvert épars pourrait être davantage limité en terme de surface par la création de cloisonnements d'exploitation sur lesquels les rémanents seraient déposés, conformément aux recommandations du *Guide pratique pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL »* (Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement ; Office National des Forêts, 2009). Les cloisonnements permettent par ailleurs de réduire largement les dégâts d'exploitation dus à la circulation des engins sur la régénération, et de ne pas tasser les sols, les phénomènes de tassement limitant la réserve utile en eau et la propagation des racines.

Figure 16 : Exemple d'une placette avec un fort couvert de rémanents

La question des éboulis est pour sa part indépendante de l'action du forestier qui doit la subir. Comme l'effet n'apparaît que pour la régénération de plus de 50 cm, cela pourrait traduire une difficulté des semis à s'enraciner de manière durable et à immobiliser localement l'éboulis pour ne pas qu'il les détruise à sa prochaine phase d'activité.

3.1.3.8. Effets de la sylviculture

Les effets de la sylviculture sont représentés par les variables de prélèvement et de durée de rotation entre l'ensemencement et la définitive (ou de la secondaire dans les rares cas où il y en a eu une).

Ainsi, selon les modèles de régression logistique binomiale, le prélèvement relatif influencerait négativement la densité de régénération de moins de 50 cm, sans avoir d'effet significatif sur celle de plus de 50 cm, et le prélèvement absolu aurait un effet plus contrasté puisque son terme au carré intervient (réponses

de forme parabolique correspondant à des trinômes présentant des *maxima* aux alentours de 13 m²/ha pour la régénération de moins de 10 cm contre 22 m²/ha pour la régénération de 10 à 50 cm). Ces effets sont confirmés par les modèles généralisés, qui apportent en plus une information sur l'effet du prélèvement relatif sur la régénération de moins de 10 cm, avec un optimal qui se situerait aux alentours des 30 % de prélèvement en surface terrière.

Le fait que le prélèvement relatif ait un effet négatif tandis que le prélèvement absolu a un effet positif suggère qu'il faille enlever un capital assez conséquent sans qu'il ne représente une grosse part du peuplement, ou qu'il faille intervenir sans prélever beaucoup des arbres en place. Cela rejoint l'observation précédente : il faudrait préférer des interventions légères à des gros chocs déstabilisants pour le peuplement. Ce constat pourrait également masquer un autre effet des passages en coupe qui est celui de remanier l'horizon superficiel du sol, ce qui pourrait être favorable à la régénération. Dans tous les cas, aucune des deux modélisations ne montre un effet du prélèvement sur la régénération de plus de 50 cm, mais sachant que cette strate serait sensible à une trop forte surface terrière, il est nécessaire d'intervenir pour abaisser la densité du peuplement voire de l'enlever totalement si la densité de régénération est suffisante au moment où elle atteint cette hauteur.

En outre, le fait que la décapitalisation influence de façon négative la régénération de moins de 10 cm rejoint le constat précédent selon lequel cette strate de régénération est positivement corrélée à la surface terrière du peuplement. Il apparaîtrait donc qu'une coupe d'ensemencement dans le Pin noir n'est pas une intervention bénéfique à l'apparition de la régénération, et elle serait même dommageable si les semis de moins de 10 cm sont trop peu nombreux en les exposant à une trop forte lumière et à des risques de déshydratation accrus.

Enfin, l'effet de la durée de rotation, en l'occurrence le temps écoulé depuis la coupe d'ensemencement n'a pas d'effet significatif sur la régénération dans les modèles généralisés, mais il semble influencer la régénération de 10 à 50 cm dans les modèles binomiaux. Plus la coupe est ancienne et plus la régénération de cette strate serait présente actuellement. Les rotations étant fixées à 6 ans dans l'aménagement, peu de parcelles avaient une durée de coupe supérieure (ou alors seulement les parcelles pour lesquelles la coupe définitive a été retardée car la régénération en place était jugée insuffisante). Il n'est donc pas possible de conclure sur une rotation optimale, toutefois, comme aucun effet notable n'est observé sur la régénération de plus de 50 cm (il y aurait un effet négatif pour un modèle parmi les six), deux hypothèses peuvent être avancées. Soit le temps laissé à la régénération pour réagir n'aurait réellement pas d'influence sur la probabilité d'avoir de la régénération de plus de 50 cm, soit le temps maximal accordé n'est pas suffisant pour avoir un effet sur cette strate de régénération. La première hypothèse paraît incongrue du fait qu'un effet assez net et marqué est mis en évidence sur la strate inférieure, la seconde paraîtrait donc plus plausible. Toutefois, un argument qui pourrait réfuter cette hypothèse est qu'il faille intervenir avant que les semis ne soient trop grands, sinon ils ne grandissent pas assez (ce qui rejoindrait l'observation précédente quant à l'effet négatif de la surface terrière sur les semis de plus de 50 cm mais positif sur ceux de 10 à 50 cm) et risquent d'être cassés lors de l'exploitation. La question aurait éventuellement pu être tranchée plus nettement avec un jeu de donnée plus diversifié (Figure 9).

3.1.3.9. Effets de l'âge du peuplement

Étant donné que les forestiers français ont peu de connaissances sur la durée de vie des peuplements de Pin noir d'Autriche dans nos régions, il était primordial de s'intéresser aux effets de l'âge des peuplements. Ainsi, celui-ci influence négativement et de façon significative la densité de régénération de moins de 50 cm dans certains modèles, mais n'a pas d'effet significatif sur celle de plus de 50 cm. Cette différence pourrait

s'expliquer par le fait que les strates de régénération les plus basses sont directement liées au flux de graines disponibles, qui dépendrait de l'âge des peuplements. Au contraire, la régénération de plus de 50 cm a « subi » les effets des autres variables et est donc plus déconnectée de l'influence des semenciers. Il y aurait donc un âge à partir duquel la fertilité des pins diminue, et ce de façon suffisamment importante pour influencer la densité de la régénération dans le peuplement (observation à moduler car les peuplements d'âge différent peuvent aussi avoir eu des histoires bien différentes). Ainsi, cinq ans de vieillissement entraîneraient une diminution de l'ordre de 20 % de la densité de semis de moins de 10 cm (et de 15 % pour ceux de 10 à 50 cm), dans la gamme de 104 à 150 ans. Aucun effet de seuil n'a pu être mis en évidence graphiquement. Aucune donnée supplémentaire ne semble exister dans la bibliographie concernant l'influence de l'âge des semenciers. Il serait intéressant de pouvoir approfondir cette thématique afin de ne pas risquer de mettre certains peuplements anciens en situation d'impasse sylvicole.

3.1.5.10. Synthèse de l'analyse des modèles

De multiples effets ont été mis en évidence par un ou plusieurs des modèles précédemment établis et présentés, et ils sont récapitulés dans le Tableau 7 de synthèse. Chaque effet est codé par un '+' s'il est positif pour la régénération ou un '-' s'il lui est négatif, le nombre de symbole étant un renvoi à la puissance de cet effet, au vu des résultats des modèles et des discussions précédentes.

Tableau 7 : Tableau de synthèse des résultats (la plupart des effets sont indiqués dans le sens d'une augmentation de la variable quantitative associée dans sa gamme de représentativité)

Variable	≤ 10 cm	10 - 50 cm	> 50 cm
Pente (↗)		--	--
Exposition Nord		-	-
Exposition Sud		+	+
Exposition Est		+	+
Exposition Ouest		-	-
Topographie			
Station	+/-	+/-	
Surface terrière (↗)	+		-
Hauteur dominante (↗)			
Couvert muscinal (↗)			
Couvert herbacé (↗)		-	--
Couvert arbustif (↗)	--	--	--
Couvert des blocs (↗)		-	-
Couvert des éboulis (↗)		-	--
Couvert des rémanents (↗)		-	-
Durée écoulée depuis la coupe (↗)		+	
Prélèvement relatif (↗)	-	-	
Prélèvement absolu (↗)	-		
Âge du peuplement (↗)	-	-	

3.1.6. Autres résultats de l'inventaire des peuplements

3.1.6.1. Influence du travail du sol sur l'apparition de la régénération

Seules deux parcelles rencontrées au cours de l'inventaire réalisé ont bénéficié d'un travail du sol, consistant en un grattage superficiel à la pelle TP. Dans les deux cas, ces travaux ont été programmés au bon vouloir des techniciens, et dans un des deux cas en dernier recours sur une parcelle où la régénération ne semble pas s'installer. La donnée n'a donc pas pu être traitée avec le reste des variables car elle se retrouvait « écrasée »

dans le flot d'informations sans aucun résultat. Pour une des deux parcelles travaillées, il a été tenté une comparaison entre les placettes de la partie travaillée et celles de la partie non travaillée (comme l'illustre la Figure 17). Il s'agit de la parcelle 478 de la FD de Mende, une parcelle présentant l'avantage d'avoir la moitié de sa surface ayant été travaillée et l'autre moitié non. Le travail du sol a consisté en un grattement de la partie superficielle et du tapis herbacé, créant ainsi des zones de sol nu dans la partie travaillée, comme celle présentée en Figure 18.

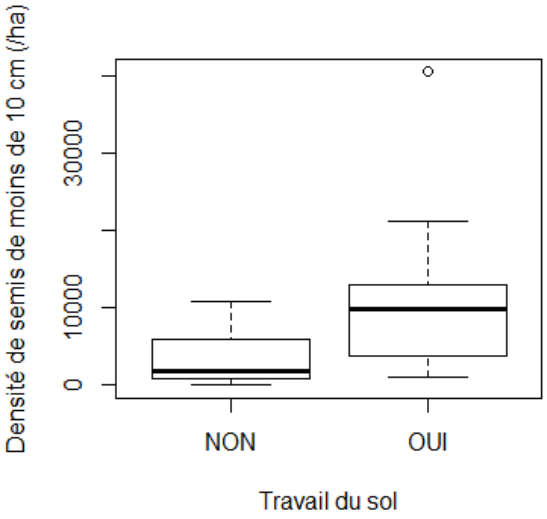


Figure 17 : Boxplots de la densité de semis de moins de 10 cm selon les deux modalités de travail du sol

La différence de moyenne n'est pas significative au seuil de 5 % mais elle l'est au seuil de 10 %, et à ce seuil de confiance il y aurait davantage de semis de moins de 10 cm dans la zone travaillée que dans la zone non travaillée. Ce résultat n'étant pas statistiquement satisfaisant, une nouvelle campagne de mesure a donc été réalisée.

Remarque : une boîte se compose de cinq repères avec de haut en bas : le neuvième décile, le troisième quartile, la médiane, le premier quartile et le premier décile.

L'inventaire n'a porté que sur les semis de l'année (facilement reconnaissables par leur allure et leur absence de verticille) qui étaient absents lors du premier passage en inventaire classique (car celui-ci avait eu lieu trop tôt dans la saison) et juste avant la saison à laquelle ils commencent à sécher en raison des fortes chaleurs (Figure 19). Ainsi, ce protocole a été réalisé dans l'unique but d'étudier l'effet du travail du sol sur l'apparition de la régénération de l'année.

Figure 18 : Cuvette de sol nu créée par le travail du sol

Figure 19 : Exemple de semis de l'année grillé

De fait, les semis de l'année ont été comptabilisés sur des placeaux circulaires de rayon égal à 1,5 m, avec un placeau tous les 8 pas selon un cheminement aléatoire et unidirectionnel afin de ne pas remesurer deux fois la même zone. Au total, soixante placeaux ont été réalisés, dont 30 en zone travaillée et 30 en zone non travaillée. Les résultats des 60 placeaux ont été analysés à l'aide du logiciel R (annexe I).

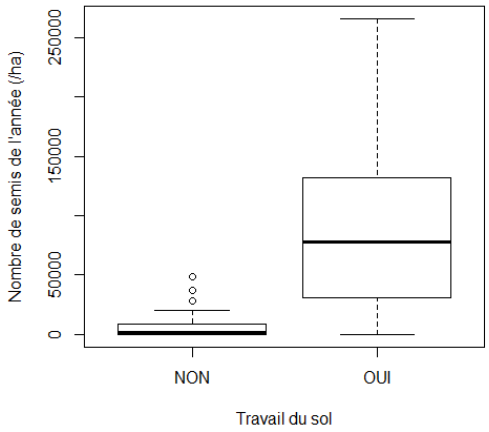


Figure 20 - Boxplots de la densité de semis selon les deux modalités de travail du sol

Les *boxplots* présentés en Figure 20 permettent de mettre en évidence plusieurs éléments.

Tout d'abord, la densité de régénération en zone travaillée est très variable selon les placeaux (premier quantile égal à 25 000 et troisième quantile proche de 150 000 semis/ha). Cela s'explique par le fait qu'un travail du sol n'est jamais parfaitement homogène, ainsi dans les zones où le couvert herbacé n'a pas été gratté, les semis de l'année ne parviennent pas à s'installer.

Malgré cette grande disparité, l'existence d'une différence de densité moyenne de semis de l'année entre la zone travaillée et la zone non travaillée paraît assez nette. Afin de la confirmer, une analyse statistique a été réalisée par la mise en place d'un test de comparaison des moyennes avec comme hypothèses initiales :

$$\begin{cases} H_0 : \mu_{NON} = \mu_{OUI} \\ H_1 : \mu_{NON} \neq \mu_{OUI} \end{cases} avec \begin{array}{l} \mu_{NON} \text{ la densité moyenne de semis dans la zone non travaillée} \\ \text{et } \mu_{OUI} \text{ la densité moyenne de semis dans la zone travaillée} \end{array}.$$

La *p-value* de ce test est de 5,996e^{-9} soit *p-value* << 0,05, donc on rejette l'hypothèse nulle au seuil de 5 %. Cela signifie que pour un tel niveau de confiance, la différence de densité moyenne de semis de l'année est significativement différente, avec une moyenne de 91 579 semis/ha en zone travaillée contre 7 026 semis/ha en zone non travaillée. La mise à nu du sol permettrait donc bien d'accroitre le potentiel de régénération d'un peuplement, en favorisant l'implantation des jeunes semis de pin. Il serait intéressant de poursuivre le suivi sur cette parcelle dans les années à venir, afin de déterminer si cet effet est durable ou non dans le temps (même protocole que celui-ci qui a l'avantage d'être simple et rapide, pendant au moins trois ans).

Deux remarques peuvent être faites quant au raisonnement précédent. D'une part la densité de semis de 7026 /ha peut paraître élevée par rapport aux mesures réalisées dans les peuplements, mais il ne s'agit là que des semis de l'année, et leur devenir n'est pas certain (de nombreux phénomènes de fontes de semis étant observés sur la forêt). D'autre part, le résultat semble *a priori* incohérent avec les modèles précédents qui montraient que le couvert herbacé n'avait pas d'influence significative sur la régénération de moins de 10 cm. En approfondissant la réflexion, les deux résultats ne sont pas incompatibles, le grattage du sol ayant deux actions : une première de décapage de la couche herbacée, et une deuxième de grattage du sol forestier. Ainsi, ce serait plus la réceptivité du sol en lui-même qui expliquerait cette différence de densité de semis de l'année, les graines parvenant mieux à germer sur un sol gratté que sur un sol forestier non gratté (qu'il soit ou non enherbé). Le fait que la différence ne soit pas significative pour les semis de moins de 10 cm pourrait par ailleurs venir du fait que les travaux ont été réalisés au printemps 2017, ne laissant qu'une seule saison d'installation potentielle de semis (d'autant que l'été 2017 était assez sec, donc il ne serait pas étonnant que la plupart des semis de cette année aient séché et n'aient donc pas été comptabilisés cette année). Dans tous les cas, des interrogations persistent sur les conséquences du travail du sol, et un suivi des semis de l'année et des semis de moins de 10 cm à l'avenir sur cette parcelle pourrait répondre à ces questions.

3.1.6.2. Influence des différentes variables sur l'accroissement des semis

Le protocole d'inventaire de la régénération dans les peuplements prévoyaient également la mesure de la hauteur des trois plus grands semis de chaque placeau, et le décompte de leurs verticilles qui ont permis de calculer pour chacun un accroissement moyen, dont la valeur moyenne par placette a été retenue afin d'éviter les biais dus à des croissances individuelles exceptionnelles. La moyenne sur l'ensemble des données s'établit à 10 cm/verticille, ce qui paraît correct pour des jeunes semis de Pin noir d'Autriche. Toutefois, les valeurs oscillent entre 3 et 23 cm/verticille, un nouveau modèle a donc été rédigé afin d'essayer d'expliquer ces variations par les mêmes variables que celles présentées précédemment (3.1.1. Objectifs et variables utilisées).

Le modèle ainsi obtenu après élimination des variables non explicatives est le suivant. Les effets quantitatifs des variables sont détaillés dans le Tableau 8 en prenant les *extrema* de chacune. La relation étant linéaire, il est possible d'interpréter directement les chiffres, ainsi la pente peut diminuer l'accroissement de 3,04 cm/verticille pour sa valeur maximale (100 % selon les données de cette étude), ou ne pas l'abaisser du tout pour son minimum de 0 %.

$$ACC_{MOY} = 21{,}98 - 3{,}04PEN - 0{,}94COS_{EXP} - 0{,}07G_{TOT} - 2{,}59TOT_{HER} - 12{,}35TOT_{BLO} - 2{,}12TOT_{CAI} - 2{,}76TOT_{REM} + 0{,}21PRE_{PAR_{ABS}} - 8{,}51.10^{-6}RAY_{2012} - 1.27GIB$$

Tableau 8 : Quantification des effets des différentes variables sur l'accroissement des semis

Code	Variable	Gamme d'effet (cm/verticille)
PEN	Pente	[-3,04 ; 0]
COS_EXP	Cosinus de l'exposition	[-0,94 ; 0,94]
G_TOT	Surface terrière	[-4,13 ; -0,42]
TOT_HER	Couvert herbacé	[-2,51 ; 0]
TOT_BLO	Couvert des blocs	[-3,09 ; 0]
TOT_CAI	Couvert des éboulis	[-2,12 ; 0]
TOT_REM	Couvert des rémanents	[-2,57 ; 0]
PRE_PAR_ABS	Prélèvement absolu	[1,47 ; 5,25]
RAY_2012	Rayonnement solaire	[-11,7 ; -5,10]
GIB	Note de gibier	[-4,7 ; 0]

Il explique 29 % de la variabilité des résultats et permet de prédire la valeur d'accroissement moyen d'un semis en centimètres par verticille. Plusieurs effets sont ainsi mis en évidence : certains influençant déjà la densité de régénération (effets négatifs de la pente, du cosinus de l'exposition, de la surface terrière, du couvert herbacé, de celui des rochers, éboulis et rémanents ainsi que du rayonnement, et effet positif du prélèvement absolu), de nouveaux apparaissant (effet négatif de l'indice d'abroutissement puisqu'il avait été supprimé des autres modèles car il faussait l'analyse) et d'autres auxquels nous aurions pu nous attendre mais qui ne semble pas significatifs finalement (couvert arbustif notamment).

Les interprétations biologiques de ces effets peuvent être classées en trois grandes catégories :

- influence sur la ressource en eau : bilan hydrique négatif dans les pentes, concurrence avec les herbacées, réserve utile du sol moindre en présence de blocs rocheux ou déboulis ;
- influence sur l'énergie solaire reçue : effet de versant mis en évidence par le cosinus (effet positif au Sud car le versant est ensoleillé contrairement aux expositions Nord où l'effet est négatif), à

moduler en fonction du rayonnement qui a un effet négatif, la surface terrière et le prélèvement absolu rendent compte de l'effet direct du peuplement qui devrait être assez clair pour permettre à la régénération de croître correctement ;

- influence mécanique directe : gibier qui consomme la pousse terminale, entraînant une perte de croissance importante sur l'année de réalisation du dégât, couverture de rémanents qui semble avoir un effet négatif et qui pourrait dissimuler un effet de dégât d'exploitation (plus il y a de rémanents dans la zone de relevé, plus la probabilité que la régénération ait été percutée est élevée).

Ce modèle illustre donc l'importance de la mise en lumière par l'action du forestier pour favoriser la croissance des semis. Selon le guide de sylviculture du Pin noir d'Autriche (Office National des Forêts, 1996), cette mise en lumière doit se faire environ quatre ans après l'apparition de la régénération, soit avant qu'elle n'atteigne les 50 cm, ce qui pourrait également limiter les dégâts d'exploitation. Toutefois, le maintien d'un certain couvert pourrait limiter la branchaison des jeunes arbres et donc aider à la formation de peuplements de qualité. Le dosage de la lumière sera donc à apprécier en fonction de la densité de la régénération (si elle est trop faible, la branchaison sera d'autant plus forte) et de l'état sanitaire du peuplement en place. Dans le cas d'un recours à l'enlèvement total du couvert, un effet de concentration des ressources pour le gibier pourrait alors être craint puisque la coupe définitive ouvre un milieu riche en jeunes semis, mais selon les observations du terrain, les dégâts de gibier ne sont pas particulièrement sévères dans les zones à forte densité de régénération. Cet effet serait toutefois à craindre si la régénération est éparse.

3.2. Résultats de l'inventaire des lisières et des trouées

3.2.1. Comportement de la régénération dans les lisières

3.2.1.1. Comparaison des données des transects intra-peuplement des deux protocoles

De manière à enrichir le jeu de données des lisières, il a été envisagé de compiler les données des deux inventaires en mélangeant d'une part les lisières inventoriées lors du protocole dédié aux lisières, et d'autre part les transects réalisés dans le peuplement lors du protocole dédié aux trouées. Toutefois, afin de s'assurer de l'homogénéité des données, une comparaison qualitative a été réalisée, comme illustré sur la Figure 21. Ainsi, sur le graphique de droite permettant de distinguer les transects réalisés dans les trouées de ceux réalisés dans les lisères, il semblerait que le comportement de la régénération dans les lisères (courbe rouge) soit différent de celui dans les trouées (courbe bleue). Les mêmes constats pourraient être faits sur les graphiques des strates de régénération plus basses (Figure 22 et Figure 23), et il ne sera de fait pas possible de mêler les jeux de données pour l'analyse sans risquer de fausser les résultats : une analyse disjointe sera réalisée par la suite.

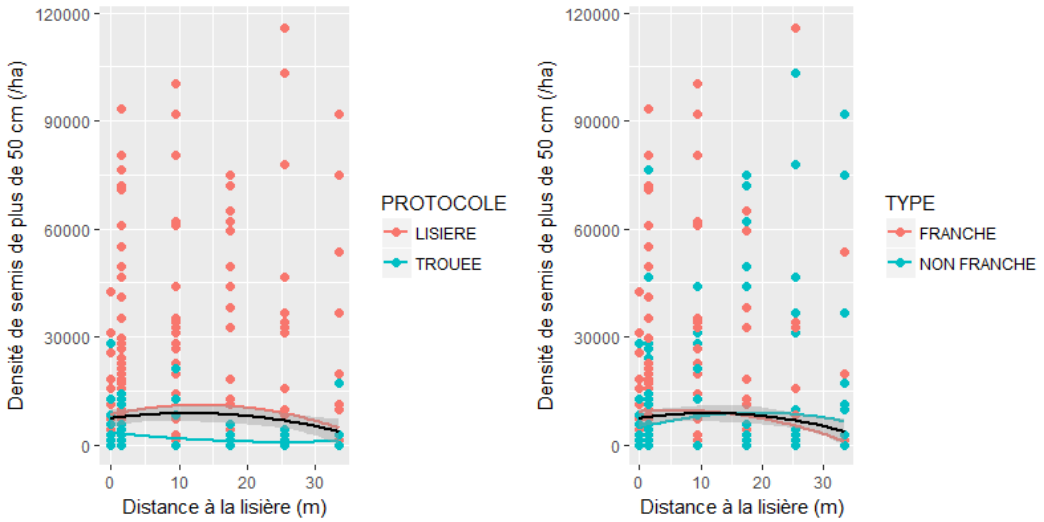


Figure 21 : Graphiques représentant la densité de semis de plus de 50 cm dans les peuplements en fonction de l'écart à la lisère

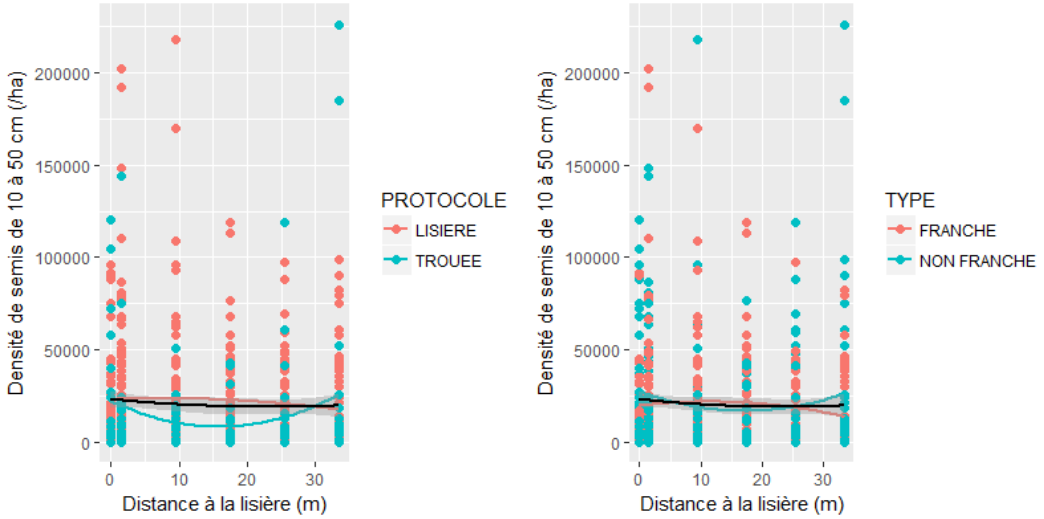


Figure 22 : Graphiques représentant la densité de semis de 10 à 50 cm dans les peuplements en fonction de l'écart à la lisière

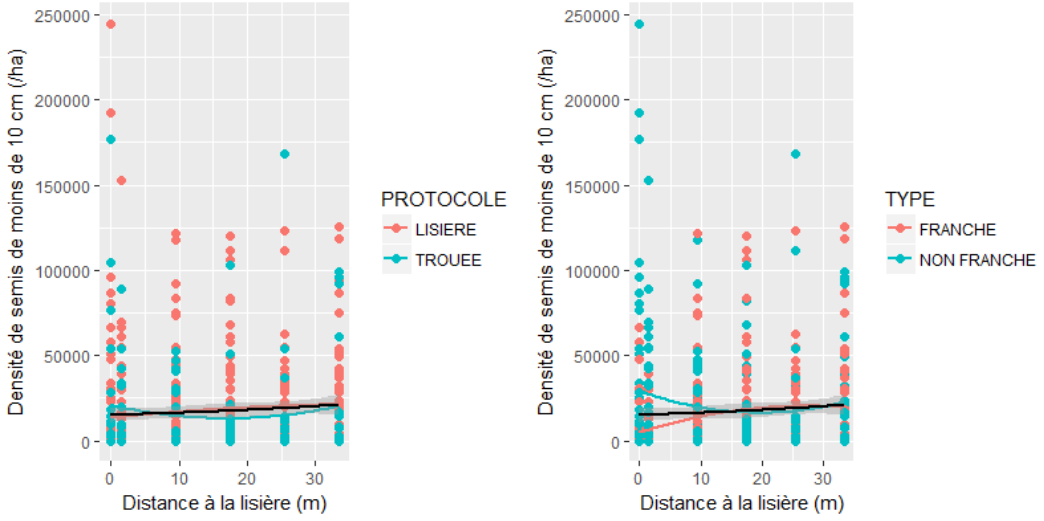


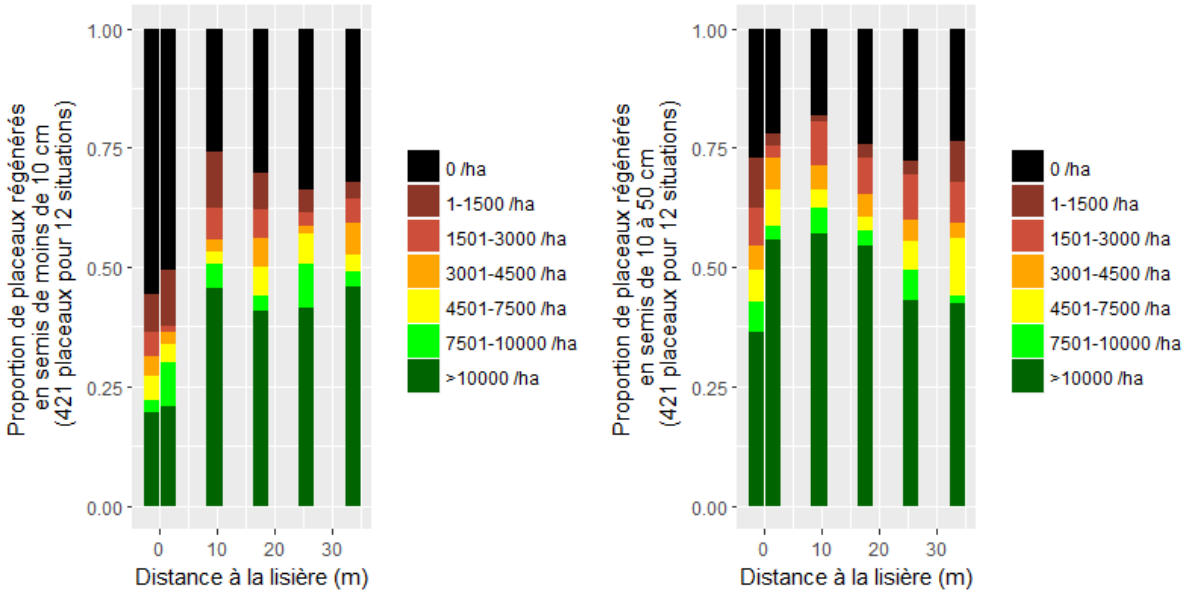
Figure 23 : Graphiques représentant la densité de semis de moins de 10 cm dans les peuplements en fonction de l'écart à la lisière

Deux hypothèses pourraient expliquer ce phénomène : soit les semis n'ont pas le même âge, ce qui expliquerait qu'il y en ait moins de plus de 50 cm dans les trouées si elles sont récentes (les lisières étant des lisères « perpétuelles » puisqu'elles correspondent souvent à des limites avec des champs implantés depuis longtemps) ; soit l'arrivée de lumière dans les trouées n'est pas suffisante pour permettre aux semis de grandir. Cette dernière hypothèse peut toutefois être réfutée grâce au graphique de droite qui distingue les lisières franches (*id est* avec un champ) correspondant à une arrivée de lumière maximale, des lisières non franches (qui correspondent aux trouées et aux lisières avec des jeunes peuplements ou des routes traversant la forêt). En effet selon les courbes de régression, il n'y a pas de différence flagrante de comportement entre les deux situations.

L'hypothèse de l'âge des semis est donc retenue, or les trouées sont apparues suite aux tempêtes de 1999 et de 2004 (recherche menée grâce aux orthophotos), elles ont donc entre 15 et 20 ans. Ainsi, la dynamique d'installation de la régénération serait plus lente que ce qui est habituellement admis.

3.2.1.2. Effet lisière observé avec le protocole « lisière »

Les trois graphiques de la Figure 24 permettent de distinguer trois tendances différentes selon la strate de régénération considérée. Ainsi, pour la régénération de moins de 10 cm, il semble y avoir davantage de régénération à partir de 9,5 m dans le peuplement, et la proportion de placeaux régénérés reste constante en s'enfonçant à l'intérieur du peuplement. Cela rejoint les constats faits au titre 3.1. Résultats de l'inventaire des peuplements selon lesquels la densité de semis de moins de 10 cm était liée à la surface terrière et au nombre de semenciers : plus le placeau est proche de la lisière, moins il y a de semenciers potentiels. De plus, il semblerait que le maximum du potentiel de régénération soit atteint dès 9,5 m, ce qui confirmerait les dires de M. O.DELAPRISON lors d'une présentation sur la sylviculture pratiquée sur le Mont Ventoux : la graine du Pin noir d'Autriche tombe dans un cercle de rayon égal à environ la moitié de la hauteur de l'arbre semencier.



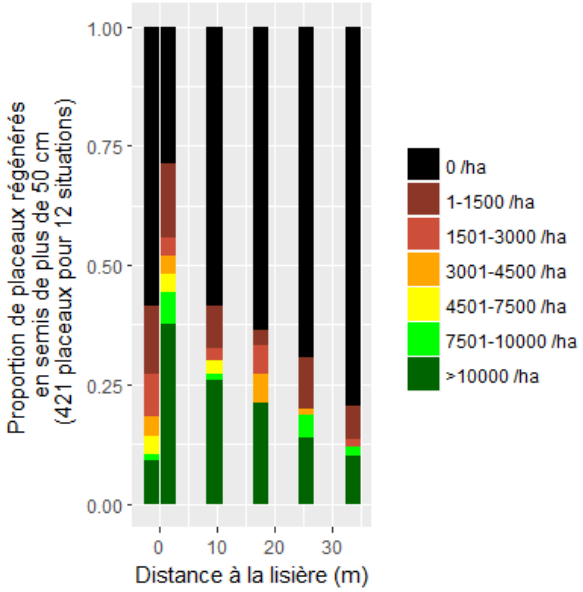


Figure 24:Graphiques représentant la proportion de placeaux régénérés à différents seuils en fonction de la distance à la lisière dans le peuplement (protocole lisière uniquement)

La situation est différente pour la régénération de 10 à 50 cm puisque la proportion de placeaux bien régénérés (par exemple plus de 3 000 semis/ha) est maximale, soit supérieure à 70 %, pour les trois premiers placeaux à l'intérieur du peuplement. Pour les semis de plus de 50 cm, le constat est le même mais avec un taux de régénération moindre (50 % des placeaux avec plus de 3 000 semis/ha et seulement pour ceux à 1,5 m de la lisière). Cela suggère donc bien un effet lisière qui est de plus en plus marqué que la régénération grandit, puisque ses besoins en lumière se font de plus en plus importants. Cet effet est confirmé par les tests de comparaison de moyenne réalisés sur la densité de régénération, et disponibles dans le code en annexe J.

3.2.1.3. Effet lisière observé avec le protocole « trouée »

Les mêmes graphiques que précédemment ont été produits dans le cadre des trouées, en s'intéressant uniquement aux placeaux réalisés depuis la lisière et en s'enfonçant dans le peuplement (Figure 25).

Tout d'abord, l'analyse réalisée précédemment (3.2.1.1. Comparaison des données des transects intra-peuplement des deux protocoles) est bien confirmée puisqu'en comparant la Figure 24 et la Figure 25, il apparaît que les proportions de placeaux régénérés à un seuil donné sont globalement moindres dans le cas des trouées que dans le cas des lisières, à une même distance de la lisière.

Toutefois, les comportements de la régénération semblent identiques, puisqu'il n'y a pas d'effet véritable sur la régénération de moins de 10 cm, un effet semble apparaître mais n'est pas significatif sur la régénération de 10 à 50 cm, et il le devient pour la régénération de plus de 50 cm, avec un effet lisière jouant sur les dix premiers mètres dans le peuplement.

À noter que le placeau à une distance négative de la lisière, soit à l'extérieur du peuplement en limite de celui-ci, est beaucoup mieux régénéré dans le cadre des trouées que pour les lisières, le comportement de la régénération y est comparable à celui sur le premier placeau dans le peuplement. Cela s'explique par le fait que pour les trouées, ce placeau correspondait à l'intérieur de la trouée bénéficiant encore d'une ambiance forestière, alors que pour les lisières, il s'agissait la plupart du temps de bords pistes séparant la forêt des champs, si bien que l'ambiance était plus prairiale que forestière.

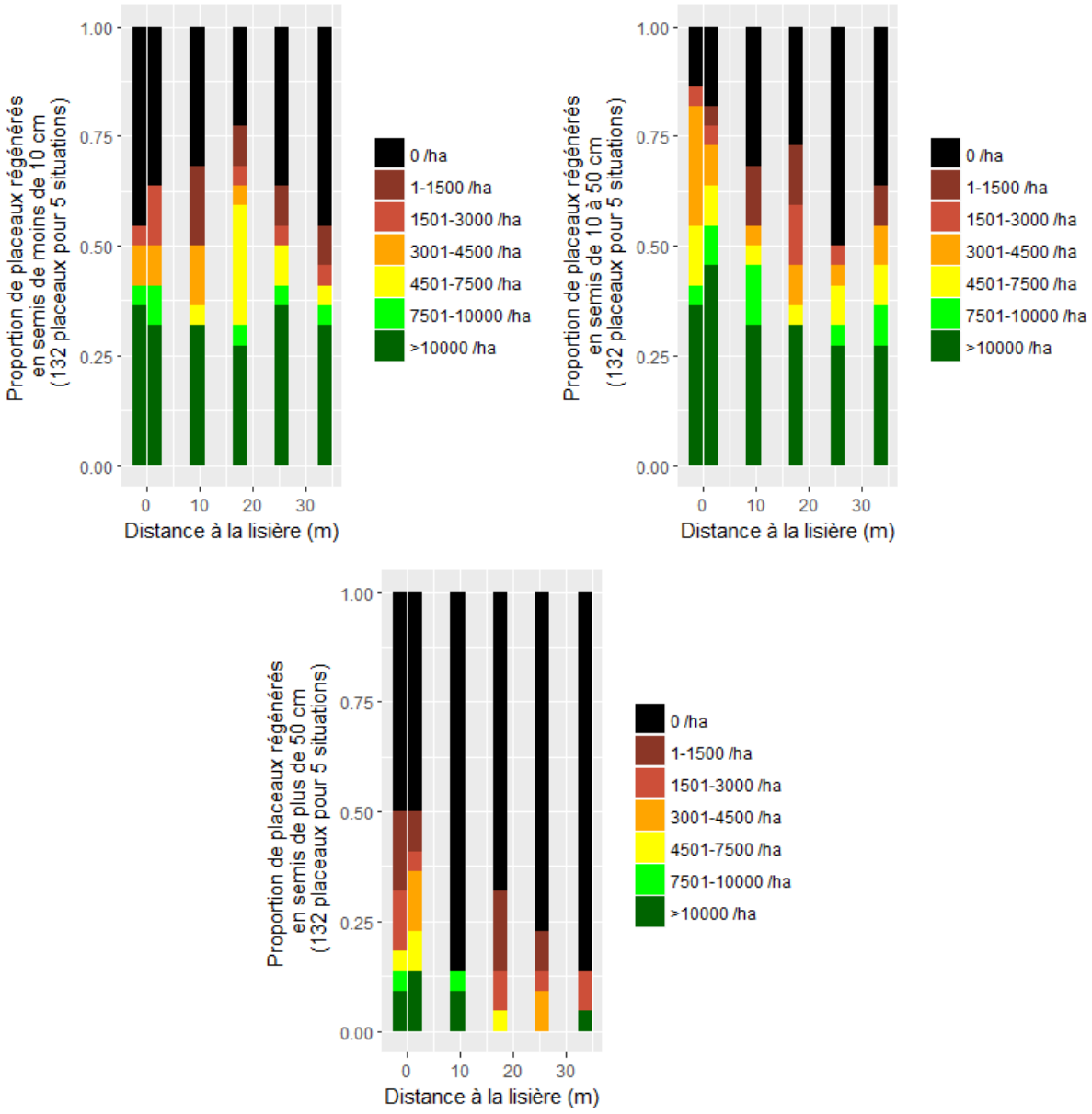


Figure 25: Graphiques représentant la proportion de placeaux régénérés à différents seuils en fonction de la distance à la lisière dans le peuplement (protocole trouée uniquement)

3.2.2. Comportement de la régénération à l'intérieur des trouées

Pour simplifier l'écriture et la lecture, les trouées seront appelées par le numéro de la parcelle sur laquelle elles sont situées, par exemple la trouée de la parcelle 273 sera appelée trouée 273.

Du fait du faible nombre de trouées inventoriées, à savoir cinq différentes, par manque de temps sur la fin de la phase de terrain, il a été décidé de se concentrer sur une analyse qualitative des données puisque toute analyse quantitative ne saurait être fiable sur un échantillon si petit. Ainsi, les graphiques présentés en Figure 26 ont pu être établis. Chaque trouée est représentée dans une couleur différente, et une régression sur l'ensemble des données a été ajoutée (courbe noire). Le code de cette analyse est disponible en annexe K.

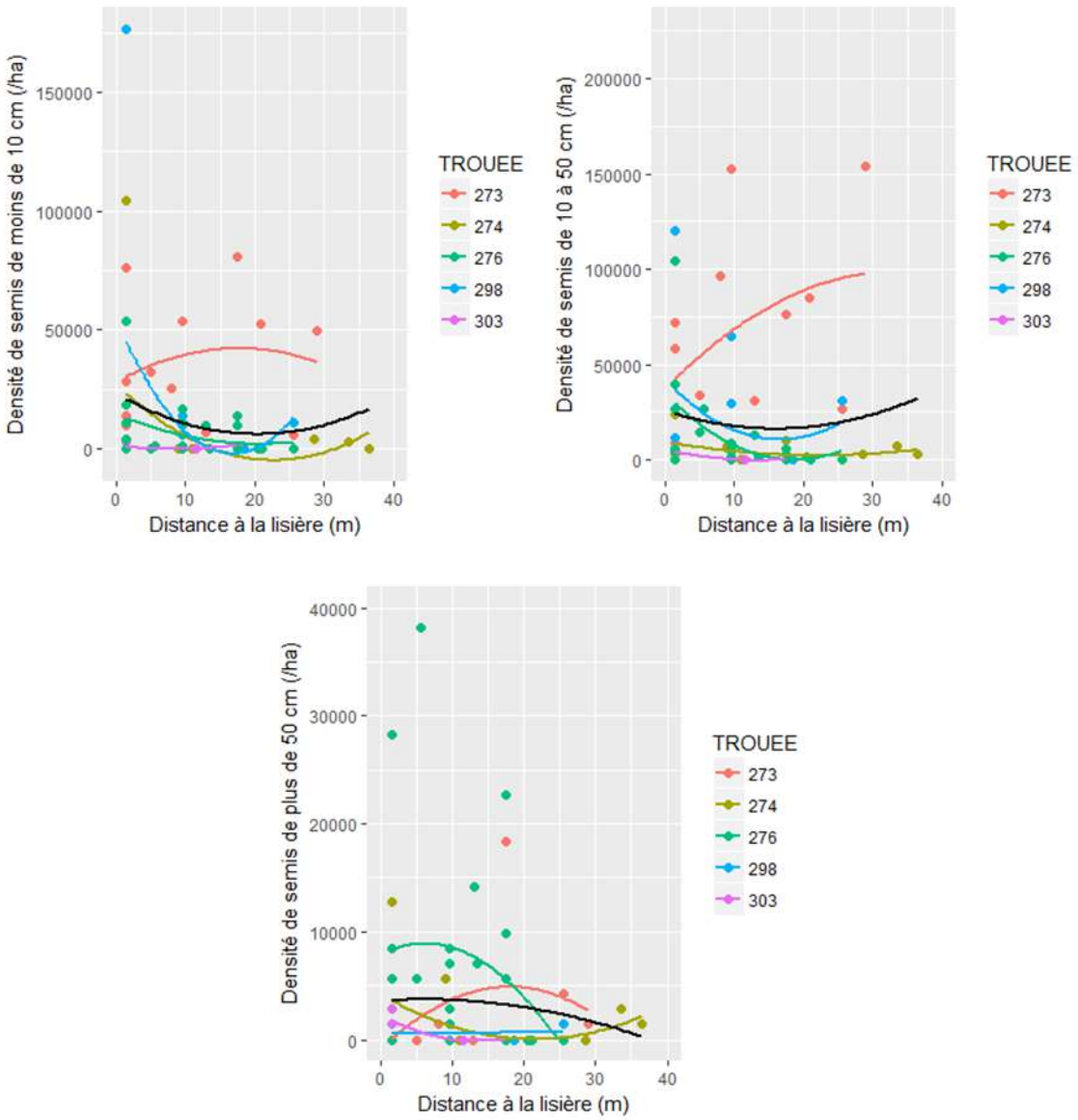


Figure 26 : Graphiques représentant la densité de semis relevée en fonction de la distance à la lisière vers le centre de la trouée

Concernant la régénération inférieure à 10 cm, quatre trouées parmi les cinq ont un comportement semblable : la densité est maximale en bordure de trouée puis diminue plus ou moins fortement en allant vers le centre de celle-ci. La trouée 273 n'a pas du tout le même comportement, mais cela peut s'expliquer par sa forme très allongée selon l'axe Est-Ouest, ainsi les points apparaissant à plus de 10 m de la lisière sont en réalité à une dizaine de mètres de la lisière Nord ou de la lisière Sud, ce qui pourrait fausser les données.

Le comportement de la régénération de 10 à 50 cm est assez semblable à celui décrit précédemment, avec le même constat pour la trouée 273. Il semblerait donc que la régénération basse s'installe préférentiellement en bordure de trouée, là où elle peut bénéficier d'une certaine ambiance forestière. De très fortes densités ont pu être relevées puisqu'il n'est pas rare d'avoir plus de 25 000 semis/ha, notamment dans les placeaux les plus proches du peuplement.

Les cas diffèrent davantage lorsque l'analyse se porte sur la régénération de plus de 50 cm. En effet, deux trouées parmi les cinq (à savoir les trouées des parcelles 298 et 303) ne présentent presque pas de régénération de cette strate. Cela pourrait s'expliquer par leur date de formation puisqu'elles ont été formées en 2004, alors

que les trouées 273, 274 et 276 sont des trouées issues de la tempête de 1999. La trouée de la parcelle 273 présente davantage de régénération vers son cœur (environ 5 000 semis/ha au-delà des 15 m de la lisière), mais une nouvelle fois, cela peut s'expliquer par sa géométrie singulière. Enfin, la trouée 276 est très bien régénérée avec une densité proche des 10 000 semis/ha dans les 12 m de distance à la lisière. La trouée 274 semble se rapprocher de cette dernière mais la régénération y est moins dense et moins homogène (deux points à plus de 5000 semis/ha seulement). Quand la régénération atteint une hauteur de 50 cm, elle semble donc se concentrer dans les premiers mètres vers l'intérieur de la trouée, ce qui rejoint les observations faites pour les strates inférieures.

Par la suite, afin de préciser les observations précédentes, les graphiques de la Figure 27 ont été réalisés, en enlevant les données de la trouée 273 qui est assez singulière et se rapproche davantage d'une bande que d'une trouée (une soixantaine de mètres de longueur pour moins de vingt de largeur au centre). Ils permettent d'avoir une vue d'ensemble de la régénération dans les trouées et dans les peuplements en bordure de trouée, avec à chaque fois la moyenne représentée par une cible, les bornes des intervalles de confiance à 95 % représentés par les puces grises, et les données en fond (certaines valeurs extrêmes n'apparaissent pas afin d'avoir des échelles lisibles sur les axes des ordonnées).

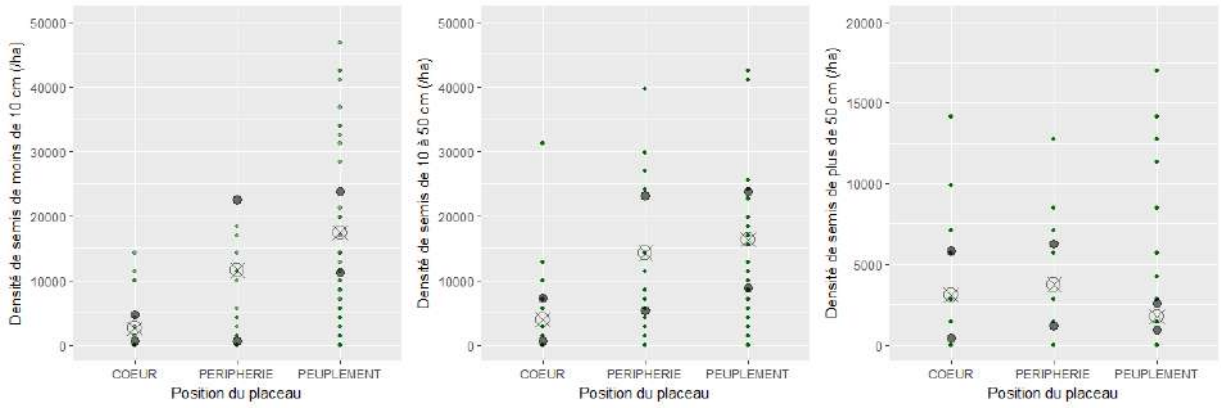


Figure 27: Graphiques représentant la densité de régénération en fonction de la position des placeaux en zone de trouée

Ces graphiques ont été établis dans le but d'obtenir la plus grande ségrégation possible entre les trois groupes de placeaux : cœur de trouée, périphérie et intérieur du peuplement. La limite périphérie-peuplement n'était pas modifiable puisqu'elle correspond à la lisière, en revanche, plusieurs cas de figures ont été traités pour séparer le cœur de la trouée de sa périphérie. Ainsi, le cas qui distingue le mieux ces deux groupes est celui où les deux premiers placeaux en partant de la lisière et en se dirigeant vers le centre de la trouée forment la périphérie, et les autres composent le cœur de la trouée. Cela représente donc une zone périphérique large de 9,5 m, confirmant ainsi les effets observés précédemment sur la chute de semis de moins de 50 cm à partir d'une dizaine de mètre vers le centre de la trouée. De plus, il apparaît ici clairement l'absence de différence significative pour les semis de plus de 50 cm. Cela pourrait provenir du fait que les rares semis de moins de 50 cm qui parviennent à se développer dans le cœur de la trouée bénéficient de bonne condition de lumière, leur permettant d'atteindre facilement les 50 cm.

3.2.3. Limites et extrapolation à la sylviculture

Les protocoles « lisière » et « trouée » ont donc permis d'expliciter le comportement de la régénération dans ces deux contextes, et pour des peuplements dont l'objectif actuel n'est pas l'obtention de la régénération (groupe d'amélioration ou de préparation). Ainsi, il semblerait que l'effet de lisière observé par les agents agisse pour la régénération de plus de 10 cm, avec un seuil d'environ 20 m pour la régénération de 10 à 50 cm,

qui chuterait à moins de 10 m pour la régénération de plus de 50 cm. De la même façon, dans les trouées, la régénération est d'autant plus dense qu'elle est proche du peuplement, avec un seuil aux alentours de 10-15 m. Ce seuil pourrait une nouvelle fois correspondre à la distance de chute des graines, mais aussi à l'effet d'ombrage du peuplement adulte, le Pin noir d'Autriche étant une essence de demi-ombre dans son jeune âge (PLAISANCE, 1965).

Par extrapolation à la sylviculture, un itinéraire de coupes d'ensemencement par bandes pourrait donc être envisagé avec deux options :

- des bandes de l'ordre de la quinzaine de mètres (en se basant sur le seuil observé dans les trouées) et des interbandes de 40 m, qui seront rasées dès que la régénération de 10 à 50 cm est suffisamment abondante ;
- ou des bandes de l'ordre de la quinzaine de mètres et des interbandes de 20 m, qui seront rasées dès que la régénération dépasse les 50 cm.

Le premier itinéraire se rapproche des consignes inscrites dans le dernier guide de sylviculture (Office National des Forêts), il pourrait donc être intéressant de le mettre concrètement en application en Lozère. À noter que des coupes par bandes avaient été tentées sur la FD de Mende, mais ces résultats ne sont pas vraiment applicables ici car de nombreux traitements chimiques avaient été appliqués, ce qui ne pourrait plus être le cas aujourd'hui.

Il paraît plus difficile de relier les observations faites sur les trouées à un itinéraire de régénération par trouées. En effet, les constats montreraient une apparition de régénération « satisfaisante » dans les dix premiers mètres vers le centre de la trouée. Il faudrait donc réaliser des micro-trouées de 300 à 400 m² afin de ne pas laisser de trop grandes surfaces non régénérées. Cela se rapprocherait finalement peut-être plus d'une régénération en peuplement plein par abaissement du capital que par création réelle de trouées.

Ces propositions restent toutefois à moduler de par le faible jeu de données dans le cadre du protocole « trouée » et de par le peu de situations différentes inventoriées par le protocole « lisière ». De plus, elles pourraient être affinées, notamment en déterminant la meilleure orientation possible des bandes (réalisé mais non présenté ici car non concluant du fait que le nombre de cas représentés dans chaque exposition est trop faible, et les conclusions sont donc trop influencées par les singularités des peuplements). De même, la taille des trouées n'a pas été particulièrement analysée. Enfin, ces observations pourraient être minimalistes car elles proviennent de données recueillies dans des peuplements en phase d'amélioration. Ainsi, une régénération plus dense pourrait être attendue dans des peuplements moins capitalisés.

L'inventaire de l'existant mené sur les FD de Mende et des Gorges du Tarn a donc permis de mettre en évidence plusieurs effets des variables du milieu sur la régénération du Pin noir d'Autriche. Certaines variables sont inhérentes à l'environnement et indépendante du forestier, mais d'autres sont soumises à son action. Il convient donc de s'adapter aux premières en gérant au mieux les secondes afin de favoriser l'apparition et le développement de la régénération.

4. Synthèse des résultats et propositions de gestion

4.1. Synthèse générale sur la régénération actuelle

4.1.1. Bilan de l'acquis et sylviculture actuelle

Grâce à l'inventaire *quasi*-exhaustif de l'état de la régénération mené dans les groupes de régénération des deux FD de Mende et des Gorges du Tarn, et des fiches de synthèse propres à chaque parcelle (Annexe L), le bilan de la régénération présenté au Tableau 9 a pu être établi.

Dans l'ensemble environ un quart de la surface du groupe de régénération dont la régénération a été entamée est actuellement régénéré en se fixant un seuil à 5000 semis/ha de plus de 50 cm. Seulement, en s'intéressant au détail des cinq parcelles atteignant ce seuil, deux constats peuvent être faits : d'une part les coupes d'ensemencement ont été faites sur régénération acquise dans quatre des cinq situations (ensemencement réalisée il y a moins de deux ans), et d'autre part elles sont toutes situées sur plateau. Cela renforce donc l'idée que la régénération naturelle est difficile à obtenir sur versant, et qu'elle parvient à s'installer sur plateau sans que le forestier n'agisse vraiment en sa faveur. Toutefois, les quatre parcelles pour lesquelles la coupe d'ensemencement s'est faite sur régénération acquise sont adjacentes, il pourrait donc s'agir d'une exception locale. De surcroît, bien que la régénération soit acquise, elle n'est pas répartie de façon homogène sur ces parcelles, puisque le taux de placettes régénérées par parcelle est très variable. Des zones seront donc inévitablement moins fournies en semis, mais cela n'est pas inquiétant puisque le seuil de 5000 semis/ha est un seuil assez élevé (des moindres densités pourront toutefois poser des problèmes de branchaison trop fournie). De plus, les zones « non régénérées » de ces parcelles peuvent correspondre à des surfaces présentant une moindre densité de semis de plus de 50 cm (auquel cas une sélection des tiges d'avenir par dépressage ne sera pas possible, mais le peuplement futur sera assuré), ou des semis des strates inférieurs qui se développeront avec le temps (auquel cas il convient de leur laisser une chance et de s'armer de patience).

Par ailleurs, en ne s'intéressant qu'aux parcelles dont les coupes d'ensemencement ont été faites il y a au moins trois ans (grisées dans le tableau), le constat est préoccupant : 36 % des parcelles (4 sur 11) concernées présentent une régénération d'avenir (soit plus de 5000 semis/ha de 10 à 50 cm) et seulement 17 % (1 sur 11) une régénération acquise. Ainsi, après une durée supérieure à la moitié de la rotation, la quantité de semis de 10 à 50 cm (et de plus de 50 cm) est insuffisante sur la majorité des parcelles, le constat étant le même pour la régénération de moins de 10 cm. Cela rejoint donc les résultats de l'analyse mettant en évidence le fait qu'une coupe d'ensemencement telle qu'elle est appliquée n'est pas optimale.

À noter qu'un biais possible de ce raisonnement est que toutes les parcelles sur lesquelles la régénération est bien venue et dont la coupe définitive était programmée avant 2018 n'aient pas été inventoriées. Cela représente au total 10 parcelles, dont 2 où la régénération de plus de 10 cm était déjà présente avant l'ensemencement, 2 où des regarnis ont été nécessaires pour compléter la régénération naturelle, 3 où la régénération n'est pas apparue (elles n'ont finalement pas été passées en définitive), et 3 où la régénération a fonctionné. Il y a donc effectivement un léger biais, mais il demeure tout de même 30 % d'échec total de régénération et presqu'autant de régénération insuffisante sur ces parcelles.

Tableau 9 : Bilan de la régénération sur les FD de Mende et des Gorges du Tarn

Parcelle (en jaune celles de pente ≤ 30%)	Surface (ha)	Peuplement	Coupe d'ensemencement (en gris celles de plus de 3 ans)	Régénération acquise (> 50 cm)	Proportion de placettes avec plus de 5000 semis/ha	Régénération d'avenir (10-50 cm)	Proportion de placettes avec plus de 5000 semis/ha	Régénération potentielle (≤ 10 cm)	Proportion de placettes avec plus de 5000 semis/ha
GDT-19	3,16	313 tiges/ha 33 m²/ha	2015 141 tiges/ha - 12 m²/ha	3581 /ha	2 / 6	18701 /ha	5 / 6	2697 /ha	2 / 6
GDT-30	5,57	152 tiges/ha 24 m²/ha	2008 118 tiges/ha - 17 m²/ha	0 /ha	0 / 11	965 /ha	0 / 11	6053 /ha	4 / 11
GDT-31	4,84	292 tiges/ha 28 m²/ha	2018 115 tiges/ha - 13 m²/ha	3713 /ha	1 / 9	2063 /ha	1 / 9	0 /ha	0 / 9
GDT-32	2,78	325 tiges/ha 31 m²/ha	2009 218 tiges/ha - 19 m²/ha	796 /ha	0 / 3	23254 /ha	2 / 3	16358 /ha	3 / 3
GDT-35	1,36	250 tiges/ha 22 m²/ha	2016 192 tiges/ha - 17 m²/ha	0 /ha	0 / 2	0 /ha	0 / 2	9549 /ha	2 / 2
GDT-41-42	5,5	304 tiges/ha 26 m²/ha	2016 81 tiges/ha - 8 m²/ha	1551 /ha	2 / 13	1367 /ha	2 / 13	5264 /ha	6 / 13
MEN-96	10,14	300 tiges/ha 26 m²/ha	2011 144 tiges/ha - 8 m²/ha	1773 /ha	3 / 19	7050 /ha	8 / 19	1410 /ha	1 / 19
MEN-101b-103a-103b	8,08	318 tiges/ha 23 m²/ha	2013 134 tiges/ha - 11 m²/ha	988 /ha	0 / 18	1842 /ha	2 / 18	5644 /ha	9 / 18
MEN-110	3,71	241 tiges/ha 29 m²/ha	2017 135 tiges/ha - 15 m²/ha	664 /ha	0 / 8	1127 /ha	0 / 8	3217 /ha	1 / 8
MEN-136	6,85	347 tiges/ha 31 m²/ha	2015 195 tiges/ha - 12 m²/ha	1145 /ha	1 / 22	663 /ha	0 / 22	1736 /ha	2 / 22
MEN-137	3,84								
MEN-141	2,41	256 tiges/ha 28 m²/ha	2013 190 tiges/ha - 18 m²/ha	531 /ha	0 / 4	730 /ha	0 / 4	398 /ha	0 /4
MEN-159	6,51	229 tiges/ha 24 m²/ha	2018 156 tiges/ha - 13 m²/ha	929 /ha	1 / 12	774 /ha	0 / 12	7206 /ha	7 / 12
MEN-161	6,59	154 tiges/ha 20 m²/ha	2018 91 tiges/ha - 13 m²/ha	685 /ha	1 / 12	133 /ha	0 / 12	155 /ha	0 / 12
MEN-162	4,65	195 tiges/ha 25 m²/ha	2012 71 tiges/ha - 9 m²/ha	451 /ha	0 / 10	133 /ha	0 / 10	80 /ha	0 / 10
MEN-308	15,33	251 tiges/ha 35 m²/ha	2017 132 tiges/ha - 14 m²/ha	2705 /ha	4 / 25	5358 /ha	9 / 25	6292 /ha	13 / 25
MEN-309	14,26	305 tiges/ha 41 m²/ha	2014 108 tiges/ha - 10 m²/ha	6334 /ha	10 / 25	7809 /ha	14 / 25	12870 /ha	17 / 25
MEN-376	5,14	260 tiges/ha 32 m²/ha	2018 154 tiges/ha - 15 m²/ha	6048 /ha	2 / 5	10027 /ha	3 / 5	8594 /ha	3 / 5
MEN-377	6,38	183 tiges/ha 27 m²/ha	2018 143 tiges/ha - 18 m²/ha	10389 /ha	9 / 12	3692 /ha	4 / 12	8930 /ha	4 / 12
MEN-378	5,14	200 tiges/ha 29 m²/ha	2016 119 tiges/ha - 11 m²/ha	17004 /ha	9 / 10	2971 /ha	3 / 10	2228 /ha	1 / 10
MEN-379	10,39	233 tiges/ha 35 m²/ha	2016 109 tiges/ha - 25 m²/ha	9656 /ha	12 / 20	3303 /ha	2 / 20	1313 /ha	1 / 20
MEN-384	6,53	196 tiges/ha 26 m²/ha	2017 131 tiges/ha - 20 m²/ha	5172 /ha	3 / 6	354 /ha	0 / 6	442 /ha	0 / 6
MEN-401	3,89	366 tiges/ha 27 m²/ha	2017 132 tiges/ha - 14 m²/ha	165 /ha	0 / 8	497 /ha	0 / 8	630 /ha	0 / 8
MEN-402	9,31	306 tiges/ha 30 m²/ha	2012 137 tiges/ha - 16 m²/ha	220 /ha	0 / 18	899 /ha	1 / 18	295 /ha	0 / 18
MEN-478	8,86	200 tiges/ha 33 m²/ha	2016 135 tiges/ha - 16 m²/ha	610 /ha	1 / 20	1154 /ha	1 / 20	7454 /ha	9 / 20
MEN-479	12,75	193 tiges/ha 28 m²/ha	2012 137 tiges/ha - 16 m²/ha	1296 /ha	2 / 26	2908 /ha	6 / 26	4907 /ha	9 / 26
			TOTAUX (au seuil de 5000 semis/ha)	24 % (surface)	19%	30 % (surface) 42 % en cumulé	19%	44 % (surface) 61 % en cumulé	29 %

4.1.2. Pistes d'amélioration de la sylviculture

4.1.2.1. Constats sur le comportement de la régénération du Pin noir d'Autriche

Au vu des résultats du paragraphe précédent, la sylviculture actuellement menée ne semble pas optimale dans l'optique de régénérer naturellement les peuplements de Pin noir d'Autriche en conservant cette essence.

L'étude statistique précédente et les observations de terrain montrent que la régénération s'installerait sous des couverts assez denses (35 m²/ha) sans coupe trop forte apportant des risques accrus de sécheresse. La maîtrise de la surface terrière serait donc un facteur clef de la réussite d'une régénération au moment de son apparition.

Cette apparition n'est pas toujours homogène et malgré les nombreux facteurs étudiés, une part des explications échappent encore à l'analyse. L'hypothèse selon laquelle le remaniement superficiel du sol lors des passages en coupe (qui devient très vite invisible à l'œil et donc difficile à étudier) serait profitable à la régénération pourrait éventuellement expliquer ces apparitions hétérogènes de la régénération.

Lorsque les semis dépassent les 10 cm de hauteur et avant qu'ils n'atteignent les 50 cm, il serait préférable de leur apporter davantage de lumière, notamment dans le cœur du peuplement où ils ne bénéficient pas de l'effet des lisières ou des trouées. Cette mise en lumière est primordiale pour la croissance des semis mais ne doit une nouvelle fois pas être trop brusque.

4.1.2.2. Apports sur la sylviculture de la régénération

Ces différents constats permettent d'apporter quelques éléments d'amélioration de la sylviculture actuellement menée. Ainsi, la coupe d'ensemencement devrait se limiter à un léger abaissement de la surface terrière aux alentours de 35 m²/ha. À cette occasion, des travaux de scarification pourraient être entrepris, ou une solution moins onéreuse pourrait être d'exploiter les arbres entiers sans les façonner en forêt en traînant les houppiers afin de remuer les horizons superficiels du sol. Cela permettrait par ailleurs de gérer plus facilement la problématique des rémanents (qui ne devront toutefois pas être exportés pour ne pas trop appauvrir le sol, seulement regroupés sur les cloisonnements par exemple).

Toujours dans l'optique de ne pas intervenir trop brutalement, une coupe secondaire pourra ensuite être planifiée pour mettre en lumière les zones où la régénération est apparue, sans nécessairement chercher à appliquer un traitement homogène à toute la parcelle ou à toute l'unité de passage en coupe. La durée de rotation pourra d'ailleurs être augmentée (par exemple à 10 ans) dans la mesure où le peuplement en place ne présente pas de problème sanitaire particulier. Le forestier ne devra pas être trop impatient et laisser le temps à la régénération de réagir, tout en se montrant rapide dans sa réactivité.

Cela suggère donc que le forestier doive se montrer opportuniste quant à la mise en régénération des parcelles, en ciblant préférentiellement celles où une régénération basse est installée ou en cours d'installation. En conséquence, deux modifications majeures de la façon de travailler devraient avoir lieu pour remplir cet objectif :

- le suivi de la régénération avec des diagnostics précis, au moins pour les peuplements du groupe de régénération : même si ce travail est fastidieux à l'échelle de la forêt, il est faisable à l'échelle d'un triage et apporterait de précieuses informations dans le temps ;
- la rédaction de documents de gestion plus souples : puisqu'il n'est pas possible de prédire l'apparition de la régénération sur 20 ans, il conviendrait soit d'abaisser la durée d'un aménagement pour être plus réactif sur l'apparition de la régénération, soit de cibler un *pool* de parcelles susceptibles de passer en régénération, et grâce à un suivi déclencher les coupes de « mise en lumière » lorsque la régénération est suffisante et prête. La difficulté pour l'aménagiste sera donc de bien pré-cibler ces parcelles, et pour le technicien de déclencher les coupes au bon moment.

Ainsi, la présence de forestiers sur le terrain est capitale à la réussite de la régénération puisqu'elle doit passer par une sylviculture fine et réactive vis-à-vis de la dynamique naturelle.

Par ailleurs, le travail du sol ne devrait pas être négligé puisque le grattage semble augmenter sa réceptivité et donc l'apparition de la régénération. Il s'agirait là du seul levier d'action du forestier pour faire s'exprimer le potentiel de régénération d'un peuplement. Or les plus grandes difficultés d'apparition de la régénération sont sur des pentes plus ou moins fortes, rendant la mécanisation de cette opération compliquée. La forte densité des peuplements peut également déranger le passage des machines. Par conséquent, le travail du sol doit être mûrement réfléchi pour ne cibler que les parcelles avec un potentiel de régénération avéré (dans le but de laisser s'exprimer pleinement ce potentiel et d'aider la dynamique de régénération), et si dans tous les cas la mécanisation est impossible un travail manuel ciblant les zones avec une régénération potentielle

maximale pourra être réalisé sans abaisser la densité de tiges, mais si elle est envisageable, il faudra faire un choix entre conserver un certain capital et mécaniser le travail du sol. *A priori* selon les résultats de l'analyse (même si celle du travail du sol ne porte que sur une parcelle), l'effet du travail du sol semble assez puissant s'il n'y a pas de sous-étage particulièrement dense, et la régénération de moins de 10 cm parviendrait sans doute à s'installer dans des peuplements de densité moindre, l'option d'abaisser la densité pour mécaniser le travail devrait donc être favorisée si elle est beaucoup moins onéreuse que le travail manuel. Une autre alternative présentée précédemment serait l'abattage des arbres entiers et leur traînage sur le sol afin de reproduire une scarification.

Les dégagements dans la strate arbustive n'ont pas été beaucoup utilisés, si bien que leur efficacité n'est pas connue à ce jour, et notamment leur coût par rapport au rendu possible. Ainsi, il serait intéressant de mettre en œuvre des dégagements sur des parties de parcelles (et de laisser les arbustes sur une autre partie en guise de témoin) afin de déterminer si cette technique est envisageable pour favoriser la régénération ou si elle est trop chère voire trop peu efficace. Il est important de mettre en place des premières zones de travaux expérimentales avant d'étendre éventuellement à plus grande échelle cette pratique du fait du manque de retour.

4.1.2.3. Itinéraires sylvicoles envisageables

Suite à ces différentes remarques générales, plusieurs itinéraires sylvicoles seraient envisageables, comme le présente la Figure 28.

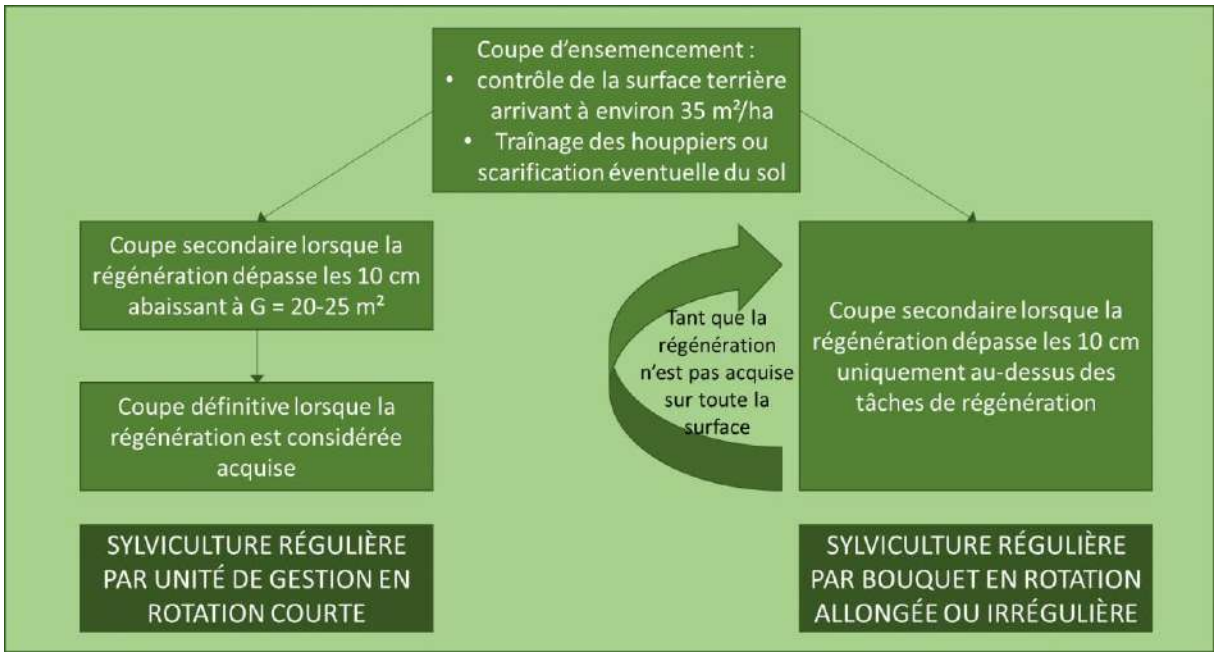


Figure 28 : Itinéraires sylvicoles possibles pour régénérer le Pin noir d'Autriche

L'itinéraire correspondant à un traitement en futaie régulière par unité de gestion s'applique bien à des parcelles se régénérant facilement et rapidement, et aux peuplements en dépérissement sévère car elle présente l'avantage d'être assez rapide dans le temps.

Au contraire, pour le second itinéraire de traitement régulier par bouquet, le recours à des coupes secondaires consécutives et tant que la régénération n'est pas satisfaisante allonge la durée de régénération. Il permet ainsi de modifier le paysage progressivement, en limitant les risques de sécheresse grâce à la permanence du couvert forestier. Le fait de créer des bouquets d'ensemencement semble bien adapté car cette

action apporte de la lumière aux semis déjà installés et un éclairage diffus favorable aux très jeunes semis (reproduction de conditions assimilables à celles rencontrées en bordure de lisière ou de trouées). Si le nombre de rotations en coupe secondaire est important, cela aboutira à l'irrégularisation de la structure du peuplement, et il serait alors logique de poursuivre par un traitement irrégulier.

Un comportement prudent serait d'opter préférentiellement pour le traitement régulier par bouquets car il est plus facilement réversible : si la régénération est trop lente à apparaître pour le gestionnaire, il sera toujours possible de rebasculer vers un itinéraire plus proche du premier présenté, l'inverse n'étant pas possible.

En outre, la régénération par trouées et par bandes n'a pas été testée sur les pentes, et peut-être que par la création d'une ambiance forestière différente, elles permettraient l'installation de la régénération. Ces deux méthodes seront donc à essayer afin de trancher quant à leur effet exact.

4.1.3. Extrapolations des inventaires des lisières et des trouées à la sylviculture

Les protocoles « lisière » et « trouée » ont permis d'expliciter le comportement de la régénération dans ces deux contextes, et pour des peuplements dont l'objectif actuel n'est pas l'obtention de la régénération (groupe d'amélioration ou de préparation). Ainsi, il semblerait que l'effet de lisière observé par les techniciens agisse pour la régénération de plus de 10 cm, avec un seuil d'environ 20 m pour la régénération de 10 à 50 cm, qui chuterait à moins de 10 m pour la régénération de plus de 50 cm. De la même façon, dans les trouées, la régénération est d'autant plus dense qu'elle est proche du peuplement, avec un seuil aux alentours de 10-15 m. Ce seuil pourrait une nouvelle fois correspondre à la distance de chute des graines, mais aussi à l'effet d'ombrage du peuplement adulte, le Pin noir d'Autriche étant une essence de demi-ombre dans son jeune âge (PLAISANCE, 1965).

Par extrapolation à la sylviculture, un itinéraire de coupes d'ensemencement par bandes pourrait donc être envisagé avec deux options :

- des bandes de l'ordre de la quinzaine de mètres (en se basant sur le seuil observé dans les trouées) et des interbandes de 40 m, qui seront rasées dès que la régénération de 10 à 50 cm est suffisamment abondante ;
- ou des bandes de l'ordre de la quinzaine de mètres et des interbandes de 20 m, qui seront rasées dès que la régénération dépasse les 50 cm.

Le premier itinéraire se rapproche des consignes inscrites dans le dernier guide de sylviculture (Office National des Forêts), il pourrait donc être intéressant de le mettre concrètement en application en Lozère. À noter que des coupes par bandes avaient été tentées sur la FD de Mende, mais ces résultats ne sont pas vraiment applicables ici car de nombreux traitements chimiques avaient été appliqués, ce qui ne pourrait plus être le cas aujourd'hui.

Il paraît plus difficile de relier les observations faites sur les trouées à un itinéraire de régénération par trouées. En effet, les constats montreraient une apparition de régénération « satisfaisante » dans les dix premiers mètres vers le centre de la trouée. Il faudrait donc réaliser des micro-trouées de 300 à 400 m² afin de ne pas laisser de trop grandes surfaces non régénérées. Cela se rapprocherait finalement peut-être plus d'une régénération en peuplement plein par abaissement du capital que par création réelle de trouées.

Ces propositions restent toutefois à moduler de par le faible jeu de données dans le cadre du protocole « trouée » et de par le peu de situations différentes inventoriées par le protocole « lisière ». De plus, elles pourraient être affinées, notamment en déterminant la meilleure orientation possible des bandes (réalisé mais

non présenté ici car non concluant du fait que le nombre de cas représentés dans chaque exposition est trop faible, et les conclusions sont donc trop influencées par les singularités des peuplements). De même, la taille des trouées n'a pas été particulièrement analysée. Enfin, ces observations pourraient être minimalistes car elles proviennent de données recueillies dans des peuplements en phase d'amélioration. Ainsi, une régénération plus dense pourrait être attendue dans des peuplements moins capitalisés.

4.2. Proposition d'une clef de détermination d'itinéraire sylvicole de fin de régénération

L'agrégation des résultats mis en évidence par les différents modèles et analyses qualitatives de la partie précédente (3. Analyse des données recueillies et présentation des résultats de l'étude sur la régénération du Pin noir d'Autriche en Lozère) a permis d'établir une clef d'aide au choix de l'itinéraire sylvicole à choisir suite à la réalisation de la coupe d'ensemencement, pour les peuplements qui ont été inventoriés. Celle-ci reste grossière mais pourrait être affinée après certains essais qu'il serait intéressant de mettre en place (*cf.* titre 4.3.2. Propositions d'expérimentations sylvicoles). Cette clef est présentée en Figure 29.

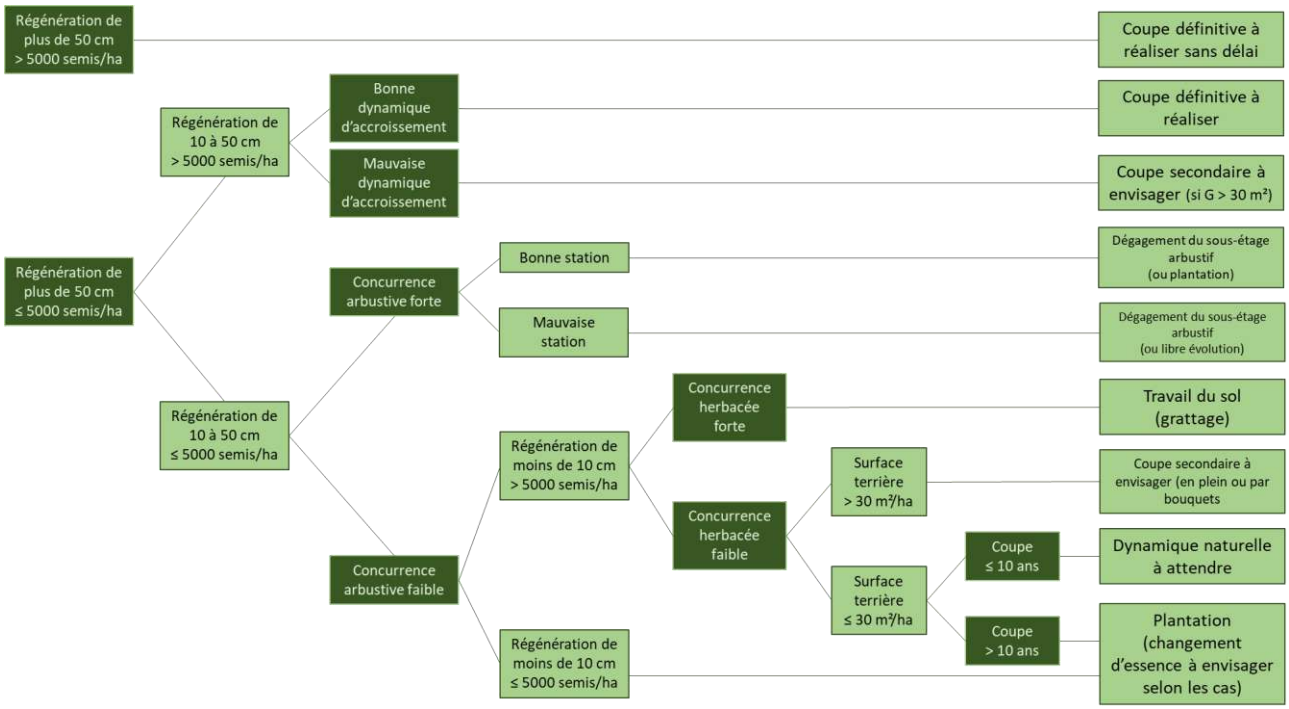


Figure 29 : Clef d'aide au choix d'itinéraire de fin de régénération
(cas des peuplements ayant déjà été passés en coupe d'ensemencement)

Cet outil de choix d'itinéraire sylvicole ne s'applique que dans le cas où la régénération d'un peuplement a été entamée, *id est* qu'une coupe d'ensemencement au moins a été réalisée et sans remettre en cause l'aménagement actuel. Ainsi, il se base d'abord sur les résultats d'inventaire de la régénération existante, dans les différentes strates, afin de déterminer où en est le peuplement. Différents choix de seuils de régénération ont dû être faits, ainsi la régénération sera considérée « acquise » lorsque plus de 5 000 semis/ha de plus de 50 cm sont présents, elle est bien engagée lorsque la même densité de semis de 10 à 50 cm est présente en partant du principe que leur mortalité n'est pas très importante si la surface terrière est suffisamment basse pour leur permettre de croître. Pour cela, un seuil maximal a été fixé à 30 m²/ha. Ce seuil a été fixé par rapport à la surface terrière « optimale » mise en évidence par les modèles statistiques (de 22 m²/ha) car il en est suffisamment éloigné pour justifier un passage en coupe attrayant pour les exploitants (s'il avait été fixé à 25 m²/ha, le faible prélèvement aurait pu rebuter certains acheteurs). Le choix est surtout à faire en fonction de la

dynamique d'accroissement de la régénération, et dans tous les cas si une coupe secondaire est planifiée, elle devra être modérée puisqu'un fort prélèvement relatif semble nuire à la régénération de 10 à 50 cm.

La concurrence arbustive a été placée en amont du potentiel de régénération du peuplement (semis de moins de 10 cm) car elle peut bloquer la régénération de façon importante (3.1.3.6. Effets de la concurrence des autres strates de végétation). Le choix a été fait de ne volontairement donner aucun seuil de couvert (arbustif ou herbacé) de concurrence « forte » ou de concurrence « faible » car c'est là quelque chose à apprécier : un couvert de 60 % de Fraisier commun n'aura évidemment pas le même effet qu'un même recouvrement de Canche cespiteuse. Si le peuplement présente un bon potentiel de régénération mais une densité encore faible de semis de plus de 10 cm, plusieurs raisons peuvent être invoquées : un effet de concurrence avec les herbacées qui peut être contrebalancé par un grattage superficiel du tapis herbeux, une surface terrière trop importante limitant l'accroissement des semis (au-delà de 30 m²/ha, il conviendra de passer en coupe secondaire pour mettre en lumière les semis de moins de 10 cm afin qu'ils puissent évoluer vers les strates supérieures), ou alors plus simplement un temps trop court laissé à la régénération pour réagir à sa mise en lumière.

Le terme de dégagement concernant la strate arbustive est général, et les modalités de sa mise en œuvre sont à adapter aux situations : si le potentiel de régénération du peuplement est avéré et que des semis de plus de 10 cm sont déjà présents en nombre, une mécanisation peut être envisagée (avec abaissement de la densité au besoin). En revanche s'il s'agit plutôt d'un blocage de la régénération, il serait plus prudent d'opérer à un dégagement manuel par placeaux pour juger de la réaction de la régénération : si celle-ci réagit bien un travail plus globalisé et mécanisé pourrait être envisagé, en revanche si elle ne réagit pas, il faudra songer à la plantation ou au changement d'essence. Si la parcelle est sur une bonne station (plateau, bas de versant et bonnes stations de versant), cela peut être l'occasion de planter une essence économiquement plus intéressante que le Pin noir d'Autriche, comme le Cèdre ou le Mélèze. Autrement, le forestier pourra laisser libre cours à la dynamique naturelle dans les cas des peuplements de pin sur mauvaise station.

Comme l'avait de même mis en évidence l'analyse statistique, il semble peine perdue d'engager des travaux de lutte contre les herbacées si le peuplement ne présente pas un minimum de régénération de moins de 10 cm (au moins 5000 semis/ha, ce seuil pouvant être affiné en réalisant des placeaux d'essai dans des parcelles dépourvues de régénération). Aussi, dans ce cas et dans celui où la régénération ne parvient pas à croître (zones de forte pente ou d'éboulis notamment), un recours à la plantation sera nécessaire. Il serait bon d'envisager un changement d'essence objectif là où le Pin noir ne parvient pas à se régénérer car cela ne fait que repousser le problème à la prochaine révolution sur les stations les moins fertiles. Du chêne pourrait ainsi être implanté en laissant opérer la dynamique naturelle, car même s'il ne dépassera pas les cinq mètres de hauteur, il apportera un couvert et un ancrage au sol, en limitant les « pertes » économiques puisque ces zones sont de toute façon difficiles à exploiter.

4.3. Applications concrètes

4.3.1. Consignes de gestion future

Pour tous les peuplements dont la régénération a été entamée et à l'aide de la clef présentée en Figure 29, une fiche synthèse a été rédigée. Afin d'illustrer la démarche, le cas de la parcelle 308 (Figure 30) sera détaillé. Chaque fiche se décompose en sept parties, comme présenté ci-dessous, permettant de brosser un tableau de l'état actuel de la régénération et donnant les informations nécessaires pour déterminer les meilleures options envisagées pour le futur.

Ainsi, dans le cas de la parcelle 308, la régénération de plus de 50 cm n'est pas encore suffisante pour passer en coupe définitive (sauf éventuellement sur les bordures de la parcelle). Cela peut s'expliquer par la forte concurrence de la strate arbustive dans le centre de la parcelle, mais aussi par le fort capital sur pied (35 m²/ha en moyenne). La dynamique de la régénération inférieure à 50 cm est bonne puisqu'on retrouve en moyenne plus de 5 000 semis/ha de 10 à 50 cm. Cela correspond à la limite fixé par la clef d'aide au choix d'itinéraire de fin de régénération, mais par sécurité et comme la régénération de 10 à 50 cm est davantage présente là où celle de plus de 50 cm est présente également, il a été considéré qu'elle était en dessous du seuil fixé. La concurrence arbustive étant importante, un travail dans ce sens a été prescrit et serait à réaliser dans les trois années à venir. Afin de décider s'il est nécessaire ou pas, un suivi de la régénération devra être réalisé chaque année. En effet, la coupe de régénération a eu lieu récemment, et il faut donc déterminer si les semis vont profiter de cette mise en lumière en évoluant vers les strates supérieures, ou si les strates arbustives et herbacées vont exploser. Si c'est le cas, il sera nécessaire d'intervenir en réalisant un grattage du sol conjoint au dégagement de la strate arbustive puisque la concurrence herbacée est également forte dans la zone centrale.

Si malgré les travaux la régénération ne se développe pas davantage, deux solutions pourront être envisagées :

- passer en coupe définitive les bordures bien régénérées uniquement, ce qui poursuivrait la dynamique d'ouverture du peuplement à partir de la zone de trouée formée en 1999 suite à la tempête au Sud de la parcelle, et ajouterait une rotation pour la zone centrale, laissant un peu plus de temps à la régénération pour réagir ;
- ou passer toute la parcelle en définitive et recourir à des regarnis si la régénération est jugée réellement insuffisante dans la zone centrale.

Ces fiches synthèses peuvent être conformes ou non aux prévisions de l'aménagement, mais dans tous les cas, la décision incombe aux techniciens de terrain d'initier les passages en coupe ou les travaux, et ce seulement après avoir étudié l'état de régénération de la parcelle dans sa totalité. Les effets de bordure étant trompeurs, il est important de parcourir la totalité de la surface et de juger, si possible avec la mise en œuvre d'un diagnostic tel que celui réalisé dans le cadre de cette étude, de la nécessité de telle ou telle opération. En effet, les inventaires ayant été réalisés au printemps-été 2018, la régénération peut évoluer rapidement en quelques années.

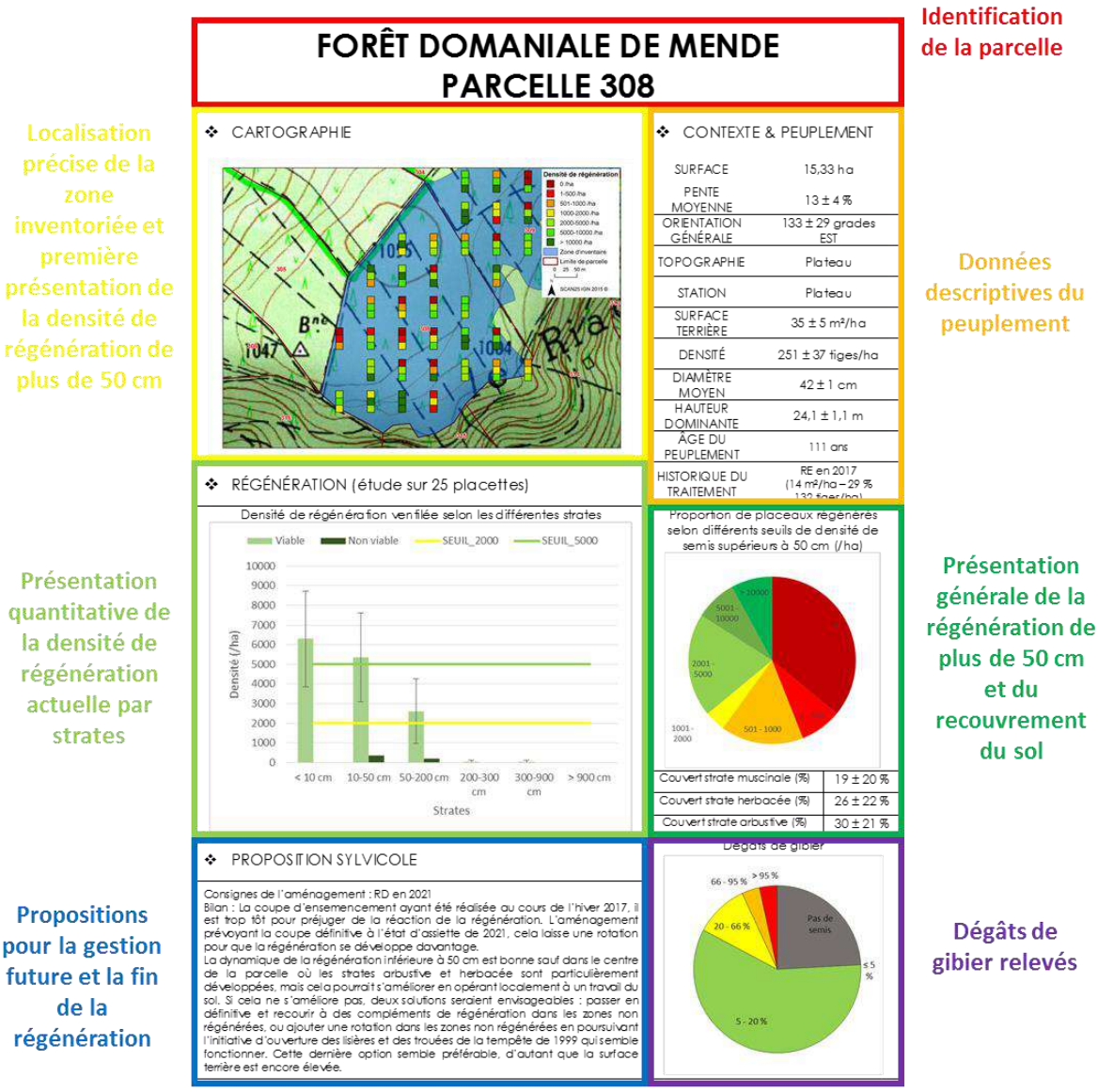


Figure 30: Exemple de fiche synthèse – Cas de la parcelle 308 (canton du Cros du lac)

L'ensemble des fiches synthèses rédigées est disponible en annexe L.

4.3.2. Propositions d'expérimentations sylvicoles

Afin de mettre en application les observations tirées des inventaires des lisières et des trouées, deux expérimentations sont proposées sur des parcelles dont la régénération n'a pas encore été entamée. Seuls deux sites ont été proposés mais davantage pourraient être mis en place afin de recueillir des données et des enseignements plus fiables.

4.3.2.1. Expérimentation de régénération par trouées en FD des Gorges du Tarn

La parcelle 36 de la FD des Gorges du Tarn a été inventoriée car l'aménagement y prévoyait une coupe d'ensemencement (fiche synthèse en Figure 31), mais celle-ci n'ayant pas été réalisée, elle présenterait un bon intérêt à la mise en place d'une expérimentation de régénération sur versant par trouées. En effet, elle se situe en face du point de vue sur le panorama de Castelbouc et présente de fait un enjeu paysager conséquent. Sa pente est assez élevée avec en moyenne 63 % mais une régénération naturelle semble envisageable puisque l'on retrouve localement une densité importante de semis de 10 à 50 cm. Ces semis ne sont pas répartis de

façon homogène, et la régénération est notamment absente de la partie Nord de la parcelle. Ainsi, l'itinéraire sylvicole proposé est le suivant.

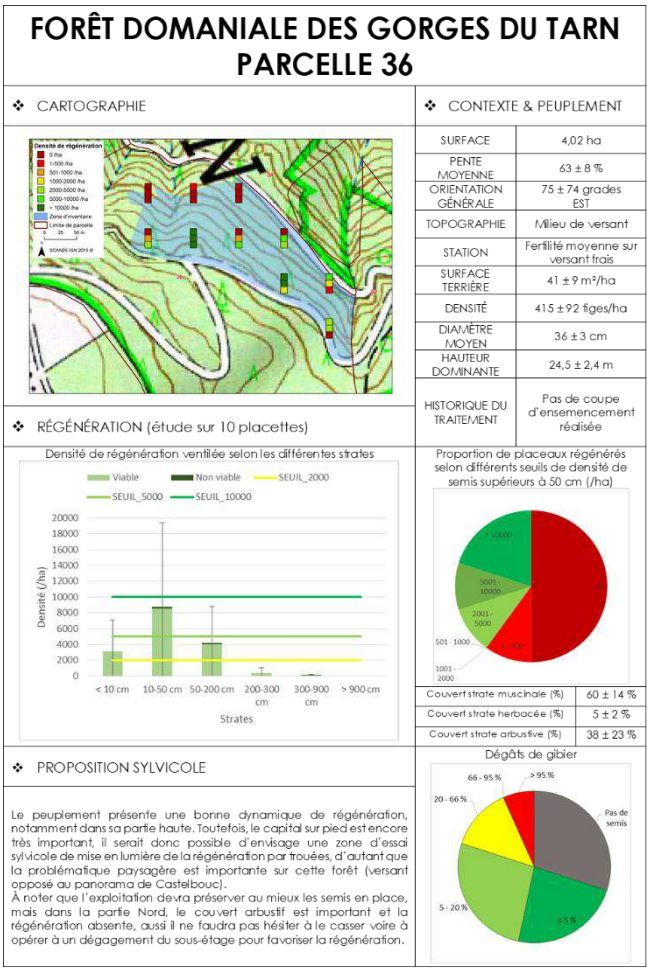


Figure 31: Fiche synthèse de la parcelle 36 de la FD des Gorges du Tarn, retenue pour l'expérimentation de régénération par trouées

- Coupe d'ensemencement par trouées à l'année N (le plus tôt possible). Cette opération consistera à implanter des trouées de 10 à 12 m de rayon, soit une surface de 300 à 450 m², dans le but d'ouvrir un quart du peuplement en surface. Cela représente huit trouées par hectare, espacées de 15 à 20 m les unes des autres, permettant de bénéficier de l'effet de lisière en bordure des trouées. Ces trouées pourraient être ouvertes en un ou deux passages (premier passage abaissant localement la densité, second enlevant les arbres) pour améliorer la stabilité.
- Travaux de dégagement du sous-étage arbustif simultané à la création des trouées : ces travaux peuvent être soit séparés de l'exploitation, soit conjoints au sens où en réalisant une exploitation brutale, il serait possible de casser le sous-étage en place. Cette opération de mise en lumière, conjointe aux remaniements du sol en superficie lors de l'exploitation a pour objectif de permettre aux plus jeunes semis de se développer.
- Coupe définitive du peuplement restant lorsque la régénération est jugée suffisante (seuil *a priori* fixé à 5 000 semis/ha de plus de 50 cm). Si la régénération n'est pas suffisante mais qu'une partie de la parcelle est toutefois bien régénérée, il pourra être décidé de passer en définitive en optant pour le regarnis des zones non régénérées naturellement. Dans tous les cas, la coupe définitive ne devra pas être précipitée pour laisser le temps à la dynamique naturelle (une durée supérieure à 10 ans ne serait pas choquante)

À noter qu'une autre méthode plus proche de la dynamique naturelle pourrait être d'abaisser le capital sur pied dans un premier temps (ensemencement ramenant à 30-35 m²/ha), puis de créer les trouées au-dessus des zones de régénération apparue. Cette méthode se rapprocherait alors de la sylviculture par bouquets décrite précédemment.

4.3.2.2. Expérimentation de régénération par bandes en FD de Mende

De la même façon, deux groupes de parcelles ont été sélectionnés pour faire l'objet d'une expérimentation de régénération par coupes par bandes : soit les parcelles 472-473 (peuplements de Pin uniquement) du canton du Causse, soit la parcelle 146 (partie non encore rasée) du canton de la Chaumette (à étudier vis-à-vis des enjeux paysagers). Aucun inventaire n'a été réalisé dans ces zones car les premières coupes d'ensemencement

y sont prévues après 2020. Les dates de ces coupes pourront être conservées, mais les modalités sylvicoles seraient alors les suivantes.

- Coupe rase des bandes sur une largeur de 15 m et des interbandes sur une largeur de 40 m (si les deux sites sont retenus, il serait intéressant d'essayer de rétrécir les interbandes à une largeur de 20-25 m pour étudier la différence). La densité dans les interbandes ne sera pas abaissée car celle-ci est déjà inférieure à 300 tiges/ha, donc l'éclairage latéral généré par l'enlèvement des bandes devrait suffir à la régénération.
- Coupe définitive des interbandes lorsque la régénération est suffisante, le raisonnement sera le même que dans le cas des trouées décrit précédemment (4.3.2.1. Expérimentation de régénération par trouées en FD des Gorges du Tarn).
- Si le sous-étage arbustif est important, des travaux de dégagement pourront être prévus en même temps que la coupe des bandes.

4.3.2.3. Remarques générales aux expérimentations

Dans tous les cas, il serait intéressant d'installer des placeaux permanents de suivi de la régénération au sein des deux peuplements retenus pour les expérimentations de régénération par trouée et par bande. Les deux protocoles correspondant à ces situations sont difficiles à réitérer de manière suffisamment fiable pour pouvoir comparer les inventaires successifs, en raison des grands déplacements linéaires.

Ainsi, en s'inspirant du protocole d'inventaire de la régénération dans les peuplements (seul jugé répétable facilement dans le temps), une placette permanente pourrait être implantée tous les demi-hectares. Afin de retrouver exactement le point central d'inventaire, ainsi que les trois points des placeaux, il serait préférable d'implanter quatre fers à béton sur chaque placette. Dans le cas des bandes, il faudra veiller à avoir des placettes aussi bien dans les interbandes que dans les bandes, et de même avec les trouées. Le comptage devra se faire *a minima* une fois par an après la sortie des semis de l'année et avant qu'ils ne grillent éventuellement (donc de la mi-mai à la mi-juin), et dans l'idéal deux fois par an en rajoutant à la période précédente un inventaire avant l'hiver pour connaître la « perte estivale » en semis.

Un tel protocole pourrait également être installé en parcelle 478 (parcelle travaillée sur la moitié de sa surface) afin d'étudier les effets exacts du grattage du sol forestier sur la régénération.

4.4. Limites de l'étude et perspectives futures

Le présent document et la plupart des résultats qui y sont présentés sont issus d'un inventaire mené sur une saison. Les conclusions tirées des analyses statistiques doivent donc encore faire leurs preuves car elles ne se basent que sur une année de régénération, qui pourrait être particulière (printemps assez pluvieux, contrairement à l'année précédente par exemple). De plus, les modèles présentés sont perfectibles et une part de la variabilité reste à expliquer. Ils auraient pu être améliorés avec davantage de temps et de connaissances théoriques sur les statistiques. Le cas des modèles mixtes n'a par exemple pas été traité, mais il serait pourtant intéressant car ces modèles permettent de pondérer l'analyse par les effets aléatoires impliqués dans les phénomènes à expliquer (ici la densité de régénération).

Il aurait également été intéressant de disposer d'autres variables explicatives qui pourraient avoir un rôle important dans l'apparition et le comportement de la régénération. C'est notamment le cas de données pédologiques (profondeur de sol, pH) qui sont chronophages à mesurer, de données météorologiques retraçant le climat des dernières années à l'échelle des forêts étudiées, ou encore d'indices de grattage du sol qui sont difficiles à percevoir longtemps après les travaux ou les coupes.

Par conséquent, il convient de ne pas appliquer toutes les préconisations de façon aveugle et totale, mais de procéder prudemment et en conservant un regard critique et scientifique sur les éventuels résultats. Ainsi, les différentes préconisations pourraient être testées rapidement sur des parcelles adaptées à chacune, avant d'éventuellement les déployer de façon plus générale si les résultats sont concluants (tout en laissant le temps à la nature d'apporter ces résultats). Par ailleurs, toutes ces préconisations n'effacent pas les aménagements qui ont été rédigés et qui restent les documents légaux de gestion durable.

De plus, comme les connaissances en termes de croissance et de comportement de la régénération sont encore faibles, poursuivre cet inventaire sur plusieurs années pourrait être intéressant et enrichissant, bien qu'il soit coûteux en temps et en main-d'œuvre. À défaut, les forestiers devront réaliser des bilans de régénération sur les parcelles pré-ciblées en régénération afin d'anticiper les coupes ou travaux nécessaires, et d'être réactif le moment venu de les mettre en place.

Le travail réalisé apporte donc des éléments de réponse parmi d'autres, et il est important que le forestier remette sans cesse en question la sylviculture qu'il applique afin de réagir au mieux face aux évolutions des peuplements, ce qui passe entre autre par des travaux d'inventaire et de recherche.

Conclusion

Au cours de cette étude, les effets des différents paramètres du milieu sur la régénération du Pin noir d'Autriche, qu'ils soient possiblement soumis à son action (surface terrière, prélèvement) ou non (pente, exposition), ont été mis en évidence. La sylviculture de régénération des peuplements étudiés étant globalement récente, cet apport de connaissances et les confirmations des connaissances déjà établies par le passé ou dans d'autres contextes permettent une remise en question de la sylviculture actuellement menée.

Trois modes de régénération ont été envisagés pour le Pin noir : par coupe progressive, par trouées et par bandes. Lors du dernier aménagement, et suite à une étude menée localement, le choix a été fait de régénérer les peuplements par coupes progressives uniquement. Les inventaires menés démontrent que cette méthode ne fonctionne pas toujours, et certaines situations restent préoccupantes du fait du manque de dynamique des semis. D'autres modes de régénération pourraient potentiellement être plus efficaces, ainsi la régénération par trouées et par bandes a été proposée sur deux sites expérimentaux afin de pouvoir juger de façon plus juste leurs qualités et leurs défauts. Le principal reproche qui peut d'ores et déjà leur être fait est leur impact sur le paysage, notamment du fait des versants visibles parfois depuis très loin, dans des zones où l'activité touristique liée à la nature et aux paysages est importante. Les forestiers ne devraient toutefois pas hésiter à recourir à la régénération naturelle, même dans les situations qui semblent les plus désespérées, puisqu'une grande part des fondements biologiques de celle-ci nous échappe encore.

Dans tous les cas, la conduite de la régénération d'un peuplement devra passer par un suivi des semis intégré dans la gestion courante, seul moyen fiable d'estimer la densité et donc de trancher à la question : « La régénération est-elle suffisante sur cette parcelle ? ». Le seuil au-delà duquel la régénération est considérée suffisante, bien que propre à chacun lors d'une observation plus qualitative de la régénération, pourra ainsi être homogénéisé entre les différents acteurs au fil du temps.

Dans certaines situations, ce seuil ne sera toutefois jamais atteint par la régénération de Pin noir, et il faudra alors s'orienter vers la plantation. Dans ce cadre, il est plus que jamais important de se poser des questions quant au futur du peuplement : faut-il réellement s'acharner à replanter du Pin noir ou alors accepter que celui-ci a joué un rôle transitif, permettant une recolonisation progressive des espèces autochtones du passé (chêne, hêtre) ? Cette décision n'est toutefois pas facile à prendre dans un département où le Pin noir est devenu la norme et où le tissu économique s'est pour partie adapté à cette ressource.

La question de la régénération du Pin noir d'Autriche s'inscrit donc parfaitement dans le questionnement actuel sur la multifonctionnalité forestière et les moyens pour le forestier de l'atteindre. Il s'agit pour lui de concilier les demandes de la société du mieux possible, même lorsque celles-ci sont contradictoires, mais aussi de ne jamais oublier l'histoire des peuplements qui nous rappelle à chaque instant les erreurs que nous avons commises et les dérives dans lesquelles il ne faut pas replonger. Il convient donc à chacun d'utiliser à bon escient ses connaissances pour ne tomber ni dans l'excès du productivisme, ni dans celui de la surprotection.

Références bibliographiques

BECKER, M., & CLAUDE, R.-F. (1979). *Indices de climat lumineux combinant pente et exposition.* Champenoux: Laboratoire de Phyto-écologie forestière (INRA).

Becker, M., & Schipfer, R. (1982). *Influence relative du climat et du sol sur les potentialités foretsières en moyenne montagne.* INRA/EDP Sciences.

BRGM. (2005, 12 01). *Cartes géologiques vectorisées et harmonisées à 1/50 000.* Récupéré sur InfoTerre: http://www.geocatalogue.fr/Detail.do?fileIdentifier=94636790-8615-11dc-9e02-0050568151b7

Centre national du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et Forêts. (1987). *Le Pin noir d'Autriche.* Aix-en-Provence & Grenoble.

CHAUVEAU, C. (1994). *Étude de la régénération naturelle du Pin noir sur pente en forêt domaniale de Mende.* ONF Lozère.

HUGO, A. (1835). *La France pittoresque ou description pittoresque, topographique et statistique des départements et colonies de la France.* Paris: Delloye.

Institut National de Recherche Agronomique. (1979). *La régénération naturelle du Pin noir d'Autriche dans le Sud-Est de la France.*

Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement ; Office National des Forêts. (2009). *Guide pratique pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt "PROSOL".*

Inventaire Forestier National. (1992). *Département de la Lozère - Résultats du troisième inventaire forestier.*

MétéoFrance. (2017, 12 18). *Données publiques.* Récupéré sur MeteoFrance: https://donneespubliques.meteofrance.fr/

MICHAUD, J.-C., & LEVEQUE, C. (2002). *Le Pin noir d'Autriche : Pinus nigra laricio austricana, le Pin laricio de Calabre : Pinus nigra laricio Calabrica, le Pin laricio de Corse : Pinus nigra laricio Corsicana.*

Office National des Forêts - Agence de Mende. (2009). *Aménagement de la forêt domaniale de Mende 2009-2023.*

Office National des Forêts - Agence de Mende. (2016). *Aménagement de la forêt domaniale des Gorges du Tarn 2016-2035.*

Office National des Forêts - Languedoc-Roussillon. (2002). *Itinéraires Techniques de Travaux Sylvicoles.*

Office National des Forêts - Pôle recherche sylviculture et environnement. (2005). NDS 05-D-274 Suivi surfacique du renouvellement des peuplements traités en futaie régulière ou futaie par parquets.

Office National des Forêts. (1996). *Guide de sylviculture du Pin noir d'Autriche.*

Office National des Forêts. (s.d.). *Sylviculture du Pin noir - 2ème édition.*

PLAGNES, M., & SARAMITO, G. (1972). *L'introduction du Pin noir d'Autriche sur les causses lozériens.*

PLAISANCE, G. (1965). *Le Pin noir d'Autriche.*

PLAN, J. (1973-1974). *Le Pin noir en Lozère.*

RAMEAU, J.-C., MANSION, D., DUMÉ, G., & GAUBERVILLE, C. (1993). *Flore Forestière Française (Tomes 2 et 3).*

Liste des contacts

NOM Prénom	Poste occupé	Localisation	Contact
BALANÇA Laurent	Technicien Forestier Territorial	Mende	laurent.balanca@onf.fr 04.66.65.78.85
BUISSON Yannick	Technicien Forestier Territorial	Chanac	yannick.buisson@onf.fr 04.66.45.74.25
DEJONGHE Vincent	Technicien Forestier Territorial	Mende	vincent.dejonghe@onf.fr 04.66.47.70.39
DELORME Séverine	Chef de Pôle Aménagement	Mende	severine.delome@onf.fr 04.66.65.63.16
FOULON Michel	Responsable d'Unité Territoriale (UT Causses)	Marvejols	michel.foulon@onf.fr 04.66.49.26.34
REVERTE Christophe	Technicien Forestier Territorial	Mende	christophe.reverte@onf.fr 04.66.65.78.85
SARRAN Hervé	Technicien Forestier Territorial	Balsièges	herve.sarran@onf.fr 04.66.47.00.16

Annexes

ANNEXE A : Synthèse bibliographique sur la régénération du Pin noir d'Autriche

ANNEXE B : Synthèse des entretiens avec les techniciens de l'unité territoriale Causses

ANNEXE C : Protocole d'inventaire de la régénération de Pin noir d'Autriche dans les peuplements

ANNEXE D : Liste des peuplements inventoriés et représentation cartographique

ANNEXE E : Catalogue des stations de fertilité pour le Pin noir d'Autriche

ANNEXE F : Protocoles d'inventaire de la régénération de Pin noir d'Autriche en lisière et dans les trouées

ANNEXE G : Cartographie des lisières et des trouées inventoriées

ANNEXE H : Code R de l'analyse des données de l'inventaire des peuplements

ANNEXE I : Code R de l'analyse des données de l'inventaire sur le travail du sol

ANNEXE J : Code R de l'analyse des données de l'inventaire des lisières

ANNEXE K : Code R de l'analyse des données de l'inventaire des trouées

ANNEXE L : Fiches de synthèse par unité de gestion inventoriée

ANNEXE M : Tableaux de synthèse des régressions sur la densité de régénération de 10 à 50 cm et de plus de 50 cm

ANNEXE A

-

Synthèse bibliographique sur la régénération du Pin noir d'Autriche

Dans cette annexe, les documents ont été classés selon un code couleur distinguant les catégories suivantes :

- les documents techniques purs : documents sans présentation d'inventaire de terrain, stipulant de nombreuses règles de gestion sylvicole dans des contextes variés ;
- les mémoires de fin d'étude : rapports de deux natures différentes, soit des mémoires à dominante bibliographique, soit des mémoires présentant une étude plus détaillée (avec inventaire et analyse des données) ;
- les études locales : rapports décrivant la situation sur un département précis en général ;
- les études globales : réalisées à très grande échelle, sans inventaire particulier mais recueillant les différentes techniques et les spécificités locales.

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA RÉGÉNÉRATION DU PIN NOIR						
TITRE	AUTEUR	RÉGION	FACTEURS INFLUENCANT LA RÉGÉNÉRATION		SYLVICULTURE DE RÉGÉNÉRATION	REMARQUES SOULEVÉES
			FAVORABLES	DÉFAVORABLES		
Le Pin noir d'Autriche : Pinus nigra laricio austricana (2002)	MICHAUD LEVEQUE	France (synthèse assez générale)	• Station fraîche • Altitude de 650-1200 m • Crochetage		• Normes sylvicoles variables selon la série (production, protection) • Ensemencement amenant à G=20-25 m²/ha et mise en définitive après 4 ans	
Sylviculture du Pin noir - 2ème édition (1994)	Office National des Forêts	Provence-Alpes-Côte-d'Azur (peuple-ments RTM du Sud-Est)	• Altitude de 650-1200 m • Fraîcheur de la station • Éclairement modéré au cours des 2-3 premières années	• Pentes fortes entraînant un déchaussement des semis	• Ensemencement amenant à G=20-25 m²/ha soit N=250-400 tiges/ha	Les pentes entraînent-elles vraiment un déchaussement des semis ou bien l'absence serait due à un effet du couvert ?
Guide de sylviculture du Pin noir d'Autriche (1996)	Office National des Forêts	Midi-Pyrénées	• Altitude de 650-1200 m • Fraîcheur de la station • Pente modérée	• Pentes fortes entraînant un déchaussement des semis	• Ensemencement amenant à G=20-25 m²/ha • Mise en lumière dès 4 ans d'âge (coupe définitive)	Même question que précédemment

TITRE	AUTEUR	RÉGION	FACTEURS INFLUENCANT LA RÉGÉNÉRATION		SYLVICULTURE DE RÉGÉNÉRATION	REMARQUES SOULEVÉES
			FAVORABLES	DÉFAVORABLES		
Régénération naturelle du Pin noir d'Autriche sur versant (1994)	CHAUVEAU	Mende et Gorges du Tarn (inventaire de l'existant avec des placettes systématiques et des placettes choises + analyse statistique par comparaison de moyenne)	• Versant frais	• Versant Sud • Pente fortes (influenceraient l'accroissement des semis mais pas leur densité) • Surface terrière (influencerait l'accroissement avec maximum de 10 cm/an quand il n'y a plus d'arbre, sinon à moins de 21 m²/ha)		Aucun effet significatif de la végétation concurrente n'avait été démontré
Itinéraires Techniques de Travaux Sylvicoles (2002)	Office National des Forêts	Languedoc-Roussillon (tous les départe-ments)	• Qualité des semenciers • Versant frais ou plateau • Pente < 75%		• Ensemencement au maximum à 20 m²/ha	Faut-il s'acharner à conserver le Pin noir d'Autriche ou laisser évoluer la dynamique naturelle / l'accompagner ?
La régénération des peuplements adultes de Pin noir d'Autriche en Lozère (1988)	PLAN	Lozère	• Abris latéral dans les premières années	• Mortalité due à l'exploitation, la sécheresse, l'hylobe ou la concurrence herbacée • Pentes moyennes à fortes	• Travail du sol • Lutte contre les graminées	Quel poids réel attribuer à la concurrence herbacée ?

TITRE	AUTEUR	RÉGION	FACTEURS INFLUENCANT LA RÉGÉNÉRATION		SYLVICULTURE DE RÉGÉNÉRATION	REMARQUES SOULEVÉES
			FAVORABLES	DÉFAVORABLES		
La régénération naturelle du Pin noir dans le Sud-Est de la France (1979)	Institut National de Recherche Agronomi-que (TURREL)	Alpes de Haute Provence	• Altitude de 650-1200 m • Précipitations de 800-900 mm/an • Indice de luminosité modéré • Situation topographique fraîche	• Séries de végétation chaudes		L'apparition des semis est indépendante du couvert du peuplement
Le Pin noir d'Autriche (1965)	PLAISANCE	France	• Sols calcaires • Altitude inférieure à 1600 m • Température moyenne annuelle d'environ 11°C • Précipitations de 900 mm/an • Ombrage dans le jeune âge	• Tapis d'aiguilles accumulées	• Ensemencement à N=300-400 tiges/ha	
L'introduction du Pin noir d'Autriche sur les Causses Lozériens (1972)	PLAGNES SARAMITO	Lozère (Causses)	• Peuplement d'au moins 80-90 ans d'âge • Richesse du sol • Plateaux et pentes faibles • Exposition Est à Nord	• Pentes supérieures à 40% • Exposition Ouest à Sud • Concurrence herbacée et arbustive (cytise) • Tapis d'aiguilles accumulées		Impact de la sylviculture à objectif 'poteaux' soulevé car cela consiste à enlever les pins les plus élancés, ne laissant pas forcément ceux se régénérant le mieux

TITRE	AUTEUR	RÉGION	FACTEURS INFLUENCANT LA RÉGÉNÉRATION		SYLVICULTURE DE RÉGÉNÉRATION	REMARQUES SOULEVÉES
			FAVORABLES	DÉFAVORABLES		
Le Pin noir d'Autriche dans le Sud-Est de la France : Intérêts et problèmes (1983)	CEMAGREF-ENITEF (DECOUD)	Sud-Est de la France (étude générale et descriptive sans inventaire de terrain)	• Station favorable : altitude, exposition (Est et Nord), pente, roche-mère (détritique), pendage des couches, profondeur du sol, épaisseur de l'humus		• Ensemencement laissant entre 400 et 800 tiges/ha puis définitive soit en plein soit par trouée sur semis acquis	
Guide de sylviculture du Pin noir (1997)	Office National des Forêts	Drôme	• Sylviculture dynamique	• Sylviculture traditionnelle	• Interventions vigoureuses	Faut-il s'acharner à conserver le Pin noir d'Autriche ?
La gestion du Pin noir d'Autriche sur marnes dans les Alpes du Sud (1998)	REY CHAUVIN	Alpes de Haute Provence			• Par trouées sur 40%, puis 80% de la surface 2-3 ans plus tard, définitive 5-7 ans plus tard, soit en pied à pied par ensemencement laissant 300-600 tiges/ha puis définitive 5-7 ans plus tard	Choix de la technique selon la régénération naturelle : si elle est présente par trouées, si elle est absente en pied à pied Ouvrage largement basé sur l'impact du gui aux peuplements

TITRE	AUTEUR	RÉGION	FACTEURS INFLUENCANT LA RÉGÉNÉRATION		SYLVICULTURE DE RÉGÉNÉRATION	REMARQUES SOULEVÉES
			FAVORABLES	DÉFAVORABLES		
Pin noir d'Autriche : "Clef des types de peuplements du Pin noir d'Autriche" (2010)	Schéma Régional de Gestion Sylvicole	Provence-Alpes-Côte-d'Azur			• Ensemencement amenant à N=50-200 tiges/ha puis définitive sur régénération acquise • Bandes successives de largeur 2-3 fois la hauteur du peuplement • Trouées de 0.5 ha sur 40% de la surface totale	
Guide des sylvicultures de montagne - Alpes du Sud françaises (2012)	LADIER, REY, DREYFUS	Alpes du Sud	• Lumière : 60 % de couvert à laisser à l'ensemencement		• Coupes progressives : ensemencement laissant 125 tiges/ha et définitive à 1100 semis/ha au moins de plus de 50 cm • Coupes par trouées : moins de 0,5 ha si enjeu de protection, plus de 0,5 ha si enjeu de production	Sylviculture à adapter à la fertilité, aux fonctions de la forêt (production/protection) et aux conditions d'exploitation

ANNEXE B

-

Synthèse des entretiens avec les techniciens de l'unité territoriale Causses

Agent	Cantons	Contexte du triage	Problématiques	Notion de régénération	Zones d'intérêt indiquées
Agent A	FD de Mende : Le Sabatier, Marijoulet, La Roche, Les Crottes, Le Lieuran, Martina, Bramonas, Le Banet + FD des Gorges du Tarn	La majorité des parcelles ont été régénérées artificiellement, seule une (P.198) s'est régénérée naturellement mais des regarnis vont avoir lieu cette année. Dans tous les cas les semenciers ont déjà été enlevés.	• Cytise envahissant sur La Roche ➔ travaux de nettoyage puis plantation directement car la dynamique naturelle ne semble pas suffisante. • Buis envahissant sur Le Sabatier ➔ travaux de plantation peu fructueux car le buis résiste bien. • Incendie sur Marijoulet ➔ plantations obligatoires du fait de la mort des semenciers. • Lièvre et chevreuil causant des dommages, mais principalement aux plantations. • Mouflon causant des dommages aux régénérations naturelles, mais cette problématique n'existe que sur la FD des Gorges du Tarn.	Une bonne régénération naturelle se caractérise par un recouvrement important du sol par les semis, avec une certaine densité. Si ces deux conditions ne sont pas réunies, des regarnis sont entrepris.	Aucune puisque l'ensemble des parcelles du groupe de régénération ont finalement été plantées. La régénération ne semble pas venir dans les groupes d'amélioration.
Agent B	FD de Mende : Le Lion, Chaumazelle, La Devéze, Les Fonts, Puech Haut, Montialoux, Le Cros du Lac, La Balzagette, Chalhac, Le Causse, Delbouc + FD des Gorges du Tarn	La majorité des parcelles du groupe de régénération non prévues en plantation à l'aménagement se régénèrent très bien naturellement. Tant que le sol n'est pas sal, le Pin noir d'Autriche se régénère bien. Des travaux sont entrepris pour favoriser la régénération naturelle.	• La pente serait un facteur limitant important, mais il reste seulement « limitant » et n'empêche pas une bonne régénération dans tous les cas. • Le chevreuil et le lièvre ont un impact sur les régénérations artificielles mais pas naturelles. • Herbacées et mousses bloquantes sur Le Causse, mais un travail du sol en parcelle 478 a donné de très bons résultats l'année dernière, il sera réitéré sur la parcelle 479 cette année.	Une bonne régénération naturelle se caractérise par une dizaine de semis acquis par m² dans le Pin noir d'Autriche.	Aucune autre forêt de Pin noir d'Autriche adulte.

Agent	Cantons	Contexte du triage	Problématiques	Notion de régénération	Zones d'intérêt indiquées
Agent C	FD de Mende : Le Tuff, La Chaumette, Costebelle, Les Travers, Baupilhac, Cadenouze, Les Combettes, Le Riaguet	Le triage se situe majoritairement sur le causse de Mende, avec le plateau et ses rebords abrupts. La régénération naturelle pose des problèmes ponctuels, mais sa dynamique est importante sur de nombreuses parcelles. Pour certaines parcelles, des plantations ont lieu directement sans essayer de recourir à la régénération naturelle. Des travaux sont entrepris pour favoriser la régénération naturelle.	• Le gibier (lièvre et chevreuil) est très abondant sur le causse, notamment dans les cantons concernés par l'accueil du public où la chasse est interdite (Le Tuff, La Chaumette et Baupilhac principalement), et causerait des dégâts à la régénération naturelle. Le lièvre a une très forte dynamique de population suite à trois années favorables à sa reproduction. Des dégâts sur semis ne sont pas vraiment observés car la régénération est absente de ces zones, mais les herbacées et feuillus sont largement touchés. • Couvert en sous-étage des feuillus qui peut être gênant sur les versants Nord notamment (Le Tuff).	Une bonne régénération naturelle se caractérise par un tapis de régénération acquise, soit des semis à hauteur de botte.	La régénération est déjà présente dans le groupe d'amélioration, ce qui soulève un questionnement quant au dynamisme de la sylviculture.
Agent D	FD de Mende : La Vigne, Le Villaret, Le Pont Neuf, Chabannes, La Briguette, Marates, Rieumenou, Saint-Laurent, Rieucros, Pelgeires, La Tourette, La Plane, L'Evers, L'Esclancide	Le triage est très morcelé et éclaté dans des contextes bien différents de l'Ouest à l'Est de Mende en passant par le Nord. Aucuns travaux réalisés en faveur de la régénération naturelle car les coupes semblent suffire.	• Cytise bloquant sur certains versants Sud (Le Villaret), le recours à la régénération naturelle a été abandonné pour la régénération artificielle. • Le chevreuil et le lièvre se cantonnent aux régénérations artificielles. • Dans plusieurs parcelles la régénération naturelle n'est pas venue, sans explication particulière, des coupes secondaires ont été engagées.	Une bonne régénération naturelle se caractérise par des semis qui recouvrent une bonne proportion de la parcelle concernée.	FC d'Allenc et de Barjac trop jeunes (stade de la 3ème éclaircie pour les peuplements les plus âgés). *A priori* pas de régénération dans le groupe d'amélioration.

ANNEXE C

-

Protocole d'inventaire de la régénération de Pin noir d'Autriche dans les peuplements

Protocole d'inventaire de la régénération de Pin noir d'Autriche dans les peuplements pleins

Mars 2018 – ONF Lozère

1. Positionnement de la placette

1.1. Cheminement

Le cheminement se fait à l'aide d'un GPS dans lequel la maille des placettes est renseignée. Afin de ne pas biaiser le choix du centre de la placette, il est convenu de s'arrêter la première fois que le GPS bip pour signaler la proximité du point rentré en destination ou que les deux croix affichée par le TDS se chevauche pour la première fois au zoom maximal.

1.2. Limites

Dans le cas où une limite de la forêt est comprise dans le périmètre de la placette, le centre de celle-ci est décalé d'une distance la plus petite possible de sorte à ce qu'aucun arbre ne puisse être mesuré en-dehors de la forêt. Ceci est valable pour les limites suivantes : périmètre de la forêt, changement flagrant de peuplement, route, piste forestière.

2. Renseignements généraux

2.1. Observateurs

Indiquer les initiales de l'observateur ou des observateurs s'ils sont plusieurs

2.2. Placette

Indiquer le numéro de la placette.

2.3. Date

Indiquer la date du relevé.

3. Exposition et topographie

3.1. Pente

Mesurer la pente générale de la placette (en pourcentage), soit celle dans l'axe de la plus grande pente.

Matériel : Vertex

3.2. Orientation

Mesurer l'orientation (en grades) dans l'axe de la plus grande pente.

Matériel : Boussole

3.3. Topographie

Indiquer parmi les choix suivants (Figure 1) celui qui correspond le mieux à la microtopographie observée sur la placette.

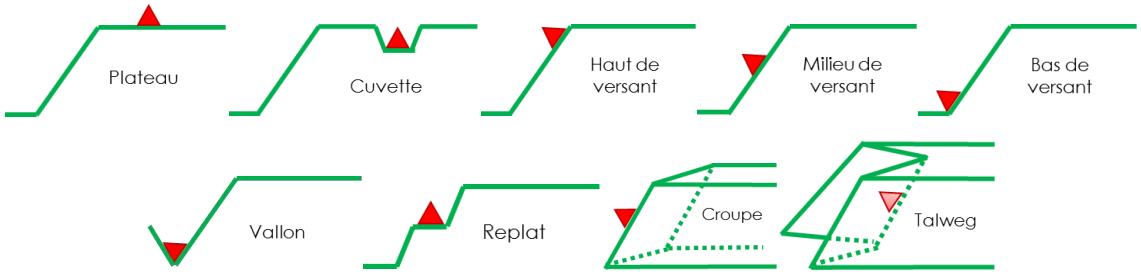


Figure 1: Schéma des topographies relevées sur le terrain

3.4. Confinement

Mesurer l'angle de l'horizon (en pourcentage) pour les quatre points cardinaux (pour rappel, l'azimut 0 correspond au Nord, l'azimut 100 à l'Est, l'azimut 200 au Sud et l'azimut 300 à l'Ouest). Cette mesure ayant pour but d'évaluer l'impact du confinement uniquement et pas celui des peuplements, l'angle de l'horizon est bien mesuré à partir du relief géologique, et non pas à partir du couvert qu'il pourrait arborer.

Matériel : Vertex

3.5. Éclairage latéral

Indiquer la présence (ou l'absence) d'une rupture du couvert forestier (trouée, piste, route), se caractérisant par une absence d'arbres sur une surface suffisamment importante pour être facilement repérable à l'œil, en repérant sa distance au centre de la placette, pour chacun des points cardinaux. La distance est renseignée à vue d'œil selon trois grandes catégories : rupture à la limite directe de la placette (cas des parcelles décalées afin d'assurer l'homogénéité du peuplement inventorié), entre le périmètre d'inventaire et 25 m du centre, entre 25 et 50 m du centre.

3.6. Station

Une station est pré-remplie à l'aide du SIG, son intitulé reporté sur la fiche de mesure pour chaque placette. Confirmer ou non la concordance de cette station avec la réalité du terrain. Si la station ne semble pas correspondre, une autre est proposée conformément au catalogue des stations retenu par l'aménagement de la Forêt domaniale de Mende.

3.7. Tapis d'aiguilles

Indiquer si un tapis d'aiguille continu est présent sur la placette, et le cas échéant, noter son épaisseur moyenne sur les placeaux.

4. Inventaire du peuplement

Inventorier le peuplement sur pied sur une surface horizontale de 4 ares, comme indiqué par la Figure 2 (soit pour une pente nulle, dans un rayon de 11,3 m autour du centre de la placette). Les tiges sont comptabilisées par classe de diamètre et par essence, avec un diamètre précomptable fixé à 7,5 cm. Seuls les arbres vivants sont pris en compte.

Pour chaque placette, la hauteur de l'arbre de diamètre maximal situé à moins de 5,6 m du centre de la placette est mesurée (soit dans un cercle de surface égale à 1 are), sauf s'il présente une cime brisée ou morte, auquel cas l'arbre de deuxième diamètre le plus grand est mesuré (et ainsi de suite). Si aucun arbre n'est présent dans ce rayon, l'indiquer en remarque et prendre la hauteur de l'arbre de diamètre maximal présent sur la placette.

De plus, les souches datant de la dernière exploitation sont relevées sur la même surface horizontale de 4 ares, si celles-ci peuvent être discernées des souches plus anciennes. Si cela n'est pas possible, l'indiquer et relever toutes les souches. Pour chacune des souches, la classe de diamètre à la base est mesurée.

Matériel : Compas forestier, vertex

5. Inventaire de la régénération

Cet inventaire est réalisé sur trois placeaux par placette, positionnés à 5 m du centre sur les azimuts 0, 133 et 266 grades (Figure 2**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La distance de 5 m est à prendre à l'horizontale.

Remarque : Il est important de respecter les azimuts et de ne pas « choisir » l'endroit où tombe le placeau afin de ne pas biaiser l'inventaire réalisé.

5.1. Densité de semis

Compter les semis de Pin noir d'Autriche dans un rayon de 2 m autour du centre du placeau, en distinguant les semis d'avenir de ceux qui ne sont pas viables. Les semis sont considérés « d'avenir » lorsqu'ils ne présentent pas de défauts mettant en jeu leur survie et l'atteinte de l'âge adulte. Ainsi, un semis est considéré comme non viable s'il végète depuis des années, qu'il est abrouti fréquemment ou de façon importante, ou bien s'il est cassé.

De plus, les semis sont répartis selon cinq classes de hauteur (conformément à la Base de Données Régénération) : moins de 10 cm, de 10 à 50 cm, de 0,5 à 2 m, de 2 à 3 m, de 3 à 9 m, et plus de 9 m avec un diamètre à 1,30 m inférieur au diamètre précomptable. Seuls les semis vivants sont pris en compte. Pour les semis de moins de 10 cm de hauteur, le critère d'avenir ou non n'est pas indiqué.

Un semis est considéré comme étant dans le placeau lorsque son bourgeon apical se situe à une distance horizontale de 2 m ou moins par rapport au centre du placeau.

5.2. Hauteur et âge des semis

Mesurer pour chaque placeau, et pour les trois plus grands semis viables dont le décompte des verticilles est possible, la hauteur et le nombre des verticilles (afin d'estimer l'âge).

Si le décompte des verticilles est impossible, l'indiquer en remarque.

5.3. Concurrence de la végétation

Évaluer à l'intérieur du placeau le recouvrement des strates muscinale, herbacée et arbustive, en pourcentage de la surface totale. Ces strates étant possiblement déconnectées verticalement, il est plausible que la somme des pourcentages de recouvrement soit supérieure à 100%.

La strate muscinale se compose des mousses et des lichens, la strate herbacée se compose des plantes herbacées (donc non ligneuses), et la strate arbustive se compose des végétaux ligneux d'une hauteur potentielle à l'âge adulte inférieure à 7 m.

5.4. Recouvrement rocheux

Évaluer à l'intérieur du placeau le recouvrement des rochers, en distinguant les blocs rocheux des éboulis ou cailloux de moindre envergure.

Un caillou est considéré comme un bloc rocheux lorsque son diamètre apparent dépasse les 20 cm, autrement il est comptabilisé dans la catégorie « éboulis ».

5.5. Dégâts de gibier

Noter pour chaque placeau l'indicateur de dégâts du gibier correspondant, avec comme référence la note de service du 26/06/2008, récapitulée ci-dessous.

Note	Observations sur le terrain
1	Pas ou peu de traces visibles (<5% des pousses terminales abrouties)
2	Traces fréquentes d'abroutissement mais assez peu sur les pousses terminales (entre 5 et 20%)
3	Abroutissement fréquent y compris sur les pousses terminales (entre 20 et 66%)
4	Abroutissement généralisé y compris sur les pousses terminales (entre 66 et 95%)
5	Semis tous jugés non viables en raison de dégâts de gibier (>95% des pousses terminales abrouties)

Tableau 1: Notes de dégâts de gibier

S'il est possible d'identifier l'espèce à l'origine des dégâts (*a priori* chevreuil, mouflon ou lièvre), la noter sur la fiche de relevé.

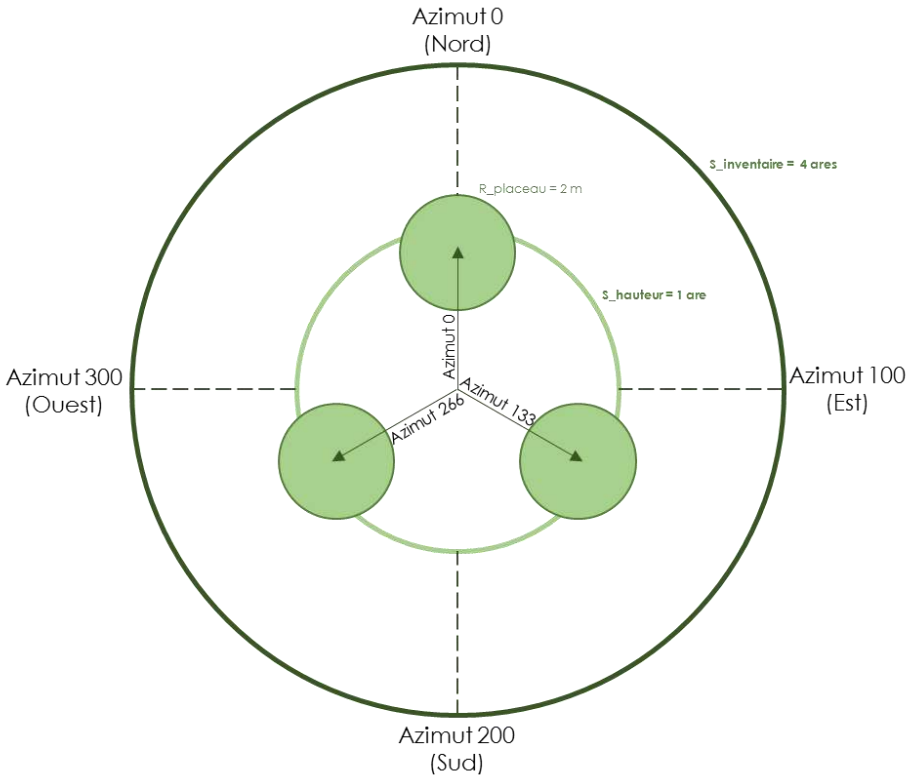


Figure 2 : Schéma général d'une placette d'inventaire (toutes proportions conservées)

INVENTAIRE DE LA RÉGÉNÉRATION DE PIN NOIR D'AUTRICHE

Observateur(s)		Placette		Date	

Pente		Confinement	Azimut 0	Azimut 100	Azimut 200	Azimut 300
Orientation		Horizon				
Topographie		Lisière	☐ Aucune	☐ Aucune	☐ Aucune	☐ Aucune
☐ Plateau	☐ Talweg		☐ Tangente	☐ Tangente	☐ Tangente	☐ Tangente
☐ Cuvette	☐ Replat		☐ 13-25 m	☐ 13-25 m	☐ 13-25 m	☐ 13-25 m
☐ Haut de versant	☐ Bas de versant		☐ 25-50 m	☐ 25-50 m	☐ 25-50 m	☐ 25-50 m
☐ Milieu de versant	☐ Vallon	Station		Tapis d'aiguilles		
☐ Croupe	☐ _____	☐ OUI ☐ NON		☐ OUI : épaisseur		☐ NON

Inventaire du peuplement					Placeau Azimut 0		
Essence	P.O			Souche	Régénération	Viable	Non viable
10					h ≤ 0,1 m		
15					0,1 < h ≤ 0,5 m		
20					0,5 < h ≤ 2 m		
25					2 < h ≤ 3 m		
30					3 < h ≤ 9 m		
35					9 m < h		
40					Accroissement	Hauteur	Verticilles
45					Semis 1		
50					Semis 2		
55					Semis 3		
60					Nombre de semis délaissés		
65					Concurrence	Recouvrement	Espèces
70					Mousses		
75					Herbacées		
80					Arbustes		
Hauteur (préciser le diamètre)					Blocs Éboulis	Dégâts gibier ☐ t ≤ 5 % ☐ 5 < t ≤ 20%	☐ 20 < t ≤ 66% ☐ 66 < t ≤ 95% ☐ 95% < t

Placeau Azimut 133			Placeau Azimut 266		
Régénération	Viable	Non viable	Régénération	Viable	Non viable
h ≤ 0,1 m			h ≤ 0,1 m		
0,1 < h ≤ 0,5 m			0,1 < h ≤ 0,5 m		
0,5 < h ≤ 2 m			0,5 < h ≤ 2 m		
2 < h ≤ 3 m			2 < h ≤ 3 m		
3 < h ≤ 9 m			3 < h ≤ 9 m		
9 m < h			9 m < h		
Accroissement	Hauteur	Verticilles	Accroissement	Hauteur	Verticilles
Semis 1			Semis 1		
Semis 2			Semis 2		
Semis 3			Semis 3		
Nombre de semis délaissés			Nombre de semis délaissés		
Concurrence	Recouvrement	Espèces	Concurrence	Recouvrement	Espèces
Mousses			Mousses		
Herbacées			Herbacées		
Arbustes			Arbustes		
Blocs Éboulis	Dégâts gibier ☐ t ≤ 5 % ☐ 5 < t ≤ 20%	☐ 20 < t ≤ 66% ☐ 66 < t ≤ 95% ☐ 95% < t	Blocs Éboulis	Dégâts gibier ☐ t ≤ 5 % ☐ 5 < t ≤ 20%	☐ 20 < t ≤ 66% ☐ 66 < t ≤ 95% ☐ 95% < t

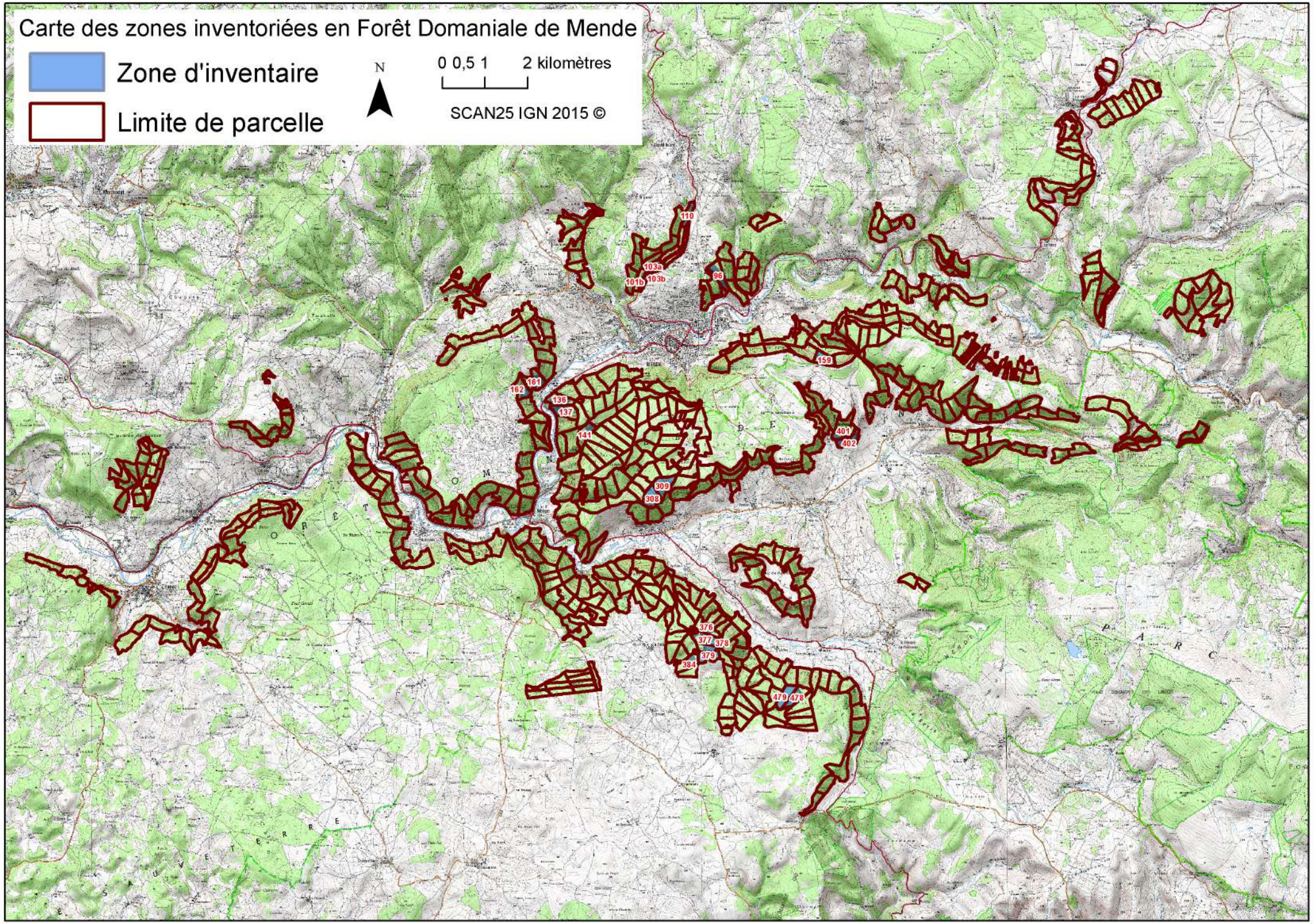
Remarques :

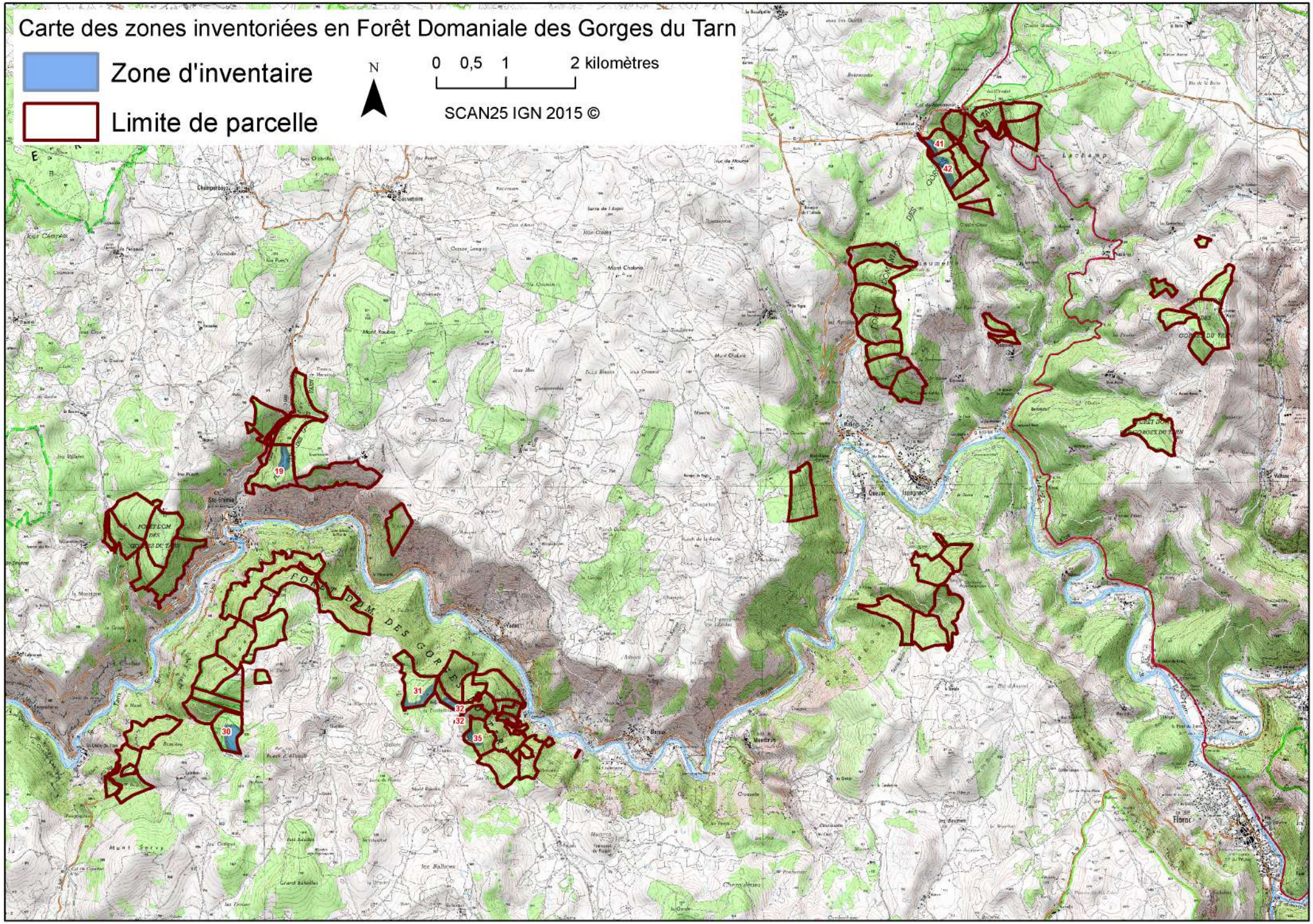
ANNEXE D

-

Liste des unités des peuplements inventoriés et représentation cartographique

Forêt	Canton	Parcelle	Surface (ha)
FD des Gorges du Tarn	Bac et Boissets	19	3,16
	Montmirat	41-42	5,5
	Prades	30	5,57
		31	4,84
		32	2,78
		35	1,36
FD de Mende	Le Causse	478	8,86
		479	12,75
	La Chaumette	141	2,41
	Coste Plane	401	3,89
		402	9,31
	Le Cros du Lac	376	5,14
		377	6,38
		378	5,14
		379	10,39
		384	6,53
	Le Pont Neuf	161	6,59
		162	4,65
	Le Riaguet	308	15,33
		309	14,26
	Rieumenou	101b-103a-103b	8,08
		110	3,71
	Saint-Laurent	96	10,14
	Le Tuff	136	6,85
		137	3,84
	La Valette	159	6,51
2 forêts	13 cantons	29 parcelles	173,97 ha


Carte des zones inventoriées en Forêt Domaniale de Mende
Zone d'inventaire
Limite de parcelle
N
0 0,5 1 2 kilomètres
SCAN25 IGN 2015 ©
110
103a
101b
103b
96
159
161
162
136
137
141
401
402
309
308
376
377
378
379
384
479
478


Carte des zones inventoriées en Forêt Domaniale des Gorges du Tarn
Zone d'inventaire
Limite de parcelle
N
0 0,5 1 2 kilomètres
SCAN25 IGN 2015 ©
19
30
31
32
35
41
42

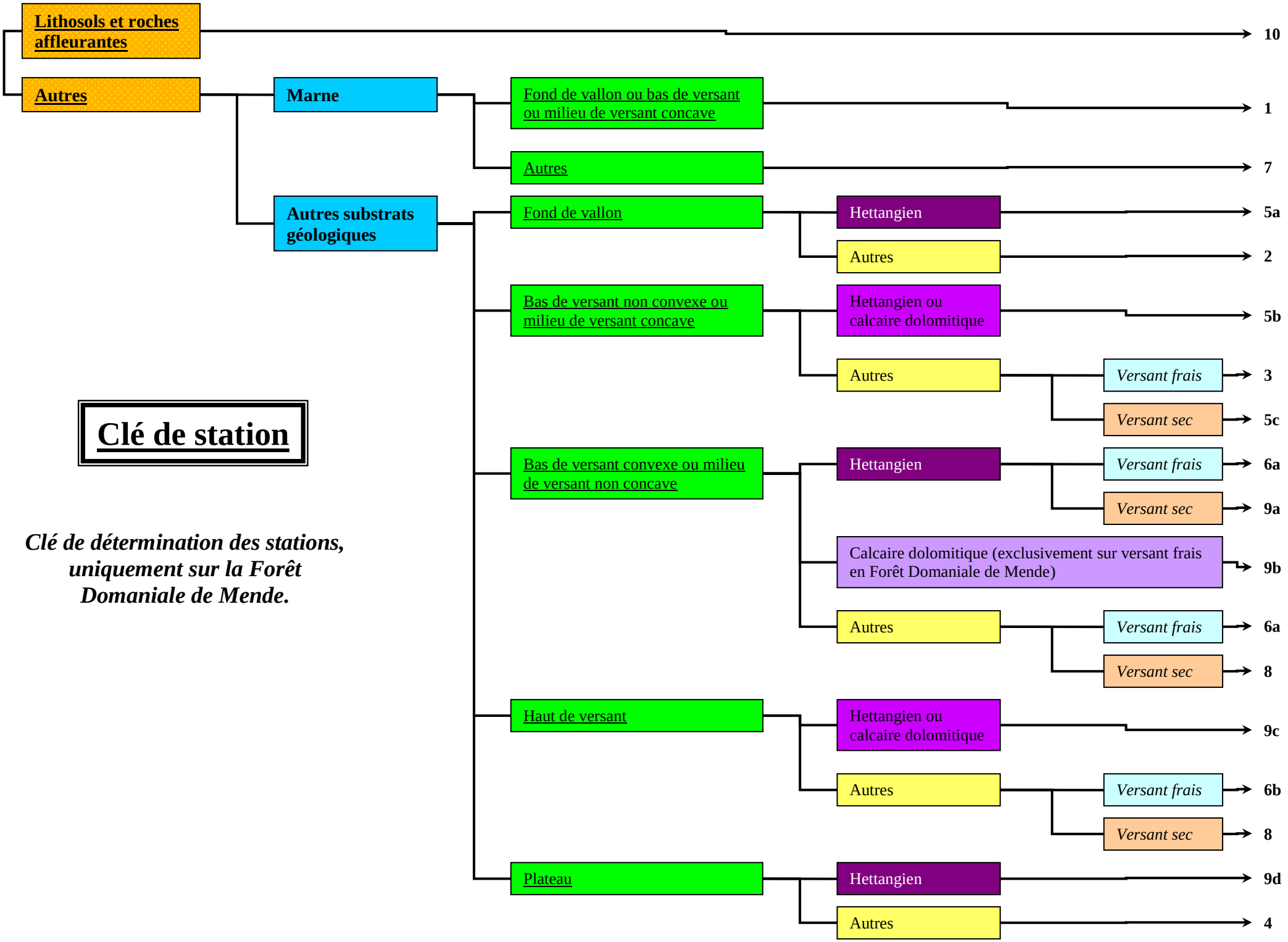
ANNEXE E

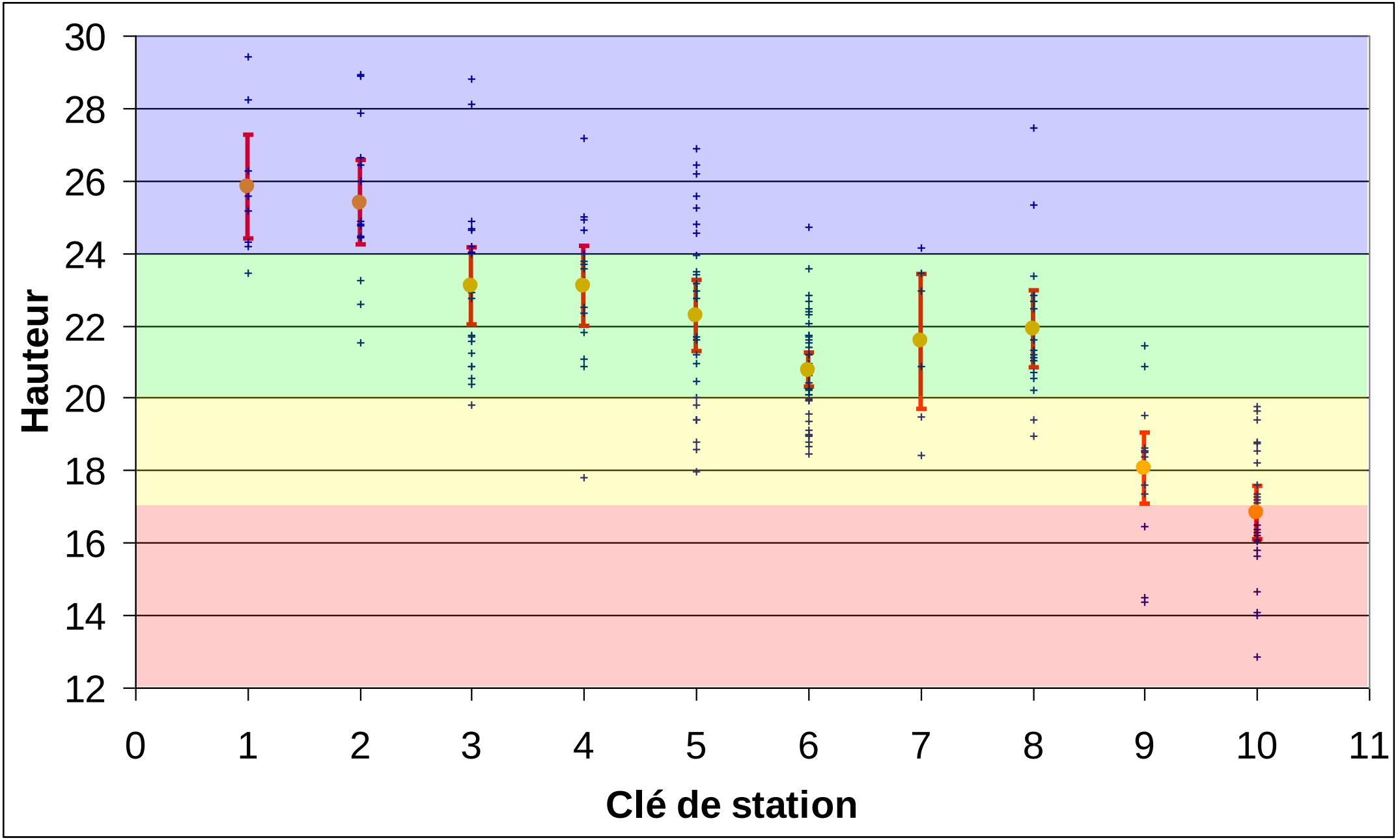
-

Catalogue des stations de fertilité pour le Pin noir d'Autriche

Clé de station

Clé de détermination des stations, uniquement sur la Forêt Domaniale de Mende.




30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
Hauteur
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Clé de station

Fiches descriptives des stations de la Forêt Domaniale de Mende.

Cette clé des stations a été bâtie grâce à un échantillonnage réalisé uniquement sur la Forêt Domaniale de Mende. Tout élargissement de son utilisation devra nécessiter au préalable un travail de vérification, voire d'ajustement. La clé a été réalisée pour que les forestiers puissent l'appliquer directement sur le terrain, par la simple observation de caractères diagnostiques simples, comme l'exposition, la topographie et le substrat géologique, à consulter sur la carte géologique, puisqu'il est souvent très difficile de déterminer le faciès directement sur le terrain.

Toutes les stations de la "Clé de station" sont décrites dans des fiches descriptives individuelles. Chaque fiche descriptive porte les renseignements suivants :

- le sous type de station : pour certaines fiches, il peut y avoir plusieurs sous-type de stations à l'intérieur d'une même station ;
- la topographie : les cas suivant sont distingués :
  fond de vallon, bas de versant, bas de versant convexe, bas de versant non convexe, milieu de versant, milieu de versant concave, milieu de versant non concave ;
- le substratum : on peut rencontrer les faciès suivant:
  Hettangien (I^2_b et I^2_a), marne (I_7 et I_8), calcaire marneux (I_9), calcaire dur (J^2_a et J^1_a), calcaire dolomitique ou dolomie (J^2_b et J^1_b) ;
- la formation superficielle :
  colluvions argileuses, éboulis, roches affleurantes ou éboulis léger ;
- l'exposition : fraîche (NW, N, NE et E) ou sèche (SE, S, SW et W) ;
- le niveau hydrique : (grâce aux groupes floristiques présents sur la station ; voir l'annexe n°…)
  Les groupes floristiques sont nommés par rapport à leur niveau hydrique du plus sec au plus humide : Xérophile, Mésoxérophile, Amplitude réduite (seule les plantes du groupe 2 sont présentent), Mésophile, Large amplitude (tous les groupes sont représentés), Mésohygrocline ou Hygrocline ;
- le bilan hydrique latéral : il peut être très favorable, favorable, neutre ou défavorable. Cette notion est en rapport avec la position topographique.
- la carbonatation du sol : effervescence à HCl absente, localisée ou présente sur toutes la profondeur ;
- les situations non échantillonnées : certaines situations n'ont pas été échantillonnées car elles ne se rencontrent pas sur la Forêt Domaniale de Mende. Toute utilisation de la clé dans ces situations devra être faite avec précaution ;
- les contraintes : sont développées ici les principales contraintes de la station pour les essences forestière ;
- les potentialités forestières : elles dépendent de la fertilité de la station et sont liées au bilan hydrique global, à la nutrition minéral et à la température ;
- la classe de fertilité du Pin Noir d'Autriche de la station : 1=très bonne ; 2=moyenne ; 3=médiocre ; 4=mauvaise ; classes déterminées d'après la courbe de croissance pour le Pin Noir de Ottorini-Toth en 1975 ;
- les points d'échantillonnage réalisés, correspondant à la station décrite ;
- un exemple de localisation est donné pour chaque station.

Station n°	**1 - Station de bonne fertilité sur marne**
Topographie	Fond de vallon, bas de versant ou milieu de versant concave
Substratum	Marne
Formation superficielle	Colluvions argileuses parfois sur éboulis léger
Exposition	Toutes
Groupe floristique	De "large amplitude" à "hygrocline" où l'on trouve régulièrement de la clématite, de l'aubépine monogyne, et du robinier
Bilan hydrique latéral	Très favorable à favorable
Carbonatation	Effervescence absente, localisée ou présente sur toute la profondeur
Situations non échantillonnées	Toutes les situations possibles ont été échantillonnées
Contraintes	Enracinement limité par la compacité du sol - mouvements de terrain, dus aux sols marneux, qui provoquent des courbures au niveau du pied des arbres - sols humides en surface, dus au plancher argileux que présentent les marnes, et sols secs en profondeur : sécheresse édaphique pouvant être importante à toute période de l'année
Potentialités forestières	Limitées aux essences supportant les sols marneux ; Très bonnes pour le Pin noir ; Le Mélèze d'Europe peut être introduit avec précaution. Essences d'accompagnement : l'Aulne de Corse, le Frêne commun, l'Orme champêtre
Classe de fertilité du Pin noir	Classe 1
Points d'échantillonnage correspondant	T.33.3 ; T.37.5 ; T.55.3 ; T.55.4 ; T.64.2 ; T.64.3 ; T.69.3 et T.76.2
Exemple de localisation	**La Valette** ; Coste Plane On peut apercevoir des arbres courbés dû aux mouvements de terrains.

Station n°	**2 – Station de fertilité excellente de fond de vallon sur substrats calcaire ou dolomitique**
Topographie	Fond de vallon
Substratum	Calcaire marneux, calcaire dur, calcaire dolomitique ou dolomie
Formation superficielle	Colluvions argileuses souvent sur éboulis léger
Exposition	Toutes
Groupe floristique	De "large amplitude" à "hygrocline", parfois "mésoxérophile" où l'on trouve régulièrement de la clématite et de l'érable sycomore
Bilan hydrique latéral	Très favorable, qui constitue un atout majeur de cette station
Carbonatation	Effervescence localisée ou présente sur toute la profondeur
Situations non échantillonnées	Toutes les situations possibles ont été échantillonnées
Contraintes	Carbonatation plus ou moins importante – sous étage souvent dense pouvant rendre la régénération des peuplements en place difficile
Potentialités forestières	Très bonnes mais limitées aux essences supportant le calcaire actif ; Très bonnes pour le Pin noir ; Station sur laquelle de nombreuses essences peuvent être introduites comme le Mélèze d'Europe, le Cèdre de l'Atlas, le Pin Laricio de Corse…, surtout sur les sols décarbonatés
Classe de fertilité du Pin noir	Classe 1 parfois en classe 2
Points d'échantillonnage correspondant	T.3.3 ; T.5.3 ; T.8.3 ; T.24.3 ; T.25.3 ; T.51.3 ; T.52.1 ; T.52.2 ; T.53.2 ; T.57.1 ; T.57.2 ; T.72.2 ; T.73.3 et T.73.4
Exemple de localisation	**Le Lieuran**

Station n°	**3 – Station de très bonne fertilité sur versant frais**
Topographie	Bas de versant non convexe ou milieu de versant concave
Substratum	Calcaire marneux, calcaire dur ou dolomie
Formation superficielle	Colluvions argileuses souvent sur éboulis léger
Exposition	Versant frais
Groupe floristique	De "mésoxérophile" à "large amplitude" parfois "hygrocline" où l'on trouve régulièrement du noisetier et du cornouiller sanguin
Bilan hydrique latéral	Favorable, qui constitue un atout majeur de cette station
Carbonatation	Effervescence localisée ou présente sur toute la profondeur
Situations non échantillonnées	Toutes les situations possibles ont été échantillonnées
Contraintes	Carbonatation plus ou moins importante – sous étage parfois dense pouvant rendre la régénération des peuplements en place difficile
Potentialités forestières	Bonnes mais limitées aux essences supportant le calcaire actif ; Bonnes pour le Pin noir ; Station sur laquelle des substitutions d'essences peuvent être envisagées surtout sur les sols décarbonatés : introduction du Mélèze d'Europe, du Cèdre de l'Atlas ou du Pin Laricio de Corse
Classe de fertilité du Pin noir	Classe 2 parfois en classe 1
Points d'échantillonnage correspondant	T.4.3 ; T.7.3 ; T.10.2 ; T.10.3 ; T.19.3 ; T.20.3 ; T.27.3 ; T.30.3 ; T.37.1 ; T.38.3 ; T.53.1 ; T.54.3 ; T.61.1 ; T.61.2 ; T.61.3 ; T.62.3 ; T.67.1 ; T.69.2 ; T.72.1 et T.73.1
Exemple de localisation	**Le Villaret**

Station n°	**4 – Station de plateau**
Topographie	Plateau
Substratum	Calcaire marneux, calcaire dur ou dolomie
Formation superficielle	Argile de décarbonatation en place, ou Terre rouge du causse sur quelques microstations
Exposition	Toutes
Groupe floristique	"mésoxérophile" où l'on retrouve régulièrement du camerisier à balai et du hêtre
Bilan hydrique latéral	Neutre
Carbonatation	Effervescence absente, localisée ou présente sur toute la profondeur
Situation non échantillonnées	Calcaire dolomitique, marne
Contraintes	Sécheresse estivale atmosphérique et édaphique pouvant être marquée. Sol en général peu profond ; Atout : absence de pente
Potentialités forestières	Bonnes à moyennes en fonction de la microtopographie, mais limitées aux essences supportant le calcaire actif et une relative sécheresse ; Bonnes pour le Pin noir ; Substitution d'essence à envisager sur les microstations les plus fertiles (bas de versant, fond de vallon, doline)
Classe de fertilité du Pin noir	Classe 2 parfois en classe 1
Points d'échantillonnage correspondant	T.1.1 ; T.1.2 ; T.6.2 ; T.12.1 ; T.12.2 ; T.12.3 ; T.12.4 ; T.13.1 ; T.13.2 ; T.13.3 ; T.17.1 ; T.17.2 ; T.35.1 ; T.35.2 et T.71.1
Exemple de localisation	**Baupilhac**

Station n°	**5 – Stations de bonne fertilité de versant**		
Sous type	**5a**	**5b**	**5c**
Topographie	Fond de vallon	Bas de versant non convexe ou milieu de versant concave	Bas de versant non convexe ou milieu de versant concave
Substratum	Hettangien	Hettangien ou calcaire dolomitique	Calcaire marneux, calcaire dur ou dolomie
Formation superficielle	Colluvions argileuses parfois sur éboulis léger		
Exposition	Toutes	Toutes	Versant sec
Groupe floristique	"mésohygrocline" parfois "mésophile" où l'on trouve souvent de l'érable sycomore et de l'hellébore fétide	"mésohygrocline" parfois "mésophile", parfois "mésoxérophile" où l'on trouve souvent de l'hellébore fétide et du fraisier sauvage	De "mésoxérophile" à "mésohygrocline" parfois "hygrocline" où l'on trouve souvent du brachypode penné et du genêt d'Espagne
Bilan hydrique latéral	Très favorable	Favorable	Favorable
Carbonatation	Effervescence localisée ou présente sur toute la profondeur	Effervescence localisée ou présente sur toute la profondeur	Effervescence absente, localisée ou présente sur toute la profondeur
Situations non échantillonnées	Toutes les situations possibles ont été échantillonnées		
Contraintes	Prospection racinaire limitée par la structure litée de l'Hettangien	Prospection racinaire limitée par la structure litée de l'Hettangien et du calcaire dolomitique	Ensoleillement important du à l'exposition sèche - sécheresse atmosphérique pouvant être importante en été
Potentialités forestières	Moyennes mais limitées aux essences supportant le calcaire actif ; Moyennes pour le Pin noir ; Des substitutions d'essences pourront être envisagées avec précaution		
Classe de fertilité du Pin noir	Classe 2		
Points d'échantillonnage correspondant	T.43.1 ; T.43.2 ; T.43.3 ; T.44.2 ; T.45.1 ; T.45.2 ; T.47.3 et T.48.2	T.20.2 ; T.24.2 ; T.41.2 ; T.42.3 ; T.42.4 ; T.44.1 ; T.56.2 et T.73.2	T.14.3 ; T.15.3 ; T.29.4 ; T.56.1 ; T.59.1 ; T.63.3 ; T.64.1 ; T.65.1 ; T.65.2 ; T.66.2 et T.76.1
Exemple de localisation	**St Laurent** 	**Delbouc** 	**Le Riaguet**

Station n°	**6 – Stations de fertilité moyenne sur versant frais**	
Sous type	**6a**	**6b**
Topographie	Bas de versant convexe ou milieu de versant non concave	Haut de versant
Substratum	Calcaire marneux, calcaire dur, dolomie ou Hettangien	Calcaire marneux, calcaire dur ou dolomie
Formation superficielle	Colluvions argileuses parfois sur éboulis léger	Argile de décarbonatation en place
Exposition	Versant frais	
Groupe floristique	De "mésoxérophile" à "mésophile" parfois "hygrocline" où l'on trouve souvent de l'hylocomie brillante, de la viorne lantane, du groseiller des Alpes et de la pyrole unilatérale	De "xérophile" à "mésophile" parfois "mésohygrocline" où l'on trouve souvent de la pyrole unilatérale et des céphalanthères
Bilan hydrique latéral	Neutre	Défavorable
Carbonatation	Effervescence absente, localisée ou présente sur toute la profondeur	Effervescence localisée ou présente sur toute la profondeur
Situations non échantillonnées	Toutes les situations possibles ont été échantillonnées	
Contraintes	Milieu pouvant présenter une sécheresse édaphique estivale malgré l'exposition fraîche	Milieu sec malgré une exposition fraîche – sols souvent peu profonds - sécheresse édaphique pouvant être importante surtout en été
Potentialités forestières	Moyennes car limitées aux essences supportant le calcaire actif et une relative sécheresse édaphique ; Moyennes pour le Pin noir ; Les substitutions d'essences devront être envisagées avec beaucoup de précaution	
Classe de fertilité du Pin noir	Classe 2 et 3	
Points d'échantillonnage correspondant	T.3.2 ; T.4.2 ; T.7.2 ; T.8.2 ; T.27.2 ; T.30.2 ; T.37.4 ; T.38.2 ; T.40.2 ; T.46.2 ; T.46.3 ; T.47.2 T.48.1; T.50.2 ; T.51.2 ; T.54.2 ; T.55.2 ; T.60.1 ; T.60.2 ; T.60.3 ; T.62.2 ; T.69.1 ; T.70.2 et T.74.3	T.1.3 ; T.2.1 ; T.2.2 ; T.4.1 ; T.6.1 ; T.7.1 ; T.20.1 ; T.30.1 ; T.38.1 ; T.51.1 ; T.55.1 ; T.62.1 ; T.70.1 et T.74.1
Exemple de localisation	**Rieumenou** ; La Valette ; Le Tuff 	**Bramonas** ; Le Lieuran

Station n°	**7 - Station de fertilité moyenne sur marnes**
Topographie	Bas de versant convexe, milieu de versant non concave
Substratum	Marne
Formation superficielle	Colluvions argileuses parfois sur éboulis léger
Exposition	Toutes
Groupe floristique	De "xérophile" à "mésophile" où l'on peut trouver régulièrement de la néottie nid d'oiseau et beaucoup de cytise des Alpes
Bilan hydrique latéral	Défavorable à neutre
Carbonatation	Effervescence localisée ou présente sur toute la profondeur
Situations non échantillonnées	Plateau, haut de versant
Contraintes	Milieu très sec pour les versants secs et milieu assez sec pour les versants frais - enracinement limité par la compacité du sol - mouvements de terrain, dus aux sols marneux, qui provoquent des courbures au niveau du pied des arbres – sols secs en profondeur et sols humides en surface, dû au plancher argileux que présentent les marnes
Potentialités forestières	Moyennes car limitées aux essences supportant les sols marneux ; Moyennes pour le Pin noir ; Substitution d'essence difficile à envisager (sauf quelques feuillus en accompagnement et en rôle de maintien des sols)
Classe de fertilité du Pin noir	Classe 2
Points d'échantillonnage correspondant	T.1.4 ; T.2.3 ; T.33.2 ; T.34.3 ; T.59.3 et T.74.4
Exemple de localisation	**La Valette**

Station n°	**8 - Station de fertilité moyenne sur versant sec**
Topographie	Bas de versant convexe ou milieu de versant non concave ou haut de versant
Substratum	Calcaire marneux, calcaire dur ou dolomie
Formation superficielle	Colluvions argileuses parfois sur éboulis léger
Exposition	Versant sec
Groupe floristique	De "xérophile" à "large amplitude" où l'on trouve souvent du noisetier, du genêt d'Espagne, du sceau de Salomon et de la viorne lantane
Bilan hydrique latéral	Neutre à défavorable
Carbonatation	Effervescence localisée ou présente sur toute la profondeur
Situations non échantillonnées	Toutes les situations possibles ont été échantillonnées
Contraintes	Milieu très sec à assez sec
Potentialités forestières	Moyennes à médiocre car limitées aux essences supportant le calcaire actif et la sécheresse atmosphérique et édaphique ; Moyennes pour le Pin noir ; Aucune substitution ne semble être à envisager
Classe de fertilité du Pin noir	Classe 2 parfois 3
Points d'échantillonnage correspondant	T.5.1 ; T.5.2 ; T.15.2 ; T.25.2 ; T.28.1 ; T.28.2 ; T.28.3 ; T.29.1 ; T.29.2 ; T.29.3 ; T.32.2 ; T.33.1 ; T.36.2 ; T.36.3 ; T.63.1 et T.63.2
Exemple de localisation	**Le Lac** ; Le Villaret

Station n°	**9 – Stations de fertilité médiocre**			
Sous type	**9a**	**9b**	**9c**	**9d**
Topographie	Bas de versant convexe ou milieu de versant non concave	Bas de versant convexe ou milieu de versant non concave	Haut de versant	Plateau
Substratum	Hettangien	Calcaire dolomitique	Hettangien ou calcaire dolomitique	Hettangien
Formation superficielle	Argile de décarbonatation en place			
Exposition	Versant sec	Toutes	Toutes	Toutes
Groupe floristique	"mésohygrocline" où l'on trouve souvent de la pyrole unilatérale	"mésohygrocline" où l'on trouve souvent du fraisier sauvage et de l'hellébore fétide	De "xérophile" à "mésohygrocline" où l'on trouve souvent de la petite coronille et du dicrane en balai	De "xérophile" à "mésohygrocline" où l'on trouve souvent des céphalanthères, de l'hypne triquètre et du dicrane en balai
Bilan hydrique latéral	Neutre	Neutre	Défavorable	Neutre
Carbonatation	Effervescence absente, localisée ou présente sur toute la profondeur	Effervescence absente	Effervescence localisée ou présente sur toute la profondeur	Effervescence absente ou localisée
Situations non échantillonnées	Toutes les situations possibles ont été échantillonnées			
Contraintes	Milieu sec : sécheresse édaphique et atmosphérique en exposition Sud – prospection racinaire limitée par le caractère lité du calcaire dolomitique et de l'Hettangien			
Potentialités forestières	Mauvaises pour les autres essences ; Médiocres pour le Pin noir ; Aucune substitution possible			
Classe de fertilité du Pin noir	Classe 3			
Points d'échantillonnage correspondant	T.22.1 ; T.22.2 et T.42.5	T.58.2	T.22.3 ; T.23.1 ; T.23.2 ; T.40.1 ; T.42.2 ; T.46.1 ; T.47.1 ; T.49.1 et T.74.2	T.41.1 et T.42.1
Exemple de localisation	**St Laurent,** Delbouc		**St Laurent** ; La Briquette	

Station n°	**10 – Station sur sol superficiel**
Topographie	Toutes positions topographiques
Substratum	Tous substrats
Formation superficielle	Eboulis, roches affleurantes, Terres bleues
Exposition	Toutes
Groupe floristique	De "xérophile" à "mésophile" où l'on ne trouve que très peu d'espèces, sauf le cytise des Alpes
Bilan hydrique latéral	Défavorable, neutre, favorable ou très favorable
Carbonatation	Effervescence présente sur toute la profondeur
Situations non échantillonnées	Peut être présent partout
Contraintes	Milieu très sec, enracinement très difficile, sol quasi absent
Potentialités forestières	Médiocres à mauvaises, quasi nulles en termes de production
Classe de fertilité du Pin noir	Classe 3 et 4
Points d'échantillonnage correspondant	T.3.1 ; T.14.2 ; T.19.2 ; T.32.1 ; T.34.1 ; T.34.2 ; T.36.1 ; T.37.2 ; T.37.3 ; T.49.2 ; T.50.1 ; T.50.3 ; T.50.4 ; T.54.1 ; T.58.1 ; T.59.2 ; T.66.1 ; T.67.2 ; T.68.1 ; T.68.2 ; T.71.2 ; T.71.3 ; T.75.1 et T.75.2
Exemple de localisation	**Delbouc** ; Le Riaguet ; **Le Lac** ; La Valette

ANNEXE F

-

Protocoles d'inventaire de la régénération de Pin noir d'Autriche en lisière et dans les trouées

Protocole d'inventaire de la régénération de Pin noir d'Autriche en zone de lisière ou de trouée

Mai 2018 – ONF Lozère

Dans le cadre de ce protocole, les « trouées » regrouperont l'ensemble des trouées intra-forestières de surface comprise entre 0,1 et 0,5 ha.

1. Positionnement des placeaux

Dans le cas des lisières, le positionnement des placeaux se fait comme représenté sur la Figure 1. Le premier transect est placé de sorte à ce que la zone d'inventaire du peuplement ne corresponde qu'au peuplement étudié. De même, le dernier transect est réalisé lorsqu'il n'est pas possible d'aller plus loin sans changer de peuplement lors de l'inventaire.

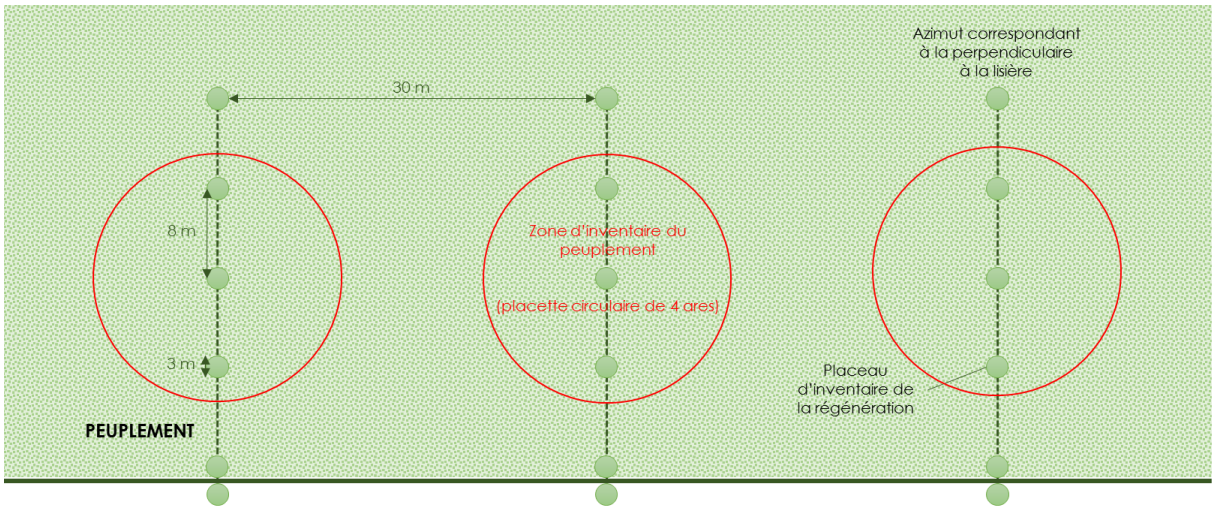


Figure 1: Schéma d'inventaire de la régénération pour les lisières

Dans le cas des trouées, le positionnement des placeaux suit le modèle de la Figure 2. Dans la zone de vide, les placeaux sont réalisés depuis la lisière en avançant vers le centre, et de sorte à réaliser un *maximum* de placeaux.

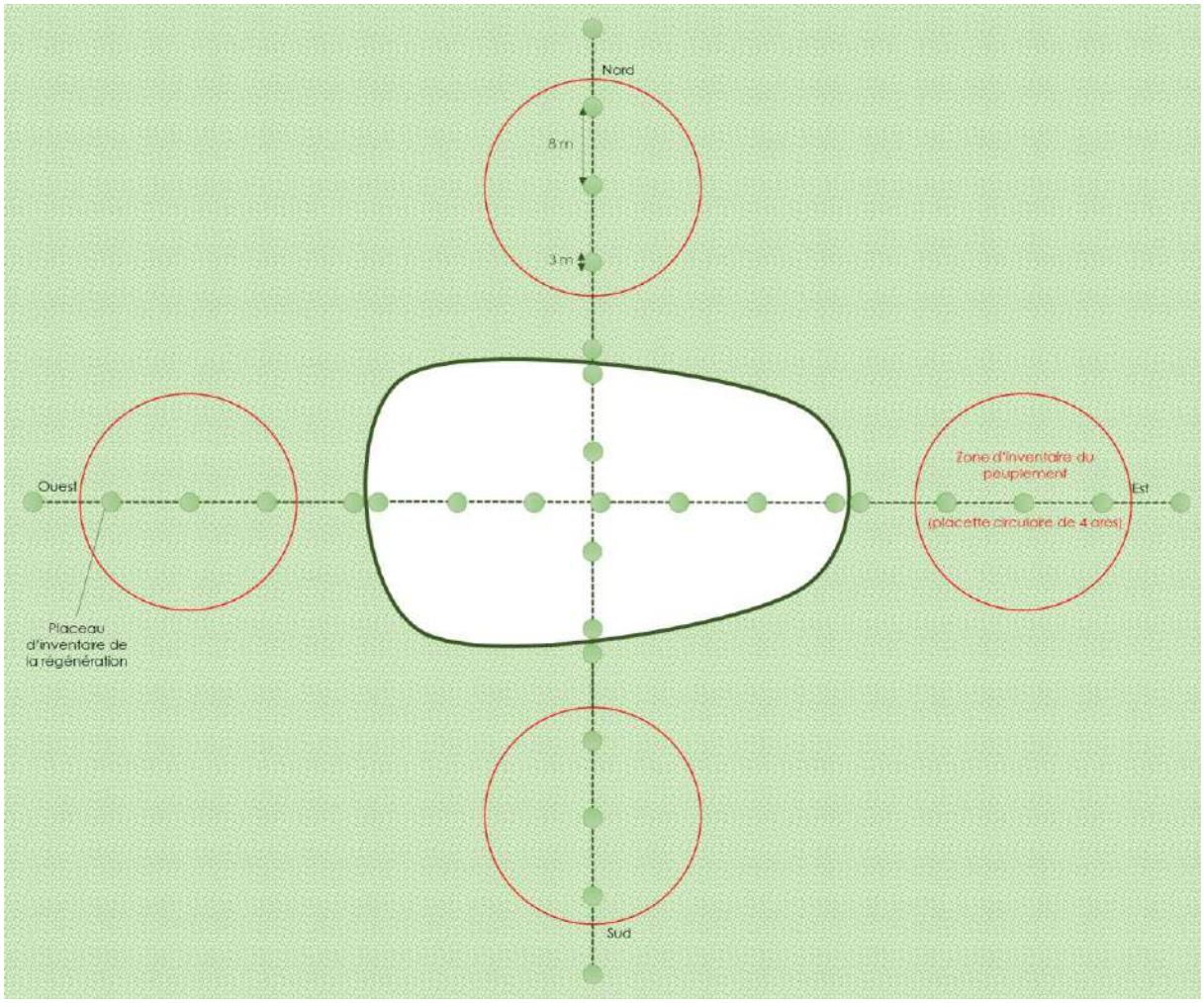


Figure 2: Schéma d'inventaire de la régénération pour les trouées

Dans tous les cas, les placeaux ont un rayon de 1,5 m et sont placés de sorte à avoir un placeau tous les 8 m (d'où un intervalle de 5 m entre les extrémités de deux placeaux consécutifs).

2. Renseignements généraux

Cette section est la même que pour le protocole précédent.

2.1. Observateurs

Indiquer les initiales de l'observateur ou des observateurs s'ils sont plusieurs

2.2. Transect et orientation

Indiquer le numéro du transect, permettant de l'identifier clairement et renseigner son orientation (en se plaçant dos au peuplement).

Remarque : Dans le cadre de l'inventaire d'une lisière, relever s'il s'agit d'une lisière « franche » *id est* nette de tout arbre, ou d'une lisière « tamisée » *id est* avec des zones récemment régénérées par exemple.

2.3. Date

Indiquer la date du relevé.

3. Inventaire du peuplement

Inventorier le peuplement sur pied sur une surface horizontale de 4 ares, comme indiqué par les Figures 1 et 2 (soit pour une pente nulle, dans un rayon de 11,3 m autour du centre de la placette). Les tiges sont comptabilisées par classe de diamètre et par essence, avec un diamètre précomptable fixé à 7,5 cm. Seuls les arbres vivants sont pris en compte.

La placette d'inventaire du peuplement se situe au niveau du troisième placeau à l'intérieur du peuplement pour chaque transect réalisé, que ce soit dans le cadre du protocole « lisières » ou du protocole « trouées ».

Pour chaque placette, la hauteur de l'arbre de diamètre maximal situé à moins de 5,6 m du centre de la placette est mesurée, sauf s'il présente une cime brisée ou morte, auquel cas l'arbre de deuxième diamètre le plus grand est mesuré (et ainsi de suite). Si aucun arbre n'est présent dans ce rayon, l'indiquer en remarque et prendre la hauteur de l'arbre de diamètre maximal présent sur la placette.

Matériel : Compas forestier, vertex

4. Inventaire de la régénération

Cet inventaire est réalisé sur des placeaux positionné comme l'indiquent les Figures 1 et 2.

Remarque : Il est important de respecter les azimuts des transects et de ne pas « choisir » l'endroit où tombent les placeaux afin de ne pas biaiser l'inventaire réalisé.

4.1. Densité de semis

Compter les semis de Pin noir d'Autriche dans un rayon de 1,5 m autour du centre du placeau, en distinguant les semis d'avenir de ceux qui ne sont pas viables. Les semis sont considérés « d'avenir » lorsqu'ils ne présentent pas de défauts mettant en jeu leur survie et l'atteinte de l'âge adulte. Ainsi, un semis est considéré comme non viable s'il végète depuis des années, qu'il est abrouti fréquemment ou de façon importante, ou bien s'il est cassé.

De plus, les semis sont répartis selon cinq classes de hauteur (conformément à la Base de Données Régénération) : moins de 10 cm, de 10 à 50 cm, de 0,5 à 2 m, de 2 à 3 m, de 3 à 9 m, et plus de 9 m avec un diamètre à 1,30 m inférieur au diamètre précomptable. Seuls les semis vivants sont pris en compte. Pour les semis de moins de 10 cm de hauteur, le critère d'avenir ou non n'est pas indiqué.

Un semis est considéré comme étant dans le placeau lorsque son bourgeon apical se situe à une distance horizontale de 2 m ou moins par rapport au centre du placeau.

4.2. Concurrence de la végétation

Évaluer à l'intérieur du placeau le recouvrement des strates muscinale, herbacée et arbustive, en pourcentage de la surface totale. Ces strates étant possiblement déconnectées verticalement, il est plausible que la somme des pourcentages de recouvrement soit supérieure à 100%.

La strate muscinale se compose des mousses et des lichens, la strate herbacée se compose des plantes herbacées (donc non ligneuses), et la strate arbustive se compose des végétaux ligneux d'une hauteur potentielle à l'âge adulte inférieure à 7 m.

4.3. Recouvrement rocheux

Évaluer à l'intérieur du placeau le recouvrement des rochers, en distinguant les blocs rocheux des éboulis ou cailloux de moindre envergure.

Un caillou est considéré comme un bloc rocheux lorsque son diamètre apparent dépasse les 20 cm, autrement il sera comptabilisé dans la catégorie « éboulis ».

4.4. Dégâts de gibier

Noter pour chaque placeau l'indicateur de dégâts du gibier correspondant, avec comme référence la note de service du 26/06/2008, récapitulée ci-dessous.

Note	Observations sur le terrain
1	Pas ou peu de traces visibles (<5% des pousses terminales abrouties)
2	Traces fréquentes d'abroutissement mais assez peu sur les pousses terminales (entre 5 et 20%)
3	Abroutissement fréquent y compris sur les pousses terminales (entre 20 et 66%)
4	Abroutissement généralisé y compris sur les pousses terminales (entre 66 et 95%)
5	Semis tous jugés non viables en raison de dégâts de gibier (>95% des pousses terminales abrouties)

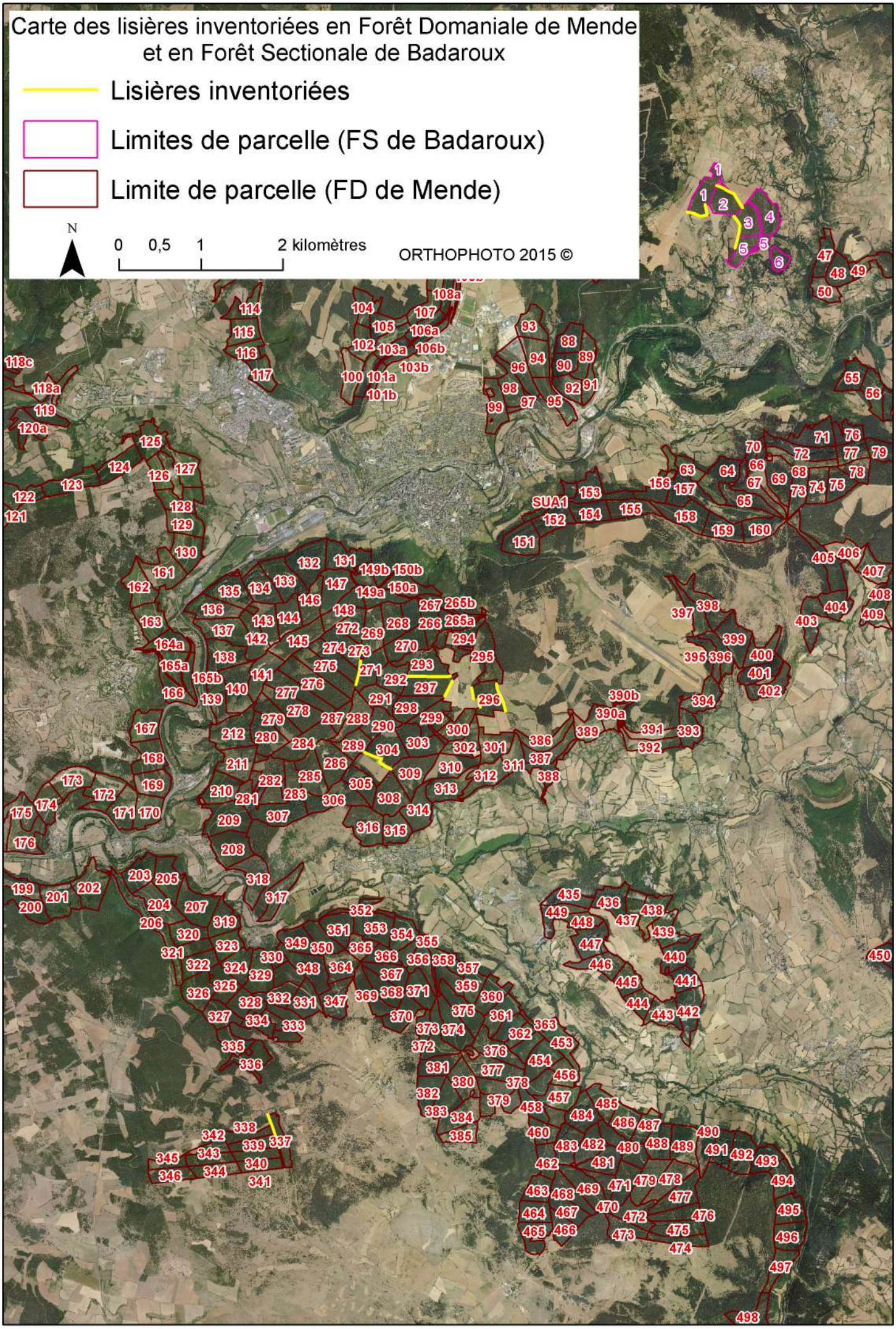
Tableau 1: Notes de dégâts de gibier

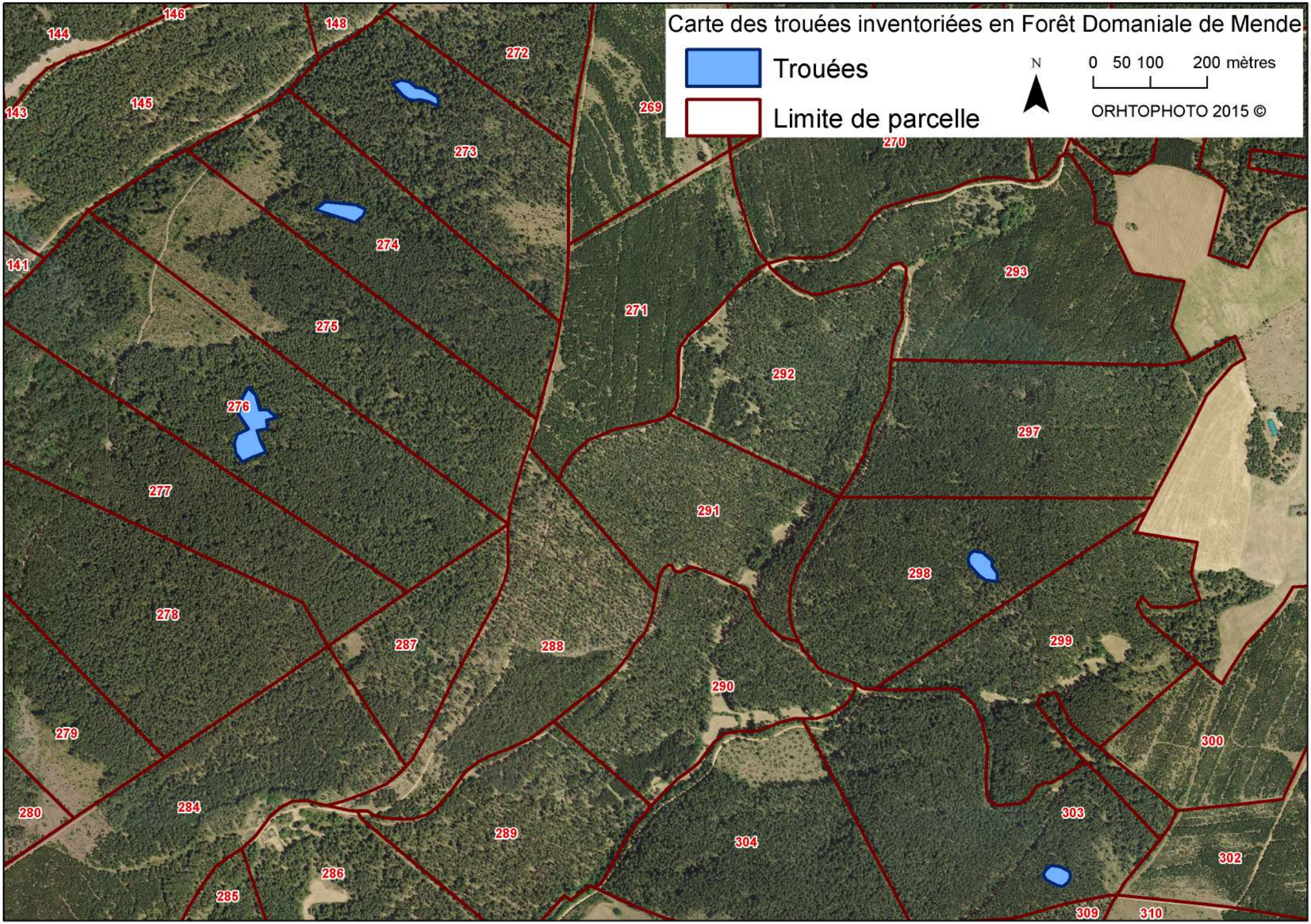
S'il est possible d'identifier l'espèce à l'origine des dégâts (*a priori* chevreuil, mouflon ou lièvre), la noter sur la fiche de relevé.

ANNEXE G

-

Cartographie des lisières et des trouées inventoriées


Carte des lisières inventoriées en Forêt Domaniale de Mende et en Forêt Sectionale de Badaroux
Lisières inventoriées
Limites de parcelle (FS de Badaroux)
Limite de parcelle (FD de Mende)
N
0 0,5 1 2 kilomètres
ORTHOPHOTO 2015 ©


Carte des trouées inventoriées en Forêt Domaniale de Mende
Trouées
Limite de parcelle
N
0 50 100 200 mètres
ORHTOPHOTO 2015 ©
146
144
148
272
145
143
269
273
270
274
141
293
271
275
292
276
297
277
291
298
278
287
288
299
290
279
300
280
284
303
289
304
302
286
285
309
310

ANNEXE H

-

Code R de l'analyse des données de l'inventaire des peuplements

Apprentissage_régénération.R

Maxime

Wed Sep 05 08:22:38 2018

```
############################
# OUVERTURE DES LIBRAIRIES #
############################

library(car) # Aide a la realisation des regressions

## Loading required package: carData

library(readxl) # Permet de lire des fichiers Excel
library(ggplot2) # Permet de representer des donnees
library(factoextra) # Permet d'extraire et d'analyser les resultats d'analyse multivaries

## Welcome! Related Books: `Practical Guide To Cluster Analysis in R` at https://goo.gl/13EFCZ

library(lsmeans) # Permet de calculer les moyennes ajustees

## The 'lsmeans' package is being deprecated.
## Users are encouraged to switch to 'emmeans'.
## See help('transition') for more information, including how
## to convert 'lsmeans' objects and scripts to work with 'emmeans'.

library(MASS) # Permet d'utiliser les modeles de negative binomial
library(pscl) # Permet d'utiliser les modeles adaptes a la surdispersion au niveau des 0

## Classes and Methods for R developed in the
## Political Science Computational Laboratory
## Department of Political Science
## Stanford University
## Simon Jackman
## hurdle and zeroinfl functions by Achim Zeileis

##########################
# DEFINITION DES DONNEES #
##########################

# Definition de l'espace de travail
setwd("C:/Users/Maxime/Desktop/Regeneration_P.N")

# Importation des donnees
Data <- read_xlsx(path="C:/Users/Maxime/Desktop/Regeneration_P.N/Compilation_placettes.xlsx", col_names=TRUE, sheet='Compilation')
# Suppression des champs inutiles (la base de données est sinon plus lente a s'afficher)
Data <- Data[,-which(names(Data) %in% c('OBS','DAT','HOR_0','HOR_100','HOR_200','HOR_300','AIG','EPA','SUR',
                                        'P.O_10','P.O_15','P.O_20','P.O_25','P.O_30','P.O_35','P.O_40','P.O_45','P.O_50','P.O_55','P.O_60','P.O_65','P.O_70',
                                        'AUT_10','AUT_15','AUT_20','AUT_25','AUT_30','AUT_35','AUT_40','AUT_45','AUT_50','AUT_55','AUT_60','AUT_65','AUT_70',
                                        'SOU_10','SOU_15','SOU_20','SOU_25','SOU_30','SOU_35','SOU_40','SOU_45','SOU_50','SOU_55','SOU_60','SOU_65','SOU_70',
                                        'RG1_10','RG1_50','RG1_50_NV','RG1_200','RG1_200_NV','RG1_300','RG1_300_NV','RG1_900','RG1_900_NV','RG1_SUP',
                                        'HS1_1','VS1_1','AC1_1','HS1_2','VS1_2','AC1_2','HS1_3','VS1_3','AC1_3','DL1','MOU_1','HER_1','ARB_1','BLO_1','CAI_1','REM_1','ESP_1','GIB_1',
                                        'RG2_10','RG2_50','RG2_50_NV','RG2_200','RG2_200_NV','RG2_300','RG2_300_NV','RG2_900','RG2_900_NV','RG2_SUP',
                                        'HS2_1','VS2_1','AC2_1','HS2_2','VS2_2','AC2_2','HS2_3','VS2_3','AC2_3','DL2','MOU_2','HER_2','ARB_2','BLO_2','CAI_2','REM_2','ESP_2','GIB_2',
                                        'RG3_10','RG3_50','RG3_50_NV','RG3_200','RG3_200_NV','RG3_300','RG3_300_NV','RG3_900','RG3_900_NV','RG3_SUP',
                                        'HS3_1','VS3_1','AC3_1','HS3_2','VS3_2','AC3_2','HS3_3','VS3_3','AC3_3','DL3','MOU_3','HER_3','ARB_3','BLO_3','CAI_3','REM_3','ESP_3','GIB_3',
                                        'PEN_DEG','ORI_DEG','HOR_OPP'))]
# Suppression de toutes les parcelles n'ayant pas eu de coupe d'ensemencement (RE)
Data <- Data[which(Data$LIB_COU_REC=="RE"),]

# Conversion des champs d'année de coupe en nombre
Data$ANN_COU_REC <- as.numeric(Data$ANN_COU_REC)
Data$ANN_COU_ANC <- as.numeric(Data$ANN_COU_ANC)

# Creation d'un nouveau champ correspondant a la duree ecoulee depuis la derniere coupe
Data$DUR <- 0
# Remplissage de ce champ
for (i in 1:length(Data$ANN_COU_REC)){
  Data$DUR[i] <- 2018 - Data$ANN_COU_REC[i]
}

# Conversion de differents champs en facteur (et non en nombre)
Data$PLA <- as.factor(Data$PLA)
Data$FOR <- as.factor(Data$FOR)
Data$PAR <- as.factor(Data$PAR)
Data$LIS_0 <- as.factor(Data$LIS_0)
Data$LIS_100 <- as.factor(Data$LIS_100)
Data$LIS_200 <- as.factor(Data$LIS_200)
Data$LIS_300 <- as.factor(Data$LIS_300)
Data$TOP <- as.factor(Data$TOP)
Data$STA <- as.factor(Data$STA)
Data$STA_AGT <- as.factor(Data$STA_AGT)
Data$EXP_CAR <- as.factor(Data$EXP_CAR)
Data$EXP_TER <- as.factor(Data$EXP_TER)
Data$TRA_SOL <- as.factor(Data$TRA_SOL)

# Ajout de certaines variables au carre
Data$G_TOT2 <- Data$G_TOT * Data$G_TOT
Data$DUR2 <- Data$DUR * Data$DUR
Data$PRE_PAR_REL2 <- Data$PRE_PAR_REL * Data$PRE_PAR_REL
Data$PRE_PAR_ABS2 <- Data$PRE_PAR_ABS * Data$PRE_PAR_ABS

# Creation de nouveaux champs afin de binariser les donnees de densite de regeneration
Data$BIN_10 <- 0
Data$BIN_50 <- 0
Data$BIN_P50 <- 0

# Remplissage de ces nouveaux champs
for (i in 1:length(Data$TOT_10)){
  if(Data$TOT_10[i]<=1000){ # Seuil fixe ici a 1000 semis/ha
    Data$BIN_10[i] <- 0
  }
  else {
    Data$BIN_10[i] <- 1
  }
}
```

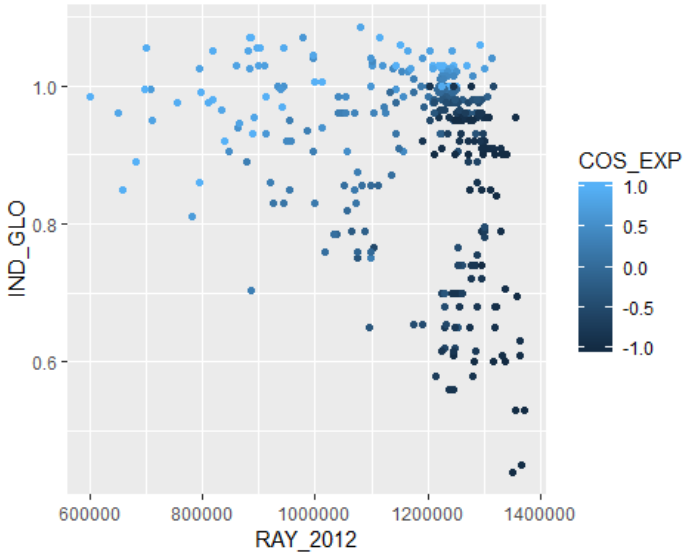
```r
for (i in 1:length(Data$TOT_50)){
  if(Data$TOT_50[i]<=1000){  # Seuil fixe ici a 1000 semis/ha
    Data$BIN_50[i] <- 0
  }
  else{
    Data$BIN_50[i] <- 1
  }
}

for (i in 1:length(Data$'SOM_>50')){
  if(Data$'SOM_>50'[i]<=1000){ # Seuil fixe ici a 1000 semis/ha
    Data$BIN_P50[i] <- 0
  }
  else{
    Data$BIN_P50[i] <- 1
  }
}

# Conversion des nouveaux champs crees en facteur
Data$BIN_10 <- factor(Data$BIN_10)
Data$BIN_50 <- as.factor(Data$BIN_50)
Data$BIN_P50 <- as.factor(Data$BIN_P50)

# Fonctions permettant de creer un score de lisiere, mais abandonnees du fait du protoco
le dedie a l'etude des lisieres
# comptage_lisiere_0 <- function(){
#   vecteur <- c(0)
#   for(i in 1:length(Data$PLA)){
#     compteur <- 0
#     if (Data$LIS_0[i]=="Aucune" | Data$LIS_0=="Piste"){
#       compteur <- compteur + 0
#     }
#     else if (Data$LIS_0[i]=="13-25m"){
#       compteur <- compteur + 2
#     }
#     else if (Data$LIS_0[i]=="25-50m"){
#       compteur <- compteur + 1
#     }
#     else if (Data$LIS_0[i]=="Tangente"){
#       compteur <- compteur + 3
#     }
#     vecteur <- c(vecteur,compteur)
#   }
#   return(vecteur[-1])
# }
#
# comptage_lisiere_100 <- function(){
#   vecteur <- c(0)
#   for(i in 1:length(Data$PLA)){
#     compteur <- 0
#     if (Data$LIS_100[i]=="Aucune" | Data$LIS_100=="Piste"){
#       compteur <- compteur + 0
#     }
#     else if (Data$LIS_100[i]=="13-25m"){
#       compteur <- compteur + 2
#     }
#     else if (Data$LIS_100[i]=="25-50m"){
#       compteur <- compteur + 1
#     }
#     else if (Data$LIS_100[i]=="Tangente"){
#       compteur <- compteur + 3
#     }
#     vecteur <- c(vecteur,compteur)
#   }
#   return(vecteur[-1])
# }
#
# comptage_lisiere_200 <- function(){
#   vecteur <- c(0)
#   for(i in 1:length(Data$PLA)){
#     compteur <- 0
#     if (Data$LIS_200[i]=="Aucune" | Data$LIS_200=="Piste"){
#       compteur <- compteur + 0
#     }
#     else if (Data$LIS_200[i]=="13-25m"){
#       compteur <- compteur + 2
#     }
#     else if (Data$LIS_200[i]=="25-50m"){
#       compteur <- compteur + 1
#     }
#     else if (Data$LIS_200[i]=="Tangente"){
#       compteur <- compteur + 3
#     }
#     vecteur <- c(vecteur,compteur)
#   }
#   return(vecteur[-1])
# }
#
# comptage_lisiere_300 <- function(){
#   vecteur <- c(0)
#   for(i in 1:length(Data$PLA)){
#     compteur <- 0
#     if (Data$LIS_300[i]=="Aucune" | Data$LIS_300=="Piste"){
#       compteur <- compteur + 0
#     }
#     else if (Data$LIS_300[i]=="13-25m"){
#       compteur <- compteur + 2
#     }
#     else if (Data$LIS_300[i]=="25-50m"){
#       compteur <- compteur + 1
#     }
#     else if (Data$LIS_300[i]=="Tangente"){
#       compteur <- compteur + 3
#     }
#     vecteur <- c(vecteur,compteur)
#   }
#   return(vecteur[-1])
# }

# Presentation des donnees
summary(Data)
```

```
##       PLA       FOR           PAR           PEN              ORI
##  11     :  2   GDT: 48   479    : 26   Min.   :0.0000   Min.   :  0.0
##  12     :  2   MEN:283   308    : 25   1st Qu.:0.1200   1st Qu.:120.0
##  13     :  2             309    : 25   Median :0.2700   Median :200.0
##  14     :  2             379    : 20   Mean   :0.3423   Mean   :205.6
##  16     :  2             478    : 20   3rd Qu.:0.5550   3rd Qu.:307.5
##  17     :  2             96     : 19   Max.   :1.0000   Max.   :390.0
##  (Other):319             (Other):196
##       LIS_0          LIS_100        LIS_200        LIS_300
##  13-25m  : 24   13-25m  : 27   13-25m  : 38   13-25m  : 16
##  25-50m  : 45   25-50m  : 46   25-50   :  1   25-50m  : 46
##  Aucune  :240   Aucune  :227   25-50m  : 42   Aucune  :241
##  Piste   :  4   Piste   :  4   Aucune  :230   Piste   :  2
##  Route   : 13   Route   :  3   Route   :  3   Route   :  8
##  Tangente:  5   Tangente: 24   Tangente: 17   Tangente: 18
##
##                 TOP           STA         STA_AGT        G_TOT
```

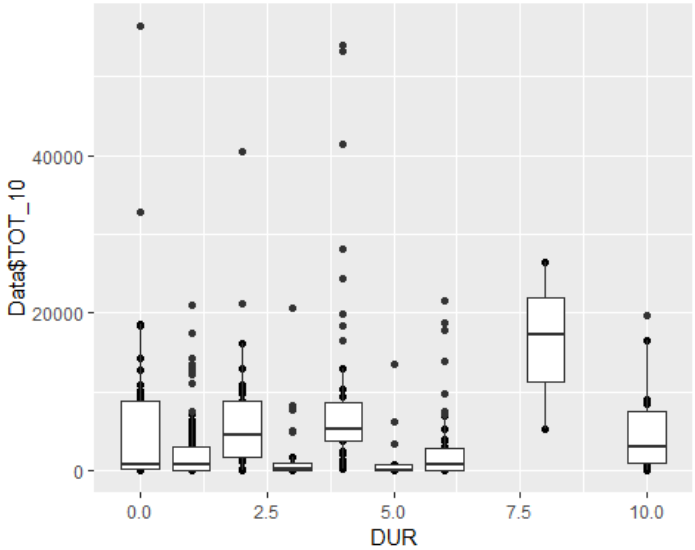
```
##  Bas de versant   : 15   4      :168   4      :166   Min.   : 6.00
##  Croupe           :  3   6      : 33   8      : 46   1st Qu.:22.50
##  Cuvette          :  8   8      : 32   9      : 40   Median :29.00
##  Haut de versant  : 61   5      : 31   6      : 29   Mean   :29.54
##  Milieu de versant: 78   9      : 27   3      : 15   3rd Qu.:35.00
##  Plateau          :162   3      : 18   5      : 14   Max.   :59.00
##  Talweg           :  4   (Other): 22   (Other): 21
##      G_SOU         G_SOU_REC       G_SOU_ANC          H.0
##  Min.   : 0.00   Min.   : 0.00   Min.   : 0.00   Min.   :14.00
##  1st Qu.:10.00   1st Qu.: 9.00   1st Qu.:10.00   1st Qu.:22.00
##  Median :14.00   Median :13.00   Median :15.00   Median :24.40
##  Mean   :15.04   Mean   :13.56   Mean   :16.58   Mean   :24.33
##  3rd Qu.:19.00   3rd Qu.:16.00   3rd Qu.:21.00   3rd Qu.:26.45
##  Max.   :37.00   Max.   :53.00   Max.   :53.00   Max.   :34.80
##
##       D_H            RMQ               TOT_10          TOT_50
##  Min.   :20.00   Length:331         Min.   :    0   Min.   :    0
##  1st Qu.:40.00   Class :character   1st Qu.:  265   1st Qu.:    0
##  Median :45.00   Mode  :character   Median : 1326   Median : 1061
##  Mean   :44.41                      Mean   : 4545   Mean   : 3776
##  3rd Qu.:50.00                      3rd Qu.: 5570   3rd Qu.: 3714
##  Max.   :70.00                      Max.   :56500   Max.   :89392
##
##     TOT_50NV       TOT_200        TOT_200NV         TOT_300
##  Min.   :   0   Min.   :    0   Min.   :   0.0   Min.   :   0.0
##  1st Qu.:   0   1st Qu.:    0   1st Qu.:   0.0   1st Qu.:   0.0
##  Median :   0   Median :  265   Median :   0.0   Median :   0.0
##  Mean   : 210   Mean   : 2978   Mean   : 151.5   Mean   : 153.1
##  3rd Qu.: 265   3rd Qu.: 3183   3rd Qu.:   0.0   3rd Qu.:   0.0
##  Max.   :5040   Max.   :35545   Max.   :5305.0   Max.   :3714.0
##
##    TOT_300NV         TOT_900          TOT_900NV          TOT_SUP
##  Min.   :  0.00   Min.   :   0.00   Min.   :   0.00   Min.   :0
##  1st Qu.:  0.00   1st Qu.:   0.00   1st Qu.:   0.00   1st Qu.:0
##  Median :  0.00   Median :   0.00   Median :   0.00   Median :0
##  Mean   : 16.83   Mean   :  83.34   Mean   :  18.43   Mean   :0
##  3rd Qu.:  0.00   3rd Qu.:   0.00   3rd Qu.:   0.00   3rd Qu.:0
##  Max.   :796.00   Max.   :5836.00   Max.   :1061.00   Max.   :0
##
##     SOM_>50         TOT_MOU           TOT_HER          TOT_ARB
##  Min.   :    0   Min.   :0.00000   Min.   :0.0000   Min.   :0.0000
##  1st Qu.:    0   1st Qu.:0.02333   1st Qu.:0.1383   1st Qu.:0.0500
##  Median :  265   Median :0.07000   Median :0.3500   Median :0.1833
##  Mean   : 3214   Mean   :0.15765   Mean   :0.3526   Mean   :0.2642
##  3rd Qu.: 3448   3rd Qu.:0.23333   3rd Qu.:0.5333   3rd Qu.:0.4333
##  Max.   :35545   Max.   :0.95000   Max.   :0.9667   Max.   :0.9000
##
##     TOT_BLO            TOT_CAI           TOT_REM           AGE_MOY
##  Min.   :0.000000   Min.   :0.00000   Min.   :0.00000   Min.   : 1.000
##  1st Qu.:0.000000   1st Qu.:0.00000   1st Qu.:0.00000   1st Qu.: 1.000
##  Median :0.000000   Median :0.00000   Median :0.03333   Median : 4.000
##  Mean   :0.014391   Mean   :0.07866   Mean   :0.10942   Mean   : 5.447
##  3rd Qu.:0.001667   3rd Qu.:0.03333   3rd Qu.:0.16667   3rd Qu.: 8.000
##  Max.   :0.250000   Max.   :1.00000   Max.   :0.93000   Max.   :29.000
##
##     ACC_MOY        ANN_COU_REC    ANN_COU_ANC   LIB_COU_REC
##  Min.   : 3.000   Min.   :2008   Min.   :2008   Length:331
##  1st Qu.: 7.000   1st Qu.:2013   1st Qu.:2010   Class :character
##  Median : 9.000   Median :2016   Median :2012   Mode  :character
##  Mean   : 9.864   Mean   :2015   Mean   :2013
##  3rd Qu.:12.000   3rd Qu.:2017   3rd Qu.:2017
##  Max.   :23.000   Max.   :2018   Max.   :2018
##  NA's   :67
##  LIB_COU_ANC         PRE_ABS_REC     PRE_REL_REC      PRE_ABS_ANC
##  Length:331         Min.   : 0.00   Min.   :0.0000   Min.   : 0.00
```

```
##  Class :character   1st Qu.: 9.00   1st Qu.:0.2333   1st Qu.:10.00
##  Mode  :character   Median :13.00   Median :0.3023   Median :15.00
##                     Mean   :13.56   Mean   :0.3127   Mean   :16.58
##                     3rd Qu.:16.00   3rd Qu.:0.3883   3rd Qu.:21.00
##                     Max.   :53.00   Max.   :0.7600   Max.   :53.00
##
##   PRE_REL_ANC         EXP_CAR         GIB            EXP_TER
##  Min.   :0.0000   O      :48   Min.   :0.0000   O      :48
##  1st Qu.:0.2593   SE     :48   1st Qu.:0.0000   SE     :48
##  Median :0.3333   NO     :45   Median :0.0000   NO     :45
##  Mean   :0.3484   E      :44   Mean   :0.4240   E      :44
##  3rd Qu.:0.4403   SO     :44   3rd Qu.:0.6667   SO     :44
##  Max.   :0.7600   S      :43   Max.   :3.6667   S      :43
##                   (Other):59                    (Other):59
##     IND_GLO          RAY_2012          SIN_EXP            COS_EXP
##  Min.   :0.4400   Min.   : 599545   Min.   :-1.00000   Min.   :-1.00000
##  1st Qu.:0.8525   1st Qu.:1098633   1st Qu.:-0.80902   1st Qu.:-0.80902
##  Median :0.9600   Median :1227445   Median : 0.00000   Median : 0.00000
##  Mean   :0.9071   Mean   :1165942   Mean   :-0.05794   Mean   :-0.06812
##  3rd Qu.:1.0000   3rd Qu.:1270407   3rd Qu.: 0.64945   3rd Qu.: 0.58779
##  Max.   :1.0850   Max.   :1371697   Max.   : 1.00000   Max.   : 1.00000
##
##  TRA_SOL        GIB2          PRE_PAR_REL      PRE_PAR_ABS
##  NON:318   Min.   :0.0000   Min.   :0.1907   Min.   : 7.00
##  OUI: 13   1st Qu.:0.0000   1st Qu.:0.2725   1st Qu.:11.00
##            Median :0.0000   Median :0.3211   Median :14.00
##            Mean   :0.8097   Mean   :0.3176   Mean   :13.87
##            3rd Qu.:1.0000   3rd Qu.:0.3563   3rd Qu.:15.80
##            Max.   :5.0000   Max.   :0.4396   Max.   :25.00
##
##     AGE_PPT           DUR             G_TOT2            DUR2
##  Min.   :104.0   Min.   : 0.000   Min.   :  36.0   Min.   :  0.0
##  1st Qu.:111.0   1st Qu.: 1.000   1st Qu.: 506.5   1st Qu.:  1.0
##  Median :118.0   Median : 2.000   Median : 841.0   Median :  4.0
##  Mean   :119.9   Mean   : 3.027   Mean   : 961.4   Mean   : 15.8
##  3rd Qu.:128.0   3rd Qu.: 5.000   3rd Qu.:1225.0   3rd Qu.: 25.0
##  Max.   :150.0   Max.   :10.000   Max.   :3481.0   Max.   :100.0
##
##   PRE_PAR_REL2      PRE_PAR_ABS2   BIN_10  BIN_50  BIN_P50
##  Min.   :0.03638   Min.   : 49.0   0:155   0:157   0:205
##  1st Qu.:0.07424   1st Qu.:121.0   1:176   1:174   1:126
##  Median :0.10313   Median :196.0
##  Mean   :0.10529   Mean   :209.5
##  3rd Qu.:0.12697   3rd Qu.:249.6
##  Max.   :0.19321   Max.   :625.0
##
```

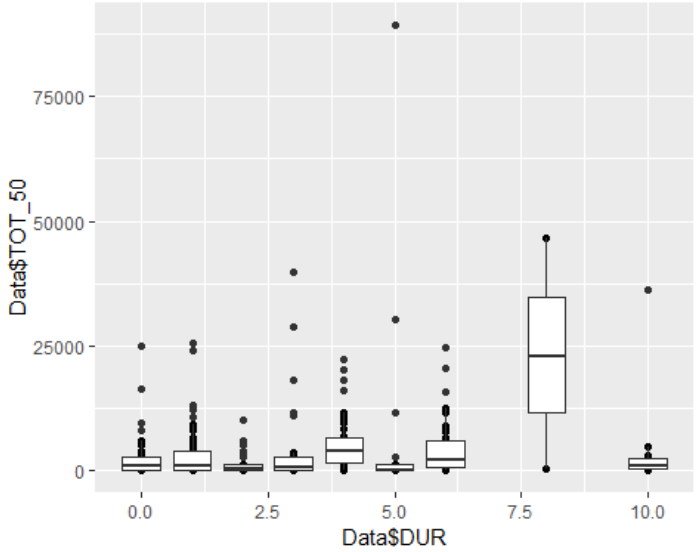
```
################################################
# REPRESENTATION QUALITATIVE DE QUELQUES EFFETS #
################################################

# Graphique permettant de discriminer le rayonnement calcule sous SIG de celui calcule a
partir des releves de terrain
ggplot(data=Data,mapping=aes(x=RAY_2012,y=IND_GLO,col=COS_EXP))+
  geom_point()
```



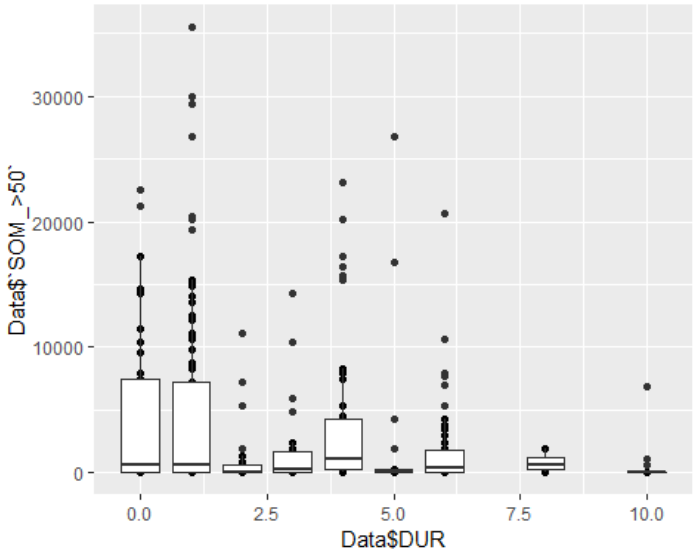

```
# ==> celui calcule sous SIG semble plus coherent avec le gradient d'exposition, il sera conserve par la suite

# Graphique representant la densite de semis de moins de 10 cm en fonction de la duree e coulee depuis la derniere coupe
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DUR,y=Data$TOT_10,group=DUR))+
  geom_point()+
  geom_boxplot()
```



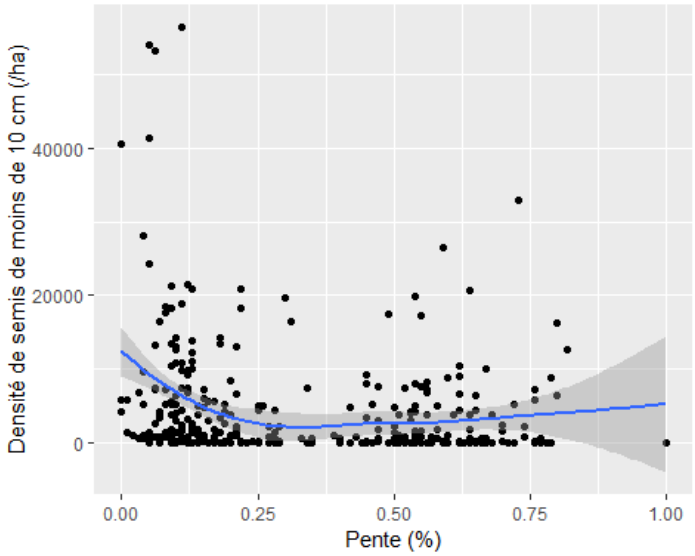

```
# Graphique representant la densite de semis de 10 a 50 cm en fonction de la duree ecoulee depuis la derniere coupe
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=Data$DUR,y=Data$TOT_50,group=DUR))+
  geom_point()+
  geom_boxplot()
```



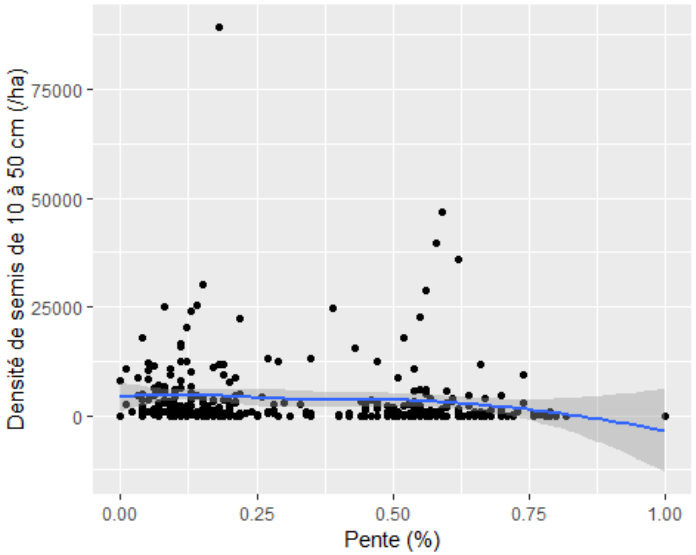

```
# Graphique representant la densite de semis de plus de 50 cm en fonction de la duree ecoulee depuis la derniere coupe
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=Data$DUR,y=Data$`SOM_>50`,group=DUR))+
  geom_point()+
  geom_boxplot()
```



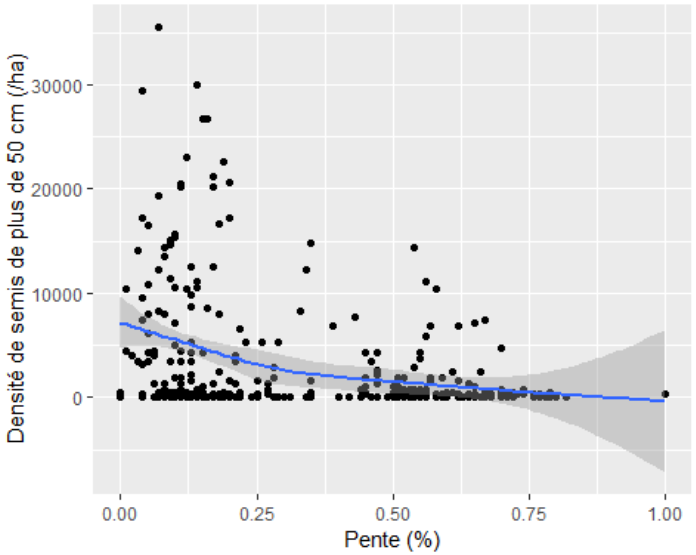

```
# Graphique representant la densite de semis de moins de 10 cm en fonction de la pente
ggplot(data=Data,mapping=aes(x=PEN,y=TOT_10))+geom_point()+geom_smooth(method='loess')+
  xlab("Pente (%)")+ylab("Densité de semis de moins de 10 cm (/ha)")
```




```
# Graphique representant la densite de semis de 10 a 50 cm en fonction de la pente
ggplot(data=Data,mapping=aes(x=PEN,y=TOT_50))+geom_point()+geom_smooth(method='loess')+
  xlab("Pente (%)")+ylab("Densité de semis de 10 à 50 cm (/ha)")
```




```
# Graphique representant la densite de semis de plus de 50 cm en fonction de la pente
ggplot(data=Data,mapping=aes(x=PEN,y=`SOM_>50`))+geom_point()+geom_smooth(method='loess'
)+
  xlab("Pente (%)")+ylab("Densité de semis de plus de 50 cm (/ha)")
```

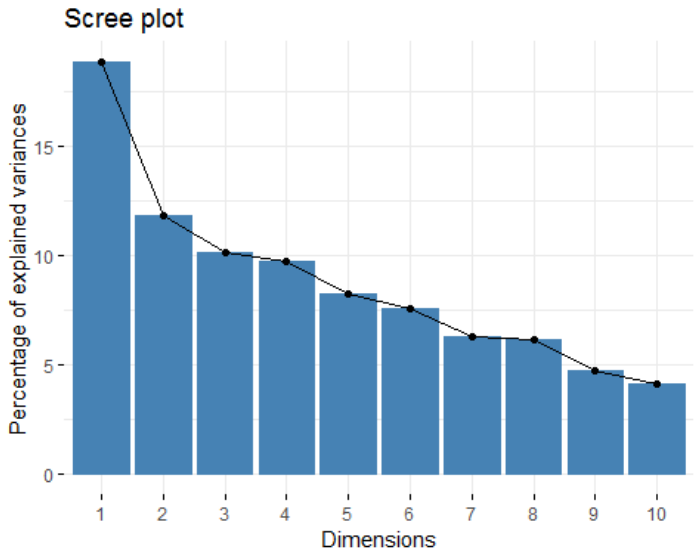



```
####################################
# ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE #
####################################

# Calcul de la matrice des correlations
Mat.cor=cor(Data[,which(names(Data) %in% c('TOT_10','TOT_50','SOM_>50','PEN','COS_EXP','
```

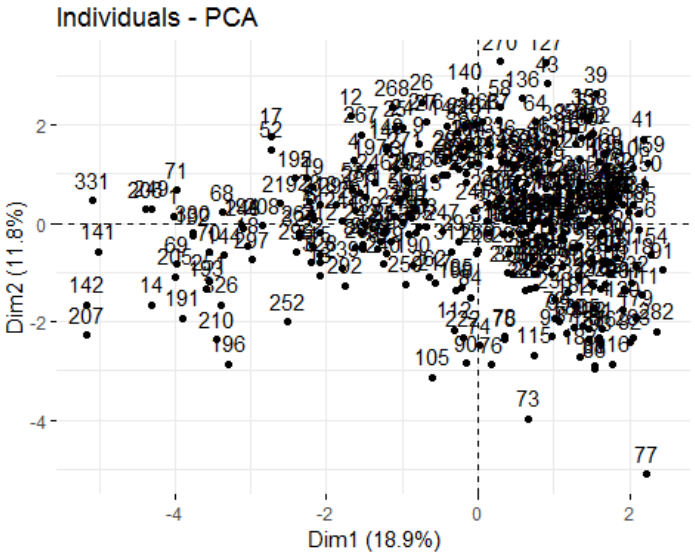
```
SIN_EXP','G_TOT','H.0','TOT_MOU','TOT_HER','TOT_ARB','TOT_BLO','TOT_CAI','TOT_REM','PRE_
REL_REC','GIB','RAY_2012'))])
# Affichage de la matrice des correlations
Mat.cor
```

```
##                     PEN        G_TOT         H.0      TOT_10      TOT_50
## PEN          1.00000000 -0.242244628 -0.29200772 -0.20856559 -0.12641383
## G_TOT       -0.24224463  1.000000000  0.19872889  0.19704414  0.12210617
## H.0         -0.29200772  0.198728890  1.00000000  0.01142594 -0.05198904
## TOT_10      -0.20856559  0.197044142  0.01142594  1.00000000  0.29972635
## TOT_50      -0.12641383  0.122106174 -0.05198904  0.29972635  1.00000000
## SOM_>50     -0.34297076  0.053029195  0.22942653  0.02502176  0.23174210
## TOT_MOU      0.17161125 -0.019460186  0.10108232 -0.01153662 -0.03837262
## TOT_HER     -0.24936202 -0.005268296 -0.07390753  0.02459305 -0.03109970
## TOT_ARB      0.29991566 -0.072719803  0.12401459 -0.25245851 -0.23151313
## TOT_BLO      0.25395810 -0.031685320 -0.15416334 -0.07959515 -0.05751263
## TOT_CAI      0.37157448 -0.125719934 -0.08162024 -0.03138768 -0.07402915
## TOT_REM      0.02554699 -0.094930773 -0.05303157 -0.08524116 -0.07209906
## PRE_REL_REC -0.11373270 -0.508567625  0.13862869 -0.11878060 -0.12206838
## GIB         -0.05146489  0.021218206 -0.12280244  0.02741781  0.29079239
## RAY_2012    -0.50601955  0.141292487  0.03551564 -0.04196896  0.08945597
## SIN_EXP     -0.01166706  0.103577974  0.13913166  0.06096859  0.06946898
## COS_EXP      0.10008987 -0.086818690 -0.02799933  0.15303350 -0.07313603
##                  SOM_>50      TOT_MOU      TOT_HER      TOT_ARB
## PEN         -0.34297076  0.171611247 -0.249362021  0.299915657
## G_TOT        0.05302919 -0.019460186 -0.005268296 -0.072719803
## H.0          0.22942653  0.101082316 -0.073907533  0.124014587
## TOT_10       0.02502176 -0.011536617  0.024593052 -0.252458509
## TOT_50       0.23174210 -0.038372622 -0.031099697 -0.231513130
## SOM_>50      1.00000000  0.020141759 -0.191736048 -0.277966601
## TOT_MOU      0.02014176  1.000000000 -0.359771875  0.268220429
## TOT_HER     -0.19173605 -0.359771875  1.000000000 -0.181306963
## TOT_ARB     -0.27796660  0.268220429 -0.181306963  1.000000000
## TOT_BLO     -0.11261014  0.034375660 -0.053540388  0.065386007
## TOT_CAI     -0.17331790  0.118915925 -0.274182604  0.139954444
## TOT_REM     -0.13548128 -0.273758935 -0.143872231 -0.170715765
## PRE_REL_REC  0.06033399 -0.116761686  0.086653526 -0.100870373
## GIB         -0.03872341 -0.105449436 -0.031203291 -0.005584186
## RAY_2012     0.19903195 -0.557728955  0.337405015 -0.128615524
## SIN_EXP      0.25079976 -0.003468885 -0.039515556  0.113385149
## COS_EXP     -0.16294126  0.425108858 -0.153904167 -0.029644918
##                  TOT_BLO      TOT_CAI      TOT_REM  PRE_REL_REC          GIB
## PEN          0.253958101  0.37157448  0.02554699 -0.113732698 -0.051464895
## G_TOT       -0.031685320 -0.12571993 -0.09493077 -0.508567625  0.021218206
## H.0         -0.154163340 -0.08162024 -0.05303157  0.138628686 -0.122802443
## TOT_10      -0.079595154 -0.03138768 -0.08524116 -0.118780603  0.027417811
## TOT_50      -0.057512628 -0.07402915 -0.07209906 -0.122068377  0.290792386
## SOM_>50     -0.112610139 -0.17331790 -0.13548128  0.060333993 -0.038723410
## TOT_MOU      0.034375660  0.11891592 -0.27375894 -0.116761686 -0.105449436
## TOT_HER     -0.053540388 -0.27418260 -0.14387223  0.086653526 -0.031203291
## TOT_ARB      0.065386007  0.13995444 -0.17071576 -0.100870373 -0.005584186
## TOT_BLO      1.000000000 -0.07573387 -0.05974330 -0.110374260  0.034994699
## TOT_CAI     -0.075733866  1.00000000 -0.15699326 -0.092206868  0.111609566
## TOT_REM     -0.059743303 -0.15699326  1.00000000  0.098044362 -0.099970225
## PRE_REL_REC -0.110374260 -0.09220687  0.09804436  1.000000000  0.061895071
## GIB          0.034994699  0.11160957 -0.09997022  0.061895071  1.000000000
## RAY_2012    -0.127418709 -0.26258876  0.08576515  0.054383012  0.044158857
## SIN_EXP      0.024990781 -0.13984296 -0.01256734  0.012800700 -0.182966202
## COS_EXP     -0.002608433  0.06157035 -0.09811389 -0.004053387 -0.017159546
##                 RAY_2012      SIN_EXP      COS_EXP
## PEN         -0.50601955 -0.011667059  0.100089871
## G_TOT        0.14129249  0.103577974 -0.086818690
## H.0          0.03551564  0.139131661 -0.027999330
## TOT_10      -0.04196896  0.060968590  0.153033498
## TOT_50       0.08945597  0.069468981 -0.073136026
## SOM_>50      0.19903195  0.250799756 -0.162941264
## TOT_MOU     -0.55772896 -0.003468885  0.425108858
## TOT_HER      0.33740502 -0.039515556 -0.153904167
## TOT_ARB     -0.12861552  0.113385149 -0.029644918
## TOT_BLO     -0.12741871  0.024990781 -0.002608433
## TOT_CAI     -0.26258876 -0.139842965  0.061570349
## TOT_REM      0.08576515 -0.012567342 -0.098113889
## PRE_REL_REC  0.05438301  0.012800700 -0.004053387
## GIB          0.04415886 -0.182966202 -0.017159546
## RAY_2012     1.00000000  0.086841825 -0.669791706
## SIN_EXP      0.08684182  1.000000000 -0.148889322
## COS_EXP     -0.66979171 -0.148889322  1.000000000
```

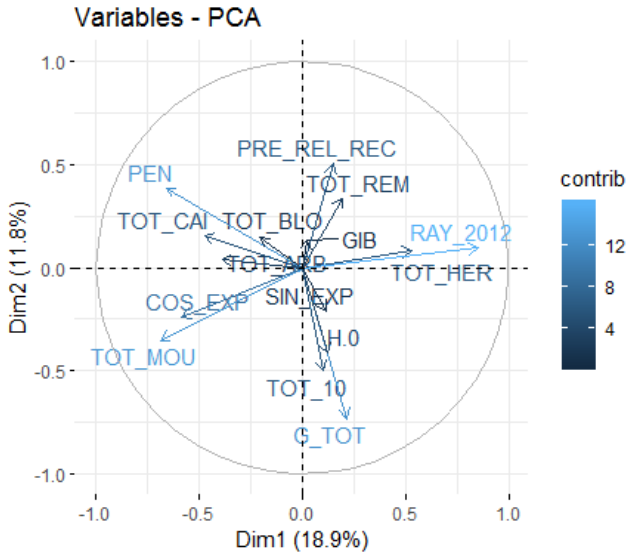
```
# Stockage de l'analyse en composante principale pour la regeneration de moins de 10 cm
res.pca_10 <- prcomp(Data[,which(names(Data) %in% c('TOT_10','PEN','COS_EXP','SIN_EXP','
G_TOT','H.0','TOT_MOU','TOT_HER','TOT_ARB','TOT_BLO','TOT_CAI','TOT_REM','PRE_REL_REC','
GIB','RAY_2012'))],
                  scale=TRUE)

# Visualisation des valeurs d'Eigen ==> axe 1 explique largement plus que les autres axe
s
# Globalement les axes n'expliquent pas beaucoup de variabilite
fviz_eig(res.pca_10)
```



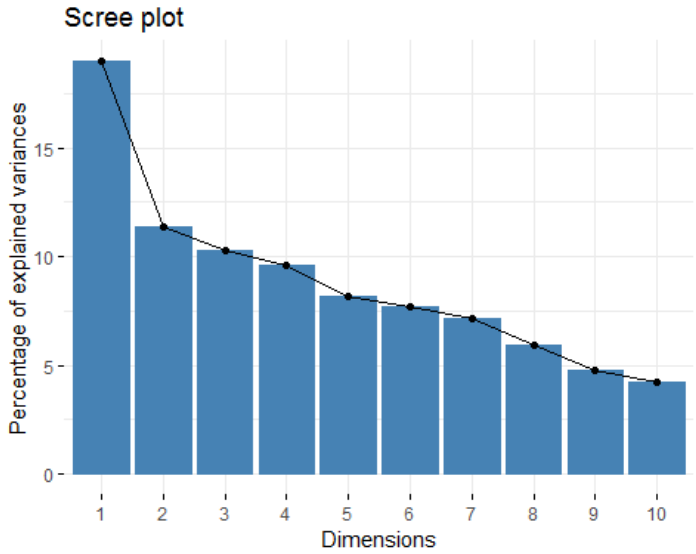

```
# Representation des individus selon les axes 1 et 2
fviz_pca_ind(res.pca_10,
             axes=c(1,2),
             col.ind="black",
             repel=FALSE)
```



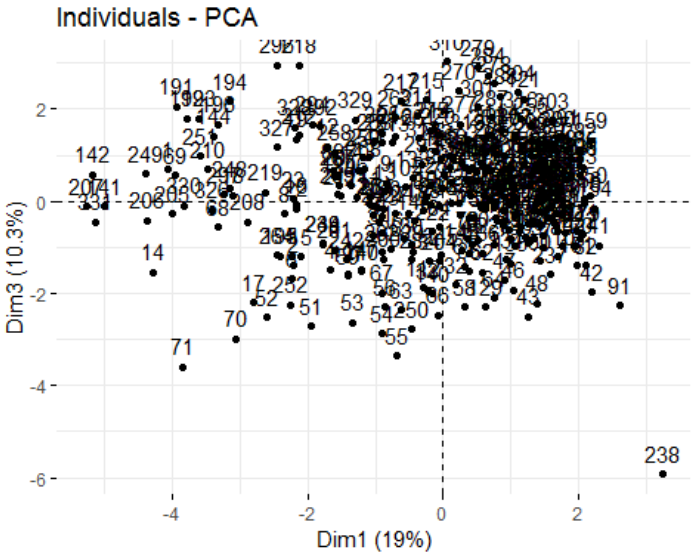

```
#0 ==> le nuage de point est desequilibre, mais la dispersion est quand meme bonne et homogene

# Representation des variables selon les axes 1 et 2
fviz_pca_var(res.pca_10,
             axes=c(1,2),
             col.var="contrib",
             repel=TRUE)
```



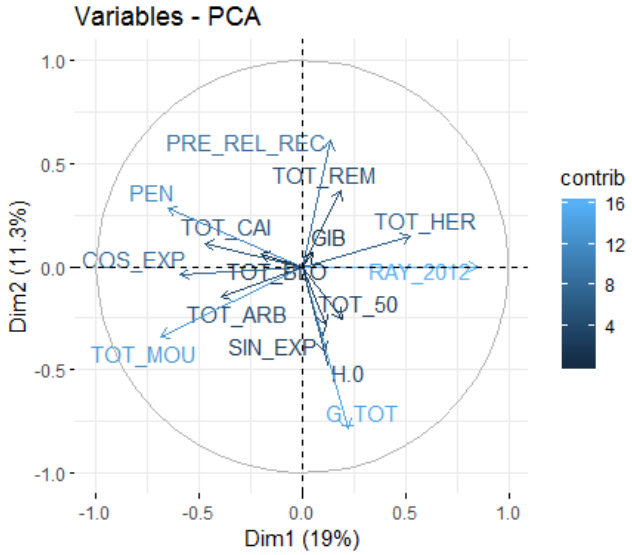

```
# ==> les effets des differentes variables peuvent etre pressentis :
# correlation positive : H.0 / G_TOT / SIN_EXP (mais mal represente)
# correlation negative : COS_EXP / TOT_MOU / TOT_ARB / TOT_HER / RAY_2012

# Stockage de l'analyse en composante principale pour la regeneration de 10 a 50 cm
res.pca_50 <- prcomp(Data[,which(names(Data) %in% c('TOT_50','PEN','COS_EXP','SIN_EXP','G_TOT','H.0','TOT_MOU','TOT_HER','TOT_ARB','TOT_BLO','TOT_CAI','TOT_REM','PRE_REL_REC','GIB','RAY_2012'))],
                     scale=TRUE)

# Visualisation des valeurs d'Eigen ==> axe 1 explique largement plus que les autres axes
fviz_eig(res.pca_50)
```




```
# Representation des individus selon les axes 1 et 2
fviz_pca_ind(res.pca_50,
             axes=c(1,3),
             col.ind="black",
             repel=FALSE)
```

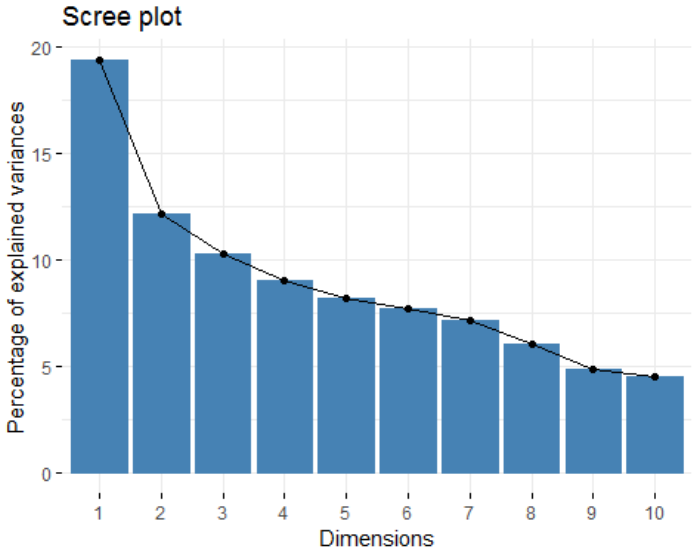



```
# ==> memes remarques que precedemment, il faudra aussi faire attention au point 238 lor
s des analyses car il semble avoir un comportement singulier slon cette representation

# Representation des variables selon les axes 1 et 2
fviz_pca_var(res.pca_50,
             col.var="contrib",
             repel=TRUE)
```

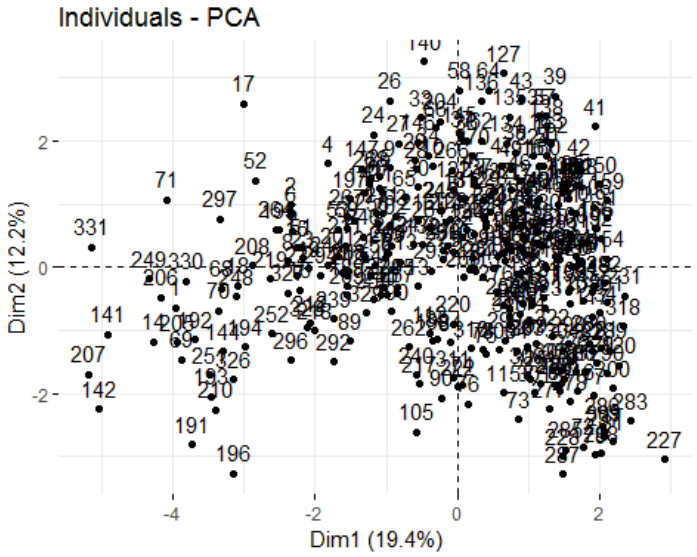



```
# ==> les effets des differentes variables peuvent etre pressentis :
# correlation positive : H.0 / G_TOT / SIN_EXP mais TOT_50 semble mal representee
# correlation negative : COS_EXP / TOT_MOU / TOT_ARB / TOT_HER
```

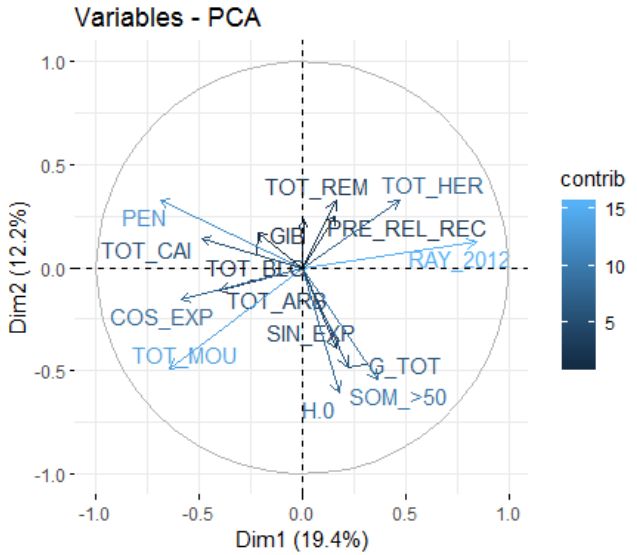
```
# Stockage de l'analyse en composante principale pour la regeneration de plus de 50 cm
res.pca_p50 <- prcomp(Data[,which(names(Data) %in% c('SOM_>50','PEN','COS_EXP','SIN_EXP'
,'G_TOT','H.0','TOT_MOU','TOT_HER','TOT_ARB','TOT_BLO','TOT_CAI','TOT_REM','PRE_REL_REC'
,'GIB','RAY_2012'))],
                      scale=TRUE)

# Visualisation des valeurs d'Eigen ==> axe 1 explique largement plus que les autres axe
s
fviz_eig(res.pca_p50)
```




```
# Representation des individus selon les axes 1 et 2
fviz_pca_ind(res.pca_p50,
             axes=c(1,2),
             col.ind="black",
             repel=FALSE)
```




```
# ==> nuage de point desequilibre, mais la dispersion pourait être pire

# Representation des variables selon les axes 1 et 2
fviz_pca_var(res.pca_p50,
             col.var="contrib",
             repel=TRUE)
```

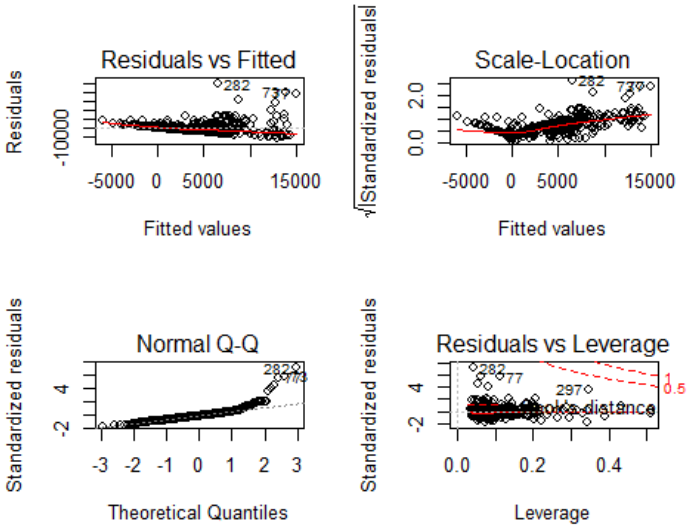



```
# # ==> les effets des differentes variables peuvent etre pressentis :
# correlation positive : H.0 / G_TOT / SIN_EXP
# correlation negative : COS_EXP / TOT_ARB / TOT_HER
```

```
##########################################################
# REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE AVEC TOUTES LES VALEURS #
##########################################################

# Modele d'ANCOVA sur la densite de regeneration de moins de 10 cm
modAC_10 <- lm(TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TO
T_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_20
12 + AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC + G_TOT
2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
               data=Data)
summary(modAC_10)

##
## Call:
## lm(formula = TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT +
##     H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM +
##     DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT + PEN:COS_EXP +
##     PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, data = Data)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -11603  -3775   -998   1681  49919
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)           2.647e+04  1.586e+04   1.669 0.096266 .
## PEN                  -4.445e+03  4.696e+03  -0.947 0.344611
## COS_EXP               8.620e+01  1.088e+03   0.079 0.936927
## SIN_EXP               1.629e+03  1.264e+03   1.289 0.198375
## TOPCroupe            -8.615e+02  5.119e+03  -0.168 0.866476
## TOPCuvette           -3.359e+03  6.881e+03  -0.488 0.625847
## TOPHaut de versant    1.380e+03  2.858e+03   0.483 0.629483
## TOPMilieu de versant  1.172e+03  2.418e+03   0.485 0.628219
## TOPPlateau           -5.779e+02  6.347e+03  -0.091 0.927514
## TOPTalweg             3.242e+03  4.572e+03   0.709 0.478867
## STA3                 -4.188e+03  3.805e+03  -1.101 0.271961
## STA4                 -1.219e+03  6.408e+03  -0.190 0.849218
## STA5                  9.566e+02  3.352e+03   0.285 0.775545
## STA6                 -1.501e+03  3.242e+03  -0.463 0.643767
## STA7                 -1.498e+03  5.029e+03  -0.298 0.765947
## STA8                 -1.540e+02  3.614e+03  -0.043 0.966047
## STA9                  1.843e+03  3.944e+03   0.467 0.640575
## STA10                 6.847e+03  4.594e+03   1.491 0.137147
## G_TOT                 1.213e+02  2.273e+02   0.534 0.594064
## H.0                   5.525e+01  1.709e+02   0.323 0.746749
## TOT_MOU              -2.246e+03  3.008e+03  -0.747 0.455842
## TOT_HER               1.348e+01  2.126e+03   0.006 0.994944
## TOT_ARB              -7.683e+03  2.131e+03  -3.605 0.000366 ***
## TOT_BLO              -2.015e+04  1.243e+04  -1.621 0.106066
## TOT_CAI               2.153e+01  2.674e+03   0.008 0.993581
## TOT_REM              -2.365e+03  3.296e+03  -0.717 0.473708
## DUR                   1.899e+02  2.183e+02   0.870 0.385114
## PRE_PAR_REL          -3.066e+05  8.379e+04  -3.659 0.000301 ***
## PRE_PAR_ABS           4.181e+03  1.081e+03   3.869 0.000135 ***
## RAY_2012             -7.812e-04  7.495e-03  -0.104 0.917054
## AGE_PPT               7.366e+00  7.015e+01   0.105 0.916451
## G_TOT2               -9.959e-01  3.498e+00  -0.285 0.776055
## PRE_PAR_REL2          4.133e+05  1.247e+05   3.313 0.001039 **
## PRE_PAR_ABS2         -1.163e+02  2.809e+01  -4.142  4.5e-05 ***
## PEN:COS_EXP           6.243e+03  4.100e+03   1.523 0.128924
## PEN:SIN_EXP          -1.104e+02  3.130e+03  -0.035 0.971886
## G_TOT:PRE_ABS_REC     3.682e+00  8.200e+00   0.449 0.653783
## G_TOT:PRE_REL_REC    -3.010e+02  5.810e+02  -0.518 0.604839
## ---
```

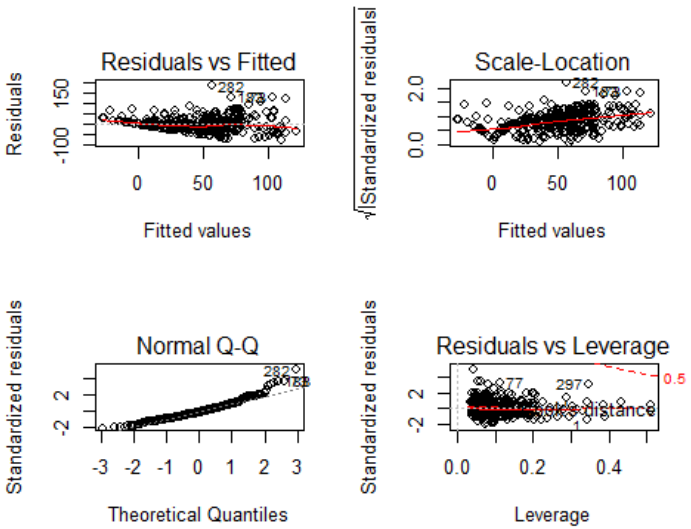
```
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 7207 on 293 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.2668, Adjusted R-squared:  0.1742
## F-statistic: 2.882 on 37 and 293 DF,  p-value: 3.671e-07
```

```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_10)
```

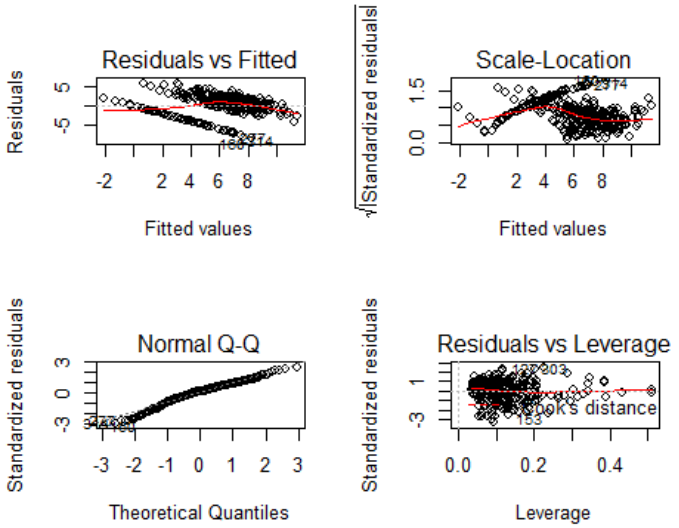



```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite mauvaise -> passage a la racine

# Modele d'ANCOVA sur la racine de la densite de regeneration de moins de 10 cm
modAC_10 <- lm(sqrt(TOT_10) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MO
U + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS +
RAY_2012 + AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC +
G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
              data=Data)
summary(modAC_10)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(TOT_10) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT +
##     PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC +
##     G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, data = Data)
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -73.202 -25.395  -4.581  18.723 181.102
##
## Coefficients:
##                         Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)           1.678e+02  8.320e+01   2.017  0.04462 *
## PEN                  -2.705e+01  2.463e+01  -1.098  0.27298
## COS_EXP              -4.730e+00  5.709e+00  -0.829  0.40805
## SIN_EXP               6.653e+00  6.630e+00   1.004  0.31644
## TOPCroupe            -1.583e+01  2.685e+01  -0.590  0.55595
## TOPCuvette           -8.574e+00  3.610e+01  -0.238  0.81241
## TOPHaut de versant    1.352e+01  1.499e+01   0.902  0.36798
## TOPMilieu de versant  4.814e+00  1.268e+01   0.380  0.70451
## TOPPlateau            1.088e+01  3.329e+01   0.327  0.74414
## TOPTalweg             5.963e+00  2.399e+01   0.249  0.80384
## STA3                 -5.884e+01  1.996e+01  -2.948  0.00346 **
## STA4                 -3.082e+01  3.362e+01  -0.917  0.36003
## STA5                 -1.231e+01  1.758e+01  -0.700  0.48444
## STA6                 -3.297e+01  1.701e+01  -1.939  0.05349 .
## STA7                 -3.853e+01  2.638e+01  -1.461  0.14518
## STA8                 -2.037e+01  1.896e+01  -1.074  0.28349
## STA9                 -2.737e+00  2.069e+01  -0.132  0.89485
## STA10                 1.367e+01  2.410e+01   0.567  0.57086
## G_TOT                 1.421e+00  1.192e+00   1.192  0.23421
## H.0                  -5.608e-01  8.967e-01  -0.625  0.53217
## TOT_MOU              -1.404e+01  1.578e+01  -0.890  0.37445
## TOT_HER              -7.812e+00  1.115e+01  -0.700  0.48422
## TOT_ARB              -5.851e+01  1.118e+01  -5.234 3.17e-07 ***
## TOT_BLO              -8.189e+01  6.521e+01  -1.256  0.21018
## TOT_CAI               1.902e+00  1.403e+01   0.136  0.89222
## TOT_REM              -2.627e+01  1.729e+01  -1.519  0.12975
## DUR                   1.383e+00  1.145e+00   1.208  0.22809
## PRE_PAR_REL          -1.681e+03  4.395e+02  -3.825  0.00016 ***
## PRE_PAR_ABS           2.682e+01  5.668e+00   4.731 3.47e-06 ***
## RAY_2012             -2.342e-05  3.932e-05  -0.596  0.55182
## AGE_PPT               2.818e-01  3.680e-01   0.766  0.44436
## G_TOT2               -1.575e-02  1.835e-02  -0.858  0.39146
## PRE_PAR_REL2          2.159e+03  6.544e+02   3.300  0.00109 **
## PRE_PAR_ABS2         -7.491e-01  1.473e-01  -5.084 6.59e-07 ***
## PEN:COS_EXP           5.084e+01  2.151e+01   2.364  0.01873 *
## PEN:SIN_EXP           9.231e+00  1.642e+01   0.562  0.57435
## G_TOT:PRE_ABS_REC     3.567e-02  4.302e-02   0.829  0.40769
## G_TOT:PRE_REL_REC    -1.698e+00  3.048e+00  -0.557  0.57787
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 37.8 on 293 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.4273, Adjusted R-squared:  0.355
## F-statistic: 5.909 on 37 and 293 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_10)
```



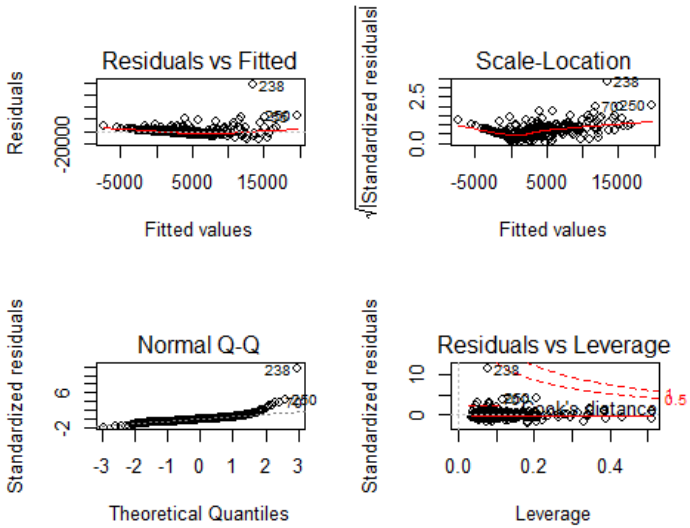

```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite mauvaise -> passage au logarithme

# Modele d'ANCOVA sur le logarithme ajuste de la densite de regeneration de moins de 10
cm
modAC_10 <- lm(log1p(TOT_10) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_M
OU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS +
RAY_2012 + AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC +
G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
               data=Data)
summary(modAC_10)

##
## Call:
## lm(formula = log1p(TOT_10) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP +
##     STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 +
##     AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC +
##     G_TOT:PRE_REL_REC + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
##     data = Data)
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -8.2401 -1.3168  0.4182  1.7814  5.6221
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)           1.522e+01  5.826e+00   2.612  0.00946 **
## PEN                  -2.272e+00  1.725e+00  -1.317  0.18885
## COS_EXP              -8.436e-01  3.997e-01  -2.110  0.03568 *
## SIN_EXP               7.009e-01  4.642e-01   1.510  0.13218
## TOPCroupe            -2.875e-01  1.880e+00  -0.153  0.87859
## TOPCuvette            3.411e-01  2.527e+00   0.135  0.89274
## TOPHaut de versant    1.161e+00  1.050e+00   1.106  0.26973
## TOPMilieu de versant  4.622e-01  8.880e-01   0.520  0.60313
## TOPPlateau            1.346e+00  2.331e+00   0.577  0.56407
## TOPTalweg            -1.817e+00  1.679e+00  -1.082  0.28006
## STA3                 -6.060e+00  1.398e+00  -4.335 2.00e-05 ***
## STA4                 -2.720e+00  2.354e+00  -1.156  0.24879
## STA5                 -1.786e+00  1.231e+00  -1.451  0.14784
## STA6                 -3.512e+00  1.191e+00  -2.950  0.00344 **
## STA7                 -5.285e+00  1.847e+00  -2.861  0.00453 **
## STA8                 -2.469e+00  1.327e+00  -1.860  0.06388 .
## STA9                 -7.547e-01  1.449e+00  -0.521  0.60280
## STA10                -1.170e+00  1.687e+00  -0.694  0.48842
## G_TOT                 1.243e-01  8.348e-02   1.489  0.13752
## H.0                  -1.033e-01  6.279e-02  -1.645  0.10109
## TOT_MOU              -1.814e+00  1.105e+00  -1.642  0.10167
## TOT_HER              -1.348e+00  7.809e-01  -1.726  0.08544 .
## TOT_ARB              -4.926e+00  7.827e-01  -6.294 1.12e-09 ***
## TOT_BLO              -2.426e+00  4.566e+00  -0.531  0.59550
## TOT_CAI              -2.412e-01  9.823e-01  -0.246  0.80618
## TOT_REM              -2.058e+00  1.211e+00  -1.699  0.09030 .
## DUR                   1.148e-01  8.018e-02   1.432  0.15334
## PRE_PAR_REL          -9.774e+01  3.078e+01  -3.176  0.00165 **
## PRE_PAR_ABS           1.676e+00  3.969e-01   4.223 3.23e-05 ***
## RAY_2012             -4.873e-06  2.753e-06  -1.770  0.07776 .
## AGE_PPT               4.212e-02  2.577e-02   1.635  0.10319
## G_TOT2               -1.450e-03  1.285e-03  -1.129  0.25988
## PRE_PAR_REL2          1.171e+02  4.582e+01   2.556  0.01109 *
## PRE_PAR_ABS2         -4.487e-02  1.032e-02  -4.349 1.89e-05 ***
## PEN:COS_EXP           3.708e+00  1.506e+00   2.462  0.01438 *
## PEN:SIN_EXP          -1.279e-01  1.149e+00  -0.111  0.91145
## G_TOT:PRE_ABS_REC     6.010e-04  3.012e-03   0.200  0.84199
## G_TOT:PRE_REL_REC     7.733e-02  2.134e-01   0.362  0.71737
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 2.647 on 293 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.5139, Adjusted R-squared:  0.4525
## F-statistic: 8.372 on 37 and 293 DF,  p-value: < 2.2e-16

par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_10)
```



```r
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite toujours mauvaise -> suppression des valeurs nulles ?

# Modele d'ANCOVA sur la densite de regeneration de 10 a 50 cm
modAC_50 <- lm(TOT_50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TO
T_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_20
12 + AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC + G_TOT
2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
               data=Data)
summary(modAC_50)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = TOT_50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT +
##     H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM +
##     DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT + PEN:COS_EXP +
##     PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, data = Data)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -11960  -3146   -792   1699  75982
##
## Coefficients:
##                         Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)           4.090e+04  1.530e+04   2.674  0.00792 **
## PEN                  -3.307e+03  4.529e+03  -0.730  0.46587
## COS_EXP              -1.618e+03  1.050e+03  -1.542  0.12426
## SIN_EXP               2.959e+03  1.219e+03   2.428  0.01580 *
## TOPCroupe             3.828e+03  4.937e+03   0.775  0.43869
## TOPCuvette            2.793e+03  6.636e+03   0.421  0.67413
## TOPHaut de versant    1.525e+03  2.756e+03   0.553  0.58048
## TOPMilieu de versant  3.528e+02  2.332e+03   0.151  0.87984
## TOPPlateau            5.494e+03  6.121e+03   0.898  0.37017
## TOPTalweg            -3.748e+03  4.410e+03  -0.850  0.39600
## STA3                  2.541e+01  3.670e+03   0.007  0.99448
## STA4                 -1.303e+04  6.180e+03  -2.108  0.03590 *
## STA5                  3.002e+03  3.232e+03   0.929  0.35387
## STA6                 -4.394e+03  3.126e+03  -1.406  0.16091
## STA7                 -6.259e+03  4.850e+03  -1.291  0.19787
## STA8                 -5.565e+03  3.485e+03  -1.597  0.11139
## STA9                 -4.683e+03  3.804e+03  -1.231  0.21921
## STA10                -5.787e+03  4.430e+03  -1.306  0.19252
## G_TOT                 3.522e+02  2.192e+02   1.607  0.10918
## H.0                  -1.946e+02  1.649e+02  -1.180  0.23881
## TOT_MOU              -1.753e+03  2.901e+03  -0.604  0.54610
## TOT_HER              -2.089e+03  2.050e+03  -1.019  0.30921
## TOT_ARB              -9.564e+03  2.055e+03  -4.654 4.94e-06 ***
## TOT_BLO              -2.016e+04  1.199e+04  -1.682  0.09365 .
## TOT_CAI              -1.419e+03  2.579e+03  -0.550  0.58257
## TOT_REM              -3.067e+03  3.179e+03  -0.965  0.33538
## DUR                   5.840e+02  2.105e+02   2.774  0.00589 **
## PRE_PAR_REL          -1.807e+05  8.081e+04  -2.236  0.02608 *
## PRE_PAR_ABS           1.239e+03  1.042e+03   1.189  0.23528
## RAY_2012              6.422e-03  7.228e-03   0.888  0.37501
## AGE_PPT              -1.087e+02  6.765e+01  -1.606  0.10929
## G_TOT2               -5.538e+00  3.373e+00  -1.642  0.10174
## PRE_PAR_REL2          2.086e+05  1.203e+05   1.734  0.08400 .
## PRE_PAR_ABS2         -2.384e+01  2.709e+01  -0.880  0.37958
## PEN:COS_EXP           2.947e+03  3.954e+03   0.745  0.45663
## PEN:SIN_EXP          -4.074e+03  3.018e+03  -1.350  0.17812
## G_TOT:PRE_ABS_REC    -4.914e-01  7.908e+00  -0.062  0.95050
## G_TOT:PRE_REL_REC    -8.969e+00  5.604e+02  -0.016  0.98724
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 6950 on 293 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.309,  Adjusted R-squared:  0.2217
## F-statistic: 3.541 on 37 and 293 DF,  p-value: 7.538e-10
```

```r
par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_50)
```

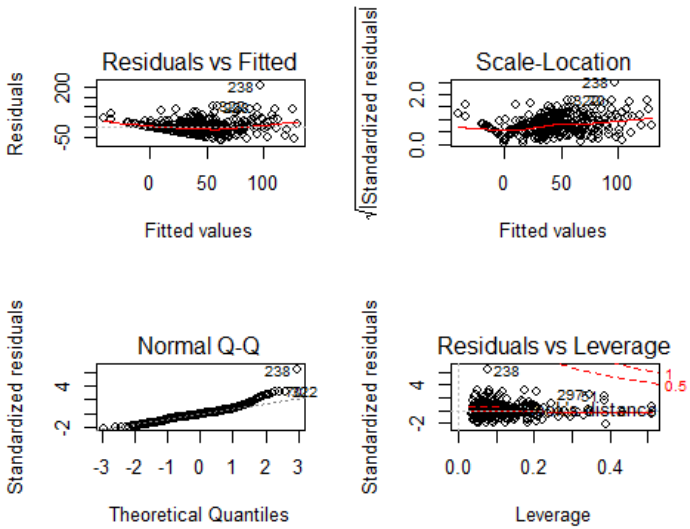



```r
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite mauvaise -> passage a la racine

# Modele d'ANCOVA sur la racine de la densite de regeneration de 10 a 50 cm
modAC_50 <- lm(sqrt(TOT_50) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MO
U + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS +
RAY_2012 + AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC +
G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
               data=Data)
summary(modAC_50)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = sqrt(TOT_50) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT +
##     PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC +
##     G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, data = Data)
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -63.590 -16.625  -3.229  13.074 201.975
##
## Coefficients:
##                         Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)           2.112e+02  7.406e+01   2.852 0.004648 **
## PEN                  -3.900e+01  2.193e+01  -1.779 0.076289 .
## COS_EXP              -1.057e+01  5.081e+00  -2.079 0.038452 *
## SIN_EXP               2.169e+01  5.901e+00   3.676 0.000282 ***
## TOPCroupe             2.907e+01  2.390e+01   1.216 0.224865
```

```
## TOPCuvette            1.456e+01  3.213e+01   0.453 0.650842
## TOPHaut de versant    1.078e+01  1.334e+01   0.808 0.419582
## TOPMilieu de versant  1.265e+00  1.129e+01   0.112 0.910863
## TOPPlateau            3.229e+01  2.963e+01   1.089 0.276854
## TOPTalweg            -2.678e+01  2.135e+01  -1.255 0.210647
## STA3                 -1.405e+01  1.777e+01  -0.791 0.429623
## STA4                 -7.836e+01  2.992e+01  -2.619 0.009279 **
## STA5                  9.589e+00  1.565e+01   0.613 0.540544
## STA6                 -2.288e+01  1.514e+01  -1.512 0.131661
## STA7                 -5.172e+01  2.348e+01  -2.202 0.028412 *
## STA8                 -3.631e+01  1.687e+01  -2.152 0.032246 *
## STA9                 -1.789e+01  1.842e+01  -0.971 0.332189
## STA10                -2.702e+01  2.145e+01  -1.260 0.208747
## G_TOT                 1.722e+00  1.061e+00   1.623 0.105632
## H.0                  -8.595e-01  7.981e-01  -1.077 0.282392
## TOT_MOU              -1.040e+01  1.404e+01  -0.740 0.459709
## TOT_HER              -2.741e+01  9.927e+00  -2.762 0.006114 **
## TOT_ARB              -6.907e+01  9.949e+00  -6.942 2.49e-11 ***
## TOT_BLO              -1.251e+02  5.804e+01  -2.156 0.031929 *
## TOT_CAI              -1.490e+01  1.249e+01  -1.193 0.233682
## TOT_REM              -3.040e+01  1.539e+01  -1.975 0.049185 *
## DUR                   4.043e+00  1.019e+00   3.966 9.19e-05 ***
## PRE_PAR_REL          -9.236e+02  3.912e+02  -2.361 0.018887 *
## PRE_PAR_ABS           1.098e+01  5.045e+00   2.176 0.030351 *
## RAY_2012              3.314e-05  3.499e-05   0.947 0.344439
## AGE_PPT              -4.521e-01  3.275e-01  -1.380 0.168548
## G_TOT2               -2.487e-02  1.633e-02  -1.523 0.128850
## PRE_PAR_REL2          9.061e+02  5.824e+02   1.556 0.120867
## PRE_PAR_ABS2         -2.285e-01  1.311e-01  -1.743 0.082446 .
## PEN:COS_EXP           1.381e+01  1.914e+01   0.722 0.471145
## PEN:SIN_EXP          -3.570e+01  1.461e+01  -2.443 0.015158 *
## G_TOT:PRE_ABS_REC    -1.861e-02  3.829e-02  -0.486 0.627271
## G_TOT:PRE_REL_REC     1.008e+00  2.713e+00   0.372 0.710460
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 33.65 on 293 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.4856, Adjusted R-squared:  0.4206
## F-statistic: 7.475 on 37 and 293 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

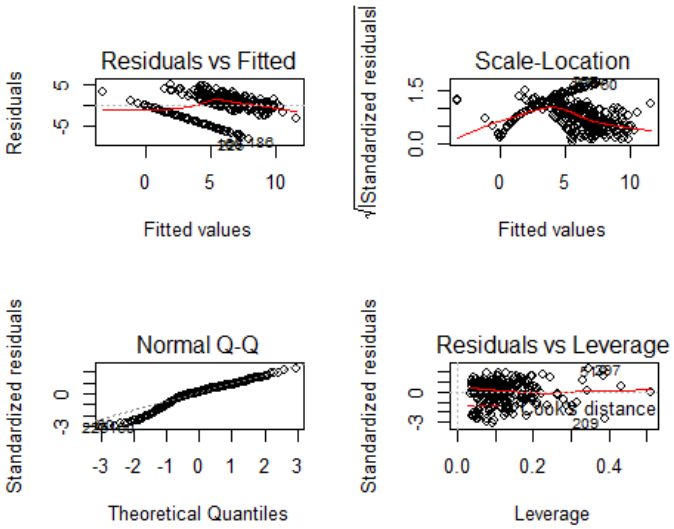
```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_50)
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite mauvaise -> passage au logarithme

# Modele d'ANCOVA sur le logarithme ajuste de la densite de regeneration de 10 a 50 cm
modAC_50 <- lm(log1p(TOT_50) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_M
OU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS +
RAY_2012 + AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC +
G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
               data=Data)
summary(modAC_50)

##
## Call:
## lm(formula = log1p(TOT_50) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP +
##     STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 +
##     AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC +
##     G_TOT:PRE_REL_REC + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
##     data = Data)
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -8.0358 -1.0807  0.4435  1.7579  5.0121
##
## Coefficients:
##                        Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)           1.623e+01  6.047e+00   2.684 0.007688 **
## PEN                  -3.718e+00  1.790e+00  -2.077 0.038667 *
## COS_EXP              -9.170e-01  4.149e-01  -2.210 0.027874 *
## SIN_EXP               1.730e+00  4.818e-01   3.591 0.000386 ***
## TOPCroupe             3.529e-01  1.952e+00   0.181 0.856637
## TOPCuvette           -2.640e+00  2.623e+00  -1.006 0.315057
## TOPHaut de versant    9.377e-02  1.089e+00   0.086 0.931463
## TOPMilieu de versant -2.091e-01  9.217e-01  -0.227 0.820648
## TOPPlateau           -9.477e-01  2.420e+00  -0.392 0.695579
## TOPTalweg            -2.852e+00  1.743e+00  -1.636 0.102881
## STA3                 -2.164e+00  1.451e+00  -1.492 0.136836
## STA4                 -2.321e+00  2.443e+00  -0.950 0.342852
```

```
## STA5                -5.662e-01  1.278e+00  -0.443 0.658006
## STA6                -1.513e+00  1.236e+00  -1.224 0.221780
## STA7                -5.272e+00  1.917e+00  -2.750 0.006333 **
## STA8                -2.265e+00  1.378e+00  -1.644 0.101180
## STA9                -9.533e-01  1.504e+00  -0.634 0.526560
## STA10                3.507e-03  1.751e+00   0.002 0.998404
## G_TOT                5.402e-03  8.665e-02   0.062 0.950334
## H.0                 -1.019e-01  6.517e-02  -1.564 0.118954
## TOT_MOU              5.026e-01  1.147e+00   0.438 0.661513
## TOT_HER             -2.745e+00  8.105e-01  -3.387 0.000803 ***
## TOT_ARB             -5.618e+00  8.124e-01  -6.916 2.92e-11 ***
## TOT_BLO             -1.231e+01  4.739e+00  -2.599 0.009833 **
## TOT_CAI             -1.795e+00  1.020e+00  -1.761 0.079306 .
## TOT_REM             -2.904e+00  1.257e+00  -2.311 0.021537 *
## DUR                  3.337e-01  8.323e-02   4.009 7.73e-05 ***
## PRE_PAR_REL         -1.825e+01  3.194e+01  -0.571 0.568278
## PRE_PAR_ABS          3.595e-01  4.119e-01   0.873 0.383508
## RAY_2012             1.847e-06  2.857e-06   0.646 0.518598
## AGE_PPT             -3.568e-02  2.674e-02  -1.334 0.183168
## G_TOT2               4.332e-05  1.334e-03   0.032 0.974107
## PRE_PAR_REL2         3.025e+00  4.756e+01   0.064 0.949326
## PRE_PAR_ABS2        -6.206e-03  1.071e-02  -0.580 0.562671
## PEN:COS_EXP          9.608e-01  1.563e+00   0.615 0.539230
## PEN:SIN_EXP         -3.697e+00  1.193e+00  -3.098 0.002134 **
## G_TOT:PRE_ABS_REC   -5.098e-03  3.126e-03  -1.631 0.103983
## G_TOT:PRE_REL_REC    3.885e-01  2.215e-01   1.754 0.080507 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 2.747 on 293 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.4831, Adjusted R-squared:  0.4179
## F-statistic: 7.402 on 37 and 293 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

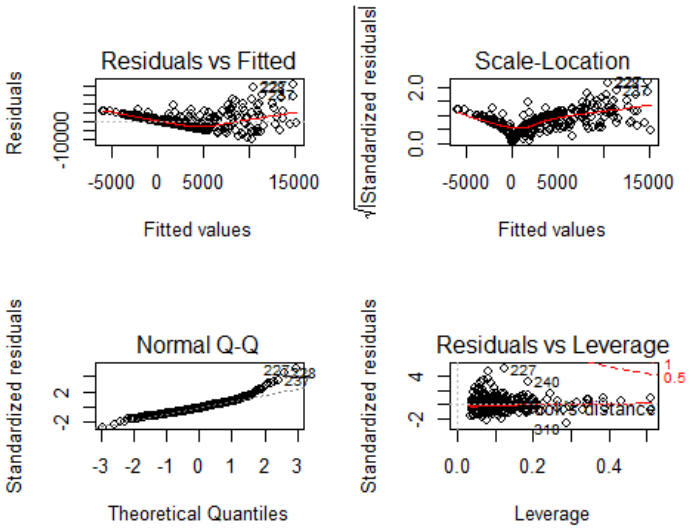
```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_50)
```



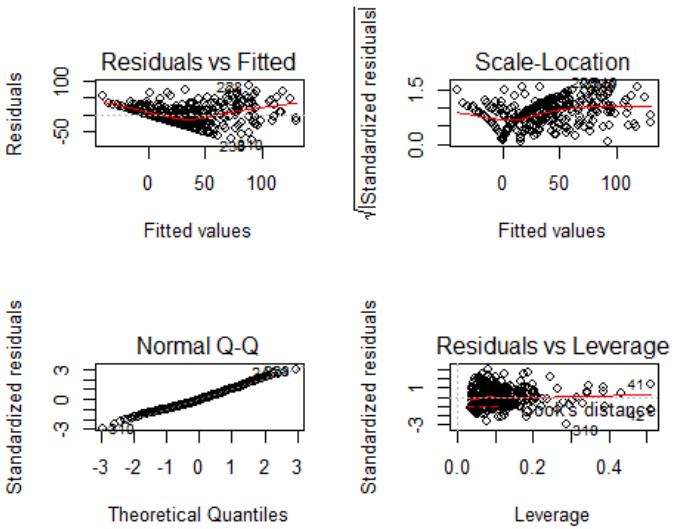

```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite toujours mauvaise -> suppression des valeurs nulles ?
```

```
# Modele d'ANCOVA sur la densite de regeneration de plus de 50 cm
modAC_P50 <- lm(`SOM_>50` ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU
+ TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RA
Y_2012 + AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC + G
_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                data=Data)
summary(modAC_P50)

##
## Call:
## lm(formula = `SOM_>50` ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT +
##     PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC +
##     G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, data = Data)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -10086.0  -2647.7   -570.6   1996.9  20655.7
##
## Coefficients:
##                           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)              1.731e+04  9.774e+03   1.771 0.077579 .
## PEN                     -4.890e+03  2.894e+03  -1.690 0.092100 .
## COS_EXP                 -1.343e+03  6.707e+02  -2.002 0.046208 *
## SIN_EXP                  2.603e+03  7.789e+02   3.343 0.000937 ***
## TOPCroupe                3.690e+03  3.155e+03   1.170 0.243075
## TOPCuvette              -5.602e+03  4.240e+03  -1.321 0.187506
## TOPHaut de versant      -2.872e+02  1.761e+03  -0.163 0.870566
## TOPMilieu de versant     1.177e+03  1.490e+03   0.790 0.430207
## TOPPlateau              -4.496e+03  3.911e+03  -1.150 0.251283
## TOPTalweg                1.012e+03  2.818e+03   0.359 0.719646
## STA3                     1.075e+03  2.345e+03   0.459 0.646895
## STA4                     4.869e+03  3.949e+03   1.233 0.218586
## STA5                    -1.010e+02  2.065e+03  -0.049 0.961031
## STA6                     6.606e+02  1.998e+03   0.331 0.741145
## STA7                     3.121e+03  3.099e+03   1.007 0.314667
## STA8                     4.084e+02  2.227e+03   0.183 0.854623
## STA9                    -2.917e+02  2.430e+03  -0.120 0.904552
## STA10                    2.707e+03  2.831e+03   0.956 0.339744
## G_TOT                    1.711e+02  1.401e+02   1.221 0.222906
## H.0                      2.584e+02  1.053e+02   2.453 0.014741 *
## TOT_MOU                  3.585e+01  1.854e+03   0.019 0.984582
## TOT_HER                 -9.463e+03  1.310e+03  -7.223 4.42e-12 ***
## TOT_ARB                 -9.022e+03  1.313e+03  -6.871 3.83e-11 ***
## TOT_BLO                 -1.709e+04  7.660e+03  -2.231 0.026444 *
## TOT_CAI                 -5.748e+03  1.648e+03  -3.488 0.000562 ***
## TOT_REM                 -1.027e+04  2.031e+03  -5.054 7.65e-07 ***
## DUR                     -1.342e+02  1.345e+02  -0.998 0.319337
## PRE_PAR_REL              7.302e+03  5.163e+04   0.141 0.887637
## PRE_PAR_ABS             -1.644e+03  6.659e+02  -2.469 0.014106 *
## RAY_2012                 5.027e-03  4.619e-03   1.088 0.277330
## AGE_PPT                 -5.903e+01  4.323e+01  -1.366 0.173119
## G_TOT2                  -4.215e+00  2.156e+00  -1.956 0.051455 .
## PRE_PAR_REL2             1.731e+04  7.687e+04   0.225 0.821993
## PRE_PAR_ABS2             4.361e+01  1.731e+01   2.520 0.012279 *
## PEN:COS_EXP              6.682e+02  2.526e+03   0.264 0.791593
## PEN:SIN_EXP             -3.183e+03  1.929e+03  -1.651 0.099876 .
## G_TOT:PRE_ABS_REC        2.614e+00  5.053e+00   0.517 0.605397
## G_TOT:PRE_REL_REC       -3.132e+02  3.581e+02  -0.875 0.382496
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 4441 on 293 degrees of freedom
```

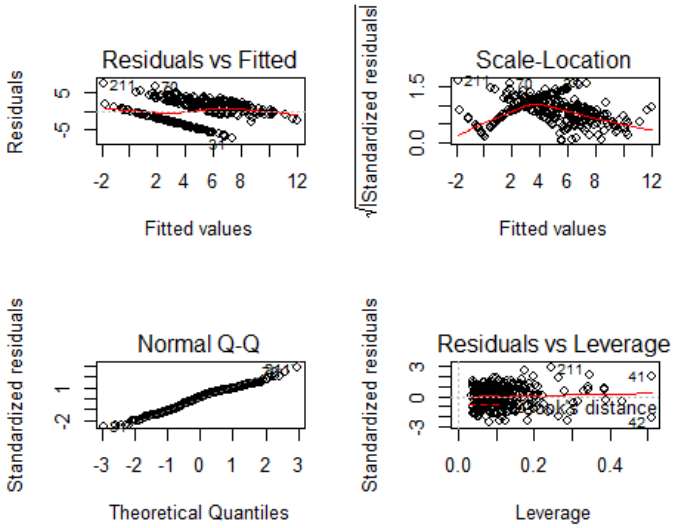
```
## Multiple R-squared:  0.5078, Adjusted R-squared:  0.4456
## F-statistic: 8.169 on 37 and 293 DF,  p-value: < 2.2e-16

par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_P50)
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite mauvaise ==> passage a la racine

# Modele d'ANCOVA sur la racine de la densite de regeneration de plus de 50 cm
modAC_P50 <- lm(sqrt(`SOM_>50`) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_REC + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                data=Data)
summary(modAC_P50)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(`SOM_>50`) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP +
##     STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 +
##     AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC +
##     G_TOT:PRE_REL_REC + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
##     data = Data)
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -74.343 -20.195  -2.126  17.872  84.107
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)           1.466e+02  6.642e+01   2.208  0.02805 *
## PEN                  -3.898e+01  1.966e+01  -1.982  0.04836 *
## COS_EXP              -8.364e+00  4.557e+00  -1.835  0.06747 .
## SIN_EXP               1.816e+01  5.293e+00   3.430  0.00069 ***
## TOPCroupe             4.564e+01  2.144e+01   2.129  0.03409 *
## TOPCuvette           -4.235e+01  2.881e+01  -1.470  0.14266
## TOPHaut de versant    5.259e+00  1.197e+01   0.439  0.66065
## TOPMilieu de versant  1.041e+01  1.012e+01   1.028  0.30474
## TOPPlateau           -3.769e+01  2.658e+01  -1.418  0.15721
## TOPTalweg             2.819e+00  1.915e+01   0.147  0.88307
## STA3                  4.604e+00  1.594e+01   0.289  0.77285
## STA4                  3.260e+01  2.683e+01   1.215  0.22545
## STA5                 -3.852e+00  1.404e+01  -0.274  0.78393
## STA6                  4.024e-01  1.358e+01   0.030  0.97638
## STA7                  1.229e+01  2.106e+01   0.583  0.56011
## STA8                 -8.886e+00  1.513e+01  -0.587  0.55752
## STA9                 -8.240e+00  1.652e+01  -0.499  0.61822
## STA10                 1.445e+01  1.924e+01   0.751  0.45319
## G_TOT                 1.197e+00  9.517e-01   1.258  0.20949
## H.0                   1.335e+00  7.158e-01   1.864  0.06328 .
## TOT_MOU              -7.255e-01  1.260e+01  -0.058  0.95411
## TOT_HER              -7.486e+01  8.903e+00  -8.408 1.84e-15 ***
## TOT_ARB              -7.288e+01  8.923e+00  -8.167 9.52e-15 ***
## TOT_BLO              -1.399e+02  5.205e+01  -2.687  0.00762 **
## TOT_CAI              -5.043e+01  1.120e+01  -4.503 9.70e-06 ***
## TOT_REM              -8.777e+01  1.380e+01  -6.359 7.79e-10 ***
## DUR                  -1.395e+00  9.142e-01  -1.526  0.12811
## PRE_PAR_REL          -1.826e+02  3.509e+02  -0.520  0.60316
## PRE_PAR_ABS          -9.755e+00  4.525e+00  -2.156  0.03190 *
## RAY_2012              6.462e-05  3.138e-05   2.059  0.04039 *
## AGE_PPT              -3.604e-01  2.938e-01  -1.227  0.22094
## G_TOT2               -2.984e-02  1.465e-02  -2.037  0.04250 *
## PRE_PAR_REL2          4.079e+02  5.224e+02   0.781  0.43552
## PRE_PAR_ABS2          2.826e-01  1.176e-01   2.403  0.01688 *
## PEN:COS_EXP           9.280e+00  1.717e+01   0.541  0.58924
## PEN:SIN_EXP          -2.997e+01  1.311e+01  -2.287  0.02291 *
## G_TOT:PRE_ABS_REC    -2.190e-03  3.434e-02  -0.064  0.94918
## G_TOT:PRE_REL_REC    -1.247e+00  2.433e+00  -0.512  0.60872
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 30.18 on 293 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.579,  Adjusted R-squared:  0.5259
## F-statistic: 10.89 on 37 and 293 DF,  p-value: < 2.2e-16

par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_P50)
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite mauvaise ==> passage au logarithme

# Modele d'ANCOVA sur le logarithme ajuste de la densite de regeneration de plus de 50 c
m
modAC_P50 <- lm(log1p(`SOM_>50`) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + T
OT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_A
BS + RAY_2012 + AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC + G_TOT:PRE_REL_
REC + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                data=Data)
summary(modAC_P50)

##
## Call:
## lm(formula = log1p(`SOM_>50`) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP +
##     STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 +
##     AGE_PPT + PEN:COS_EXP + PEN:SIN_EXP + G_TOT:PRE_ABS_REC +
##     G_TOT:PRE_REL_REC + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
##     data = Data)
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -7.3472 -2.1243  0.4512  2.1800  7.4251
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)           1.008e+01  6.652e+00   1.515 0.130817
## PEN                  -1.413e+00  1.969e+00  -0.717 0.473790
## COS_EXP              -3.268e-01  4.564e-01  -0.716 0.474516
## SIN_EXP               8.283e-01  5.301e-01   1.563 0.119236
## TOPCroupe             5.013e+00  2.147e+00   2.335 0.020210 *
## TOPCuvette           -2.982e+00  2.886e+00  -1.033 0.302318
## TOPHaut de versant    1.194e+00  1.198e+00   0.996 0.320087
## TOPMilieu de versant  8.341e-01  1.014e+00   0.823 0.411395
## TOPPlateau           -2.404e+00  2.662e+00  -0.903 0.367257
## TOPTalweg            -6.079e-01  1.918e+00  -0.317 0.751464
## STA3                 -7.592e-01  1.596e+00  -0.476 0.634634
## STA4                  1.672e+00  2.688e+00   0.622 0.534367
## STA5                 -2.703e-01  1.406e+00  -0.192 0.847649
## STA6                 -6.544e-01  1.360e+00  -0.481 0.630658
## STA7                  6.532e-04  2.109e+00   0.000 0.999753
## STA8                 -1.992e+00  1.516e+00  -1.314 0.189799
## STA9                 -1.356e+00  1.654e+00  -0.820 0.413034
## STA10                 8.679e-01  1.927e+00   0.450 0.652709
## G_TOT                -5.538e-03  9.532e-02  -0.058 0.953708
## H.0                   3.592e-02  7.169e-02   0.501 0.616740
## TOT_MOU               9.889e-01  1.262e+00   0.784 0.433729
## TOT_HER              -5.532e+00  8.917e-01  -6.204 1.87e-09 ***
## TOT_ARB              -5.888e+00  8.937e-01  -6.588 2.06e-10 ***
## TOT_BLO              -1.143e+01  5.213e+00  -2.192 0.029168 *
## TOT_CAI              -4.263e+00  1.122e+00  -3.801 0.000175 ***
## TOT_REM              -7.292e+00  1.382e+00  -5.275 2.59e-07 ***
## DUR                  -1.541e-01  9.156e-02  -1.683 0.093347 .
## PRE_PAR_REL          -1.904e+01  3.514e+01  -0.542 0.588294
## PRE_PAR_ABS          -6.125e-01  4.532e-01  -1.352 0.177546
## RAY_2012              8.675e-06  3.143e-06   2.760 0.006146 **
## AGE_PPT              -1.406e-02  2.942e-02  -0.478 0.633083
## G_TOT2               -8.639e-04  1.467e-03  -0.589 0.556395
## PRE_PAR_REL2          2.709e+01  5.232e+01   0.518 0.604930
## PRE_PAR_ABS2          2.031e-02  1.178e-02   1.725 0.085658 .
## PEN:COS_EXP           1.344e+00  1.719e+00   0.781 0.435183
## PEN:SIN_EXP          -2.342e+00  1.313e+00  -1.784 0.075430 .
## G_TOT:PRE_ABS_REC    -1.547e-03  3.439e-03  -0.450 0.653190
## G_TOT:PRE_REL_REC     3.647e-02  2.437e-01   0.150 0.881120
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 3.022 on 293 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.4592, Adjusted R-squared:  0.3909
## F-statistic: 6.725 on 37 and 293 DF,  p-value: < 2.2e-16

par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_P50)
```

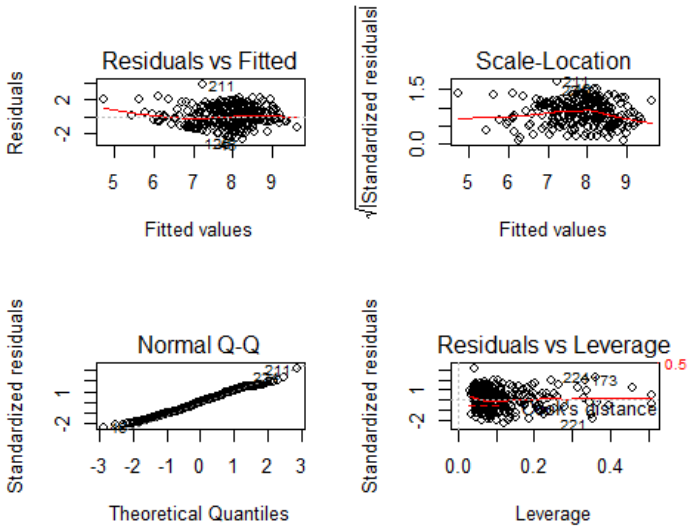


```r
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite toujours mauvaise ==> suppression des valeurs nulles ?

############################################################
# REGRESSIONS LINEAIRES MULTIPLES SANS LES VALEURS NULLES #
############################################################

# Modele d'ANCOVA sur le logarithme de la densite de regeneration de moins de 10 cm
modAC_10_base <- lm(log(TOT_10) ~ 1, data=Data[-which(Data$TOT_10==0),])
modAC_10 <- lm(log(TOT_10) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU
+ TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AG
E_PPT + G_TOT2, data=Data[-which(Data$TOT_10==0),])

summary(modAC_10)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = log(TOT_10) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2,
##     data = Data[-which(Data$TOT_10 == 0), ])
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -2.6523 -0.8997  0.0067  0.8698  3.7052
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)          14.0004145  2.3337978   5.999 8.03e-09 ***
## PEN                  -0.8055329  1.0299953  -0.782  0.43501
## COS_EXP               0.2664423  0.1470267   1.812  0.07131 .
## SIN_EXP              -0.1290596  0.1531125  -0.843  0.40019
## TOPCroupe            -1.4262371  1.0064979  -1.417  0.15788
## TOPCuvette            0.1251616  1.3619095   0.092  0.92686
## TOPHaut de versant    0.3188599  0.7254599   0.440  0.66071
## TOPMilieu de versant -0.0144866  0.6713123  -0.022  0.98280
## TOPPlateau            0.7123679  1.2539729   0.568  0.57055
## STA3                 -1.5939946  0.8333503  -1.913  0.05707 .
## STA4                 -1.1586331  1.0887247  -1.064  0.28839
## STA5                 -0.4358901  0.6039913  -0.722  0.47125
## STA6                 -0.6703250  0.6316326  -1.061  0.28973
## STA7                 -0.2722262  1.6066284  -0.169  0.86561
## STA8                 -0.8678157  0.6172185  -1.406  0.16113
## STA9                 -0.7855365  0.7117637  -1.104  0.27095
## STA10                 0.3675891  0.8609288   0.427  0.66982
## G_TOT                 0.0575852  0.0449695   1.281  0.20170
## H.0                  -0.0556825  0.0323242  -1.723  0.08636 .
## TOT_MOU               0.9136735  0.5603295   1.631  0.10440
## TOT_HER              -0.2208999  0.4292896  -0.515  0.60737
## TOT_ARB              -1.4558063  0.4696093  -3.100  0.00219 **
## TOT_BLO              -1.9270117  2.5523197  -0.755  0.45105
## TOT_CAI               0.3710330  0.5664640   0.655  0.51315
## TOT_REM              -0.9334147  0.6655758  -1.402  0.16219
## DUR                  -0.0033112  0.0406218  -0.082  0.93511
## PRE_PAR_REL           2.1147118  3.0259005   0.699  0.48537
## PRE_PAR_ABS          -0.0954228  0.0513312  -1.859  0.06436 .
## AGE_PPT              -0.0370968  0.0149844  -2.476  0.01405 *
## G_TOT2               -0.0004487  0.0006465  -0.694  0.48838
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 1.238 on 221 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.3148, Adjusted R-squared:  0.2249
## F-statistic: 3.501 on 29 and 221 DF,  p-value: 6.344e-08
```

```r
par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_10)
```

```
## Warning: not plotting observations with leverage one:
##   114
```




```r
par(mfcol=c(1,1))
# ==> l'homoscedasticite s'est amelioree par rapport aux modeles precedents
# Selection du modele le plus parcimonieux selon l'AIC
modAC_AIC_10 <- step(object=modAC_10_base,
                     scope=list(upper=modAC_10),
                     direction="both")
```

```
## Start:  AIC=172.13
## log(TOT_10) ~ 1
##
##               Df Sum of Sq     RSS    AIC
## + AGE_PPT      1    36.398 457.97 154.94
## + TOT_ARB      1    22.282 472.08 162.56
## + G_TOT        1    20.187 474.18 163.67
## + PRE_PAR_REL  1    19.261 475.10 164.16
## + G_TOT2       1    17.484 476.88 165.09
## + COS_EXP      1    17.201 477.16 165.24
## + TOP          5    31.875 462.49 165.40
## + STA          8    40.903 453.46 166.46
## + PRE_PAR_ABS  1    12.201 482.16 167.86
## + PEN          1     8.631 485.73 169.71
## + TOT_REM      1     8.557 485.81 169.75
## + H.0          1     4.104 490.26 172.04
## <none>                     494.36 172.13
## + DUR          1     3.911 490.45 172.14
## + TOT_HER      1     0.944 493.42 173.65
## + TOT_MOU      1     0.515 493.85 173.87
## + TOT_CAI      1     0.289 494.08 173.99
## + TOT_BLO      1     0.001 494.36 174.13
## + SIN_EXP      1     0.001 494.36 174.13
##
```

```
## Step:  AIC=154.94
## log(TOT_10) ~ AGE_PPT
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + PRE_PAR_ABS  1    27.767 430.20 141.24
## + COS_EXP      1    23.878 434.09 143.50
## + TOT_ARB      1    22.113 435.85 144.51
## + PRE_PAR_REL  1    17.211 440.76 147.32
## + H.0          1    10.689 447.28 151.01
## + G_TOT        1     8.024 449.94 152.50
## + G_TOT2       1     6.882 451.08 153.14
## + TOT_REM      1     4.386 453.58 154.52
## <none>                     457.97 154.94
## + TOT_CAI      1     3.579 454.39 154.97
## + TOT_MOU      1     2.814 455.15 155.39
## + DUR          1     2.801 455.17 155.40
## + TOP          5    16.812 441.15 155.55
## + SIN_EXP      1     2.470 455.50 155.58
## + PEN          1     0.136 457.83 156.86
## + TOT_HER      1     0.073 457.89 156.90
## + TOT_BLO      1     0.000 457.97 156.94
## + STA          8    23.227 434.74 157.87
## - AGE_PPT      1    36.398 494.36 172.13
##
## Step:  AIC=141.24
## log(TOT_10) ~ AGE_PPT + PRE_PAR_ABS
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + TOT_ARB      1    21.470 408.73 130.39
## + COS_EXP      1    19.553 410.65 131.56
## + G_TOT        1     6.469 423.73 139.44
## + G_TOT2       1     5.488 424.71 140.01
## + TOT_REM      1     3.792 426.41 141.02
## + H.0          1     3.448 426.75 141.22
## <none>                     430.20 141.24
## + TOT_CAI      1     2.932 427.27 141.52
## + SIN_EXP      1     2.809 427.39 141.59
## + TOT_MOU      1     2.174 428.03 141.97
## + TOT_BLO      1     1.608 428.59 142.30
## + PEN          1     1.245 428.96 142.51
## + PRE_PAR_REL  1     0.811 429.39 142.76
## + DUR          1     0.416 429.78 143.00
## + TOT_HER      1     0.068 430.13 143.20
## + TOP          5     9.966 420.23 145.35
## + STA          8    16.911 413.29 147.17
## - PRE_PAR_ABS  1    27.767 457.97 154.94
## - AGE_PPT      1    51.963 482.16 167.86
##
## Step:  AIC=130.39
## log(TOT_10) ~ AGE_PPT + PRE_PAR_ABS + TOT_ARB
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + COS_EXP      1    20.522 388.21 119.46
## + TOT_MOU      1     9.359 399.37 126.57
## + TOT_REM      1     8.411 400.32 127.17
## + TOT_CAI      1     5.857 402.87 128.76
## + G_TOT        1     5.822 402.91 128.79
## + G_TOT2       1     4.983 403.75 129.31
## <none>                     408.73 130.39
## + H.0          1     1.727 407.00 131.33
## + PRE_PAR_REL  1     1.097 407.63 131.71
## + TOT_BLO      1     0.807 407.92 131.89
## + SIN_EXP      1     0.645 408.09 131.99
## + TOT_HER      1     0.192 408.54 132.27
## + DUR          1     0.176 408.55 132.28
## + PEN          1     0.000 408.73 132.39
## + TOP          5     8.037 400.69 135.40
## + STA          8    16.499 392.23 136.05
## - TOT_ARB      1    21.470 430.20 141.24
## - PRE_PAR_ABS  1    27.123 435.85 144.51
## - AGE_PPT      1    51.538 460.27 158.20
##
## Step:  AIC=119.46
## log(TOT_10) ~ AGE_PPT + PRE_PAR_ABS + TOT_ARB + COS_EXP
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + G_TOT        1     8.233 379.98 116.08
## + G_TOT2       1     7.458 380.75 116.59
## + TOT_REM      1     6.148 382.06 117.45
## + TOT_CAI      1     3.799 384.41 118.99
## <none>                     388.21 119.46
## + TOT_MOU      1     1.771 386.44 120.31
## + H.0          1     1.340 386.87 120.59
## + TOT_BLO      1     0.723 387.49 120.99
## + PEN          1     0.621 387.59 121.06
## + DUR          1     0.113 388.10 121.39
## + SIN_EXP      1     0.056 388.15 121.42
## + PRE_PAR_REL  1     0.031 388.18 121.44
## + TOT_HER      1     0.008 388.20 121.45
## + TOP          5     8.019 380.19 124.22
## + STA          8    13.070 375.14 126.86
## - COS_EXP      1    20.522 408.73 130.39
## - TOT_ARB      1    22.438 410.65 131.56
## - PRE_PAR_ABS  1    22.744 410.95 131.75
## - AGE_PPT      1    57.077 445.29 151.89
##
## Step:  AIC=116.08
## log(TOT_10) ~ AGE_PPT + PRE_PAR_ABS + TOT_ARB + COS_EXP + G_TOT
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + TOT_CAI      1     4.822 375.15 114.87
## + TOT_REM      1     4.436 375.54 115.13
## + H.0          1     3.141 376.83 116.00
## <none>                     379.98 116.08
## + PRE_PAR_REL  1     2.507 377.47 116.42
## + TOT_MOU      1     1.089 378.89 117.36
## + TOT_BLO      1     0.458 379.52 117.78
## + DUR          1     0.419 379.56 117.80
## + SIN_EXP      1     0.279 379.70 117.89
## + PEN          1     0.214 379.76 117.94
## + G_TOT2       1     0.158 379.82 117.97
## + TOT_HER      1     0.042 379.93 118.05
## - G_TOT        1     8.233 388.21 119.46
## + TOP          5     8.471 371.50 120.42
## + STA          8    15.435 364.54 121.67
## - PRE_PAR_ABS  1    20.929 400.90 127.53
## - TOT_ARB      1    21.715 401.69 128.03
## - COS_EXP      1    22.933 402.91 128.79
## - AGE_PPT      1    40.774 420.75 139.66
##
## Step:  AIC=114.87
## log(TOT_10) ~ AGE_PPT + PRE_PAR_ABS + TOT_ARB + COS_EXP + G_TOT +
##     TOT_CAI
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + TOT_REM      1     3.225 371.93 114.70
## <none>                     375.15 114.87
## + H.0          1     2.535 372.62 115.17
## + PRE_PAR_REL  1     1.669 373.48 115.75
## + PEN          1     1.337 373.82 115.98
```

```
## - TOT_CAI      1     4.822 379.98 116.08
## + TOT_MOU      1     1.056 374.10 116.17
## + TOT_HER      1     0.471 374.68 116.56
## + TOT_BLO      1     0.248 374.90 116.71
## + G_TOT2       1     0.101 375.05 116.81
## + SIN_EXP      1     0.076 375.08 116.82
## + DUR          1     0.075 375.08 116.82
## + TOP          5    10.130 365.02 118.00
## - G_TOT        1     9.256 384.41 118.99
## + STA          8    13.341 361.81 121.78
## - PRE_PAR_ABS  1    20.265 395.42 126.08
## - COS_EXP      1    20.701 395.85 126.35
## - TOT_ARB      1    24.279 399.43 128.61
## - AGE_PPT      1    44.328 419.48 140.91
##
## Step:  AIC=114.7
## log(TOT_10) ~ AGE_PPT + PRE_PAR_ABS + TOT_ARB + COS_EXP + G_TOT +
##     TOT_CAI + TOT_REM
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## <none>                     371.93 114.70
## + H.0          1     2.742 369.19 114.85
## - TOT_REM      1     3.225 375.15 114.87
## - TOT_CAI      1     3.611 375.54 115.13
## + PRE_PAR_REL  1     2.189 369.74 115.22
## + PEN          1     1.387 370.54 115.77
## + TOT_MOU      1     0.440 371.49 116.41
## + TOT_BLO      1     0.297 371.63 116.50
## + SIN_EXP      1     0.271 371.66 116.52
## + G_TOT2       1     0.172 371.76 116.59
## + TOT_HER      1     0.098 371.83 116.64
## + DUR          1     0.065 371.86 116.66
## - G_TOT        1     7.496 379.42 117.71
## + TOP          5    10.209 361.72 117.72
## + STA          8    13.416 358.51 121.48
## - COS_EXP      1    18.997 390.92 125.21
## - PRE_PAR_ABS  1    20.120 392.05 125.93
## - TOT_ARB      1    26.702 398.63 130.11
## - AGE_PPT      1    40.372 412.30 138.57
```

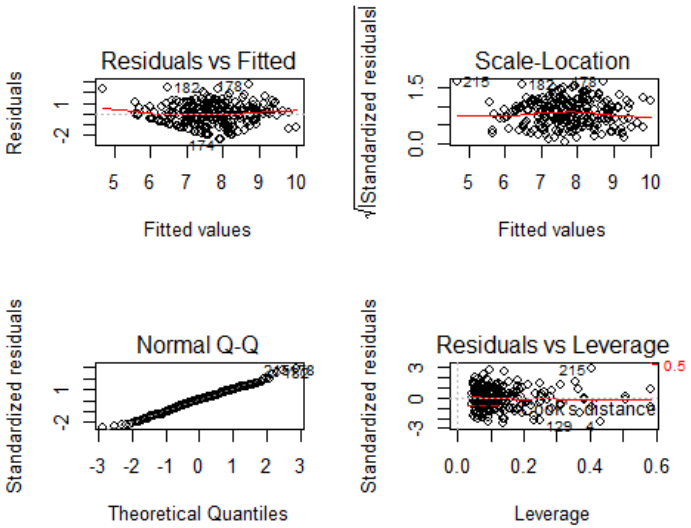
```
summary(modAC_AIC_10)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = log(TOT_10) ~ AGE_PPT + PRE_PAR_ABS + TOT_ARB +
##     COS_EXP + G_TOT + TOT_CAI + TOT_REM, data = Data[-which(Data$TOT_10 ==
##     0), ])
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -2.8722 -0.8745  0.0105  1.0008  3.5562
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 14.325240   1.294785  11.064  < 2e-16 ***
## AGE_PPT     -0.048452   0.009434  -5.136 5.76e-07 ***
## PRE_PAR_ABS -0.069828   0.019259  -3.626 0.000351 ***
## TOT_ARB     -1.659686   0.397353  -4.177 4.12e-05 ***
## COS_EXP      0.401047   0.113837   3.523 0.000510 ***
## G_TOT        0.019098   0.008630   2.213 0.027829 *
## TOT_CAI      0.687692   0.447720   1.536 0.125843
## TOT_REM     -0.814744   0.561248  -1.452 0.147884
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 1.237 on 243 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.2477, Adjusted R-squared:  0.226
## F-statistic: 11.43 on 7 and 243 DF,  p-value: 1.589e-12
```

```
# Modele d'ANCOVA sur le logarithme de la densite de regeneration de 10 a 50 cm
modAC_50_base <- lm(log(TOT_50) ~ 1, data=Data[-which(Data$TOT_50==0),])
modAC_50 <- lm(log(TOT_50) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU
+ TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AG
E_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, data=Data[-which(Data$TOT_50==0),])

summary(modAC_50)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = log(TOT_50) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, data = Data[-which(Data$TOT_50 ==
##     0), ])
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.34743 -0.63097  0.05292  0.65788  2.69917
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)           1.073e+01  2.551e+00   4.205 3.87e-05 ***
## PEN                  -1.838e+00  8.241e-01  -2.230   0.0268 *
## COS_EXP              -1.903e-01  1.274e-01  -1.493   0.1369
## SIN_EXP               2.441e-01  1.371e-01   1.781   0.0764 .
## TOPCroupe             2.439e+00  9.901e-01   2.464   0.0146 *
## TOPCuvette            1.356e-01  1.126e+00   0.120   0.9042
## TOPHaut de versant    2.036e-01  6.171e-01   0.330   0.7418
## TOPMilieu de versant  2.173e-01  5.936e-01   0.366   0.7147
## TOPPlateau            4.696e-01  1.007e+00   0.466   0.6416
## TOPTalweg            -1.201e+00  1.216e+00  -0.987   0.3246
## STA3                 -6.012e-01  7.320e-01  -0.821   0.4124
## STA4                 -9.147e-01  9.381e-01  -0.975   0.3306
## STA5                  1.244e+00  5.862e-01   2.123   0.0349 *
## STA6                  2.422e-01  5.657e-01   0.428   0.6690
## STA7                 -1.224e+00  1.357e+00  -0.902   0.3681
## STA8                 -2.212e-01  5.646e-01  -0.392   0.6957
## STA9                  7.354e-01  6.079e-01   1.210   0.2278
## STA10                -4.558e-01  7.759e-01  -0.587   0.5575
## G_TOT                 5.590e-02  3.845e-02   1.454   0.1475
## H.0                   8.590e-03  2.806e-02   0.306   0.7598
## TOT_MOU              -5.846e-01  4.626e-01  -1.264   0.2077
## TOT_HER              -8.867e-01  3.567e-01  -2.486   0.0137 *
## TOT_ARB              -2.452e+00  4.078e-01  -6.014 7.96e-09 ***
## TOT_BLO              -1.637e+00  2.624e+00  -0.624   0.5333
## TOT_CAI               6.414e-02  5.057e-01   0.127   0.8992
## TOT_REM              -7.034e-01  5.642e-01  -1.247   0.2139
## DUR                   7.854e-02  3.658e-02   2.147   0.0330 *
## PRE_PAR_REL          -1.003e+01  1.338e+01  -0.750   0.4541
## PRE_PAR_ABS           2.837e-01  1.701e-01   1.668   0.0969 .
## AGE_PPT              -1.802e-02  1.280e-02  -1.408   0.1607
## G_TOT2               -7.515e-04  5.670e-04  -1.325   0.1865
## PRE_PAR_REL2         -3.589e+00  2.044e+01  -0.176   0.8608
## PRE_PAR_ABS2         -5.453e-03  4.373e-03  -1.247   0.2138
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 1.032 on 209 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.4707, Adjusted R-squared:  0.3896
## F-statistic: 5.808 on 32 and 209 DF,  p-value: 8.708e-16
```

```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_50)

## Warning: not plotting observations with leverage one:
##   32, 112
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> l'homoscedasticite s'est amelioree par rapport aux modeles precedents
# Selection du modele le plus parcimonieux selon l'AIC
modAC_AIC_50 <- step(object=modAC_50_base,
                     scope=list(upper=modAC_50),
                     direction="both")

## Start:  AIC=135.84
## log(TOT_50) ~ 1
##
##                Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + PRE_PAR_REL   1    52.563 368.16 105.54
## + PRE_PAR_REL2  1    47.783 372.94 108.66
## + G_TOT         1    32.163 388.56 118.59
## + TOT_ARB       1    31.108 389.62 119.25
## + G_TOT2        1    27.488 393.24 121.48
## + STA           8    49.072 371.65 121.82
## + AGE_PPT       1    22.073 398.65 124.79
## + PRE_PAR_ABS   1    12.559 408.17 130.50
## + PEN           1    12.477 408.25 130.55
## + TOP           6    27.479 393.25 131.49
## + COS_EXP       1     9.168 411.56 132.50
## + PRE_PAR_ABS2  1     8.558 412.17 132.86
## + SIN_EXP       1     6.779 413.95 133.91
## + TOT_CAI       1     6.581 414.14 134.02
## + TOT_MOU       1     5.198 415.53 134.83
## <none>                      420.72 135.84
## + TOT_HER       1     1.777 418.95 136.81
## + DUR           1     1.657 419.07 136.88
## + TOT_REM       1     1.581 419.14 136.93
## + H.0           1     1.195 419.53 137.15
## + TOT_BLO       1     0.127 420.60 137.76
##
## Step:  AIC=105.54
## log(TOT_50) ~ PRE_PAR_REL
##
##                Df Sum of Sq    RSS     AIC
## + TOT_ARB       1    41.140 327.02  78.863
## + STA           8    54.428 313.73  82.825
## + PRE_PAR_ABS   1    22.906 345.26  91.994
## + PEN           1    21.636 346.53  92.882
## + PRE_PAR_ABS2  1    20.713 347.45  93.526
## + AGE_PPT       1    18.653 349.51  94.957
## + TOP           6    30.958 337.20  96.283
## + G_TOT         1    16.562 351.60  96.400
## + G_TOT2        1    12.854 355.31  98.939
## + TOT_MOU       1     8.497 359.66 101.889
## + PRE_PAR_REL2  1     7.048 361.11 102.862
## + COS_EXP       1     6.376 361.79 103.312
## + TOT_CAI       1     6.175 361.99 103.446
## + H.0           1     5.906 362.26 103.626
## <none>                      368.16 105.539
## + SIN_EXP       1     2.675 365.49 105.775
## + TOT_BLO       1     2.590 365.57 105.831
## + TOT_HER       1     0.268 367.89 107.363
## + TOT_REM       1     0.221 367.94 107.394
## + DUR           1     0.153 368.01 107.439
## - PRE_PAR_REL   1    52.563 420.72 135.836
##
## Step:  AIC=78.86
## log(TOT_50) ~ PRE_PAR_REL + TOT_ARB
##
##                Df Sum of Sq    RSS     AIC
## + STA           8    45.565 281.46  58.551
## + AGE_PPT       1    27.062 299.96  59.959
## + PRE_PAR_ABS   1    19.292 307.73  66.148
## + PRE_PAR_ABS2  1    16.047 310.97  68.687
## + G_TOT         1    14.904 312.12  69.575
## + PEN           1    12.767 314.25  71.226
## + G_TOT2        1    11.106 315.92  72.502
## + TOP           6    20.225 306.80  75.414
## + H.0           1     7.191 319.83  75.482
## + PRE_PAR_REL2  1     4.759 322.26  77.315
## + COS_EXP       1     4.679 322.34  77.376
## + TOT_REM       1     3.641 323.38  78.153
## + TOT_HER       1     3.256 323.77  78.442
## <none>                      327.02  78.863
## + SIN_EXP       1     2.297 324.72  79.158
## + TOT_CAI       1     2.099 324.92  79.305
## + DUR           1     1.147 325.87  80.013
## + TOT_BLO       1     1.103 325.92  80.046
## + TOT_MOU       1     0.778 326.24  80.287
## - TOT_ARB       1    41.140 368.16 105.539
## - PRE_PAR_REL   1    62.595 389.62 119.246
##
## Step:  AIC=58.55
## log(TOT_50) ~ PRE_PAR_REL + TOT_ARB + STA
##
##                Df Sum of Sq    RSS     AIC
## + AGE_PPT       1    14.318 267.14  47.916
## + PRE_PAR_ABS   1    12.163 269.29  49.861
## + PRE_PAR_ABS2  1     9.194 272.26  52.514
## + TOT_HER       1     8.083 273.37  53.500
## + G_TOT         1     7.449 274.01  54.060
## + PEN           1     6.569 274.89  54.836
## + G_TOT2        1     5.594 275.86  55.693
## + TOP           6    15.680 265.78  56.679
```

```
## + SIN_EXP       1     4.306 277.15  56.820
## <none>                    281.46  58.551
## + COS_EXP       1     1.192 280.26  59.524
## + PRE_PAR_REL2  1     1.007 280.45  59.683
## + TOT_REM       1     0.787 280.67  59.873
## + H.0           1     0.757 280.70  59.899
## + TOT_BLO       1     0.347 281.11  60.253
## + DUR           1     0.139 281.32  60.431
## + TOT_CAI       1     0.040 281.42  60.517
## + TOT_MOU       1     0.013 281.44  60.540
## - STA           8    45.565 327.02  78.863
## - TOT_ARB       1    32.277 313.73  82.825
## - PRE_PAR_REL   1    67.732 349.19 108.735
##
## Step:  AIC=47.92
## log(TOT_50) ~ PRE_PAR_REL + TOT_ARB + STA + AGE_PPT
##
##                Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + PRE_PAR_ABS   1     7.126 260.01 43.374
## + TOT_HER       1     6.903 260.24 43.581
## + G_TOT         1     5.729 261.41 44.670
## + PRE_PAR_ABS2  1     5.123 262.01 45.230
## + PEN           1     4.636 262.50 45.680
## + G_TOT2        1     4.390 262.75 45.906
## + SIN_EXP       1     3.765 263.37 46.482
## + COS_EXP       1     2.401 264.74 47.732
## <none>                    267.14 47.916
## + H.0           1     2.012 265.13 48.087
## + TOP           6    12.693 254.45 48.136
## + TOT_BLO       1     0.931 266.21 49.071
## + PRE_PAR_REL2  1     0.297 266.84 49.647
## + DUR           1     0.235 266.90 49.703
## + TOT_REM       1     0.234 266.90 49.704
## + TOT_MOU       1     0.047 267.09 49.874
## + TOT_CAI       1     0.029 267.11 49.890
## - AGE_PPT       1    14.318 281.46 58.551
## - STA           8    32.821 299.96 59.959
## - TOT_ARB       1    43.190 310.33 82.183
## - PRE_PAR_REL   1    53.642 320.78 90.200
##
## Step:  AIC=43.37
## log(TOT_50) ~ PRE_PAR_REL + TOT_ARB + STA + AGE_PPT + PRE_PAR_ABS
##
##                Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + TOT_HER       1     6.177 253.84 39.555
## + PEN           1     4.613 255.40 41.041
## + G_TOT         1     2.662 257.35 42.883
## <none>                    260.01 43.374
## + G_TOT2        1     1.861 258.15 43.635
## + TOP           6    11.852 248.16 44.084
## + SIN_EXP       1     1.305 258.71 44.156
## + PRE_PAR_ABS2  1     1.162 258.85 44.289
## + COS_EXP       1     1.129 258.88 44.321
## + H.0           1     1.087 258.93 44.360
## + TOT_BLO       1     0.976 259.04 44.464
## + TOT_MOU       1     0.365 259.65 45.034
## + DUR           1     0.274 259.74 45.119
## + TOT_CAI       1     0.114 259.90 45.267
## + TOT_REM       1     0.025 259.99 45.351
## + PRE_PAR_REL2  1     0.007 260.00 45.367
## - PRE_PAR_ABS   1     7.126 267.14 47.916
## - AGE_PPT       1     9.280 269.29 49.861
## - STA           8    35.451 295.46 58.305
## - PRE_PAR_REL   1    34.183 294.19 71.264
## - TOT_ARB       1    40.106 300.12 76.088
##
## Step:  AIC=39.56
## log(TOT_50) ~ PRE_PAR_REL + TOT_ARB + STA + AGE_PPT + PRE_PAR_ABS +
##     TOT_HER
##
##                Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + PEN           1     4.330 249.51 37.392
## + G_TOT         1     2.311 251.53 39.342
## <none>                    253.84 39.555
## + COS_EXP       1     1.991 251.84 39.650
## + TOT_MOU       1     1.640 252.20 39.987
## + G_TOT2        1     1.566 252.27 40.058
## + PRE_PAR_ABS2  1     1.466 252.37 40.154
## + TOT_BLO       1     1.241 252.59 40.369
## + SIN_EXP       1     0.906 252.93 40.690
## + DUR           1     0.742 253.09 40.846
## + H.0           1     0.383 253.45 41.190
## + TOT_REM       1     0.363 253.47 41.209
## + PRE_PAR_REL2  1     0.061 253.77 41.497
## + TOT_CAI       1     0.002 253.83 41.554
## + TOP           6    10.107 243.73 41.723
## - TOT_HER       1     6.177 260.01 43.374
## - PRE_PAR_ABS   1     6.400 260.24 43.581
## - AGE_PPT       1     8.612 262.45 45.630
## - STA           8    35.076 288.91 54.878
## - PRE_PAR_REL   1    31.841 285.68 66.153
## - TOT_ARB       1    42.581 296.42 75.084
##
## Step:  AIC=37.39
## log(TOT_50) ~ PRE_PAR_REL + TOT_ARB + STA + AGE_PPT + PRE_PAR_ABS +
##     TOT_HER + PEN
##
##                Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + COS_EXP       1     2.743 246.76 36.717
## + G_TOT         1     2.252 247.25 37.197
## <none>                    249.51 37.392
## + TOT_MOU       1     1.659 247.85 37.777
## + G_TOT2        1     1.548 247.96 37.886
## + PRE_PAR_ABS2  1     1.286 248.22 38.141
## + SIN_EXP       1     1.220 248.29 38.206
## + DUR           1     1.068 248.44 38.353
## + TOT_BLO       1     0.852 248.65 38.564
## + TOT_REM       1     0.461 249.04 38.944
## + TOT_CAI       1     0.222 249.28 39.176
## + H.0           1     0.023 249.48 39.369
## + PRE_PAR_REL2  1     0.014 249.49 39.378
## + TOP           6     9.961 239.54 39.532
## - PEN           1     4.330 253.84 39.555
## - TOT_HER       1     5.893 255.40 41.041
## - PRE_PAR_ABS   1     6.395 255.90 41.516
## - AGE_PPT       1     7.263 256.77 42.336
## - STA           8    38.562 288.07 56.171
## - PRE_PAR_REL   1    31.905 281.41 64.512
## - TOT_ARB       1    40.542 290.05 71.828
##
## Step:  AIC=36.72
## log(TOT_50) ~ PRE_PAR_REL + TOT_ARB + STA + AGE_PPT + PRE_PAR_ABS +
##     TOT_HER + PEN + COS_EXP
##
##                Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + G_TOT         1     2.411 244.35 36.341
## <none>                    246.76 36.717
## + PRE_PAR_ABS2  1     1.965 244.80 36.782
## + G_TOT2        1     1.629 245.13 37.114
## + DUR           1     1.601 245.16 37.141
```

```
## - COS_EXP       1     2.743 249.51 37.392
## + TOT_BLO       1     1.014 245.75 37.720
## + TOT_REM       1     0.847 245.92 37.884
## + TOT_MOU       1     0.588 246.17 38.139
## + SIN_EXP       1     0.565 246.20 38.162
## + TOP           6    10.451 236.31 38.244
## + TOT_CAI       1     0.346 246.42 38.377
## + PRE_PAR_REL2  1     0.017 246.75 38.700
## + H.0           1     0.002 246.76 38.714
## - PRE_PAR_ABS   1     4.613 251.38 39.199
## - PEN           1     5.082 251.84 39.650
## - TOT_HER       1     6.896 253.66 41.387
## - AGE_PPT       1     8.449 255.21 42.864
## - STA           8    37.796 284.56 55.204
## - PRE_PAR_REL   1    26.091 272.85 59.040
## - TOT_ARB       1    41.854 288.62 72.632
##
## Step:  AIC=36.34
## log(TOT_50) ~ PRE_PAR_REL + TOT_ARB + STA + AGE_PPT + PRE_PAR_ABS +
##     TOT_HER + PEN + COS_EXP + G_TOT
##
##                Df Sum of Sq    RSS    AIC
## <none>                      244.35 36.341
## + DUR           1     1.652 242.70 36.700
## - PRE_PAR_ABS   1     2.405 246.76 36.711
## - G_TOT         1     2.411 246.76 36.717
## + PRE_PAR_ABS2  1     1.509 242.84 36.842
## + G_TOT2        1     1.191 243.16 37.158
## - COS_EXP       1     2.901 247.25 37.197
## + TOT_BLO       1     0.650 243.70 37.696
## + TOT_REM       1     0.633 243.72 37.713
## + TOT_MOU       1     0.515 243.84 37.830
## + SIN_EXP       1     0.497 243.86 37.849
## + TOT_CAI       1     0.315 244.04 38.029
## + H.0           1     0.046 244.31 38.295
## + PRE_PAR_REL2  1     0.029 244.32 38.313
## + TOP           6     9.738 234.61 38.499
## - PEN           1     5.041 249.39 39.283
## - TOT_HER       1     6.557 250.91 40.749
## - AGE_PPT       1     8.382 252.73 42.503
## - PRE_PAR_REL   1    16.430 260.78 50.089
## - STA           8    37.318 281.67 54.736
## - TOT_ARB       1    41.456 285.81 72.265
```

```
summary(modAC_AIC_50)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = log(TOT_50) ~ PRE_PAR_REL + TOT_ARB + STA + AGE_PPT +
##     PRE_PAR_ABS + TOT_HER + PEN + COS_EXP + G_TOT, data = Data[-which(Data$TOT_50 ==
##     0), ])
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -2.6894 -0.6373  0.0361  0.7351  2.6197
##
## Coefficients:
##               Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 14.334965   1.437812   9.970  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_REL -9.361879   2.406949  -3.890 0.000132 ***
## TOT_ARB     -2.325725   0.376428  -6.178    3e-09 ***
## STA3        -0.356388   0.674380  -0.528 0.597696
## STA4        -0.407070   0.503044  -0.809 0.419247
## STA5         1.200284   0.489115   2.454 0.014887 *
## STA6         0.317908   0.480097   0.662 0.508538
## STA7        -1.626141   1.148423  -1.416 0.158165
## STA8        -0.113979   0.487260  -0.234 0.815261
## STA9         0.681770   0.478511   1.425 0.155608
## STA10       -0.650682   0.676671  -0.962 0.337287
## AGE_PPT     -0.030926   0.011132  -2.778 0.005928 **
## PRE_PAR_ABS  0.059199   0.039784   1.488 0.138146
## TOT_HER     -0.755322   0.307405  -2.457 0.014763 *
## PEN         -1.479633   0.686741  -2.155 0.032258 *
## COS_EXP     -0.181873   0.111272  -1.634 0.103554
## G_TOT        0.012326   0.008273   1.490 0.137661
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 1.042 on 225 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.4192, Adjusted R-squared:  0.3779
## F-statistic: 10.15 on 16 and 225 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

```
# Calcul des moyennes ajustees afin de conclure sur l'effet des stations
lsmeans(modAC_AIC_50,pairwise~STA,adjust="bonferroni")
```

```
## Warning: Function call in data or subset: ref.grid/lsmeans results may be
## inconsistent

## $lsmeans
##  STA   lsmean        SE  df lower.CL upper.CL
##  1   7.787669 0.4377319 225 6.925091 8.650248
##  3   7.431282 0.5615137 225 6.324783 8.537780
##  4   7.380599 0.1572075 225 7.070812 7.690387
##  5   8.987954 0.3205318 225 8.356326 9.619582
##  6   8.105577 0.3207486 225 7.473522 8.737633
##  7   6.161528 1.0686269 225 4.055731 8.267325
##  8   7.673691 0.2905508 225 7.101142 8.246240
##  9   8.469439 0.2737272 225 7.930042 9.008836
##  10  7.136988 0.5920562 225 5.970304 8.303672
##
## Results are given on the log (not the response) scale.
## Confidence level used: 0.95
##
## $contrasts
##  contrast    estimate        SE  df t.ratio p.value
##  1 - 3     0.35638789 0.6743803 225   0.528  1.0000
##  1 - 4     0.40707006 0.5030441 225   0.809  1.0000
##  1 - 5    -1.20028444 0.4891148 225  -2.454  0.5359
##  1 - 6    -0.31790759 0.4800970 225  -0.662  1.0000
##  1 - 7     1.62614140 1.1484235 225   1.416  1.0000
##  1 - 8     0.11397876 0.4872598 225   0.234  1.0000
##  1 - 9    -0.68176991 0.4785113 225  -1.425  1.0000
##  1 - 10    0.65068154 0.6766714 225   0.962  1.0000
##  3 - 4     0.05068217 0.6310941 225   0.080  1.0000
##  3 - 5    -1.55667233 0.5830230 225  -2.670  0.2930
##  3 - 6    -0.67429547 0.5743805 225  -1.174  1.0000
##  3 - 7     1.26975351 1.1703808 225   1.085  1.0000
##  3 - 8    -0.24240913 0.5745294 225  -0.422  1.0000
##  3 - 9    -1.03815780 0.5676855 225  -1.829  1.0000
##  3 - 10    0.29429365 0.7487136 225   0.393  1.0000
##  4 - 5    -1.60735450 0.4192740 225  -3.834  0.0059
##  4 - 6    -0.72497765 0.4302878 225  -1.685  1.0000
##  4 - 7     1.21907134 1.0990504 225   1.109  1.0000
##  4 - 8    -0.29309130 0.3899365 225  -0.752  1.0000
##  4 - 9    -1.08883997 0.3729631 225  -2.919  0.1391
##  4 - 10    0.24361148 0.6663209 225   0.366  1.0000
##  5 - 6     0.88237685 0.3492225 225   2.527  0.4393
##  5 - 7     2.82642584 1.0885476 225   2.597  0.3614
##  5 - 8     1.31426320 0.3500822 225   3.754  0.0080
##  5 - 9     0.51851453 0.3636515 225   1.426  1.0000
```

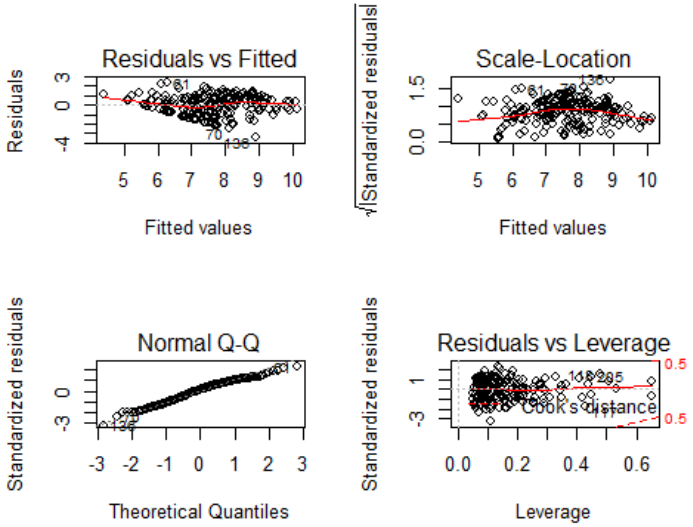
```
##  5 - 10    1.85096598 0.5965237 225   3.103  0.0778
##  6 - 7     1.94404899 1.0844493 225   1.793  1.0000
##  6 - 8     0.43188635 0.3418789 225   1.263  1.0000
##  6 - 9    -0.36386232 0.3445987 225  -1.056  1.0000
##  6 - 10    0.96858913 0.5741203 225   1.687  1.0000
##  7 - 8    -1.51216264 1.0804063 225  -1.400  1.0000
##  7 - 9    -2.30791131 1.0816893 225  -2.134  1.0000
##  7 - 10   -0.97545986 1.1927997 225  -0.818  1.0000
##  8 - 9    -0.79574867 0.3334355 225  -2.387  0.6421
##  8 - 10    0.53670278 0.5963411 225   0.900  1.0000
##  9 - 10    1.33245145 0.5908857 225   2.255  0.9034
##
## Results are given on the log (not the response) scale.
## P value adjustment: bonferroni method for 36 tests
```

```
# Modele d'ANCOVA sur le logarithme de la densite de regeneration de plus de 50 cm
modAC_P50_base <- lm(log(`SOM_>50`) ~ 1, data=Data[-which(Data$`SOM_>50`==0),])
modAC_P50 <- lm(log(`SOM_>50`) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT
_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS
+ AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, data=Data[-which(Data$'SOM_>50'==0),])

summary(modAC_P50)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = log(`SOM_>50`) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP +
##     STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT +
##     G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, data = Data[-which(Data$"SOM_>50" ==
##     0), ])
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -3.3487 -0.7033  0.0761  0.7525  2.3159
##
## Coefficients:
##                        Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)          14.7646675  2.8475599   5.185 6.01e-07 ***
## PEN                  -3.1792428  0.9248621  -3.438 0.000736 ***
## COS_EXP              -0.3216416  0.1459052  -2.204 0.028819 *
## SIN_EXP               0.4695033  0.1499308   3.131 0.002044 **
## TOPCroupe             1.8787034  0.9045839   2.077 0.039300 *
## TOPCuvette           -0.4884581  1.4422622  -0.339 0.735268
## TOPHaut de versant    0.5438871  0.6514396   0.835 0.404932
## TOPMilieu de versant  0.9226936  0.5950961   1.550 0.122861
## TOPPlateau           -1.2600666  1.3517226  -0.932 0.352543
## TOPTalweg            -0.7126322  1.3071089  -0.545 0.586324
## STA3                  0.0881200  0.9591999   0.092 0.926910
## STA4                  1.1628555  1.3509835   0.861 0.390575
## STA5                  0.1283350  0.6920996   0.185 0.853111
## STA6                  0.0113594  0.6876146   0.017 0.986839
## STA7                  0.9051555  1.0430248   0.868 0.386703
## STA8                 -0.0092980  0.6754885  -0.014 0.989034
## STA9                  0.4579793  0.7608651   0.602 0.548021
## STA10                 0.1559289  0.9471580   0.165 0.869430
## G_TOT                 0.0601462  0.0429300   1.401 0.163007
## H.0                   0.0138979  0.0319357   0.435 0.663974
## TOT_MOU              -0.4443857  0.5496485  -0.808 0.419925
## TOT_HER              -2.6820693  0.4165392  -6.439 1.16e-09 ***
## TOT_ARB              -2.4249712  0.4772442  -5.081 9.70e-07 ***
## TOT_BLO              -2.3887914  2.7274012  -0.876 0.382334
## TOT_CAI              -1.7509453  0.7521718  -2.328 0.021084 *
## TOT_REM              -3.5193230  0.7077793  -4.972 1.59e-06 ***
## DUR                  -0.0239504  0.0503834  -0.475 0.635131
## PRE_PAR_REL          -4.0012402 14.6598340  -0.273 0.785228
## PRE_PAR_ABS          -0.2882473  0.1882860  -1.531 0.127631
## AGE_PPT              -0.0232640  0.0142441  -1.633 0.104248
## G_TOT2               -0.0013981  0.0006309  -2.216 0.028006 *
## PRE_PAR_REL2         10.1544780 22.4254727   0.453 0.651256
## PRE_PAR_ABS2          0.0076626  0.0048032   1.595 0.112479
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 1.108 on 172 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.5451, Adjusted R-squared:  0.4605
## F-statistic: 6.441 on 32 and 172 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_P50)
```

```
## Warning: not plotting observations with leverage one:
##   25, 26

## Warning: not plotting observations with leverage one:
##   25, 26
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> l'homoscedasticite s'est amelioree par rapport aux modeles precedents, elle n'est
pas non plus particulierement bonne
# Selection du modele le plus parcimonieux selon l'AIC
modAC_AIC_P50 <- step(object=modAC_P50_base,
                      scope=list(upper=modAC_P50),
                      direction="both")
```

```
## Start:  AIC=169.44
## log(`SOM_>50`) ~ 1
##
##                Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + PEN           1    77.197 386.77 134.14
## + TOP           6    64.362 399.60 150.83
## + AGE_PPT       1    43.355 420.61 151.33
## + STA           8    70.316 393.65 151.75
```

```
## + TOT_CAI       1    39.936 424.03 152.99
## + TOT_ARB       1    36.891 427.07 154.46
## + SIN_EXP       1    31.986 431.98 156.80
## + H.0           1    27.350 436.61 158.99
## + TOT_HER       1    16.392 447.57 164.07
## + PRE_PAR_ABS2  1    14.956 449.01 164.73
## + COS_EXP       1    12.705 451.26 165.75
## + PRE_PAR_ABS   1    10.573 453.39 166.72
## + DUR           1    10.076 453.89 166.94
## + TOT_REM       1     9.706 454.26 167.11
## + TOT_BLO       1     8.025 455.94 167.87
## <none>                     463.96 169.44
## + G_TOT         1     1.299 462.66 170.87
## + G_TOT2        1     0.609 463.35 171.17
## + TOT_MOU       1     0.558 463.41 171.20
## + PRE_PAR_REL2  1     0.225 463.74 171.34
## + PRE_PAR_REL   1     0.014 463.95 171.44
##
## Step:  AIC=134.14
## log(`SOM_>50`) ~ PEN
##
##                Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + TOT_HER       1    37.589 349.18 115.18
## + SIN_EXP       1    19.059 367.71 125.78
## + TOT_ARB       1    14.631 372.13 128.23
## + TOT_REM       1    10.910 375.86 130.27
## + TOT_CAI       1     5.632 381.13 133.13
## + COS_EXP       1     5.022 381.74 133.46
## + DUR           1     4.720 382.05 133.62
## <none>                     386.77 134.14
## + H.0           1     3.436 383.33 134.31
## + AGE_PPT       1     3.215 383.55 134.42
## + G_TOT2        1     2.268 384.50 134.93
## + G_TOT         1     1.717 385.05 135.22
## + PRE_PAR_ABS2  1     1.215 385.55 135.49
## + TOT_BLO       1     0.743 386.02 135.74
## + PRE_PAR_REL   1     0.673 386.09 135.78
## + TOT_MOU       1     0.594 386.17 135.82
## + PRE_PAR_REL2  1     0.273 386.49 135.99
## + PRE_PAR_ABS   1     0.093 386.67 136.09
## + TOP           6    11.504 375.26 139.95
## + STA           8     8.299 378.47 145.69
## - PEN           1    77.197 463.96 169.44
##
## Step:  AIC=115.18
## log(`SOM_>50`) ~ PEN + TOT_HER
##
##                Df Sum of Sq    RSS    AIC
## + SIN_EXP       1    22.412 326.76 103.58
## + TOT_ARB       1    20.011 329.17 105.08
## + TOT_REM       1    16.719 332.46 107.12
## + TOT_CAI       1    11.217 337.96 110.48
## + COS_EXP       1     7.833 341.34 112.53
## + DUR           1     4.653 344.52 114.43
## <none>                     349.18 115.18
## + G_TOT2        1     3.384 345.79 115.18
## + G_TOT         1     2.713 346.46 115.58
## + AGE_PPT       1     2.522 346.65 115.69
## + PRE_PAR_ABS2  1     2.191 346.99 115.89
## + H.0           1     1.543 347.63 116.27
## + TOT_MOU       1     1.356 347.82 116.38
## + TOT_BLO       1     1.087 348.09 116.54
## + PRE_PAR_ABS   1     0.412 348.76 116.93
## + PRE_PAR_REL   1     0.206 348.97 117.06
## + PRE_PAR_REL2  1     0.017 349.16 117.17
## + TOP           6    10.202 338.97 121.10
## + STA           8     8.171 341.01 126.32
## - TOT_HER       1    37.589 386.77 134.14
## - PEN           1    98.394 447.57 164.07
##
## Step:  AIC=103.58
## log(`SOM_>50`) ~ PEN + TOT_HER + SIN_EXP
##
##                Df Sum of Sq    RSS     AIC
## + TOT_ARB       1    20.718 306.05  92.149
## + TOT_REM       1    12.791 313.97  97.391
## + TOT_CAI       1    10.168 316.60  99.097
## + G_TOT2        1     6.226 320.54 101.634
## + G_TOT         1     4.546 322.22 102.705
## + COS_EXP       1     4.451 322.31 102.766
## <none>                     326.76 103.577
## + AGE_PPT       1     2.195 324.57 104.196
## + TOT_MOU       1     0.866 325.90 105.034
## + PRE_PAR_ABS2  1     0.786 325.98 105.084
## + TOT_BLO       1     0.710 326.05 105.131
## + H.0           1     0.165 326.60 105.474
## + PRE_PAR_REL   1     0.077 326.69 105.529
## + PRE_PAR_ABS   1     0.035 326.73 105.555
## + DUR           1     0.030 326.73 105.558
## + PRE_PAR_REL2  1     0.005 326.76 105.574
## + TOP           6    15.268 311.50 105.768
## + STA           8    10.328 316.44 112.993
## - SIN_EXP       1    22.412 349.18 115.177
## - TOT_HER       1    40.942 367.71 125.776
## - PEN           1    84.258 411.02 148.606
##
## Step:  AIC=92.15
## log(`SOM_>50`) ~ PEN + TOT_HER + SIN_EXP + TOT_ARB
##
##                Df Sum of Sq    RSS     AIC
## + TOT_REM       1    23.328 282.72  77.896
## + TOT_CAI       1     9.152 296.90  87.926
## + G_TOT2        1     8.203 297.84  88.580
## + G_TOT         1     6.313 299.73  89.877
## + COS_EXP       1     4.330 301.72  91.228
## + AGE_PPT       1     3.894 302.15  91.524
## <none>                     306.05  92.149
## + TOP           6    16.971 289.08  92.454
## + H.0           1     0.422 305.63  93.867
## + PRE_PAR_ABS2  1     0.375 305.67  93.898
## + PRE_PAR_REL   1     0.266 305.78  93.971
## + PRE_PAR_REL2  1     0.109 305.94  94.076
## + TOT_BLO       1     0.030 306.02  94.129
## + DUR           1     0.004 306.04  94.147
## + TOT_MOU       1     0.003 306.04  94.148
## + PRE_PAR_ABS   1     0.001 306.05  94.149
## + STA           8     7.107 298.94 103.333
## - TOT_ARB       1    20.718 326.76 103.577
## - SIN_EXP       1    23.118 329.17 105.078
## - TOT_HER       1    46.681 352.73 119.251
## - PEN           1    60.375 366.42 127.059
##
## Step:  AIC=77.9
## log(`SOM_>50`) ~ PEN + TOT_HER + SIN_EXP + TOT_ARB + TOT_REM
##
##                Df Sum of Sq    RSS     AIC
## + TOT_CAI       1    15.003 267.72  68.718
## + G_TOT2        1    12.982 269.74  70.260
## + G_TOT         1    10.175 272.54  72.382
## + COS_EXP       1     8.966 273.75  73.289
```

```
## + TOP           6    16.194 266.53  77.804
## <none>                  282.72  77.896
## + TOT_MOU       1     2.144 280.58  78.336
## + AGE_PPT       1     1.270 281.45  78.973
## + PRE_PAR_ABS2  1     0.359 282.36  79.636
## + H.0           1     0.055 282.66  79.856
## + PRE_PAR_REL2  1     0.051 282.67  79.860
## + PRE_PAR_REL   1     0.014 282.71  79.886
## + TOT_BLO       1     0.006 282.71  79.892
## + DUR           1     0.005 282.71  79.892
## + PRE_PAR_ABS   1     0.005 282.71  79.893
## + STA           8    10.954 271.77  85.795
## - SIN_EXP       1    17.930 300.65  88.501
## - TOT_REM       1    23.328 306.05  92.149
## - TOT_ARB       1    31.254 313.97  97.391
## - TOT_HER       1    55.669 338.39 112.743
## - PEN           1    60.490 343.21 115.643
##
## Step:  AIC=68.72
## log(`SOM_>50`) ~ PEN + TOT_HER + SIN_EXP + TOT_ARB + TOT_REM +
##     TOT_CAI
##
##                Df Sum of Sq    RSS     AIC
## + G_TOT2        1    13.923 253.79  59.770
## + G_TOT         1    10.925 256.79  62.177
## + COS_EXP       1     8.506 259.21  64.099
## <none>                  267.72  68.718
## + TOT_MOU       1     1.563 266.15  69.518
## + AGE_PPT       1     0.679 267.04  70.198
## + TOT_BLO       1     0.639 267.08  70.228
## + PRE_PAR_ABS2  1     0.440 267.28  70.381
## + PRE_PAR_REL2  1     0.188 267.53  70.575
## + DUR           1     0.154 267.56  70.600
## + PRE_PAR_REL   1     0.100 267.62  70.642
## + H.0           1     0.051 267.67  70.679
## + PRE_PAR_ABS   1     0.033 267.68  70.693
## + TOP           6    10.138 257.58  72.805
## - TOT_CAI       1    15.003 282.72  77.896
## + STA           8     8.365 259.35  78.211
## - SIN_EXP       1    16.156 283.87  78.731
## - PEN           1    28.289 296.01  87.310
## - TOT_REM       1    29.179 296.90  87.926
## - TOT_ARB       1    31.464 299.18  89.498
## - TOT_HER       1    64.182 331.90 110.773
##
## Step:  AIC=59.77
## log(`SOM_>50`) ~ PEN + TOT_HER + SIN_EXP + TOT_ARB + TOT_REM +
##     TOT_CAI + G_TOT2
##
##                Df Sum of Sq    RSS     AIC
## + COS_EXP       1    10.975 242.82  52.708
## <none>                  253.79  59.770
## + G_TOT         1     2.431 251.36  59.797
## + TOT_MOU       1     2.216 251.58  59.972
## + AGE_PPT       1     2.001 251.79  60.148
## + TOT_BLO       1     0.762 253.03  61.154
## + PRE_PAR_ABS2  1     0.634 253.16  61.257
## + H.0           1     0.345 253.45  61.492
## + PRE_PAR_REL   1     0.160 253.63  61.641
## + PRE_PAR_ABS   1     0.057 253.74  61.724
## + PRE_PAR_REL2  1     0.044 253.75  61.735
## + DUR           1     0.004 253.79  61.767
## + TOP           6     9.295 244.50  64.122
## + STA           8     9.118 244.68  68.270
## - G_TOT2        1    13.923 267.72  68.718
## - TOT_CAI       1    15.943 269.74  70.260
## - SIN_EXP       1    19.641 273.43  73.051
## - TOT_REM       1    34.761 288.55  84.084
## - PEN           1    35.063 288.86  84.299
## - TOT_ARB       1    35.938 289.73  84.919
## - TOT_HER       1    69.409 323.20 107.330
##
## Step:  AIC=52.71
## log(`SOM_>50`) ~ PEN + TOT_HER + SIN_EXP + TOT_ARB + TOT_REM +
##     TOT_CAI + G_TOT2 + COS_EXP
##
##                Df Sum of Sq    RSS     AIC
## + AGE_PPT       1     3.025 239.79  52.138
## + G_TOT         1     2.522 240.30  52.567
## <none>                  242.82  52.708
## + TOP           6    13.324 229.49  53.138
## + TOT_BLO       1     1.304 241.51  53.604
## + PRE_PAR_ABS2  1     0.250 242.57  54.497
## + PRE_PAR_REL   1     0.151 242.67  54.581
## + TOT_MOU       1     0.089 242.73  54.632
## + PRE_PAR_REL2  1     0.051 242.77  54.665
## + H.0           1     0.013 242.81  54.697
## + DUR           1     0.005 242.81  54.704
## + PRE_PAR_ABS   1     0.001 242.82  54.707
## - COS_EXP       1    10.975 253.79  59.770
## + STA           8     7.366 235.45  62.393
## - SIN_EXP       1    14.821 257.64  62.853
## - TOT_CAI       1    15.492 258.31  63.386
## - G_TOT2        1    16.391 259.21  64.099
## - PEN           1    32.264 275.08  76.283
## - TOT_ARB       1    37.837 280.66  80.395
## - TOT_REM       1    41.105 283.92  82.768
## - TOT_HER       1    74.794 317.61 105.754
##
## Step:  AIC=52.14
## log(`SOM_>50`) ~ PEN + TOT_HER + SIN_EXP + TOT_ARB + TOT_REM +
##     TOT_CAI + G_TOT2 + COS_EXP + AGE_PPT
##
##                Df Sum of Sq    RSS     AIC
## + TOP           6    13.776 226.02  52.009
## <none>                  239.79  52.138
## - AGE_PPT       1     3.025 242.82  52.708
## + G_TOT         1     1.567 238.23  52.794
## + TOT_BLO       1     1.386 238.41  52.950
## + PRE_PAR_ABS2  1     0.266 239.53  53.911
## + H.0           1     0.118 239.68  54.038
## + TOT_MOU       1     0.102 239.69  54.051
## + DUR           1     0.087 239.71  54.064
## + PRE_PAR_REL2  1     0.025 239.77  54.117
## + PRE_PAR_ABS   1     0.008 239.79  54.132
## + PRE_PAR_REL   1     0.000 239.79  54.138
## - COS_EXP       1    11.999 251.79  60.148
## + STA           8     7.796 232.00  61.363
## - TOT_CAI       1    14.372 254.17  62.070
## - SIN_EXP       1    14.907 254.70  62.502
## - PEN           1    16.040 255.83  63.411
## - G_TOT2        1    18.302 258.10  65.216
## - TOT_REM       1    36.998 276.79  79.553
## - TOT_ARB       1    39.365 279.16  81.299
## - TOT_HER       1    73.541 313.33 104.974
##
## Step:  AIC=52.01
## log(`SOM_>50`) ~ PEN + TOT_HER + SIN_EXP + TOT_ARB + TOT_REM +
##     TOT_CAI + G_TOT2 + COS_EXP + AGE_PPT + TOP
##
```

```
##                Df Sum of Sq    RSS    AIC
## <none>                      226.02 52.009
## - TOP           6    13.776 239.79 52.138
## + G_TOT         1     1.727 224.29 52.436
## - AGE_PPT       1     3.476 229.50 53.138
## + TOT_BLO       1     0.915 225.10 53.178
## + H.0           1     0.617 225.40 53.449
## + TOT_MOU       1     0.548 225.47 53.511
## + PRE_PAR_ABS2  1     0.353 225.66 53.688
## + PRE_PAR_REL2  1     0.067 225.95 53.948
## + DUR           1     0.063 225.96 53.952
## + PRE_PAR_ABS   1     0.045 225.97 53.969
## + PRE_PAR_REL   1     0.003 226.01 54.006
## - TOT_CAI       1     7.669 233.69 56.850
## + STA           8     4.549 221.47 63.841
## - COS_EXP       1    16.397 242.41 64.367
## - G_TOT2        1    17.781 243.80 65.533
## - SIN_EXP       1    21.523 247.54 68.656
## - PEN           1    22.091 248.11 69.126
## - TOT_REM       1    35.793 261.81 80.146
## - TOT_ARB       1    40.794 266.81 84.025
## - TOT_HER       1    56.915 282.93 96.051
```

```
summary(modAC_AIC_P50)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = log(`SOM_>50`) ~ PEN + TOT_HER + SIN_EXP + TOT_ARB +
##     TOT_REM + TOT_CAI + G_TOT2 + COS_EXP + AGE_PPT + TOP, data = Data[-which(Data$`SO
M_>50` ==
##     0), ])
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -2.9657 -0.7372  0.1558  0.7993  2.0955
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)            12.988974   1.480990   8.770 1.03e-15 ***
## PEN                    -3.596953   0.836894  -4.298 2.76e-05 ***
## TOT_HER                -2.504308   0.363006  -6.899 7.68e-11 ***
## SIN_EXP                 0.505423   0.119136   4.242 3.46e-05 ***
## TOT_ARB                -2.564985   0.439163  -5.841 2.23e-08 ***
## TOT_REM                -3.446958   0.630055  -5.471 1.41e-07 ***
## TOT_CAI                -1.537571   0.607160  -2.532 0.012142 *
## G_TOT2                 -0.000505   0.000131  -3.856 0.000158 ***
## COS_EXP                -0.444908   0.120151  -3.703 0.000280 ***
## AGE_PPT                -0.017915   0.010507  -1.705 0.089836 .
## TOPCroupe               1.606113   0.834585   1.924 0.055801 .
## TOPCuvette              0.317130   0.760920   0.417 0.677319
## TOPHaut de versant      0.669157   0.548176   1.221 0.223721
## TOPMilieu de versant    0.685993   0.552199   1.242 0.215668
## TOPPlateau             -0.435295   0.621084  -0.701 0.484250
## TOPTalweg              -0.509687   1.232213  -0.414 0.679610
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 1.094 on 189 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.5129, Adjusted R-squared:  0.4742
## F-statistic: 13.26 on 15 and 189 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

```
# Rajout de la surface terriere (terme non au carre) pour analyser l'effet de seuil
modAC_AIC_P50 <- lm(formula = log(`SOM_>50`) ~ PEN + TOT_HER + SIN_EXP + TOT_ARB + TOT_R
EM + TOT_CAI + G_TOT + G_TOT2 + COS_EXP,
                    data = Data[-which(Data$`SOM_>50` == 0), ])
summary(modAC_AIC_P50)
```

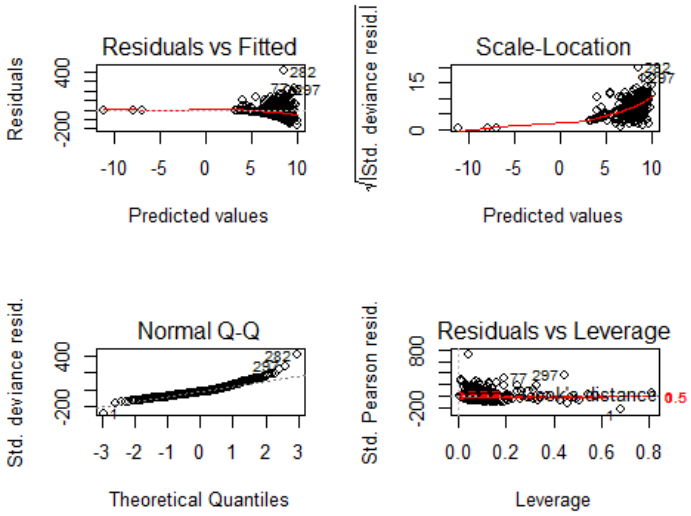
```
##
## Call:
## lm(formula = log(`SOM_>50`) ~ PEN + TOT_HER + SIN_EXP + TOT_ARB +
##     TOT_REM + TOT_CAI + G_TOT + G_TOT2 + COS_EXP, data = Data[-which(Data$`SOM_>50` =
=
##     0), ])
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -2.8814 -0.7558  0.1179  0.8622  2.3841
##
## Coefficients:
##               Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  9.5863104  0.6798736  14.100  < 2e-16 ***
## PEN         -1.9554213  0.3980884  -4.912 1.90e-06 ***
## TOT_HER     -2.7416600  0.3514569  -7.801 3.64e-13 ***
## SIN_EXP      0.4172165  0.1149584   3.629 0.000363 ***
## TOT_ARB     -2.3193914  0.4197580  -5.526 1.04e-07 ***
## TOT_REM     -3.6431933  0.6254190  -5.825 2.32e-08 ***
## TOT_CAI     -2.0692261  0.5811089  -3.561 0.000465 ***
## G_TOT        0.0565372  0.0395173   1.431 0.154118
## G_TOT2      -0.0013010  0.0005942  -2.190 0.029739 *
## COS_EXP     -0.3491623  0.1165163  -2.997 0.003084 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 1.11 on 195 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.4821, Adjusted R-squared:  0.4582
## F-statistic: 20.17 on 9 and 195 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

```
##############################
# REGRESSIONS POISSONIENNES #
##############################

modPO_10_base <- glm(TOT_10 ~ 1, data=Data, family=poisson(link="log"))
modPO_10 <- glm(TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + T
OT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_P
PT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                data=Data,
                family=poisson(link="log"))
summary(modPO_10)
```

```
##
## Call:
## glm(formula = TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, family = poisson(link = "log"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -156.45   -57.49   -24.20    18.63   402.37
##
## Coefficients:
##                         Estimate Std. Error  z value Pr(>|z|)
## (Intercept)           1.139e+01  3.204e-02  355.610  < 2e-16 ***
## PEN                  -9.728e-01  1.145e-02  -84.976  < 2e-16 ***
## COS_EXP               2.379e-01  1.420e-03  167.589  < 2e-16 ***
## SIN_EXP               2.901e-01  1.550e-03  187.214  < 2e-16 ***
## TOPCroupe             3.418e-01  1.523e-02   22.434  < 2e-16 ***
## TOPCuvette           -6.115e-01  1.911e-02  -32.003  < 2e-16 ***
```

```
## TOPHaut de versant    1.032e+00  1.134e-02   90.976  < 2e-16 ***
## TOPMilieu de versant  8.941e-01  1.099e-02   81.324  < 2e-16 ***
## TOPPlateau            7.527e-01  1.618e-02   46.506  < 2e-16 ***
## TOPTalweg            -1.360e+01  1.476e+01   -0.922    0.357
## STA3                 -3.063e+00  2.274e-02 -134.671  < 2e-16 ***
## STA4                 -7.644e-01  1.292e-02  -59.179  < 2e-16 ***
## STA5                 -1.059e-01  7.317e-03  -14.474  < 2e-16 ***
## STA6                 -3.230e-01  6.826e-03  -47.313  < 2e-16 ***
## STA7                 -2.908e+00  4.450e-02  -65.351  < 2e-16 ***
## STA8                 -8.895e-01  7.487e-03 -118.800  < 2e-16 ***
## STA9                  1.240e-01  8.019e-03   15.464  < 2e-16 ***
## STA10                 1.303e+00  8.437e-03  154.410  < 2e-16 ***
## G_TOT                 3.786e-02  4.866e-04   77.812  < 2e-16 ***
## H.0                   8.884e-03  3.654e-04   24.314  < 2e-16 ***
## TOT_MOU               5.718e-01  5.759e-03   99.289  < 2e-16 ***
## TOT_HER               3.461e-02  4.275e-03    8.096 5.69e-16 ***
## TOT_ARB              -2.702e+00  5.698e-03 -474.191  < 2e-16 ***
## TOT_BLO              -5.330e+00  3.212e-02 -165.961  < 2e-16 ***
## TOT_CAI               8.741e-02  5.831e-03   14.990  < 2e-16 ***
## TOT_REM              -3.991e-01  7.084e-03  -56.333  < 2e-16 ***
## DUR                   2.612e-02  4.218e-04   61.933  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_REL          -4.171e+01  1.493e-01 -279.380  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_ABS           7.597e-01  2.611e-03  290.920  < 2e-16 ***
## AGE_PPT              -1.925e-02  1.685e-04 -114.226  < 2e-16 ***
## G_TOT2               -2.799e-04  6.624e-06  -42.249  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_REL2          6.038e+01  2.225e-01  271.302  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_ABS2         -2.411e-02  7.272e-05 -331.528  < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 2911666  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance: 1642137  on 298  degrees of freedom
## AIC: 1644632
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

```r
par(mfcol=c(2,2))
plot(modPO_10)
```

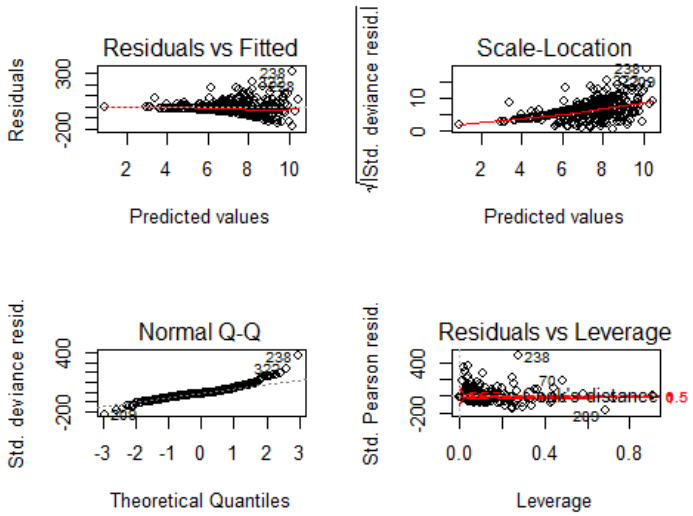



```r
par(mfcol=c(1,1))
# ==> seule la normalite est bonne

modPO_50_base <- glm(TOT_50 ~ 1, data=Data, family=poisson(link="log"))
modPO_50 <- glm(TOT_50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + T
OT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_P
PT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                data=Data,
                family=poisson(link="log"))
summary(modPO_50)
```

```
##
## Call:
## glm(formula = TOT_50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, family = poisson(link = "log"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -169.06   -41.08   -15.41    15.49   311.59
##
## Coefficients:
##                       Estimate Std. Error  z value Pr(>|z|)
## (Intercept)           1.367e+01  4.473e-02  305.523  < 2e-16 ***
## PEN                  -2.535e+00  1.336e-02 -189.815  < 2e-16 ***
## COS_EXP              -3.120e-01  1.757e-03 -177.622  < 2e-16 ***
## SIN_EXP               4.493e-01  1.766e-03  254.398  < 2e-16 ***
## TOPCroupe             2.660e+00  1.703e-02  156.240  < 2e-16 ***
## TOPCuvette           -8.953e-01  1.863e-02  -48.051  < 2e-16 ***
## TOPHaut de versant    7.178e-01  1.425e-02   50.378  < 2e-16 ***
## TOPMilieu de versant  4.598e-01  1.420e-02   32.377  < 2e-16 ***
## TOPPlateau           -1.284e-01  1.600e-02   -8.024 1.03e-15 ***
## TOPTalweg            -2.340e+00  2.884e-02  -81.139  < 2e-16 ***
## STA3                 -5.058e-01  2.575e-02  -19.645  < 2e-16 ***
## STA4                  3.266e-01  1.527e-02   21.396  < 2e-16 ***
## STA5                  2.330e+00  1.404e-02  165.904  < 2e-16 ***
```

```
## STA6                 4.954e-01  1.419e-02   34.908  < 2e-16 ***
## STA7                -2.392e+00  6.383e-02  -37.483  < 2e-16 ***
## STA8                -1.393e-02  1.382e-02   -1.008 0.313250
## STA9                 6.595e-01  1.499e-02   43.991  < 2e-16 ***
## STA10               -1.111e+00  2.567e-02  -43.255  < 2e-16 ***
## G_TOT                8.158e-02  5.807e-04  140.481  < 2e-16 ***
## H.0                 -3.861e-02  4.106e-04  -94.035  < 2e-16 ***
## TOT_MOU             -2.648e-01  8.051e-03  -32.887  < 2e-16 ***
## TOT_HER             -4.686e-01  4.816e-03  -97.309  < 2e-16 ***
## TOT_ARB             -3.324e+00  6.865e-03 -484.138  < 2e-16 ***
## TOT_BLO             -5.088e+00  4.079e-02 -124.744  < 2e-16 ***
## TOT_CAI              2.971e-01  8.514e-03   34.899  < 2e-16 ***
## TOT_REM             -4.573e-01  8.039e-03  -56.888  < 2e-16 ***
## DUR                  1.116e-01  5.858e-04  190.490  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_REL          7.260e-01  1.895e-01    3.832 0.000127 ***
## PRE_PAR_ABS         -1.221e-01  2.057e-03  -59.372  < 2e-16 ***
## AGE_PPT             -2.971e-02  2.140e-04 -138.802  < 2e-16 ***
## G_TOT2              -1.172e-03  8.006e-06 -146.394  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_REL2        -1.477e+01  3.227e-01  -45.778  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_ABS2         5.225e-03  5.677e-05   92.044  < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 2733377  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance: 1120218  on 298  degrees of freedom
## AIC: 1122592
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

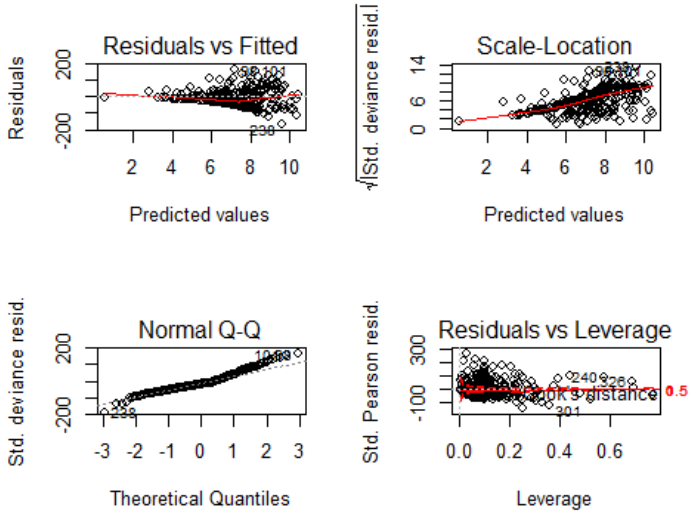
```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modPO_50)
```



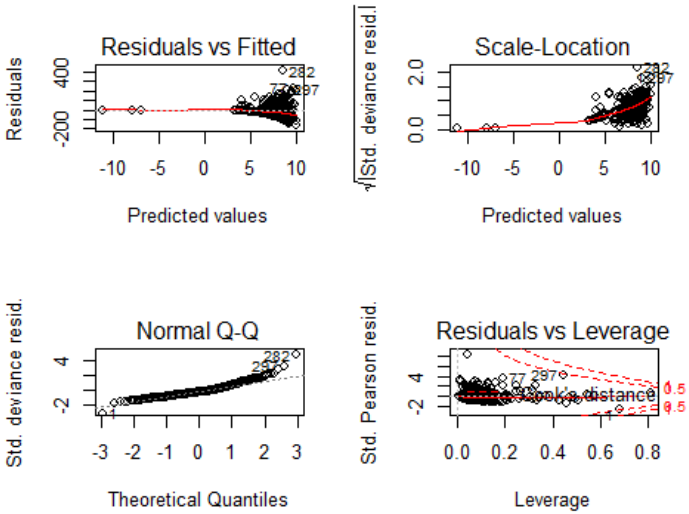

```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> seule la normatite est bonne

modPO_P50_base <- glm(`SOM_>50` ~ 1, data=Data, family=poisson(link="log"))
```

```
modPO_P50 <- glm(`SOM_>50` ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU
+ TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AG
E_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                 data=Data,
                 family=poisson(link="log"))
summary(modPO_P50)

##
## Call:
## glm(formula = `SOM_>50` ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, family = poisson(link = "log"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -164.45   -40.50   -18.00    15.57   161.20
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error  z value Pr(>|z|)
## (Intercept)           1.624e+01  4.674e-02  347.456  < 2e-16 ***
## PEN                  -3.708e+00  1.475e-02 -251.399  < 2e-16 ***
## COS_EXP              -3.015e-01  1.909e-03 -157.888  < 2e-16 ***
## SIN_EXP               4.458e-01  2.119e-03  210.352  < 2e-16 ***
## TOPCroupe             2.883e+00  2.436e-02  118.349  < 2e-16 ***
## TOPCuvette           -2.493e+00  4.958e-02  -50.274  < 2e-16 ***
## TOPHaut de versant    8.138e-01  2.206e-02   36.891  < 2e-16 ***
## TOPMilieu de versant  1.473e+00  2.142e-02   68.768  < 2e-16 ***
## TOPPlateau           -2.852e+00  4.908e-02  -58.105  < 2e-16 ***
## TOPTalweg            -1.376e+00  6.522e-02  -21.106  < 2e-16 ***
## STA3                  6.213e-01  1.928e-02   32.218  < 2e-16 ***
## STA4                  4.173e+00  4.548e-02   91.755  < 2e-16 ***
## STA5                  1.795e+00  1.350e-02  132.945  < 2e-16 ***
## STA6                  1.094e+00  1.327e-02   82.484  < 2e-16 ***
## STA7                  1.640e+00  4.032e-02   40.663  < 2e-16 ***
## STA8                  1.448e+00  1.235e-02  117.282  < 2e-16 ***
## STA9                  1.478e+00  1.435e-02  102.970  < 2e-16 ***
## STA10                -1.101e-01  3.887e-02   -2.834   0.0046 **
## G_TOT                 2.956e-02  5.691e-04   51.930  < 2e-16 ***
## H.0                   3.957e-02  4.011e-04   98.658  < 2e-16 ***
## TOT_MOU               3.509e-01  7.618e-03   46.061  < 2e-16 ***
## TOT_HER              -2.337e+00  5.169e-03 -452.151  < 2e-16 ***
## TOT_ARB              -3.085e+00  7.260e-03 -424.908  < 2e-16 ***
## TOT_BLO              -5.489e+00  5.051e-02 -108.660  < 2e-16 ***
## TOT_CAI              -2.386e+00  1.570e-02 -151.914  < 2e-16 ***
## TOT_REM              -2.740e+00  1.077e-02 -254.343  < 2e-16 ***
## DUR                  -7.451e-02  8.236e-04  -90.471  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_REL          -1.354e+00  1.751e-01   -7.731 1.06e-14 ***
## PRE_PAR_ABS          -5.880e-01  2.451e-03 -239.930  < 2e-16 ***
## AGE_PPT              -3.378e-02  2.351e-04 -143.707  < 2e-16 ***
## G_TOT2               -7.369e-04  8.530e-06  -86.390  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_REL2          1.097e+01  2.673e-01   41.046  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_ABS2          1.472e-02  6.071e-05  242.405  < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 2529003  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance:  810281  on 298  degrees of freedom
## AIC: 812278
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

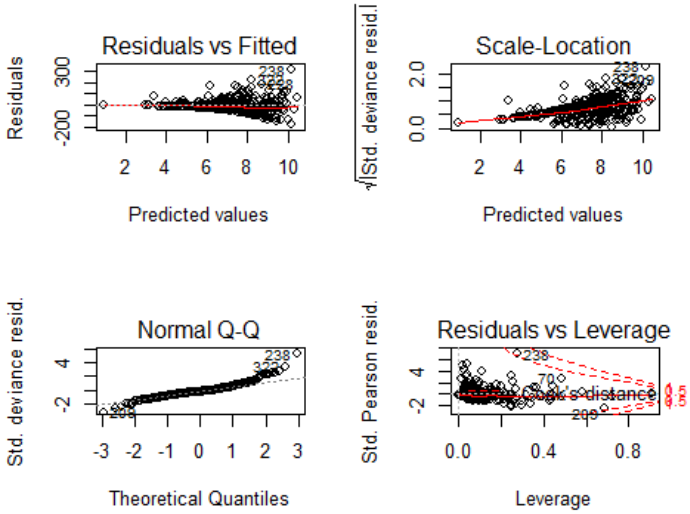
```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modPO_P50)
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> seule la normalite est bonne

###################################
# REGRESSIONS QUASI-POISSONIENNES #
###################################

# De facon generale, tres bonne amelioration des valeurs d'Eigen mais les autres hypothe
ses sont mediocres

mod_quasip_TOT10 <- glm(TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT
_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS
+ AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                        data=Data,
                        family=quasipoisson)
summary(mod_quasip_TOT10)

##
## Call:
## glm(formula = TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, family = quasipoisson, data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -156.45   -57.49   -24.20    18.63   402.37
##
## Coefficients:
##                       Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)          1.139e+01  2.753e+00   4.138 4.56e-05 ***
## PEN                 -9.728e-01  9.838e-01  -0.989 0.323541
## COS_EXP              2.379e-01  1.220e-01   1.950 0.052090 .
## SIN_EXP              2.901e-01  1.332e-01   2.179 0.030147 *
## TOPCroupe            3.418e-01  1.309e+00   0.261 0.794229
## TOPCuvette          -6.115e-01  1.642e+00  -0.372 0.709853
## TOPHaut de versant   1.032e+00  9.746e-01   1.059 0.290608
## TOPMilieu de versant 8.941e-01  9.448e-01   0.946 0.344737
## TOPPlateau           7.527e-01  1.391e+00   0.541 0.588791
## TOPTalweg           -1.360e+01  1.268e+03  -0.011 0.991449
## STA3                -3.063e+00  1.954e+00  -1.567 0.118143
## STA4                -7.644e-01  1.110e+00  -0.689 0.491579
## STA5                -1.059e-01  6.287e-01  -0.168 0.866357
## STA6                -3.230e-01  5.866e-01  -0.551 0.582337
## STA7                -2.908e+00  3.824e+00  -0.760 0.447572
## STA8                -8.895e-01  6.434e-01  -1.382 0.167869
## STA9                 1.240e-01  6.891e-01   0.180 0.857309
## STA10                1.303e+00  7.250e-01   1.797 0.073375 .
## G_TOT                3.786e-02  4.182e-02   0.905 0.365940
## H.0                  8.884e-03  3.140e-02   0.283 0.777420
## TOT_MOU              5.718e-01  4.949e-01   1.155 0.248852
## TOT_HER              3.461e-02  3.674e-01   0.094 0.925007
## TOT_ARB             -2.702e+00  4.896e-01  -5.518 7.45e-08 ***
## TOT_BLO             -5.330e+00  2.760e+00  -1.931 0.054399 .
## TOT_CAI              8.741e-02  5.011e-01   0.174 0.861644
## TOT_REM             -3.991e-01  6.088e-01  -0.656 0.512630
## DUR                  2.612e-02  3.625e-02   0.721 0.471660
## PRE_PAR_REL         -4.171e+01  1.283e+01  -3.251 0.001281 **
## PRE_PAR_ABS          7.597e-01  2.244e-01   3.385 0.000806 ***
## AGE_PPT             -1.925e-02  1.448e-02  -1.329 0.184789
## G_TOT2              -2.799e-04  5.692e-04  -0.492 0.623336
## PRE_PAR_REL2         6.038e+01  1.912e+01   3.157 0.001757 **
## PRE_PAR_ABS2        -2.411e-02  6.249e-03  -3.858 0.000140 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 7384.701)
##
##     Null deviance: 2911666  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance: 1642137  on 298  degrees of freedom
## AIC: NA
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 6

par(mfcol=c(2,2))
plot(mod_quasip_TOT10)
```

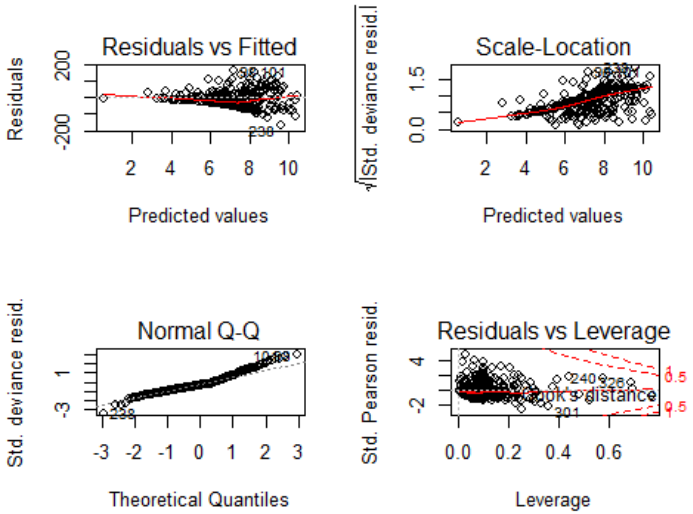



```
par(mfcol=c(1,1))

mod_quasip_TOT50 <- glm(TOT_50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT
_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS
+ AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                        data=Data,
                        family=quasipoisson)
summary(mod_quasip_TOT50)

##
## Call:
## glm(formula = TOT_50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, family = quasipoisson, data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -169.06   -41.08   -15.41    15.49   311.59
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)           1.367e+01  3.088e+00   4.427 1.34e-05 ***
## PEN                  -2.535e+00  9.219e-01  -2.750 0.006321 **
## COS_EXP              -3.120e-01  1.212e-01  -2.573 0.010551 *
## SIN_EXP               4.493e-01  1.219e-01   3.686 0.000271 ***
## TOPCroupe             2.660e+00  1.175e+00   2.264 0.024312 *
## TOPCuvette           -8.953e-01  1.286e+00  -0.696 0.486856
## TOPHaut de versant    7.178e-01  9.835e-01   0.730 0.466022
## TOPMilieu de versant  4.598e-01  9.801e-01   0.469 0.639348
## TOPPlateau           -1.284e-01  1.104e+00  -0.116 0.907533
## TOPTalweg            -2.340e+00  1.991e+00  -1.176 0.240696
## STA3                 -5.058e-01  1.777e+00  -0.285 0.776132
## STA4                  3.266e-01  1.054e+00   0.310 0.756781
## STA5                  2.330e+00  9.691e-01   2.404 0.016840 *
## STA6                  4.954e-01  9.795e-01   0.506 0.613391
## STA7                 -2.392e+00  4.405e+00  -0.543 0.587482
## STA8                 -1.393e-02  9.537e-01  -0.015 0.988353
## STA9                  6.595e-01  1.035e+00   0.637 0.524378
## STA10                -1.111e+00  1.772e+00  -0.627 0.531336
## G_TOT                 8.158e-02  4.008e-02   2.035 0.042698 *
## H.0                  -3.861e-02  2.834e-02  -1.362 0.174092
## TOT_MOU              -2.648e-01  5.557e-01  -0.476 0.634075
## TOT_HER              -4.686e-01  3.324e-01  -1.410 0.159623
## TOT_ARB              -3.324e+00  4.738e-01  -7.014 1.55e-11 ***
## TOT_BLO              -5.088e+00  2.815e+00  -1.807 0.071714 .
## TOT_CAI               2.971e-01  5.876e-01   0.506 0.613485
## TOT_REM              -4.573e-01  5.548e-01  -0.824 0.410468
## DUR                   1.116e-01  4.043e-02   2.760 0.006140 **
## PRE_PAR_REL           7.260e-01  1.308e+01   0.056 0.955764
## PRE_PAR_ABS          -1.221e-01  1.420e-01  -0.860 0.390360
## AGE_PPT              -2.971e-02  1.477e-02  -2.011 0.045221 *
## G_TOT2               -1.172e-03  5.526e-04  -2.121 0.034744 *
## PRE_PAR_REL2         -1.477e+01  2.227e+01  -0.663 0.507678
## PRE_PAR_ABS2          5.225e-03  3.918e-03   1.334 0.183356
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 4763.747)
##
##     Null deviance: 2733377  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance: 1120218  on 298  degrees of freedom
## AIC: NA
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 6

par(mfcol=c(2,2))
plot(mod_quasip_TOT50)
```




```
par(mfcol=c(1,1))

mod_quasip_TOTP50 <- glm(Data$'SOM_>50' ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT +
H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PR
E_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                         data=Data,
```

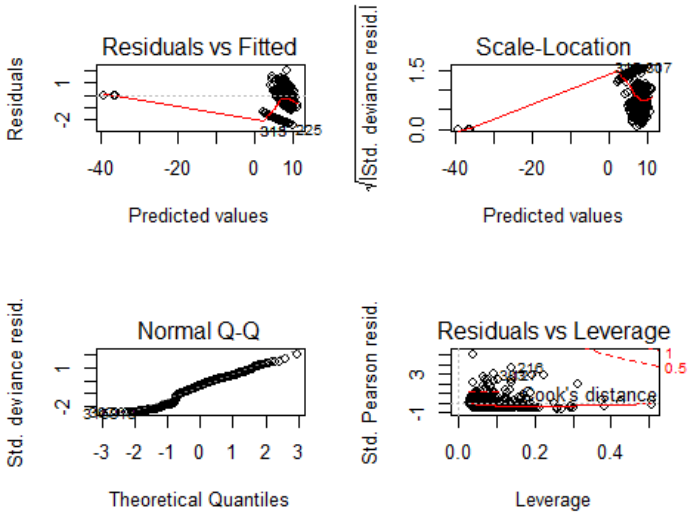
```
                        family=quasipoisson)
summary(mod_quasip_TOTP50)

##
## Call:
## glm(formula = Data$"SOM_>50" ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP +
##     STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT +
##     G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, family = quasipoisson,
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -164.45   -40.50   -18.00    15.57   161.20
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)          16.2414920  2.5505455   6.368 7.24e-10 ***
## PEN                  -3.7080081  0.8047949  -4.607 6.05e-06 ***
## COS_EXP              -0.3014661  0.1041828  -2.894 0.004089 **
## SIN_EXP               0.4457979  0.1156378   3.855 0.000142 ***
## TOPCroupe             2.8830479  1.3292079   2.169 0.030873 *
## TOPCuvette           -2.4926573  2.7053870  -0.921 0.357604
## TOPHaut de versant    0.8138160  1.2036774   0.676 0.499496
## TOPMilieu de versant  1.4728588  1.1686478   1.260 0.208543
## TOPPlateau           -2.8520077  2.6781900  -1.065 0.287783
## TOPTalweg            -1.3764481  3.5585202  -0.387 0.699178
## STA3                  0.6213150  1.0522652   0.590 0.555333
## STA4                  4.1729819  2.4815529   1.682 0.093694 .
## STA5                  1.7949057  0.7366768   2.436 0.015416 *
## STA6                  1.0941770  0.7238110   1.512 0.131673
## STA7                  1.6395752  2.2000728   0.745 0.456716
## STA8                  1.4480046  0.6736693   2.149 0.032405 *
## STA9                  1.4776051  0.7829917   1.887 0.060115 .
## STA10                -0.1101436  2.1207155  -0.052 0.958614
## G_TOT                 0.0295560  0.0310550   0.952 0.342005
## H.0                   0.0395715  0.0218856   1.808 0.071598 .
## TOT_MOU               0.3508936  0.4156710   0.844 0.399256
## TOT_HER              -2.3369850  0.2820197  -8.287 4.02e-15 ***
## TOT_ARB              -3.0846290  0.3961095  -7.787 1.14e-13 ***
## TOT_BLO              -5.4889448  2.7562914  -1.991 0.047347 *
## TOT_CAI              -2.3856467  0.8568721  -2.784 0.005710 **
## TOT_REM              -2.7403255  0.5878819  -4.661 4.74e-06 ***
## DUR                  -0.0745089  0.0449373  -1.658 0.098357 .
## PRE_PAR_REL          -1.3540370  9.5561478  -0.142 0.887418
## PRE_PAR_ABS          -0.5879926  0.1337194  -4.397 1.53e-05 ***
## AGE_PPT              -0.0337812  0.0128264  -2.634 0.008886 **
## G_TOT2               -0.0007369  0.0004655  -1.583 0.114419
## PRE_PAR_REL2         10.9705634 14.5837757   0.752 0.452498
## PRE_PAR_ABS2          0.0147168  0.0033127   4.443 1.25e-05 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 2977.247)
##
##     Null deviance: 2529003  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance:  810281  on 298  degrees of freedom
## AIC: NA
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 6

par(mfcol=c(2,2))
plot(mod_quasip_TOTP50)
```




```
par(mfcol=c(1,1))

#####################################
# REGRESSIONS NEGATIVES BINOMIALES #
#####################################

# L'homoscedasticite est toujours mauvaise

mod_negbin_TOT10 <- glm.nb(TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 +
TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_
ABS  + AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                           data=Data,
                           control=glm.control(maxit=200))
summary(mod_negbin_TOT10)

##
## Call:
## glm.nb(formula = TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, data = Data, control = glm.control(maxit = 200),
##     init.theta = 0.2623436866, link = log)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.4294  -1.0228  -0.3713   0.1693   1.9489
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)           1.996e+01  3.969e+00   5.030 4.91e-07 ***
## PEN                  -1.129e+00  1.220e+00  -0.925  0.35479
## COS_EXP               3.874e-01  2.099e-01   1.845  0.06497 .
## SIN_EXP               1.331e-01  2.058e-01   0.647  0.51765
## TOPCroupe            -9.982e-01  1.364e+00  -0.732  0.46431
## TOPCuvette            3.039e-01  1.848e+00   0.164  0.86937
## TOPHaut de versant    7.306e-01  7.625e-01   0.958  0.33794
## TOPMilieu de versant  2.949e-01  6.561e-01   0.449  0.65307
## TOPPlateau            7.282e-01  1.695e+00   0.430  0.66750
```

```
## TOPTalweg            -4.210e+01  3.355e+07   0.000  1.00000
## STA3                 -2.858e+00  1.022e+00  -2.795  0.00518 **
## STA4                 -1.279e+00  1.666e+00  -0.768  0.44263
## STA5                 -1.079e+00  8.558e-01  -1.261  0.20731
## STA6                 -1.327e+00  8.621e-01  -1.539  0.12374
## STA7                 -3.683e+00  1.307e+00  -2.817  0.00484 **
## STA8                 -1.436e+00  8.777e-01  -1.636  0.10179
## STA9                 -7.606e-01  9.800e-01  -0.776  0.43770
## STA10                 1.108e+00  1.240e+00   0.893  0.37161
## G_TOT                -2.446e-02  6.048e-02  -0.404  0.68592
## H.0                  -6.963e-02  4.457e-02  -1.562  0.11820
## TOT_MOU               1.208e+00  7.401e-01   1.632  0.10268
## TOT_HER              -8.357e-01  5.747e-01  -1.454  0.14589
## TOT_ARB              -3.521e+00  5.622e-01  -6.262 3.80e-10 ***
## TOT_BLO              -8.796e-01  3.450e+00  -0.255  0.79877
## TOT_CAI               1.949e-01  7.219e-01   0.270  0.78717
## TOT_REM              -7.030e-01  8.855e-01  -0.794  0.42722
## DUR                  -1.252e-02  5.777e-02  -0.217  0.82844
## PRE_PAR_REL          -4.718e+01  2.210e+01  -2.135  0.03278 *
## PRE_PAR_ABS           4.700e-01  2.790e-01   1.684  0.09210 .
## AGE_PPT              -3.233e-02  1.879e-02  -1.721  0.08526 .
## G_TOT2                4.908e-04  8.963e-04   0.548  0.58396
## PRE_PAR_REL2          6.663e+01  3.293e+01   2.023  0.04302 *
## PRE_PAR_ABS2         -1.268e-02  7.125e-03  -1.780  0.07506 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for Negative Binomial(0.2623) family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 528.27  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance: 393.53  on 298  degrees of freedom
## AIC: 5326.1
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 1
##
##
##               Theta:  0.2623
##           Std. Err.:  0.0192
##
##  2 x log-likelihood:  -5258.1130
```

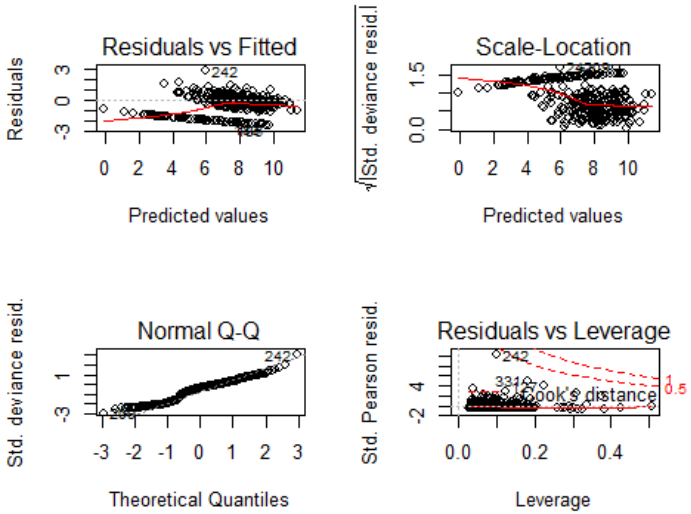
```
par(mfcol=c(2,2))
plot(mod_negbin_TOT10)
```




```
par(mfcol=c(1,1))

mod_negbin_TOT50 <- glm.nb(TOT_50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 +
TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_
ABS + AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                           data=Data,
                           control=glm.control(maxit=200))

## Warning: glm.fit: algorithm did not converge

summary(mod_negbin_TOT50)

##
## Call:
## glm.nb(formula = TOT_50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, data = Data, control = glm.control(maxit = 200),
##     init.theta = 0.2488475792, link = log)
##
## Deviance Residuals:
##      Min        1Q    Median        3Q       Max
## -2.35138  -1.41757  -0.32844   0.07223   2.85167
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)           1.605e+01  4.066e+00   3.947 7.92e-05 ***
## PEN                  -3.063e+00  1.248e+00  -2.454  0.01414 *
## COS_EXP              -4.674e-01  2.151e-01  -2.173  0.02979 *
## SIN_EXP               2.407e-01  2.112e-01   1.140  0.25439
## TOPCroupe             2.416e+00  1.400e+00   1.726  0.08438 .
## TOPCuvette           -1.977e+00  1.891e+00  -1.045  0.29591
## TOPHaut de versant    7.311e-02  7.788e-01   0.094  0.92521
## TOPMilieu de versant -6.418e-02  6.735e-01  -0.095  0.92409
## TOPPlateau           -1.151e+00  1.735e+00  -0.664  0.50701
## TOPTalweg            -1.895e+00  1.298e+00  -1.461  0.14407
## STA3                 -9.054e-01  1.049e+00  -0.863  0.38796
## STA4                 -4.146e-01  1.707e+00  -0.243  0.80807
```

```
## STA5                 1.127e+00  8.750e-01   1.289  0.19756
## STA6                 4.834e-01  8.836e-01   0.547  0.58437
## STA7                -3.882e+00  1.342e+00  -2.892  0.00383 **
## STA8                -7.389e-01  9.003e-01  -0.821  0.41179
## STA9                 3.935e-01  9.940e-01   0.396  0.69219
## STA10                1.195e+00  1.271e+00   0.940  0.34702
## G_TOT                6.836e-02  6.202e-02   1.102  0.27038
## H.0                  5.398e-03  4.550e-02   0.119  0.90557
## TOT_MOU             -2.360e-01  7.600e-01  -0.311  0.75613
## TOT_HER             -1.777e+00  5.876e-01  -3.024  0.00249 **
## TOT_ARB             -4.903e+00  5.731e-01  -8.555  < 2e-16 ***
## TOT_BLO             -8.988e+00  3.454e+00  -2.602  0.00926 **
## TOT_CAI             -1.025e+00  7.368e-01  -1.391  0.16426
## TOT_REM             -1.125e+00  9.068e-01  -1.240  0.21483
## DUR                  1.476e-01  5.929e-02   2.489  0.01280 *
## PRE_PAR_REL          1.142e+01  2.268e+01   0.504  0.61451
## PRE_PAR_ABS          1.436e-01  2.856e-01   0.503  0.61496
## AGE_PPT             -6.275e-02  1.913e-02  -3.280  0.00104 **
## G_TOT2              -1.049e-03  9.196e-04  -1.141  0.25385
## PRE_PAR_REL2        -3.888e+01  3.381e+01  -1.150  0.25012
## PRE_PAR_ABS2        -7.456e-04  7.297e-03  -0.102  0.91861
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for Negative Binomial(0.2488) family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 535.36  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance: 387.98  on 298  degrees of freedom
## AIC: 5096.5
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 200
##
##
##               Theta:  0.2488
##           Std. Err.:  0.0187
##
##  2 x log-likelihood:  -5028.5160
```

```
par(mfcol=c(2,2))
plot(mod_negbin_TOT50)
```



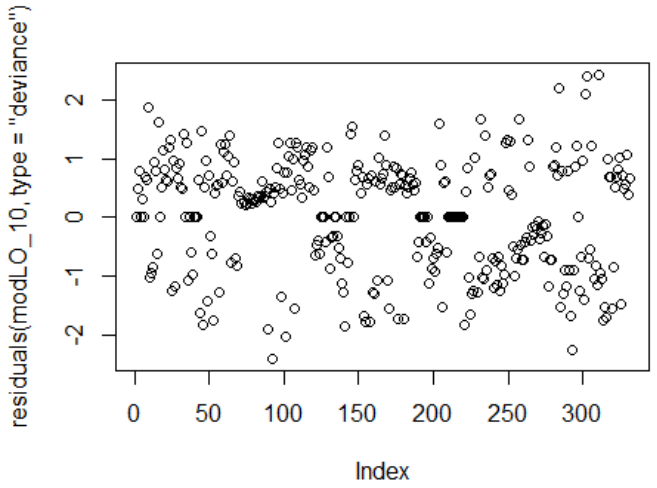

```
par(mfcol=c(1,1))

# mod_negbin_TOTP50 <- glm.nb(Data$'SOM_>50' ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_T
OT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL
+ PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
#                             data=Data,
#                             control=glm.control(maxit=200))
# # Ne fonctionne pas

############################################################
# MODELES ADAPTES A UNE SURDISPERSION AU NIVEAU DES 0 #
############################################################

# La qualite de ces modeles n'est pas appreciable par les methodes usuelles, ce qui est
dommage

mod_hurdle_TOT10 <- hurdle(TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MO
U + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS  +
AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                           data=Data,
                           dist="negbin")
summary(mod_hurdle_TOT10)

## Warning in sqrt(diag(object$vcov)): production de NaN

##
## Call:
## hurdle(formula = TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + STA + G_TOT +
##     H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM +
##     DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 +
##     PRE_PAR_ABS2, data = Data, dist = "negbin")
##
## Pearson residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -0.9642 -0.6435 -0.3409  0.2889  8.7363
##
## Count model coefficients (truncated negbin with log link):
```

```
##                Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)   1.607e+01  2.615e+00   6.144 8.04e-10 ***
## PEN          -1.193e+00  7.960e-01  -1.499   0.1338
## COS_EXP       3.182e-01  1.255e-01   2.535   0.0112 *
## SIN_EXP       1.079e-01  1.427e-01   0.756   0.4499
## STA3         -1.256e+00  7.976e-01  -1.574   0.1154
## STA4         -2.640e-01  5.430e-01  -0.486   0.6268
## STA5         -2.214e-02  5.070e-01  -0.044   0.9652
## STA6          1.529e-01  4.838e-01   0.316   0.7519
## STA7         -1.100e+00  1.278e+00  -0.860   0.3895
## STA8         -2.304e-01  5.081e-01  -0.453   0.6502
## STA9          3.422e-01  5.255e-01   0.651   0.5149
## STA10         1.446e+00  6.276e-01   2.304   0.0212 *
## G_TOT         3.379e-03         NA      NA       NA
## H.0          -1.807e-02  3.064e-02  -0.590   0.5555
## TOT_MOU       6.257e-01  4.921e-01   1.272   0.2035
## TOT_HER      -2.170e-01  3.931e-01  -0.552   0.5809
## TOT_ARB      -1.901e+00  3.888e-01  -4.889 1.01e-06 ***
## TOT_BLO      -1.728e+00  2.100e+00  -0.823   0.4106
## TOT_CAI       3.601e-01  4.321e-01   0.833   0.4046
## TOT_REM      -5.635e-01  6.091e-01  -0.925   0.3549
## DUR          -9.566e-03  3.874e-02  -0.247   0.8050
## PRE_PAR_REL  -3.207e+01  1.490e+01  -2.153   0.0314 *
## PRE_PAR_ABS   3.263e-01  1.996e-01   1.634   0.1022
## AGE_PPT      -3.225e-02  1.295e-02  -2.490   0.0128 *
## G_TOT2        1.237e-04         NA      NA       NA
## PRE_PAR_REL2  5.044e+01  2.218e+01   2.274   0.0230 *
## PRE_PAR_ABS2 -1.102e-02  4.633e-03  -2.377   0.0174 *
## Log(theta)   -5.610e-02  6.785e-02  -0.827   0.4084
## Zero hurdle model coefficients (binomial with logit link):
##                Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)   2.461e+01  9.838e+00   2.501 0.012377 *
## PEN          -3.546e-01  1.720e+00  -0.206 0.836708
## COS_EXP       5.800e-01  4.027e-01   1.440 0.149808
## SIN_EXP       5.379e-01  3.646e-01   1.475 0.140124
## STA3         -5.752e+00  1.797e+00  -3.201 0.001371 **
## STA4         -3.416e+00  1.534e+00  -2.227 0.025946 *
## STA5         -3.253e+00  1.477e+00  -2.203 0.027593 *
## STA6         -4.189e+00  1.522e+00  -2.753 0.005901 **
## STA7         -6.080e+00  1.976e+00  -3.076 0.002096 **
## STA8         -4.263e+00  1.602e+00  -2.661 0.007801 **
## STA9         -2.576e+00  1.628e+00  -1.582 0.113626
## STA10         1.280e+01  1.473e+03   0.009 0.993064
## G_TOT         3.980e-02  1.180e-01   0.337 0.735856
## H.0          -4.224e-02  7.024e-02  -0.601 0.547560
## TOT_MOU      -1.368e+00  1.285e+00  -1.064 0.287187
## TOT_HER      -2.974e+00  9.790e-01  -3.038 0.002383 **
## TOT_ARB      -5.124e+00  9.745e-01  -5.258 1.46e-07 ***
## TOT_BLO      -5.696e+00  5.455e+00  -1.044 0.296344
## TOT_CAI      -1.565e+00  1.142e+00  -1.371 0.170468
## TOT_REM      -3.078e+00  1.479e+00  -2.080 0.037491 *
## DUR           1.041e-01  9.832e-02   1.059 0.289635
## PRE_PAR_REL  -2.109e+02  7.421e+01  -2.841 0.004493 **
## PRE_PAR_ABS   2.009e+00  5.523e-01   3.638 0.000275 ***
## AGE_PPT       3.813e-02  2.904e-02   1.313 0.189222
## G_TOT2        1.460e-05  1.845e-03   0.008 0.993685
## PRE_PAR_REL2  2.782e+02  1.053e+02   2.641 0.008267 **
## PRE_PAR_ABS2 -5.171e-02  1.419e-02  -3.644 0.000268 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Theta: count = 0.9454
## Number of iterations in BFGS optimization: 45
## Log-likelihood: -2485 on 55 Df
```

```
mod_hurdle_TOT50 <- hurdle(TOT_50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 +
TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_
ABS + AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                           data=Data,
                           dist="negbin")
summary(mod_hurdle_TOT10)

## Warning in sqrt(diag(object$vcov)): production de NaN

##
## Call:
## hurdle(formula = TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + STA + G_TOT +
##     H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM +
##     DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 +
##     PRE_PAR_ABS2, data = Data, dist = "negbin")
##
## Pearson residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -0.9642 -0.6435 -0.3409  0.2889  8.7363
##
## Count model coefficients (truncated negbin with log link):
##                Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)   1.607e+01  2.615e+00   6.144 8.04e-10 ***
## PEN          -1.193e+00  7.960e-01  -1.499   0.1338
## COS_EXP       3.182e-01  1.255e-01   2.535   0.0112 *
## SIN_EXP       1.079e-01  1.427e-01   0.756   0.4499
## STA3         -1.256e+00  7.976e-01  -1.574   0.1154
## STA4         -2.640e-01  5.430e-01  -0.486   0.6268
## STA5         -2.214e-02  5.070e-01  -0.044   0.9652
## STA6          1.529e-01  4.838e-01   0.316   0.7519
## STA7         -1.100e+00  1.278e+00  -0.860   0.3895
## STA8         -2.304e-01  5.081e-01  -0.453   0.6502
## STA9          3.422e-01  5.255e-01   0.651   0.5149
## STA10         1.446e+00  6.276e-01   2.304   0.0212 *
## G_TOT         3.379e-03         NA      NA       NA
## H.0          -1.807e-02  3.064e-02  -0.590   0.5555
## TOT_MOU       6.257e-01  4.921e-01   1.272   0.2035
## TOT_HER      -2.170e-01  3.931e-01  -0.552   0.5809
## TOT_ARB      -1.901e+00  3.888e-01  -4.889 1.01e-06 ***
## TOT_BLO      -1.728e+00  2.100e+00  -0.823   0.4106
## TOT_CAI       3.601e-01  4.321e-01   0.833   0.4046
## TOT_REM      -5.635e-01  6.091e-01  -0.925   0.3549
## DUR          -9.566e-03  3.874e-02  -0.247   0.8050
## PRE_PAR_REL  -3.207e+01  1.490e+01  -2.153   0.0314 *
## PRE_PAR_ABS   3.263e-01  1.996e-01   1.634   0.1022
## AGE_PPT      -3.225e-02  1.295e-02  -2.490   0.0128 *
## G_TOT2        1.237e-04         NA      NA       NA
## PRE_PAR_REL2  5.044e+01  2.218e+01   2.274   0.0230 *
## PRE_PAR_ABS2 -1.102e-02  4.633e-03  -2.377   0.0174 *
## Log(theta)   -5.610e-02  6.785e-02  -0.827   0.4084
## Zero hurdle model coefficients (binomial with logit link):
##                Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)   2.461e+01  9.838e+00   2.501 0.012377 *
## PEN          -3.546e-01  1.720e+00  -0.206 0.836708
## COS_EXP       5.800e-01  4.027e-01   1.440 0.149808
## SIN_EXP       5.379e-01  3.646e-01   1.475 0.140124
## STA3         -5.752e+00  1.797e+00  -3.201 0.001371 **
## STA4         -3.416e+00  1.534e+00  -2.227 0.025946 *
## STA5         -3.253e+00  1.477e+00  -2.203 0.027593 *
## STA6         -4.189e+00  1.522e+00  -2.753 0.005901 **
## STA7         -6.080e+00  1.976e+00  -3.076 0.002096 **
## STA8         -4.263e+00  1.602e+00  -2.661 0.007801 **
## STA9         -2.576e+00  1.628e+00  -1.582 0.113626
## STA10         1.280e+01  1.473e+03   0.009 0.993064
## G_TOT         3.980e-02  1.180e-01   0.337 0.735856
```

```
## H.0          -4.224e-02  7.024e-02  -0.601 0.547560
## TOT_MOU      -1.368e+00  1.285e+00  -1.064 0.287187
## TOT_HER      -2.974e+00  9.790e-01  -3.038 0.002383 **
## TOT_ARB      -5.124e+00  9.745e-01  -5.258 1.46e-07 ***
## TOT_BLO      -5.696e+00  5.455e+00  -1.044 0.296344
## TOT_CAI      -1.565e+00  1.142e+00  -1.371 0.170468
## TOT_REM      -3.078e+00  1.479e+00  -2.080 0.037491 *
## DUR           1.041e-01  9.832e-02   1.059 0.289635
## PRE_PAR_REL  -2.109e+02  7.421e+01  -2.841 0.004493 **
## PRE_PAR_ABS   2.009e+00  5.523e-01   3.638 0.000275 ***
## AGE_PPT       3.813e-02  2.904e-02   1.313 0.189222
## G_TOT2        1.460e-05  1.845e-03   0.008 0.993685
## PRE_PAR_REL2  2.782e+02  1.053e+02   2.641 0.008267 **
## PRE_PAR_ABS2 -5.171e-02  1.419e-02  -3.644 0.000268 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Theta: count = 0.9454
## Number of iterations in BFGS optimization: 45
## Log-likelihood: -2485 on 55 Df

mod_hurdle_TOTP50 <- hurdle(Data$'SOM_>50' ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT
+ H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL +
PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                            data=Data,
                            dist="negbin")
summary(mod_hurdle_TOT10)

## Warning in sqrt(diag(object$vcov)): production de NaN

##
## Call:
## hurdle(formula = TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + STA + G_TOT +
##     H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM +
##     DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 +
##     PRE_PAR_ABS2, data = Data, dist = "negbin")
##
## Pearson residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -0.9642 -0.6435 -0.3409  0.2889  8.7363
##
## Count model coefficients (truncated negbin with log link):
##                Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)   1.607e+01  2.615e+00   6.144 8.04e-10 ***
## PEN          -1.193e+00  7.960e-01  -1.499   0.1338
## COS_EXP       3.182e-01  1.255e-01   2.535   0.0112 *
## SIN_EXP       1.079e-01  1.427e-01   0.756   0.4499
## STA3         -1.256e+00  7.976e-01  -1.574   0.1154
## STA4         -2.640e-01  5.430e-01  -0.486   0.6268
## STA5         -2.214e-02  5.070e-01  -0.044   0.9652
## STA6          1.529e-01  4.838e-01   0.316   0.7519
## STA7         -1.100e+00  1.278e+00  -0.860   0.3895
## STA8         -2.304e-01  5.081e-01  -0.453   0.6502
## STA9          3.422e-01  5.255e-01   0.651   0.5149
## STA10         1.446e+00  6.276e-01   2.304   0.0212 *
## G_TOT         3.379e-03         NA      NA       NA
## H.0          -1.807e-02  3.064e-02  -0.590   0.5555
## TOT_MOU       6.257e-01  4.921e-01   1.272   0.2035
## TOT_HER      -2.170e-01  3.931e-01  -0.552   0.5809
## TOT_ARB      -1.901e+00  3.888e-01  -4.889 1.01e-06 ***
## TOT_BLO      -1.728e+00  2.100e+00  -0.823   0.4106
## TOT_CAI       3.601e-01  4.321e-01   0.833   0.4046
## TOT_REM      -5.635e-01  6.091e-01  -0.925   0.3549
## DUR          -9.566e-03  3.874e-02  -0.247   0.8050
## PRE_PAR_REL  -3.207e+01  1.490e+01  -2.153   0.0314 *
## PRE_PAR_ABS   3.263e-01  1.996e-01   1.634   0.1022
## AGE_PPT      -3.225e-02  1.295e-02  -2.490   0.0128 *
## G_TOT2        1.237e-04         NA      NA       NA
## PRE_PAR_REL2  5.044e+01  2.218e+01   2.274   0.0230 *
## PRE_PAR_ABS2 -1.102e-02  4.633e-03  -2.377   0.0174 *
## Log(theta)   -5.610e-02  6.785e-02  -0.827   0.4084
## Zero hurdle model coefficients (binomial with logit link):
##                Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)   2.461e+01  9.838e+00   2.501 0.012377 *
## PEN          -3.546e-01  1.720e+00  -0.206 0.836708
## COS_EXP       5.800e-01  4.027e-01   1.440 0.149808
## SIN_EXP       5.379e-01  3.646e-01   1.475 0.140124
## STA3         -5.752e+00  1.797e+00  -3.201 0.001371 **
## STA4         -3.416e+00  1.534e+00  -2.227 0.025946 *
## STA5         -3.253e+00  1.477e+00  -2.203 0.027593 *
## STA6         -4.189e+00  1.522e+00  -2.753 0.005901 **
## STA7         -6.080e+00  1.976e+00  -3.076 0.002096 **
## STA8         -4.263e+00  1.602e+00  -2.661 0.007801 **
## STA9         -2.576e+00  1.628e+00  -1.582 0.113626
## STA10         1.280e+01  1.473e+03   0.009 0.993064
## G_TOT         3.980e-02  1.180e-01   0.337 0.735856
## H.0          -4.224e-02  7.024e-02  -0.601 0.547560
## TOT_MOU      -1.368e+00  1.285e+00  -1.064 0.287187
## TOT_HER      -2.974e+00  9.790e-01  -3.038 0.002383 **
## TOT_ARB      -5.124e+00  9.745e-01  -5.258 1.46e-07 ***
## TOT_BLO      -5.696e+00  5.455e+00  -1.044 0.296344
## TOT_CAI      -1.565e+00  1.142e+00  -1.371 0.170468
## TOT_REM      -3.078e+00  1.479e+00  -2.080 0.037491 *
## DUR           1.041e-01  9.832e-02   1.059 0.289635
## PRE_PAR_REL  -2.109e+02  7.421e+01  -2.841 0.004493 **
## PRE_PAR_ABS   2.009e+00  5.523e-01   3.638 0.000275 ***
## AGE_PPT       3.813e-02  2.904e-02   1.313 0.189222
## G_TOT2        1.460e-05  1.845e-03   0.008 0.993685
## PRE_PAR_REL2  2.782e+02  1.053e+02   2.641 0.008267 **
## PRE_PAR_ABS2 -5.171e-02  1.419e-02  -3.644 0.000268 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Theta: count = 0.9454
## Number of iterations in BFGS optimization: 45
## Log-likelihood: -2485 on 55 Df

# mod_inflated_TOT10 <- zeroinfl(TOT_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + STA + G_TOT + H.0 +
TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_
ABS + AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
#                               data=Data,
#                               dist="negbin")
# summary(mod_inflated_TOT10)
#
# mod_inflated_TOT50 <- zeroinfl(TOT_50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT +
H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PR
E_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
#                               data=Data,
#                               dist="negbin")
# summary(mod_inflated_TOT50)
#
# mod_inflated_TOTP50 <- zeroinfl(Data$'SOM_>50' ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_
REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
#                                data=Data,
#                                dist="negbin")
# summary(mod_inflated_TOTP50)

############################
# REGRESSIONS LOGISTIQUES #
```

```
############################

# Regression logistique binomiale sur la regeneration de moins de 10 cm
modLO_10_base <- glm(BIN_10~1,data=Data, family=binomial(link="logit"))
modLO_10 <- glm(BIN_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + T
OT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_P
PT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                data=Data,
                family=binomial(link="logit")
                )

## Warning: glm.fit: fitted probabilities numerically 0 or 1 occurred

summary(modLO_10)

##
## Call:
## glm(formula = BIN_10 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, family = binomial(link = "logit"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.4116  -0.7083   0.2372   0.7100   2.4270
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)           8.662e+00  5.604e+00   1.546 0.122146
## PEN                  -1.304e+00  1.622e+00  -0.804 0.421462
## COS_EXP               1.916e-01  2.758e-01   0.695 0.487366
## SIN_EXP               4.142e-02  2.931e-01   0.141 0.887644
## TOPCroupe            -2.644e+00  2.150e+00  -1.230 0.218715
## TOPCuvette            1.758e+01  4.606e+03   0.004 0.996955
## TOPHaut de versant    9.431e-01  1.275e+00   0.740 0.459553
## TOPMilieu de versant -3.057e-01  1.218e+00  -0.251 0.801869
## TOPPlateau            1.767e+01  4.606e+03   0.004 0.996940
## TOPTalweg            -1.767e+01  2.780e+03  -0.006 0.994930
## STA3                 -2.019e+01  1.321e+03  -0.015 0.987813
## STA4                 -2.070e+01  4.606e+03  -0.004 0.996414
## STA5                 -3.110e+00  1.173e+00  -2.651 0.008031 **
## STA6                 -3.072e+00  1.145e+00  -2.684 0.007274 **
## STA7                 -2.111e+01  2.514e+03  -0.008 0.993302
## STA8                 -3.564e+00  1.161e+00  -3.070 0.002142 **
## STA9                 -2.108e+00  1.281e+00  -1.646 0.099847 .
## STA10                 1.636e+01  2.304e+03   0.007 0.994334
## G_TOT                 1.610e-01  8.601e-02   1.872 0.061175 .
## H.0                  -7.410e-02  6.050e-02  -1.225 0.220647
## TOT_MOU               8.713e-01  1.033e+00   0.844 0.398853
## TOT_HER              -5.001e-01  7.698e-01  -0.650 0.515958
## TOT_ARB              -3.987e+00  8.215e-01  -4.853 1.21e-06 ***
## TOT_BLO               4.553e+00  5.425e+00   0.839 0.401340
## TOT_CAI               8.675e-01  1.097e+00   0.791 0.429069
## TOT_REM              -1.635e+00  1.199e+00  -1.363 0.172765
## DUR                   5.871e-02  7.793e-02   0.753 0.451244
## PRE_PAR_REL          -7.558e+01  3.288e+01  -2.298 0.021538 *
## PRE_PAR_ABS           1.131e+00  3.720e-01   3.040 0.002365 **
## AGE_PPT              -4.793e-03  2.611e-02  -0.184 0.854358
## G_TOT2               -1.751e-03  1.300e-03  -1.347 0.178083
## PRE_PAR_REL2          9.346e+01  4.737e+01   1.973 0.048518 *
## PRE_PAR_ABS2         -3.071e-02  9.325e-03  -3.293 0.000992 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 457.53  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance: 294.04  on 298  degrees of freedom
## AIC: 360.04
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 17

# Graphique representant la deviance des residus ==> bonne repartition des residus
plot(residuals(modLO_10,type="deviance"))
```




```
# Selection du modele le plus parcimonieux selon l'AIC
mod_AIC_10 <- step(object=modLO_10_base,
                   scope=list(upper=modLO_10),
                   direction="both")

## Start:  AIC=459.53
## BIN_10 ~ 1
##
##                Df Deviance    AIC
## + STA           8   388.85 406.85
## + TOT_ARB       1   407.02 411.02
## + TOP           6   406.42 420.42
## + AGE_PPT       1   416.74 420.74
## + PEN           1   437.15 441.15
## + PRE_PAR_REL   1   442.81 446.81
## + G_TOT         1   443.78 447.78
## + PRE_PAR_REL2  1   444.95 448.95
## + G_TOT2        1   445.01 449.01
## + COS_EXP       1   450.03 454.03
## + H.0           1   452.67 456.67
## + TOT_REM       1   453.02 457.02
## + PRE_PAR_ABS   1   453.74 457.74
## + PRE_PAR_ABS2  1   454.05 458.05
## + DUR           1   454.84 458.84
## <none>              457.53 459.53
## + TOT_HER       1   456.03 460.03
## + TOT_CAI       1   456.95 460.95
```

```
## + SIN_EXP       1   457.01 461.01
## + TOT_MOU       1   457.27 461.27
## + TOT_BLO       1   457.45 461.45
##
## Step:  AIC=406.85
## BIN_10 ~ STA

## Warning: glm.fit: fitted probabilities numerically 0 or 1 occurred

##                Df Deviance    AIC
## + TOT_ARB       1   362.35 382.35
## + PRE_PAR_REL   1   372.55 392.55
## + PRE_PAR_REL2  1   373.08 393.08
## + G_TOT         1   375.58 395.58
## + PRE_PAR_ABS2  1   377.34 397.34
## + PRE_PAR_ABS   1   377.67 397.67
## + G_TOT2        1   377.70 397.70
## + COS_EXP       1   378.66 398.66
## + AGE_PPT       1   381.18 401.18
## + TOP           6   372.30 402.30
## + H.0           1   383.70 403.70
## + DUR           1   385.20 405.20
## <none>              388.85 406.85
## + PEN           1   387.44 407.44
## + SIN_EXP       1   387.57 407.57
## + TOT_REM       1   387.59 407.59
## + TOT_MOU       1   387.63 407.63
## + TOT_HER       1   387.72 407.72
## + TOT_CAI       1   388.45 408.45
## + TOT_BLO       1   388.78 408.78
## - STA           8   457.53 459.53
##
## Step:  AIC=382.35
## BIN_10 ~ STA + TOT_ARB

## Warning: glm.fit: fitted probabilities numerically 0 or 1 occurred

##                Df Deviance    AIC
## + PRE_PAR_REL   1   345.64 367.64
## + PRE_PAR_REL2  1   346.59 368.59
## + G_TOT         1   348.16 370.16
## + AGE_PPT       1   349.81 371.81
## + PRE_PAR_ABS2  1   350.15 372.15
## + G_TOT2        1   350.46 372.46
## + PRE_PAR_ABS   1   350.85 372.85
## + COS_EXP       1   356.36 378.36
## + DUR           1   357.29 379.29
## + TOT_REM       1   357.47 379.47
## + H.0           1   357.64 379.64
## + TOT_MOU       1   358.72 380.72
## + TOT_HER       1   360.19 382.19
## + TOP           6   350.23 382.23
## <none>              362.35 382.35
## + PEN           1   361.49 383.49
## + TOT_BLO       1   361.56 383.56
## + TOT_CAI       1   361.69 383.69
## + SIN_EXP       1   362.27 384.27
## - TOT_ARB       1   388.85 406.85
## - STA           8   407.02 411.02
##
## Step:  AIC=367.64
## BIN_10 ~ STA + TOT_ARB + PRE_PAR_REL

## Warning: glm.fit: fitted probabilities numerically 0 or 1 occurred
```

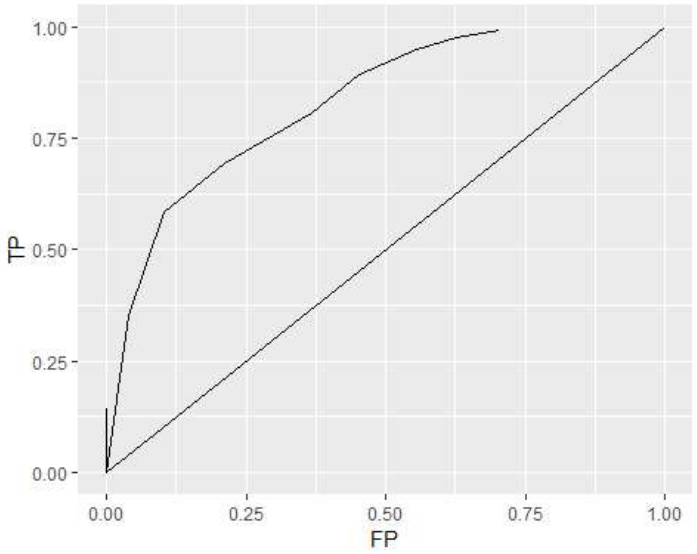
```
##                Df Deviance    AIC
## + AGE_PPT       1   338.09 362.09
## + G_TOT         1   338.15 362.15
## + COS_EXP       1   338.73 362.73
## + G_TOT2        1   339.77 363.77
## + DUR           1   342.23 366.23
## + H.0           1   342.25 366.25
## + TOT_REM       1   342.32 366.32
## + TOP           6   332.66 366.66
## + TOT_MOU       1   342.95 366.95
## <none>              345.64 367.64
## + TOT_CAI       1   344.04 368.04
## + TOT_HER       1   344.21 368.21
## + PRE_PAR_REL2  1   344.74 368.74
## + SIN_EXP       1   344.90 368.90
## + PEN           1   345.03 369.03
## + PRE_PAR_ABS2  1   345.40 369.40
## + TOT_BLO       1   345.58 369.58
## + PRE_PAR_ABS   1   345.61 369.61
## - PRE_PAR_REL   1   362.35 382.35
## - TOT_ARB       1   372.55 392.55
## - STA           8   392.50 398.50
##
## Step:  AIC=362.09
## BIN_10 ~ STA + TOT_ARB + PRE_PAR_REL + AGE_PPT

## Warning: glm.fit: fitted probabilities numerically 0 or 1 occurred

##                Df Deviance    AIC
## + G_TOT         1   331.58 357.58
## + COS_EXP       1   332.84 358.84
## + G_TOT2        1   332.84 358.84
## + TOT_MOU       1   335.58 361.58
## + TOT_REM       1   335.84 361.84
## + TOT_CAI       1   335.93 361.93
## + H.0           1   335.98 361.98
## <none>              338.09 362.09
## + DUR           1   336.86 362.86
## + PRE_PAR_ABS2  1   337.00 363.00
## + TOT_HER       1   337.11 363.11
## + SIN_EXP       1   337.52 363.52
## + PEN           1   337.67 363.67
## + PRE_PAR_REL2  1   337.73 363.73
## + PRE_PAR_ABS   1   337.92 363.92
## + TOT_BLO       1   338.08 364.08
## + TOP           6   328.73 364.73
## - AGE_PPT       1   345.64 367.64
## - STA           8   363.54 371.54
## - PRE_PAR_REL   1   349.81 371.81
## - TOT_ARB       1   368.91 390.91
##
## Step:  AIC=357.58
## BIN_10 ~ STA + TOT_ARB + PRE_PAR_REL + AGE_PPT + G_TOT

## Warning: glm.fit: fitted probabilities numerically 0 or 1 occurred

##                Df Deviance    AIC
## + COS_EXP       1   325.45 353.45
## + PRE_PAR_ABS2  1   327.27 355.27
## + H.0           1   327.88 355.88
## + TOT_MOU       1   328.98 356.98
## + TOT_CAI       1   329.15 357.15
## + DUR           1   329.23 357.23
## + PRE_PAR_ABS   1   329.32 357.32
## <none>              331.58 357.58
```

```
## + TOT_REM       1   329.74 357.74
## + SIN_EXP       1   330.42 358.42
## + G_TOT2        1   330.55 358.55
## + TOT_HER       1   330.71 358.71
## + PEN           1   331.21 359.21
## + PRE_PAR_REL2  1   331.47 359.47
## + TOT_BLO       1   331.53 359.53
## + TOP           6   321.87 359.87
## - G_TOT         1   338.09 362.09
## - AGE_PPT       1   338.15 362.15
## - PRE_PAR_REL   1   338.59 362.59
## - STA           8   361.38 371.38
## - TOT_ARB       1   362.50 386.50
##
## Step:  AIC=353.45
## BIN_10 ~ STA + TOT_ARB + PRE_PAR_REL + AGE_PPT + G_TOT + COS_EXP

## Warning: glm.fit: fitted probabilities numerically 0 or 1 occurred

##                Df Deviance    AIC
## + TOT_CAI       1   323.11 353.11
## + PRE_PAR_ABS2  1   323.14 353.14
## + H.0           1   323.20 353.20
## <none>              325.45 353.45
## + DUR           1   324.22 354.22
## + TOT_REM       1   324.29 354.29
## + G_TOT2        1   324.47 354.47
## + PRE_PAR_ABS   1   324.53 354.53
## + TOT_MOU       1   324.71 354.71
## + TOT_HER       1   324.87 354.87
## + PRE_PAR_REL2  1   325.18 355.18
## + SIN_EXP       1   325.19 355.19
## + TOT_BLO       1   325.35 355.35
## + PEN           1   325.35 355.35
## - AGE_PPT       1   330.38 356.38
## + TOP           6   316.78 356.78
## - COS_EXP       1   331.58 357.58
## - G_TOT         1   332.84 358.84
## - PRE_PAR_REL   1   333.56 359.56
## - STA           8   350.83 362.83
## - TOT_ARB       1   351.28 377.28
##
## Step:  AIC=353.11
## BIN_10 ~ STA + TOT_ARB + PRE_PAR_REL + AGE_PPT + G_TOT + COS_EXP +
##     TOT_CAI

## Warning: glm.fit: fitted probabilities numerically 0 or 1 occurred

##                Df Deviance    AIC
## + H.0           1   321.01 353.01
## <none>              323.11 353.11
## + PRE_PAR_ABS2  1   321.21 353.21
## - TOT_CAI       1   325.45 353.45
## + G_TOT2        1   322.23 354.23
## + TOT_REM       1   322.40 354.40
## + PRE_PAR_ABS   1   322.42 354.42
## + TOT_MOU       1   322.43 354.43
## + DUR           1   322.51 354.51
## + PEN           1   322.60 354.60
## + TOT_BLO       1   322.87 354.87
## + TOT_HER       1   322.92 354.92
## + PRE_PAR_REL2  1   322.94 354.94
## + SIN_EXP       1   323.04 355.04
## + TOP           6   313.94 355.94
## - AGE_PPT       1   328.47 356.47
## - COS_EXP       1   329.15 357.15
## - G_TOT         1   330.85 358.85
## - PRE_PAR_REL   1   331.94 359.94
## - STA           8   349.34 363.34
## - TOT_ARB       1   349.65 377.65
##
## Step:  AIC=353.01
## BIN_10 ~ STA + TOT_ARB + PRE_PAR_REL + AGE_PPT + G_TOT + COS_EXP +
##     TOT_CAI + H.0

## Warning: glm.fit: fitted probabilities numerically 0 or 1 occurred

##                Df Deviance    AIC
## <none>              321.01 353.01
## - H.0           1   323.11 353.11
## - TOT_CAI       1   323.20 353.20
## + PRE_PAR_ABS2  1   319.63 353.63
## + PEN           1   319.96 353.96
## + G_TOT2        1   319.99 353.99
## + TOT_MOU       1   320.25 354.25
## + TOT_REM       1   320.32 354.32
## + TOT_HER       1   320.49 354.49
## + PRE_PAR_ABS   1   320.60 354.60
## + PRE_PAR_REL2  1   320.66 354.66
## + DUR           1   320.78 354.78
## + TOT_BLO       1   320.84 354.84
## + SIN_EXP       1   320.99 354.99
## - AGE_PPT       1   325.30 355.30
## - COS_EXP       1   325.64 355.64
## + TOP           6   311.88 355.88
## - PRE_PAR_REL   1   328.50 358.50
## - G_TOT         1   329.87 359.87
## - STA           8   346.93 362.93
## - TOT_ARB       1   346.98 376.98
```

```
summary(mod_AIC_10)
```

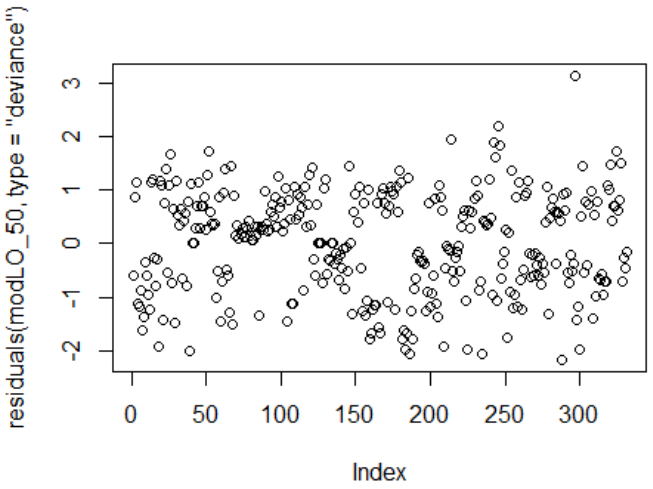
```
##
## Call:
## glm(formula = BIN_10 ~ STA + TOT_ARB + PRE_PAR_REL + AGE_PPT +
##     G_TOT + COS_EXP + TOT_CAI + H.0, family = binomial(link = "logit"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.0572  -0.8744   0.3642   0.7956   2.2093
##
## Coefficients:
##               Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)    9.79842    2.95034   3.321 0.000897 ***
## STA3         -17.77477  822.81940  -0.022 0.982765
## STA4          -1.22656    0.88020  -1.394 0.163466
## STA5          -1.57543    0.93868  -1.678 0.093281 .
## STA6          -1.68434    0.93806  -1.796 0.072565 .
## STA7         -18.98421 1534.87866  -0.012 0.990132
## STA8          -2.33916    0.99398  -2.353 0.018606 *
## STA9          -1.08578    1.03214  -1.052 0.292812
## STA10         15.18766 1576.59397   0.010 0.992314
## TOT_ARB       -3.28220    0.68122  -4.818 1.45e-06 ***
## PRE_PAR_REL   -6.04587    2.25049  -2.686 0.007221 **
## AGE_PPT       -0.04222    0.02094  -2.016 0.043756 *
## G_TOT          0.04872    0.01692   2.880 0.003976 **
## COS_EXP        0.48781    0.22981   2.123 0.033778 *
## TOT_CAI        1.28969    0.89279   1.445 0.148584
## H.0           -0.07833    0.05437  -1.441 0.149669
```

```
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 457.53  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance: 321.01  on 315  degrees of freedom
## AIC: 353.01
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 16

# Table de prediction du modele
table(Data$BIN_10,round(predict(mod_AIC_10,type="response"),0))

##
##       0   1
##   0  98  57
##   1  34 142

# Trace de la courbe ROC
ROC10_table <- data.frame("FP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),
                          "TP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))
for(i in seq(0,10,by=1)){
  Ps=predict(mod_AIC_10,type="response")>i/10
  ROC10_table$FP[i]<-sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_10==0))/sum(Data$BIN_10==0)
  ROC10_table$TP[i]=sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_10==1))/sum(Data$BIN_10==1)
  }
ggplot(data=ROC10_table,mapping=aes(x=FP,y=TP))+
  geom_line()+
  geom_line(data=data.frame("X"=c(0:1,step=0.1),"Y"=c(0:1,step=0.1)),
            mapping=aes(x=X,y=Y))
```




```
# Representation simplifiee des coefficients
# ggcoef(mod_AIC_10,exponentiate=TRUE)

# Regression logistique sur la regeneration de 10 a 50 cm
modLO_50_base <- glm(BIN_50 ~ 1, data=Data, family=binomial(link="logit"))
modLO_50 <- glm(BIN_50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + T
OT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_P
PT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                data=Data,
                family=binomial(link="logit")
)
summary(modLO_50)

##
## Call:
## glm(formula = BIN_50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, family = binomial(link = "logit"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.1628  -0.6805   0.1465   0.7632   3.1280
##
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)           4.973e+00  6.072e+00   0.819 0.412725
## PEN                  -3.646e+00  1.706e+00  -2.137 0.032632 *
## COS_EXP              -5.808e-01  2.897e-01  -2.005 0.044979 *
## SIN_EXP               6.899e-01  2.988e-01   2.309 0.020931 *
## TOPCroupe             1.387e+00  1.719e+00   0.807 0.419922
## TOPCuvette            1.199e+01  1.655e+03   0.007 0.994218
## TOPHaut de versant   -3.766e-01  1.147e+00  -0.328 0.742620
## TOPMilieu de versant  3.118e-02  9.971e-01   0.031 0.975053
## TOPPlateau            1.225e+01  1.655e+03   0.007 0.994092
## TOPTalweg            -1.499e+00  1.753e+00  -0.856 0.392267
## STA3                 -3.260e+00  1.749e+00  -1.864 0.062323 .
## STA4                 -1.418e+01  1.655e+03  -0.009 0.993163
## STA5                  8.670e-01  1.273e+00   0.681 0.495970
## STA6                 -3.929e-01  1.303e+00  -0.301 0.763071
## STA7                 -1.628e+01  9.688e+02  -0.017 0.986590
## STA8                 -9.822e-01  1.309e+00  -0.750 0.452996
## STA9                  1.291e+00  1.423e+00   0.908 0.364101
## STA10                -3.905e-01  1.938e+00  -0.201 0.840325
## G_TOT                 1.403e-01  8.445e-02   1.662 0.096605 .
## H.0                   1.375e-02  6.157e-02   0.223 0.823242
## TOT_MOU              -1.624e-01  1.005e+00  -0.162 0.871567
## TOT_HER              -3.311e+00  8.549e-01  -3.873 0.000108 ***
## TOT_ARB              -4.722e+00  8.315e-01  -5.679 1.35e-08 ***
## TOT_BLO              -8.693e+00  4.656e+00  -1.867 0.061882 .
## TOT_CAI              -1.897e+00  1.046e+00  -1.813 0.069813 .
## TOT_REM              -2.754e+00  1.218e+00  -2.261 0.023785 *
## DUR                   2.966e-01  8.412e-02   3.526 0.000422 ***
## PRE_PAR_REL          -5.114e+01  3.684e+01  -1.388 0.165069
## PRE_PAR_ABS           9.596e-01  4.102e-01   2.340 0.019308 *
## AGE_PPT               5.698e-03  2.627e-02   0.217 0.828306
## G_TOT2               -2.273e-03  1.275e-03  -1.783 0.074588 .
## PRE_PAR_REL2          3.681e+01  5.305e+01   0.694 0.487714
## PRE_PAR_ABS2         -2.006e-02  1.024e-02  -1.959 0.050167 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 457.99  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance: 296.00  on 298  degrees of freedom
## AIC: 362
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 15
```

```r
# Graphique representant la deviance des residus ==> bonne repartition des residus
plot(residuals(modLO_50,type="deviance"))
```




```r
# Selection du modele le plus parcimonieux selon l'AIC
mod_AIC_50 <- step(object=modLO_50_base,
                   scope=list(upper=modLO_50),
                   direction="both")
```

```
## Start:  AIC=459.99
## BIN_50 ~ 1
##
##                Df Deviance    AIC
## + TOT_ARB       1   414.84 418.84
## + STA           8   403.01 421.01
## + PEN           1   427.12 431.12
## + TOP           6   417.86 431.86
## + AGE_PPT       1   429.06 433.06
## + PRE_PAR_REL   1   437.03 441.03
## + PRE_PAR_REL2  1   439.87 443.87
## + G_TOT         1   448.24 452.24
## + G_TOT2        1   449.58 453.58
## + TOT_CAI       1   450.29 454.29
## + DUR           1   452.75 456.75
## + COS_EXP       1   455.26 459.26
## <none>              457.99 459.99
## + TOT_BLO       1   456.11 460.11
## + TOT_REM       1   456.32 460.32
## + PRE_PAR_ABS   1   456.32 460.32
## + TOT_HER       1   456.49 460.49
## + TOT_MOU       1   457.21 461.21
## + PRE_PAR_ABS2  1   457.44 461.44
## + SIN_EXP       1   457.71 461.71
## + H.0           1   457.99 461.99
##
## Step:  AIC=418.84
## BIN_50 ~ TOT_ARB
##
##                Df Deviance    AIC
## + PRE_PAR_REL   1   393.82 399.82
## + STA           8   380.80 400.80
## + AGE_PPT       1   395.41 401.41
## + PRE_PAR_REL2  1   396.49 402.49
## + PEN           1   399.20 405.20
## + TOP           6   395.56 411.56
## + G_TOT         1   407.01 413.01
## + TOT_HER       1   408.28 414.28
## + G_TOT2        1   408.31 414.31
## + TOT_REM       1   408.33 414.33
## + DUR           1   409.66 415.66
## + COS_EXP       1   410.90 416.90
## + TOT_CAI       1   411.00 417.00
## + PRE_PAR_ABS   1   411.70 417.70
## <none>              414.84 418.84
## + SIN_EXP       1   412.94 418.94
## + PRE_PAR_ABS2  1   413.02 419.02
## + TOT_BLO       1   413.78 419.78
## + TOT_MOU       1   413.98 419.98
## + H.0           1   414.22 420.22
## - TOT_ARB       1   457.99 459.99
##
## Step:  AIC=399.82
## BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL
##
##                Df Deviance    AIC
## + STA           8   354.11 376.11
## + PEN           1   370.99 378.99
## + AGE_PPT       1   375.96 383.96
## + PRE_PAR_ABS   1   380.41 388.41
## + PRE_PAR_ABS2  1   381.82 389.82
## + TOP           6   372.53 390.53
## + PRE_PAR_REL2  1   387.12 395.12
## + TOT_REM       1   389.18 397.18
## + TOT_HER       1   389.23 397.23
## + TOT_BLO       1   389.38 397.38
## + COS_EXP       1   389.53 397.53
## + G_TOT         1   390.30 398.30
## + TOT_CAI       1   390.58 398.58
## + H.0           1   390.90 398.90
## + G_TOT2        1   391.15 399.15
## + DUR           1   391.35 399.35
## <none>              393.82 399.82
## + SIN_EXP       1   392.58 400.58
## + TOT_MOU       1   393.47 401.47
## - PRE_PAR_REL   1   414.84 418.84
## - TOT_ARB       1   437.03 441.03
##
## Step:  AIC=376.11
## BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL + STA
##
##                Df Deviance    AIC
## + TOT_HER       1   338.56 362.56
## + PRE_PAR_ABS   1   347.06 371.06
## + PEN           1   348.08 372.08
## + PRE_PAR_ABS2  1   348.30 372.30
## + AGE_PPT       1   350.52 374.52
## + TOT_MOU       1   351.13 375.13
## + SIN_EXP       1   351.15 375.15
## <none>              354.11 376.11
## + TOT_BLO       1   352.11 376.11
## + G_TOT         1   352.65 376.65
## + PRE_PAR_REL2  1   352.82 376.82
## + DUR           1   352.96 376.96
## + H.0           1   353.20 377.20
```

```
## + G_TOT2        1   353.33 377.33
## + COS_EXP       1   353.35 377.35
## + TOT_REM       1   353.50 377.50
## + TOT_CAI       1   354.05 378.05
## + TOP           6   348.87 382.87
## - TOT_ARB       1   376.56 396.56
## - STA           8   393.82 399.82
## - PRE_PAR_REL   1   380.80 400.80
##
## Step:  AIC=362.56
## BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL + STA + TOT_HER
##
##                Df Deviance    AIC
## + PRE_PAR_ABS   1   332.41 358.41
## + PEN           1   333.45 359.45
## + PRE_PAR_ABS2  1   333.83 359.83
## + AGE_PPT       1   336.01 362.01
## + TOT_REM       1   336.02 362.02
## + TOT_BLO       1   336.27 362.27
## + SIN_EXP       1   336.35 362.35
## <none>              338.56 362.56
## + DUR           1   336.78 362.78
## + COS_EXP       1   337.07 363.07
## + TOT_CAI       1   337.26 363.26
## + G_TOT         1   337.45 363.45
## + G_TOT2        1   338.04 364.04
## + PRE_PAR_REL2  1   338.05 364.05
## + TOT_MOU       1   338.08 364.08
## + H.0           1   338.33 364.33
## + TOP           6   335.63 371.63
## - TOT_HER       1   354.11 376.11
## - PRE_PAR_REL   1   362.78 384.78
## - TOT_ARB       1   364.67 386.67
## - STA           8   389.23 397.23
##
## Step:  AIC=358.41
## BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL + STA + TOT_HER + PRE_PAR_ABS
##
##                Df Deviance    AIC
## + PEN           1   327.62 355.62
## + DUR           1   327.88 355.88
## + TOT_BLO       1   329.40 357.40
## <none>              332.41 358.41
## + TOT_REM       1   330.61 358.61
## + SIN_EXP       1   331.45 359.45
## + AGE_PPT       1   331.48 359.48
## + COS_EXP       1   331.61 359.61
## + TOT_CAI       1   331.68 359.68
## + PRE_PAR_ABS2  1   331.71 359.71
## + TOT_MOU       1   332.31 360.31
## + PRE_PAR_REL2  1   332.34 360.34
## + G_TOT2        1   332.39 360.39
## + G_TOT         1   332.39 360.39
## + H.0           1   332.41 360.41
## - PRE_PAR_ABS   1   338.56 362.56
## + TOP           6   329.48 367.48
## - TOT_HER       1   347.06 371.06
## - PRE_PAR_REL   1   354.56 378.56
## - TOT_ARB       1   359.14 383.14
## - STA           8   374.32 384.32
##
## Step:  AIC=355.62
## BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL + STA + TOT_HER + PRE_PAR_ABS +
##     PEN
##
```

```
##                Df Deviance    AIC
## + DUR           1   322.44 352.44
## + TOT_BLO       1   325.54 355.54
## + TOT_REM       1   325.57 355.57
## <none>              327.62 355.62
## + COS_EXP       1   326.04 356.04
## + SIN_EXP       1   326.09 356.09
## + AGE_PPT       1   326.83 356.83
## + PRE_PAR_ABS2  1   327.14 357.14
## + PRE_PAR_REL2  1   327.40 357.40
## + H.0           1   327.49 357.49
## + TOT_CAI       1   327.49 357.49
## + TOT_MOU       1   327.55 357.55
## + G_TOT         1   327.59 357.59
## + G_TOT2        1   327.60 357.60
## - PEN           1   332.41 358.41
## - PRE_PAR_ABS   1   333.45 359.45
## + TOP           6   325.49 365.49
## - TOT_HER       1   341.39 367.39
## - STA           8   356.46 368.46
## - PRE_PAR_REL   1   349.45 375.45
## - TOT_ARB       1   354.01 380.01
##
## Step:  AIC=352.44
## BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL + STA + TOT_HER + PRE_PAR_ABS +
##     PEN + DUR
##
##                Df Deviance    AIC
## + SIN_EXP       1   316.65 348.65
## + COS_EXP       1   319.13 351.13
## + TOT_BLO       1   320.00 352.00
## <none>              322.44 352.44
## + TOT_REM       1   320.61 352.61
## + PRE_PAR_ABS2  1   321.64 353.64
## + TOT_CAI       1   321.84 353.84
## + G_TOT         1   322.40 354.40
## + H.0           1   322.41 354.41
## + PRE_PAR_REL2  1   322.42 354.42
## + G_TOT2        1   322.44 354.44
## + AGE_PPT       1   322.44 354.44
## + TOT_MOU       1   322.44 354.44
## - DUR           1   327.62 355.62
## - PEN           1   327.88 355.88
## - PRE_PAR_ABS   1   331.19 359.19
## + TOP           6   319.89 361.89
## - STA           8   349.39 363.39
## - TOT_HER       1   337.28 365.28
## - PRE_PAR_REL   1   347.78 375.78
## - TOT_ARB       1   350.75 378.75
##
## Step:  AIC=348.65
## BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL + STA + TOT_HER + PRE_PAR_ABS +
##     PEN + DUR + SIN_EXP
##
##                Df Deviance    AIC
## + PRE_PAR_ABS2  1   313.67 347.67
## + TOT_BLO       1   314.51 348.51
## + COS_EXP       1   314.57 348.57
## <none>              316.65 348.65
## + TOT_REM       1   315.00 349.00
## + PRE_PAR_REL2  1   316.25 350.25
## + TOT_CAI       1   316.34 350.34
## + G_TOT         1   316.60 350.60
## + H.0           1   316.61 350.61
## + TOT_MOU       1   316.62 350.62
```

```
## + G_TOT2        1   316.63 350.63
## + AGE_PPT       1   316.64 350.64
## - SIN_EXP       1   322.44 352.44
## - PEN           1   323.75 353.75
## - PRE_PAR_ABS   1   324.00 354.00
## - DUR           1   326.09 356.09
## + TOP           6   312.86 356.86
## - TOT_HER       1   330.15 360.15
## - STA           8   348.45 364.45
## - PRE_PAR_REL   1   337.47 367.47
## - TOT_ARB       1   348.30 378.30
##
## Step:  AIC=347.67
## BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL + STA + TOT_HER + PRE_PAR_ABS +
##     PEN + DUR + SIN_EXP + PRE_PAR_ABS2
##
##               Df Deviance    AIC
## + TOT_REM       1   310.88 346.88
## + COS_EXP       1   311.27 347.27
## <none>              313.67 347.67
## + TOT_BLO       1   311.73 347.73
## - PRE_PAR_ABS2  1   316.65 348.65
## + TOT_CAI       1   313.23 349.23
## + PRE_PAR_REL2  1   313.51 349.51
## + H.0           1   313.53 349.53
## + TOT_MOU       1   313.60 349.60
## + G_TOT2        1   313.60 349.60
## + AGE_PPT       1   313.66 349.66
## + G_TOT         1   313.67 349.67
## - PRE_PAR_ABS   1   319.22 351.22
## - PEN           1   320.56 352.56
## - SIN_EXP       1   321.64 353.64
## + TOP           6   310.94 356.94
## - DUR           1   325.13 357.13
## - TOT_HER       1   328.10 360.10
## - STA           8   348.40 366.40
## - PRE_PAR_REL   1   336.47 368.47
## - TOT_ARB       1   347.55 379.55
##
## Step:  AIC=346.88
## BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL + STA + TOT_HER + PRE_PAR_ABS +
##     PEN + DUR + SIN_EXP + PRE_PAR_ABS2 + TOT_REM
##
##               Df Deviance    AIC
## + COS_EXP       1   307.14 345.14
## <none>              310.88 346.88
## + TOT_BLO       1   309.03 347.03
## - TOT_REM       1   313.67 347.67
## + TOT_CAI       1   309.78 347.78
## + H.0           1   310.60 348.60
## + TOT_MOU       1   310.76 348.76
## + G_TOT2        1   310.77 348.77
## + AGE_PPT       1   310.78 348.78
## + PRE_PAR_REL2  1   310.82 348.82
## + G_TOT         1   310.88 348.88
## - PRE_PAR_ABS2  1   315.00 349.00
## - PRE_PAR_ABS   1   317.67 351.67
## - PEN           1   318.03 352.03
## - SIN_EXP       1   319.23 353.23
## + TOP           6   308.36 356.36
## - DUR           1   322.50 356.50
## - TOT_HER       1   327.54 361.54
## - STA           8   343.07 363.07
## - PRE_PAR_REL   1   333.72 367.72
## - TOT_ARB       1   347.55 381.55
##
## Step:  AIC=345.14
## BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL + STA + TOT_HER + PRE_PAR_ABS +
##     PEN + DUR + SIN_EXP + PRE_PAR_ABS2 + TOT_REM + COS_EXP
##
##               Df Deviance    AIC
## + TOT_BLO       1   304.99 344.99
## <none>              307.14 345.14
## + TOT_CAI       1   305.70 345.70
## - COS_EXP       1   310.88 346.88
## + G_TOT2        1   307.01 347.01
## + H.0           1   307.07 347.07
## + PRE_PAR_REL2  1   307.08 347.08
## + TOT_MOU       1   307.08 347.08
## + AGE_PPT       1   307.11 347.11
## + G_TOT         1   307.14 347.14
## - TOT_REM       1   311.27 347.27
## - PRE_PAR_ABS2  1   312.10 348.10
## - SIN_EXP       1   313.79 349.79
## - PRE_PAR_ABS   1   314.75 350.75
## - PEN           1   316.02 352.02
## + TOP           6   304.30 354.30
## - DUR           1   320.51 356.51
## - STA           8   337.67 359.67
## - TOT_HER       1   325.98 361.98
## - PRE_PAR_REL   1   329.72 365.72
## - TOT_ARB       1   347.30 383.30
##
## Step:  AIC=344.99
## BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL + STA + TOT_HER + PRE_PAR_ABS +
##     PEN + DUR + SIN_EXP + PRE_PAR_ABS2 + TOT_REM + COS_EXP +
##     TOT_BLO
##
##               Df Deviance    AIC
## + TOT_CAI       1   302.33 344.33
## <none>              304.99 344.99
## - TOT_BLO       1   307.14 345.14
## + PRE_PAR_REL2  1   304.71 346.71
## + G_TOT2        1   304.80 346.80
## + TOT_MOU       1   304.95 346.95
## + H.0           1   304.97 346.97
## + G_TOT         1   304.98 346.98
## + AGE_PPT       1   304.99 346.99
## - COS_EXP       1   309.03 347.03
## - TOT_REM       1   309.03 347.03
## - PRE_PAR_ABS2  1   309.66 347.66
## - SIN_EXP       1   311.28 349.28
## - PRE_PAR_ABS   1   312.48 350.48
## - PEN           1   312.69 350.69
## + TOP           6   302.45 354.45
## - DUR           1   318.66 356.66
## - STA           8   334.65 358.65
## - TOT_HER       1   324.33 362.33
## - PRE_PAR_REL   1   329.12 367.12
## - TOT_ARB       1   344.53 382.53
##
## Step:  AIC=344.33
## BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL + STA + TOT_HER + PRE_PAR_ABS +
##     PEN + DUR + SIN_EXP + PRE_PAR_ABS2 + TOT_REM + COS_EXP +
##     TOT_BLO + TOT_CAI
##
##               Df Deviance    AIC
## <none>              302.33 344.33
## - TOT_CAI       1   304.99 344.99
## - TOT_BLO       1   305.70 345.70
```

```
## + PRE_PAR_REL2  1   301.81 345.81
## + G_TOT2        1   302.08 346.08
## + AGE_PPT       1   302.21 346.21
## + H.0           1   302.26 346.26
## + G_TOT         1   302.31 346.31
## + TOT_MOU       1   302.32 346.32
## - COS_EXP       1   306.92 346.92
## - PEN           1   307.28 347.28
## - PRE_PAR_ABS2  1   307.71 347.71
## - TOT_REM       1   307.74 347.74
## - SIN_EXP       1   307.75 347.75
## - PRE_PAR_ABS   1   310.53 350.53
## + TOP           6   299.70 353.70
## - STA           8   330.41 356.41
## - DUR           1   317.47 357.47
## - TOT_HER       1   324.30 364.30
## - PRE_PAR_REL   1   325.74 365.74
## - TOT_ARB       1   342.80 382.80
```

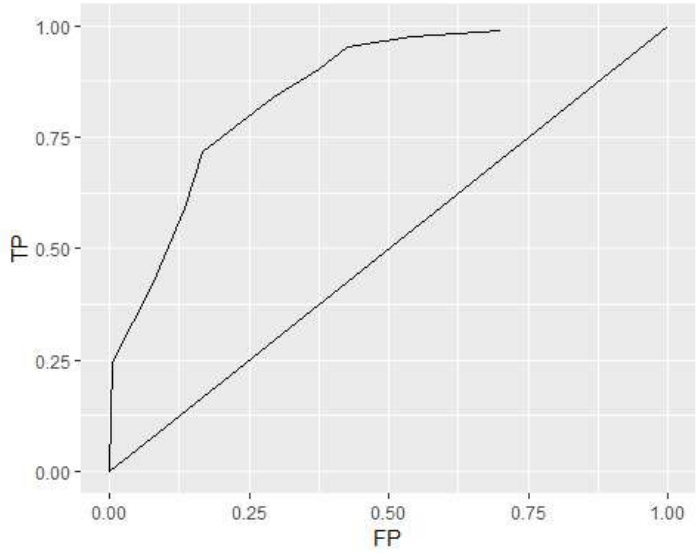
```
summary(mod_AIC_50)
```

```
##
## Call:
## glm(formula = BIN_50 ~ TOT_ARB + PRE_PAR_REL + STA + TOT_HER +
##     PRE_PAR_ABS + PEN + DUR + SIN_EXP + PRE_PAR_ABS2 + TOT_REM +
##     COS_EXP + TOT_BLO + TOT_CAI, family = binomial(link = "logit"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.2351  -0.6738   0.1986   0.7760   3.0567
##
## Coefficients:
##                Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)    4.472342   2.107040   2.123 0.033790 *
## TOT_ARB       -4.552143   0.787668  -5.779 7.50e-09 ***
## PRE_PAR_REL  -26.344219   5.928393  -4.444 8.84e-06 ***
## STA3          -3.415233   1.486045  -2.298 0.021550 *
## STA4          -1.971259   1.191880  -1.654 0.098146 .
## STA5           0.617813   1.055382   0.585 0.558283
## STA6          -0.762212   1.043272  -0.731 0.465025
## STA7         -16.591578 959.111053  -0.017 0.986198
## STA8          -1.129232   1.106579  -1.020 0.307505
## STA9           0.752380   1.112832   0.676 0.498980
## STA10         -0.796658   1.647750  -0.483 0.628753
## TOT_HER       -3.344000   0.766010  -4.365 1.27e-05 ***
## PRE_PAR_ABS    0.884663   0.316038   2.799 0.005122 **
## PEN           -3.451092   1.584591  -2.178 0.029413 *
## DUR            0.279888   0.077545   3.609 0.000307 ***
## SIN_EXP        0.647363   0.286796   2.257 0.023994 *
## PRE_PAR_ABS2  -0.017878   0.007795  -2.294 0.021814 *
## TOT_REM       -2.548890   1.100756  -2.316 0.020581 *
## COS_EXP       -0.561208   0.265069  -2.117 0.034242 *
## TOT_BLO       -7.789513   4.254132  -1.831 0.067094 .
## TOT_CAI       -1.577925   0.979774  -1.610 0.107289
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 457.99  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance: 302.33  on 310  degrees of freedom
## AIC: 344.33
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 15
```

```
# Table de prediction du modele
table(Data$BIN_50,round(predict(mod_AIC_50,type="response"),0))
```

```
##
##       0   1
##   0 111  46
##   1  28 146
```

```
# Trace de la courbe ROC
ROC50_table <- data.frame("FP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),
                          "TP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))
for(i in seq(0,10,by=1)){
  Ps=predict(mod_AIC_50,type="response")>i/10
  ROC50_table$FP[i]<-sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_50==0))/sum(Data$BIN_50==0)
  ROC50_table$TP[i]=sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_50==1))/sum(Data$BIN_50==1)
}
ggplot(data=ROC50_table,mapping=aes(x=FP,y=TP))+
  geom_line()+
  geom_line(data=data.frame("X"=c(0:1,step=0.1),"Y"=c(0:1,step=0.1)),
            mapping=aes(x=X,y=Y))
```

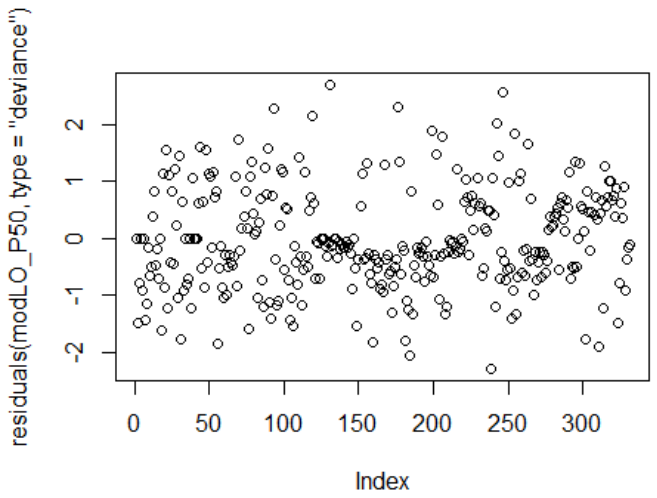



```
# Representation simplifiee des coefficients
# ggcoef(mod_AIC_50,exponentiate=TRUE)

# Regression logistique sur la regeneration de plus de 50 cm
modLO_P50_base <- glm(BIN_P50 ~ 1, data=Data, family=binomial(link="logit"))
modLO_P50 <- glm(BIN_P50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA + G_TOT + H.0 + TOT_MOU +
TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_
PPT + G_TOT2 + PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2,
                 data=Data,
                 family=binomial(link="logit")
)
summary(modLO_P50)
```

```
##
## Call:
## glm(formula = BIN_P50 ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + TOP + STA +
```

```
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + AGE_PPT + G_TOT2 +
##     PRE_PAR_REL2 + PRE_PAR_ABS2, family = binomial(link = "logit"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.2886  -0.5913  -0.1544   0.5889   2.7058
##
## Coefficients:
##                        Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)           1.543e+01  5.746e+00   2.684  0.00727 **
## PEN                  -5.167e+00  1.866e+00  -2.769  0.00562 **
## COS_EXP              -6.068e-01  3.008e-01  -2.018  0.04363 *
## SIN_EXP               4.426e-01  3.034e-01   1.459  0.14461
## TOPCroupe             3.871e+00  1.885e+00   2.054  0.03998 *
## TOPCuvette           -1.916e+01  2.382e+03  -0.008  0.99358
## TOPHaut de versant    3.384e-01  1.344e+00   0.252  0.80116
## TOPMilieu de versant  5.823e-01  1.233e+00   0.472  0.63683
## TOPPlateau           -2.029e+01  2.382e+03  -0.009  0.99320
## TOPTalweg            -1.525e+01  1.657e+03  -0.009  0.99266
## STA3                 -1.511e+00  1.801e+00  -0.839  0.40166
## STA4                  1.909e+01  2.382e+03   0.008  0.99361
## STA5                  2.267e-01  1.290e+00   0.176  0.86056
## STA6                 -1.054e+00  1.325e+00  -0.795  0.42647
## STA7                 -1.270e+01  1.494e+03  -0.008  0.99322
## STA8                 -4.489e-01  1.310e+00  -0.343  0.73179
## STA9                  8.134e-01  1.415e+00   0.575  0.56555
## STA10                -1.620e+01  1.433e+03  -0.011  0.99098
## G_TOT                 2.705e-02  9.097e-02   0.297  0.76622
## H.0                   4.880e-02  6.725e-02   0.726  0.46807
## TOT_MOU              -8.367e-01  1.118e+00  -0.749  0.45408
## TOT_HER              -5.616e+00  1.029e+00  -5.457 4.85e-08 ***
## TOT_ARB              -4.736e+00  9.255e-01  -5.117 3.11e-07 ***
## TOT_BLO              -5.699e+00  5.152e+00  -1.106  0.26862
## TOT_CAI              -5.000e+00  1.536e+00  -3.255  0.00113 **
## TOT_REM              -8.975e+00  1.648e+00  -5.446 5.17e-08 ***
## DUR                  -3.742e-02  8.485e-02  -0.441  0.65922
## PRE_PAR_REL          -3.955e+01  3.084e+01  -1.282  0.19975
## PRE_PAR_ABS          -9.671e-02  4.173e-01  -0.232  0.81672
## AGE_PPT              -1.947e-02  2.762e-02  -0.705  0.48075
## G_TOT2               -1.799e-03  1.333e-03  -1.350  0.17713
## PRE_PAR_REL2          5.668e+01  4.490e+01   1.262  0.20684
## PRE_PAR_ABS2          4.068e-03  1.061e-02   0.384  0.70130
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 439.83  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance: 254.19  on 298  degrees of freedom
## AIC: 320.19
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 16
```

```r
# Graphique representant la deviance des residus ==> bonne repartition des residus
plot(residuals(modLO_P50,type="deviance"))
```




```r
# Selection du modele le plus parcimonieux selon l'AIC
mod_AIC_P50 <- step(object=modLO_P50_base,
                    scope=list(upper=modLO_P50),
                    direction="both")
```

```
## Start:  AIC=441.83
## BIN_P50 ~ 1
##
##                Df Deviance    AIC
## + PEN           1   405.29 409.29
## + TOP           6   400.58 414.58
## + STA           8   399.81 417.81
## + TOT_ARB       1   415.27 419.27
## + AGE_PPT       1   418.07 422.07
## + TOT_CAI       1   419.75 423.75
## + TOT_REM       1   424.24 428.24
## + PRE_PAR_ABS2  1   434.04 438.04
## + TOT_HER       1   434.58 438.58
## + SIN_EXP       1   435.36 439.36
## + H.0           1   435.75 439.75
## + DUR           1   436.10 440.10
## + PRE_PAR_ABS   1   436.89 440.89
## + TOT_BLO       1   437.43 441.43
## <none>              439.83 441.83
## + COS_EXP       1   438.10 442.10
## + PRE_PAR_REL   1   439.22 443.22
## + G_TOT2        1   439.70 443.70
## + PRE_PAR_REL2  1   439.73 443.73
## + G_TOT         1   439.74 443.74
## + TOT_MOU       1   439.76 443.76
##
## Step:  AIC=409.29
## BIN_P50 ~ PEN
##
##                Df Deviance    AIC
## + TOT_HER       1   387.60 393.60
## + TOT_REM       1   388.93 394.93
## + TOT_ARB       1   393.44 399.44
```

```
## + TOP           6   384.79 400.79
## + TOT_CAI       1   399.32 405.32
## + SIN_EXP       1   401.23 407.23
## + G_TOT2        1   401.69 407.69
## + DUR           1   401.70 407.70
## + G_TOT         1   401.90 407.90
## + AGE_PPT       1   402.93 408.93
## <none>              405.29 409.29
## + PRE_PAR_REL   1   403.35 409.35
## + TOT_MOU       1   403.39 409.39
## + PRE_PAR_REL2  1   404.18 410.18
## + COS_EXP       1   404.60 410.60
## + PRE_PAR_ABS2  1   405.05 411.05
## + PRE_PAR_ABS   1   405.14 411.14
## + H.0           1   405.15 411.15
## + TOT_BLO       1   405.27 411.27
## + STA           8   393.14 413.14
## - PEN           1   439.83 441.83
##
## Step:  AIC=393.6
## BIN_P50 ~ PEN + TOT_HER
##
##                Df Deviance    AIC
## + TOT_REM       1   365.53 373.53
## + TOT_ARB       1   370.32 378.32
## + TOP           6   367.12 385.12
## + TOT_CAI       1   377.55 385.55
## + G_TOT2        1   382.70 390.70
## + G_TOT         1   382.88 390.88
## + SIN_EXP       1   384.43 392.43
## + DUR           1   384.84 392.84
## + AGE_PPT       1   385.40 393.40
## <none>              387.60 393.60
## + STA           8   371.70 393.70
## + COS_EXP       1   385.94 393.94
## + PRE_PAR_REL   1   386.44 394.44
## + PRE_PAR_REL2  1   387.05 395.05
## + PRE_PAR_ABS2  1   387.18 395.18
## + H.0           1   387.52 395.52
## + TOT_BLO       1   387.54 395.54
## + PRE_PAR_ABS   1   387.56 395.56
## + TOT_MOU       1   387.59 395.59
## - TOT_HER       1   405.29 409.29
## - PEN           1   434.58 438.58
##
## Step:  AIC=373.53
## BIN_P50 ~ PEN + TOT_HER + TOT_REM
##
##                Df Deviance    AIC
## + TOT_ARB       1   335.33 345.33
## + TOT_CAI       1   348.57 358.57
## + G_TOT2        1   356.17 366.17
## + G_TOT         1   356.49 366.49
## + TOP           6   347.80 367.80
## + DUR           1   362.32 372.32
## + COS_EXP       1   362.74 372.74
## + TOT_MOU       1   363.14 373.14
## + SIN_EXP       1   363.21 373.21
## <none>              365.53 373.53
## + STA           8   349.57 373.57
## + PRE_PAR_ABS2  1   365.18 375.18
## + PRE_PAR_REL   1   365.21 375.21
## + H.0           1   365.25 375.25
## + TOT_BLO       1   365.38 375.38
## + PRE_PAR_REL2  1   365.40 375.40
## + AGE_PPT       1   365.40 375.40
## + PRE_PAR_ABS   1   365.51 375.51
## - TOT_REM       1   387.60 393.60
## - TOT_HER       1   388.93 394.93
## - PEN           1   416.17 422.17
##
## Step:  AIC=345.33
## BIN_P50 ~ PEN + TOT_HER + TOT_REM + TOT_ARB
##
##                Df Deviance    AIC
## + TOT_CAI       1   315.90 327.90
## + G_TOT2        1   323.60 335.60
## + G_TOT         1   323.90 335.90
## + COS_EXP       1   329.26 341.26
## + SIN_EXP       1   331.34 343.34
## + DUR           1   332.40 344.40
## <none>              335.33 345.33
## + TOT_MOU       1   334.70 346.70
## + TOP           6   324.70 346.70
## + PRE_PAR_ABS2  1   335.08 347.08
## + H.0           1   335.10 347.10
## + PRE_PAR_REL   1   335.27 347.27
## + TOT_BLO       1   335.28 347.28
## + PRE_PAR_REL2  1   335.33 347.33
## + AGE_PPT       1   335.33 347.33
## + PRE_PAR_ABS   1   335.33 347.33
## + STA           8   323.16 349.16
## - TOT_ARB       1   365.53 373.53
## - TOT_HER       1   370.01 378.01
## - TOT_REM       1   370.32 378.32
## - PEN           1   372.22 380.22
##
## Step:  AIC=327.9
## BIN_P50 ~ PEN + TOT_HER + TOT_REM + TOT_ARB + TOT_CAI
##
##                Df Deviance    AIC
## + G_TOT2        1   300.78 314.78
## + G_TOT         1   301.45 315.45
## + COS_EXP       1   308.66 322.66
## <none>              315.90 327.90
## + TOT_BLO       1   314.19 328.19
## + TOT_MOU       1   314.43 328.43
## + SIN_EXP       1   314.53 328.53
## + DUR           1   314.75 328.75
## + PRE_PAR_ABS2  1   315.28 329.28
## + PRE_PAR_REL2  1   315.41 329.41
## + H.0           1   315.46 329.46
## + PRE_PAR_REL   1   315.63 329.63
## + PRE_PAR_ABS   1   315.73 329.73
## + AGE_PPT       1   315.88 329.88
## + STA           8   303.79 331.79
## + TOP           6   309.23 333.23
## - PEN           1   333.81 343.81
## - TOT_CAI       1   335.33 345.33
## - TOT_ARB       1   348.57 358.57
## - TOT_REM       1   360.56 370.56
## - TOT_HER       1   361.05 371.05
##
## Step:  AIC=314.78
## BIN_P50 ~ PEN + TOT_HER + TOT_REM + TOT_ARB + TOT_CAI + G_TOT2
##
##                Df Deviance    AIC
## + COS_EXP       1   290.29 306.29
## + SIN_EXP       1   297.60 313.60
## + TOT_MOU       1   298.54 314.54
```

```
## <none>              300.78 314.78
## + DUR           1   299.05 315.05
## + TOT_BLO       1   299.09 315.09
## + H.0           1   299.46 315.46
## + PRE_PAR_ABS2  1   300.27 316.27
## + PRE_PAR_REL   1   300.57 316.57
## + AGE_PPT       1   300.71 316.71
## + PRE_PAR_ABS   1   300.72 316.72
## + PRE_PAR_REL2  1   300.74 316.74
## + G_TOT         1   300.78 316.78
## + STA           8   289.35 319.35
## + TOP           6   294.56 320.56
## - G_TOT2        1   315.90 327.90
## - TOT_CAI       1   323.60 335.60
## - PEN           1   326.43 338.43
## - TOT_ARB       1   336.73 348.73
## - TOT_HER       1   352.75 364.75
## - TOT_REM       1   354.91 366.91
##
## Step:  AIC=306.29
## BIN_P50 ~ PEN + TOT_HER + TOT_REM + TOT_ARB + TOT_CAI + G_TOT2 +
##     COS_EXP
##
##                Df Deviance    AIC
## + TOT_BLO       1   287.44 305.44
## <none>              290.29 306.29
## + SIN_EXP       1   288.66 306.66
## + DUR           1   289.09 307.09
## + H.0           1   289.32 307.32
## + PRE_PAR_ABS2  1   290.00 308.00
## + AGE_PPT       1   290.09 308.09
## + TOT_MOU       1   290.16 308.16
## + G_TOT         1   290.19 308.19
## + PRE_PAR_REL   1   290.24 308.24
## + PRE_PAR_ABS   1   290.24 308.24
## + PRE_PAR_REL2  1   290.29 308.29
## + TOP           6   281.25 309.25
## + STA           8   281.21 313.21
## - COS_EXP       1   300.78 314.78
## - G_TOT2        1   308.66 322.66
## - PEN           1   314.05 328.05
## - TOT_CAI       1   315.26 329.26
## - TOT_ARB       1   331.17 345.17
## - TOT_HER       1   349.73 363.73
## - TOT_REM       1   351.67 365.67
##
## Step:  AIC=305.44
## BIN_P50 ~ PEN + TOT_HER + TOT_REM + TOT_ARB + TOT_CAI + G_TOT2 +
##     COS_EXP + TOT_BLO
##
##                Df Deviance    AIC
## <none>              287.44 305.44
## + SIN_EXP       1   285.74 305.74
## - TOT_BLO       1   290.29 306.29
## + DUR           1   286.40 306.40
## + H.0           1   286.86 306.86
## + AGE_PPT       1   286.94 306.94
## + PRE_PAR_REL   1   287.13 307.13
## + G_TOT         1   287.21 307.21
## + TOT_MOU       1   287.26 307.26
## + PRE_PAR_ABS2  1   287.29 307.29
## + PRE_PAR_REL2  1   287.33 307.33
## + PRE_PAR_ABS   1   287.44 307.44
## + TOP           6   278.73 308.73
## + STA           8   280.01 314.01
## - COS_EXP       1   299.09 315.09
## - PEN           1   304.28 320.28
## - G_TOT2        1   306.03 322.03
## - TOT_CAI       1   315.13 331.13
## - TOT_ARB       1   328.67 344.67
## - TOT_HER       1   348.69 364.69
## - TOT_REM       1   351.11 367.11
```

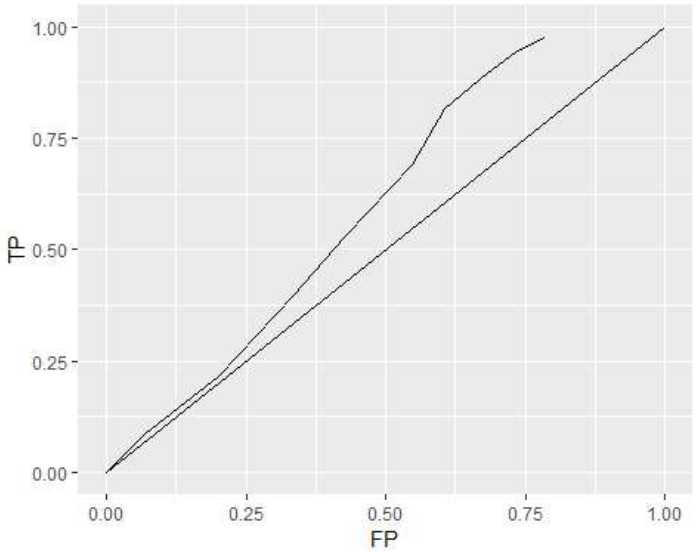
```r
summary(mod_AIC_P50)
```

```
##
## Call:
## glm(formula = BIN_P50 ~ PEN + TOT_HER + TOT_REM + TOT_ARB + TOT_CAI +
##     G_TOT2 + COS_EXP + TOT_BLO, family = binomial(link = "logit"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.0320  -0.6473  -0.2537   0.6919   2.3426
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  5.7273319  0.7613575   7.523 5.37e-14 ***
## PEN         -3.1580047  0.8018607  -3.938 8.20e-05 ***
## TOT_HER     -5.4339301  0.8141077  -6.675 2.48e-11 ***
## TOT_REM     -8.6865740  1.3566832  -6.403 1.53e-10 ***
## TOT_ARB     -4.2919810  0.7496635  -5.725 1.03e-08 ***
## TOT_CAI     -5.3964011  1.3240281  -4.076 4.59e-05 ***
## G_TOT2      -0.0010503  0.0002573  -4.083 4.45e-05 ***
## COS_EXP     -0.7505329  0.2267185  -3.310 0.000932 ***
## TOT_BLO     -6.8540941  4.2863624  -1.599 0.109810
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 439.83  on 330  degrees of freedom
## Residual deviance: 287.44  on 322  degrees of freedom
## AIC: 305.44
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 5
```

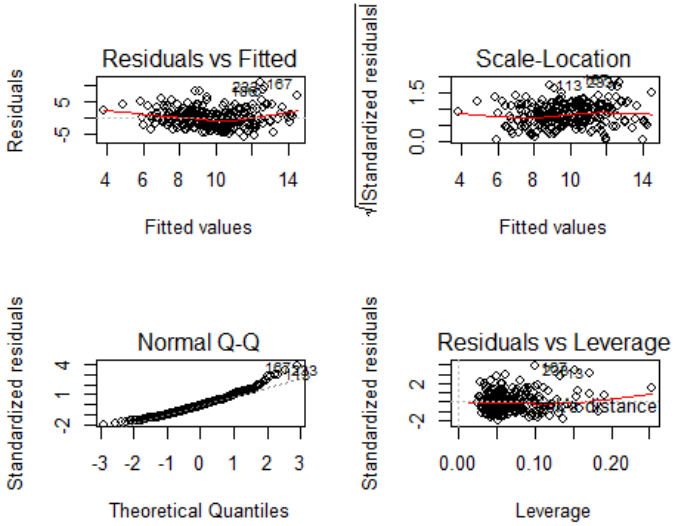
```r
# Table de prediction du modele
table(Data$BIN_P50,round(predict(mod_AIC_P50,type="response"),0))
```

```
##
##       0   1
##   0 171  34
##   1  42  84
```

```r
# Trace de la courbe ROC
ROCP50_table <- data.frame("FP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),
                           "TP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))
for(i in seq(0,10,by=1)){
  Ps=predict(mod_AIC_10,type="response")>i/10
  ROCP50_table$FP[i]<-sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_P50==0))/sum(Data$BIN_P50==0)
  ROCP50_table$TP[i]=sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_P50==1))/sum(Data$BIN_P50==1)
}
ggplot(data=ROCP50_table,mapping=aes(x=FP,y=TP))+
  geom_line()+
  geom_line(data=data.frame("X"=c(0:1,step=0.1),"Y"=c(0:1,step=0.1)),
            mapping=aes(x=X,y=Y))
```




```
# Representation simplifiee des coefficients
# ggcoef(mod_AIC_P50,exponentiate=TRUE)

############################
# ACCROISSEMENT DES SEMIS #
############################

# Les variables TOP et STA ont ete enlevees car elles donnaient des resultats douteux
# Les variables d'interaction ont ete enlevees car elles ressortaient sans que les varia
bles individuelles n'aient d'effet significatif
# Les termes au carre ont ete enleves car ils perturbaient le modele (pas d'effet de la
variable simple)

# Modele d'ANCOVA sur l'accroissement moyen des semis
modAC_ACC0 <- lm(ACC_MOY ~ 1, data=Data[which(is.na(Data$ACC_MOY)==FALSE),])
modAC_ACC <- lm(ACC_MOY ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TO
T_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_P
PT + GIB,
                data=Data[which(is.na(Data$ACC_MOY)==FALSE),])

summary(modAC_ACC)

##
## Call:
## lm(formula = ACC_MOY ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + H.0 +
##     TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM +
##     DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT + GIB,
##     data = Data[which(is.na(Data$ACC_MOY) == FALSE), ])
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -5.5482 -1.9745 -0.2414  1.5039 10.5174
##
## Coefficients:
##               Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  2.233e+01  4.272e+00   5.227 3.68e-07 ***
## PEN         -1.616e+00  1.411e+00  -1.145  0.25343
## COS_EXP     -9.307e-01  3.771e-01  -2.468  0.01426 *
## SIN_EXP      4.829e-01  3.012e-01   1.603  0.11013
## G_TOT       -7.098e-02  2.212e-02  -3.209  0.00151 **
## H.0          4.847e-02  6.516e-02   0.744  0.45766
## TOT_MOU      1.242e+00  1.306e+00   0.951  0.34253
## TOT_HER     -2.491e+00  8.780e-01  -2.837  0.00494 **
## TOT_ARB     -1.265e+00  9.898e-01  -1.279  0.20225
## TOT_BLO     -1.189e+01  5.950e+00  -1.998  0.04677 *
## TOT_CAI     -1.882e+00  1.190e+00  -1.582  0.11482
## TOT_REM     -2.291e+00  1.367e+00  -1.676  0.09501 .
## DUR          9.655e-02  8.957e-02   1.078  0.28212
## PRE_PAR_REL  4.787e+00  6.705e+00   0.714  0.47591
## PRE_PAR_ABS  1.392e-01  1.082e-01   1.287  0.19929
## RAY_2012    -7.072e-06  2.357e-06  -3.001  0.00297 **
## AGE_PPT     -3.668e-02  2.686e-02  -1.365  0.17335
## GIB         -1.367e+00  3.069e-01  -4.454 1.28e-05 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 2.911 on 246 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.3071, Adjusted R-squared:  0.2592
## F-statistic: 6.414 on 17 and 246 DF,  p-value: 1.801e-12

par(mfcol=c(2,2))
plot(modAC_ACC)
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> normalite et homoscedasticite sont correctes
# Selection du modele le plus parcimonieux selon l'AIC
modAC_ACC_AIC <- step(object=modAC_ACC,scope=modAC_ACC0,direction="both")

## Start:  AIC=581.57
## ACC_MOY ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER +
##     TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL +
##     PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT + GIB
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## - PRE_PAR_REL  1     4.321 2089.3 580.12
## - H.0          1     4.690 2089.6 580.16
```

```
## - TOT_MOU      1     7.665 2092.6 580.54
## - DUR          1     9.848 2094.8 580.81
## - PEN          1    11.107 2096.1 580.97
## - TOT_ARB      1    13.855 2098.8 581.32
## - PRE_PAR_ABS  1    14.039 2099.0 581.34
## - AGE_PPT      1    15.803 2100.8 581.56
## <none>                     2084.9 581.57
## - TOT_CAI      1    21.225 2106.2 582.24
## - SIN_EXP      1    21.789 2106.7 582.31
## - TOT_REM      1    23.806 2108.8 582.57
## - TOT_BLO      1    33.847 2118.8 583.82
## - COS_EXP      1    51.631 2136.6 586.03
## - TOT_HER      1    68.200 2153.2 588.07
## - RAY_2012     1    76.316 2161.3 589.06
## - G_TOT        1    87.273 2172.2 590.39
## - GIB          1   168.144 2253.1 600.04
##
## Step:  AIC=580.12
## ACC_MOY ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER +
##     TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_ABS +
##     RAY_2012 + AGE_PPT + GIB
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## - H.0          1     4.790 2094.1 578.72
## - TOT_MOU      1     5.724 2095.0 578.84
## - DUR          1    10.615 2099.9 579.45
## - PEN          1    11.251 2100.5 579.53
## - AGE_PPT      1    11.794 2101.1 579.60
## - TOT_ARB      1    12.024 2101.3 579.63
## <none>                     2089.3 580.12
## - SIN_EXP      1    18.711 2108.0 580.47
## - TOT_CAI      1    20.478 2109.7 580.69
## - TOT_REM      1    22.890 2112.2 580.99
## - TOT_BLO      1    37.517 2126.8 582.81
## - COS_EXP      1    48.598 2137.9 584.19
## - TOT_HER      1    66.683 2155.9 586.41
## - RAY_2012     1    80.581 2169.8 588.11
## - G_TOT        1   122.481 2211.8 593.16
## - PRE_PAR_ABS  1   158.854 2248.1 597.46
## - GIB          1   165.922 2255.2 598.29
##
## Step:  AIC=578.72
## ACC_MOY ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + TOT_MOU + TOT_HER +
##     TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_ABS +
##     RAY_2012 + AGE_PPT + GIB
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## - TOT_MOU      1     5.879 2099.9 577.46
## - DUR          1     8.885 2102.9 577.84
## - AGE_PPT      1     9.963 2104.0 577.97
## - TOT_ARB      1    10.420 2104.5 578.03
## <none>                     2094.1 578.72
## - SIN_EXP      1    18.820 2112.9 579.08
## - PEN          1    18.935 2113.0 579.10
## - TOT_CAI      1    20.339 2114.4 579.27
## - TOT_REM      1    24.873 2118.9 579.84
## - TOT_BLO      1    37.825 2131.9 581.45
## - COS_EXP      1    52.667 2146.7 583.28
## - TOT_HER      1    70.848 2164.9 585.50
## - RAY_2012     1    86.706 2180.8 587.43
## - G_TOT        1   117.832 2211.9 591.17
## - GIB          1   167.304 2261.4 597.01
## - PRE_PAR_ABS  1   175.127 2269.2 597.92
##
## Step:  AIC=577.46
## ACC_MOY ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + TOT_HER + TOT_ARB +
##     TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 +
##     AGE_PPT + GIB
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## - TOT_ARB      1     7.397 2107.3 576.39
## - AGE_PPT      1     9.899 2109.8 576.70
## - DUR          1    10.474 2110.4 576.77
## <none>                     2099.9 577.46
## - SIN_EXP      1    18.514 2118.4 577.78
## - TOT_CAI      1    21.324 2121.3 578.13
## - PEN          1    22.449 2122.4 578.27
## - TOT_REM      1    33.640 2133.6 579.66
## - TOT_BLO      1    36.882 2136.8 580.06
## - COS_EXP      1    51.294 2151.2 581.83
## - TOT_HER      1    91.502 2191.4 586.72
## - G_TOT        1   114.781 2214.7 589.51
## - RAY_2012     1   123.542 2223.5 590.55
## - PRE_PAR_ABS  1   184.977 2284.9 597.75
## - GIB          1   196.172 2296.1 599.04
##
## Step:  AIC=576.39
## ACC_MOY ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + TOT_HER + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT +
##     GIB
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## - AGE_PPT      1     9.351 2116.7 575.56
## - DUR          1    10.065 2117.4 575.65
## <none>                     2107.3 576.39
## - SIN_EXP      1    17.229 2124.6 576.54
## - TOT_CAI      1    21.298 2128.6 577.04
## - PEN          1    25.252 2132.6 577.53
## - TOT_REM      1    28.254 2135.6 577.90
## - TOT_BLO      1    39.139 2146.5 579.25
## - COS_EXP      1    48.971 2156.3 580.45
## - TOT_HER      1    85.220 2192.6 584.85
## - G_TOT        1   112.577 2219.9 588.13
## - RAY_2012     1   121.847 2229.2 589.23
## - PRE_PAR_ABS  1   186.669 2294.0 596.80
## - GIB          1   205.342 2312.7 598.94
##
## Step:  AIC=575.56
## ACC_MOY ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + TOT_HER + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + GIB
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## - DUR          1    13.197 2129.9 575.20
## <none>                     2116.7 575.56
## - SIN_EXP      1    21.323 2138.0 576.20
## - TOT_CAI      1    23.489 2140.2 576.47
## - TOT_REM      1    33.379 2150.1 577.69
## - TOT_BLO      1    37.063 2153.8 578.14
## - COS_EXP      1    49.960 2166.6 579.72
## - PEN          1    57.123 2173.8 580.59
## - TOT_HER      1    86.347 2203.0 584.11
## - G_TOT        1   105.062 2221.7 586.35
## - RAY_2012     1   135.132 2251.8 589.90
## - PRE_PAR_ABS  1   188.608 2305.3 596.09
## - GIB          1   197.603 2314.3 597.12
##
## Step:  AIC=575.2
## ACC_MOY ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + TOT_HER + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + GIB
##
```

```
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## - SIN_EXP      1    12.174 2142.1 574.70
## <none>                     2129.9 575.20
## - TOT_CAI      1    22.141 2152.0 575.93
## - TOT_REM      1    34.013 2163.9 577.38
## - TOT_BLO      1    36.191 2166.1 577.65
## - COS_EXP      1    47.020 2176.9 578.96
## - PEN          1    61.212 2191.1 580.68
## - TOT_HER      1    79.919 2209.8 582.92
## - G_TOT        1   106.873 2236.8 586.12
## - RAY_2012     1   133.374 2263.2 589.23
## - PRE_PAR_ABS  1   176.209 2306.1 594.18
## - GIB          1   190.159 2320.0 595.77
##
## Step:  AIC=574.7
## ACC_MOY ~ PEN + COS_EXP + G_TOT + TOT_HER + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + GIB
##
##               Df Sum of Sq    RSS    AIC
## <none>                     2142.1 574.70
## - TOT_CAI      1    27.694 2169.8 576.09
## - TOT_BLO      1    37.464 2179.5 577.28
## - TOT_REM      1    40.793 2182.8 577.68
## - COS_EXP      1    55.518 2197.6 579.46
## - PEN          1    61.008 2203.1 580.12
## - TOT_HER      1    86.290 2228.3 583.13
## - G_TOT        1    99.302 2241.4 584.67
## - RAY_2012     1   136.560 2278.6 589.02
## - PRE_PAR_ABS  1   183.934 2326.0 594.45
## - GIB          1   213.541 2355.6 597.79
```

```
summary(modAC_ACC_AIC)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = ACC_MOY ~ PEN + COS_EXP + G_TOT + TOT_HER + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + GIB, data = Data[which(is.na(Data$AC
C_MOY) ==
##     FALSE), ])
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -5.7680 -2.1406 -0.3047  1.6496 10.5350
##
## Coefficients:
##               Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  2.198e+01  2.817e+00   7.803 1.59e-13 ***
## PEN         -3.036e+00  1.131e+00  -2.684 0.007747 **
## COS_EXP     -9.355e-01  3.653e-01  -2.561 0.011027 *
## G_TOT       -6.686e-02  1.952e-02  -3.425 0.000718 ***
## TOT_HER     -2.591e+00  8.115e-01  -3.192 0.001589 **
## TOT_BLO     -1.235e+01  5.871e+00  -2.104 0.036405 *
## TOT_CAI     -2.117e+00  1.171e+00  -1.809 0.071701 .
## TOT_REM     -2.755e+00  1.255e+00  -2.195 0.029071 *
## PRE_PAR_ABS  2.064e-01  4.427e-02   4.661 5.10e-06 ***
## RAY_2012    -8.511e-06  2.119e-06  -4.016 7.80e-05 ***
## GIB         -1.268e+00  2.524e-01  -5.022 9.66e-07 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 2.91 on 253 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.2881, Adjusted R-squared:   0.26
## F-statistic: 10.24 on 10 and 253 DF,  p-value: 1.831e-14
```

```
########################################
# MODELISATION PAR GROUPE DE PLACETTES #
########################################

liste_parcelles <- unique(Data$PAR)
liste_groupes <- data.frame('GDT31-1' = c(28,29,30,500,500,500,500,500,500,500,500,500,5
00,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'GDT31-2' = c(31,35,38,39,40,41,500,500,500,500,500,500,500,
500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'GDT30' = c(11,12,13,14,16,17,20,21,23,24,25,500,500,500,500
,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'GDT19' = c(70,71,72,73,74,75,500,500,500,500,500,500,500,50
0,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'GDT4142' = c(94,95,96,97,98,99,100,101,102,103,104,105,106,
500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'GDT32' = c(26,32,33,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500
,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'GDT35' = c(18,22,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,50
0,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN141' = c(253,254,255,256,500,500,500,500,500,500,500,500
,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN478-1' = c(4,5,6,10,11,12,13,17,18,19,20,500,500,500,500
,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN478-2' = c(25,26,27,28,33,34,35,40,41,500,500,500,500,50
0,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN479' = c(0,1,2,3,7,8,9,14,15,16,21,22,23,24,29,30,31,32,
36,37,38,39,42,43,44,45),
                            'MEN384' = c(58,64,65,69,70,76,500,500,500,500,500,500,500,5
00,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN379-1' = c(73,74,78,79,80,86,87,88,89,96,500,500,500,500
,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN379-2' = c(75,81,82,83,84,90,91,92,93,97,99,500,500,500,
500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN378' = c(95,98,100,101,102,103,104,105,106,500,500,500,5
00,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN377-1' = c(107,108,109,110,111,112,113,114,115,500,500,5
00,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN377-2' = c(116,117,118,500,500,500,500,500,500,500,500,5
00,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN376' = c(118,119,120,121,122,127,500,500,500,500,500,500
,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN136137-1' = c(262,264,265,266,269,270,274,275,281,282,28
8,289,290,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN136137-2' = c(267,268,271,276,277,278,283,284,285,500,50
0,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN402-1' = c(242,243,247,250,251,252,500,500,500,500,500,5
00,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN402-2' = c(224,226,227,228,229,231,232,233,234,235,236,2
37,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN401' = c(238,240,244,245,246,248,249,500,500,500,500,500
,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN308' = c(130,131,132,133,138,139,140,141,142,143,144,145
,146,147,148,149,150,151,152,153,155,156,157,161,162,500),
                            'MEN309' = c(159,163,164,165,166,169,170,171,173,175,176,177
,178,179,180,181,182,183,184,185,186,187,191,192,193,500),
                            'MEN101' = c(351,354,357,361,362,365,369,500,500,500,500,500
,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN103-1' = c(370,374,375,376,381,382,383,389,500,500,500,5
00,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN103-2' = c(380,387,388,500,500,500,500,500,500,500,500,5
00,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN96-1' = c(352,355,356,358,359,363,366,367,372,377,378,50
0,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN96-2' = c(353,360,364,368,373,379,384,385,500,500,500,50
0,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
```

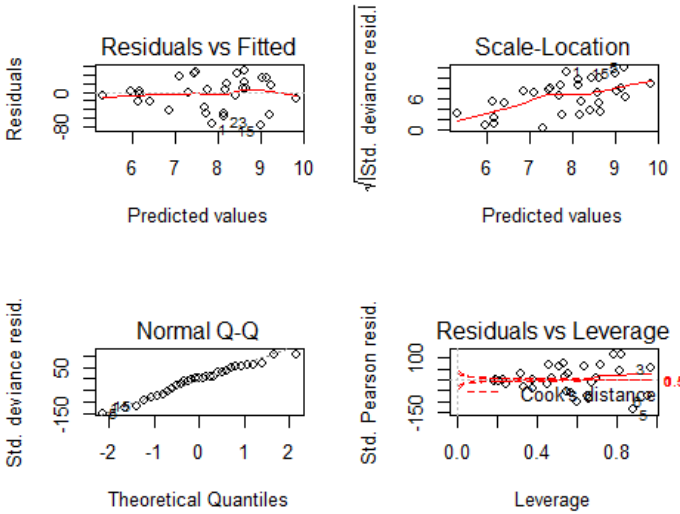
```
                            'MEN162' = c(286,287,291,292,293,302,303,304,309,310,500,500
,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN161' = c(311,312,319,320,321,322,331,332,333,334,335,336
,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN159' = c(338,339,340,341,342,343,344,345,347,348,349,350
,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500),
                            'MEN110' = c(391,397,403,404,406,408,410,412,500,500,500,500
,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500)
)

liste_TOT_10 <- c()
liste_TOT_50 <- c()
liste_TOT_P50 <- c()
liste_PEN <- c()
liste_COS_EXP <- c()
liste_SIN_EXP <- c()
liste_G_TOT <- c()
liste_H.0 <- c()
liste_TOT_MOU <- c()
liste_TOT_HER <- c()
liste_TOT_ARB <- c()
liste_TOT_BLO <- c()
liste_TOT_CAI <- c()
liste_TOT_REM <- c()
liste_DUR <- c()
liste_PRE_PAR_REL <- c()
liste_PRE_PAR_ABS <- c()
liste_RAY_2012 <- c()
liste_AGE_PPT <- c()
liste_PROP_10_2500 <- c()
liste_PROP_50_2500 <- c()
liste_PROP_P50_2500 <- c()
liste_PROP_10_5000 <- c()
liste_PROP_50_5000 <- c()
liste_PROP_P50_5000 <- c()

proportion <- function(list,seuil){
  count <- 0
  for (i in 1:length(list)){
    if (list[i] >= seuil){
      count <- count + 1
    }
  }
  return(count/length(list))
}

for(i in 1:length(liste_parcelles)){
  if(i<=7){
    liste_TOT_10[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GDT
'),]$TOT_10)
    liste_TOT_50[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GDT
'),]$TOT_50)
    liste_TOT_P50[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GD
T'),]$'SOM_>50')
    liste_PEN[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GDT'),
]$PEN)
    liste_COS_EXP[i] <- cos(mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=
='GDT'),]$ORI)*2*3.1415/400)
    liste_SIN_EXP[i] <- sin(mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=
='GDT'),]$ORI)*2*3.1415/400)
    liste_G_TOT[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GDT'
),]$G_TOT)
    liste_H.0[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GDT'),
]$H.0)
    liste_TOT_MOU[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GD
T'),]$TOT_MOU)
    liste_TOT_HER[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GD
T'),]$TOT_HER)
    liste_TOT_ARB[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GD
T'),]$TOT_ARB)
    liste_TOT_BLO[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GD
T'),]$TOT_BLO)
    liste_TOT_CAI[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GD
T'),]$TOT_CAI)
    liste_TOT_REM[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GD
T'),]$TOT_REM)
    liste_DUR[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GDT'),
]$DUR)
    liste_PRE_PAR_REL[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=
='GDT'),]$PRE_PAR_REL)
    liste_PRE_PAR_ABS[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=
='GDT'),]$PRE_PAR_ABS)
    liste_RAY_2012[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='G
DT'),]$RAY_2012)
    liste_AGE_PPT[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='GD
T'),]$AGE_PPT)
    liste_PROP_10_5000[i] <- proportion(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Da
ta$FOR=='GDT'),]$TOT_10,5000)
    liste_PROP_10_2500[i] <- proportion(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Da
ta$FOR=='GDT'),]$TOT_10,2500)
    liste_PROP_50_2500[i] <- proportion(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Da
ta$FOR=='GDT'),]$TOT_50,5000)
    liste_PROP_50_5000[i] <- proportion(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Da
ta$FOR=='GDT'),]$TOT_50,2500)
    liste_PROP_P50_2500[i] <- proportion(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & D
ata$FOR=='GDT'),]$'SOM_>50',5000)
    liste_PROP_P50_5000[i] <- proportion(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & D
ata$FOR=='GDT'),]$'SOM_>50',2500)
  } else {
    liste_TOT_10[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='MEN
'),]$TOT_10)
    liste_TOT_50[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='MEN
'),]$TOT_50)
    liste_TOT_P50[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='ME
N'),]$'SOM_>50')
    liste_PEN[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='MEN'),
]$PEN)
    liste_COS_EXP[i] <- cos(mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=
='MEN'),]$ORI)*2*3.1415/400)
    liste_SIN_EXP[i] <- sin(mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=
='MEN'),]$ORI)*2*3.1415/400)
    liste_G_TOT[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='MEN'
),]$G_TOT)
    liste_H.0[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='MEN'),
]$H.0)
    liste_TOT_MOU[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='ME
N'),]$TOT_MOU)
    liste_TOT_HER[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='ME
N'),]$TOT_HER)
    liste_TOT_ARB[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='ME
N'),]$TOT_ARB)
    liste_TOT_BLO[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='ME
N'),]$TOT_BLO)
    liste_TOT_CAI[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='ME
N'),]$TOT_CAI)
    liste_TOT_REM[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='ME
N'),]$TOT_REM)
    liste_DUR[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='MEN'),
]$DUR)
    liste_PRE_PAR_REL[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=
```

```
='MEN'),]$PRE_PAR_REL)
    liste_PRE_PAR_ABS[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=
='MEN'),]$PRE_PAR_ABS)
    liste_RAY_2012[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='M
EN'),]$RAY_2012)
    liste_AGE_PPT[i] <- mean(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Data$FOR=='ME
N'),]$AGE_PPT)
    liste_PROP_10_5000[i] <- proportion(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Da
ta$FOR=='MEN'),]$TOT_10,5000)
    liste_PROP_10_2500[i] <- proportion(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Da
ta$FOR=='MEN'),]$TOT_10,2500)
    liste_PROP_50_2500[i] <- proportion(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Da
ta$FOR=='MEN'),]$TOT_50,5000)
    liste_PROP_50_5000[i] <- proportion(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & Da
ta$FOR=='MEN'),]$TOT_50,2500)
    liste_PROP_P50_2500[i] <- proportion(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & D
ata$FOR=='MEN'),]$'SOM_>50',5000)
    liste_PROP_P50_5000[i] <- proportion(Data[which(Data$PLA %in% liste_groupes[[i]] & D
ata$FOR=='MEN'),]$'SOM_>50',2500)
  }
}

# liste_TOP <- c("àremplirmanuellement")
# liste_STA <- c("àremplirmanuellement")

NewData <- data.frame('PAR' = liste_parcelles,
                      'TOT_10' = liste_TOT_10,
                      'TOT_50' = liste_TOT_50,
                      'TOT_P50' = liste_TOT_P50,
                      'PEN' = liste_PEN,
                      'COS_EXP' = liste_COS_EXP,
                      'SIN_EXP' = liste_SIN_EXP,
                      #'TOP' = liste_TOP,
                      #'STA' = liste_STA,
                      'G_TOT' = liste_G_TOT,
                      'H.0' = liste_H.0,
                      'TOT_MOU' = liste_TOT_MOU,
                      'TOT_HER' = liste_TOT_HER,
                      'TOT_ARB' = liste_TOT_ARB,
                      'TOT_BLO' = liste_TOT_BLO,
                      'TOT_CAI' = liste_TOT_CAI,
                      'TOT_REM' = liste_TOT_REM,
                      'DUR' = liste_DUR,
                      'PRE_PAR_REL' = liste_PRE_PAR_REL,
                      'PRE_PAR_ABS' = liste_PRE_PAR_ABS,
                      'RAY_2012' = liste_RAY_2012,
                      'AGE_PPT' = liste_AGE_PPT,
                      'PROP_10_2500' = liste_PROP_10_2500,
                      'PROP_10_5000' = liste_PROP_10_5000,
                      'PROP_50_2500' = liste_PROP_50_2500,
                      'PROP_50_5000' = liste_PROP_50_5000,
                      'PROP_P50_2500' = liste_PROP_P50_2500,
                      'PROP_P50_5000' = liste_PROP_P50_5000
)

# Modele poissonien pour la regeneration de moins de 10 cm
modPO_10 <- glm(as.integer(TOT_10) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + T
OT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2
012 + AGE_PPT,
                data=NewData,
                family=poisson(link="log"))
summary(modPO_10)

##
## Call:
```

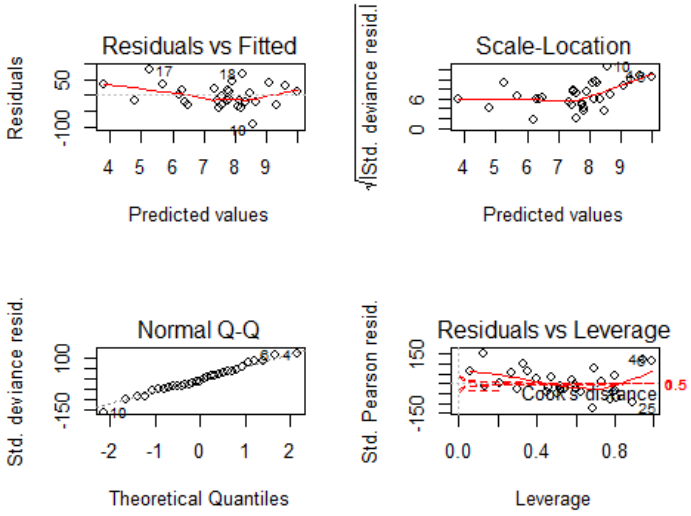
```
## glm(formula = as.integer(TOT_10) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT,
##     family = poisson(link = "log"), data = NewData)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -74.644  -28.472    0.371   20.159   47.543
##
## Coefficients:
##               Estimate Std. Error  z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  2.271e+01  2.338e-01   97.105  < 2e-16 ***
## PEN         -2.448e+00  5.588e-02  -43.813  < 2e-16 ***
## COS_EXP      4.545e-02  1.646e-02    2.762  0.00575 **
## SIN_EXP      8.559e-01  7.586e-03  112.834  < 2e-16 ***
## G_TOT        2.188e-03  2.111e-03    1.037  0.29986
## H.0         -3.603e-02  3.342e-03  -10.781  < 2e-16 ***
## TOT_MOU      1.732e+00  5.342e-02   32.425  < 2e-16 ***
## TOT_HER     -2.627e+00  3.716e-02  -70.713  < 2e-16 ***
## TOT_ARB     -5.071e+00  3.930e-02 -129.038  < 2e-16 ***
## TOT_BLO     -1.213e+01  2.963e-01  -40.930  < 2e-16 ***
## TOT_CAI      4.046e+00  6.934e-02   58.354  < 2e-16 ***
## TOT_REM      2.371e+00  8.486e-02   27.940  < 2e-16 ***
## DUR          1.297e-01  2.513e-03   51.587  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_REL  2.469e+00  3.168e-01    7.795 6.42e-15 ***
## PRE_PAR_ABS -9.623e-02  4.275e-03  -22.512  < 2e-16 ***
## RAY_2012    -3.610e-06  1.401e-07  -25.768  < 2e-16 ***
## AGE_PPT     -6.037e-02  6.979e-04  -86.512  < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 138988  on 30  degrees of freedom
## Residual deviance:  38095  on 14  degrees of freedom
## AIC: 38404
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 7
```

```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modPO_10)
```

```
## Warning in sqrt(crit * p * (1 - hh)/hh): production de NaN
```



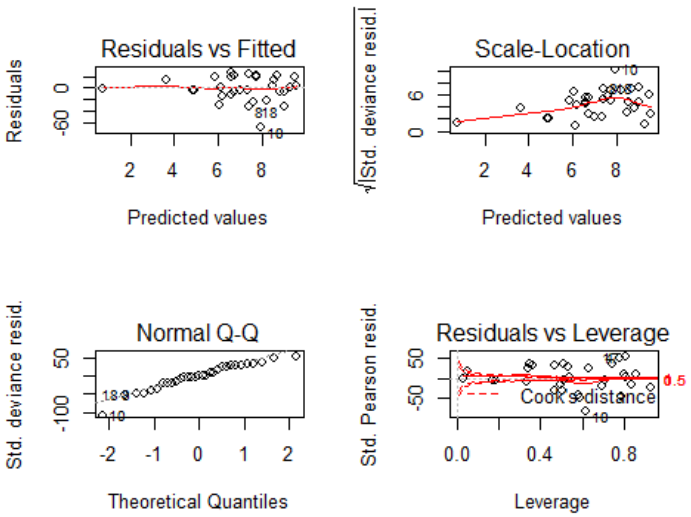

```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> seule la normalite est bonne

# Modele poissonien pour la regeneration de 10 a 50 cm
modPO_50 <- glm(as.integer(TOT_50) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + T
OT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2
012 + AGE_PPT,
                data=NewData,
                family=poisson(link="log"))
summary(modPO_50)

##
## Call:
## glm(formula = as.integer(TOT_50) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT,
##     family = poisson(link = "log"), data = NewData)
##
## Deviance Residuals:
##    Min      1Q  Median      3Q     Max
## -90.78  -27.48  -11.56   19.09   79.28
##
## Coefficients:
##               Estimate Std. Error  z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  2.880e+01  3.095e-01   93.061  < 2e-16 ***
## PEN          5.424e+00  4.995e-02  108.598  < 2e-16 ***
## COS_EXP      4.844e-01  1.946e-02   24.896  < 2e-16 ***
## SIN_EXP     -4.244e-01  8.063e-03  -52.633  < 2e-16 ***
## G_TOT       -1.610e-01  3.154e-03  -51.033  < 2e-16 ***
## H.0          2.597e-01  3.002e-03   86.518  < 2e-16 ***
## TOT_MOU     -6.652e+00  7.012e-02  -94.861  < 2e-16 ***
## TOT_HER     -5.574e+00  3.748e-02 -148.715  < 2e-16 ***
## TOT_ARB     -3.181e+00  3.733e-02  -85.212  < 2e-16 ***
## TOT_BLO     -5.546e+01  4.859e-01 -114.136  < 2e-16 ***
## TOT_CAI     -7.228e+00  1.200e-01  -60.257  < 2e-16 ***
## TOT_REM     -5.567e-02  1.175e-01   -0.474    0.636
## DUR          1.776e-01  2.527e-03   70.292  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_REL -4.139e+01  5.424e-01  -76.308  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_ABS  4.642e-01  7.129e-03   65.113  < 2e-16 ***
## RAY_2012    -1.017e-06  1.295e-07   -7.857 3.94e-15 ***
## AGE_PPT     -1.003e-01  9.246e-04 -108.491  < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 166952  on 30  degrees of freedom
## Residual deviance:  40096  on 14  degrees of freedom
## AIC: 40408
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 6

par(mfcol=c(2,2))
plot(modPO_50)

## Warning in sqrt(crit * p * (1 - hh)/hh): production de NaN
```



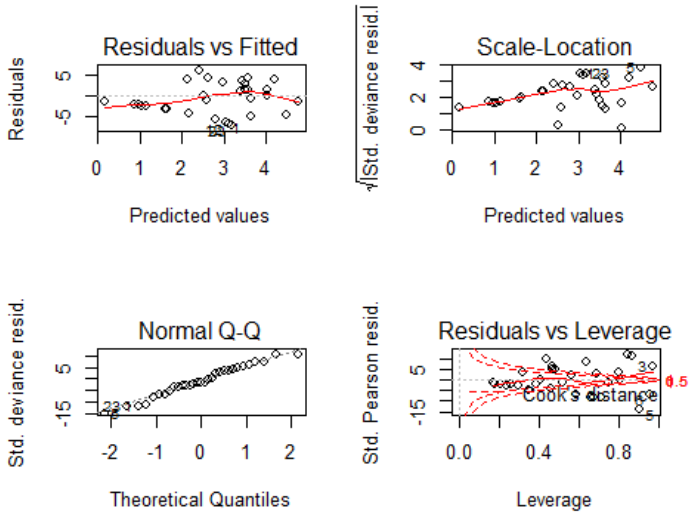

```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> seule la normatite est bonne

# Modele poissonien pour la regeneration de plus de 50 cm
modPO_P50 <- glm(as.integer(TOT_P50) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + H.0 + TOT_MOU +
TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_
2012 + AGE_PPT,
                data=NewData,
                family=poisson(link="log"))
summary(modPO_P50)

##
## Call:
## glm(formula = as.integer(TOT_P50) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP +
##     G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI +
##     TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT,
##     family = poisson(link = "log"), data = NewData)
##
```

```
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -66.255   -9.337   -2.062   18.111   25.470
##
## Coefficients:
##               Estimate Std. Error  z value Pr(>|z|)
## (Intercept) -5.355e+00  3.417e-01  -15.669  < 2e-16 ***
## PEN          1.545e+00  8.773e-02   17.611  < 2e-16 ***
## COS_EXP     -1.646e-01  1.826e-02   -9.010  < 2e-16 ***
## SIN_EXP     -8.344e-01  1.610e-02  -51.829  < 2e-16 ***
## G_TOT        2.510e-02  2.603e-03    9.640  < 2e-16 ***
## H.0          8.163e-02  3.667e-03   22.258  < 2e-16 ***
## TOT_MOU     -1.078e+00  6.086e-02  -17.711  < 2e-16 ***
## TOT_HER     -6.084e+00  4.278e-02 -142.226  < 2e-16 ***
## TOT_ARB     -1.919e+00  5.031e-02  -38.149  < 2e-16 ***
## TOT_BLO      6.621e-01  6.400e-01    1.035    0.301
## TOT_CAI     -2.046e+01  3.084e-01  -66.360  < 2e-16 ***
## TOT_REM     -1.278e+01  1.243e-01 -102.873  < 2e-16 ***
## DUR         -2.509e-01  4.611e-03  -54.413  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_REL -3.960e-01  4.922e-01   -0.804    0.421
## PRE_PAR_ABS -3.149e-02  5.641e-03   -5.582 2.38e-08 ***
## RAY_2012     6.302e-06  1.804e-07   34.937  < 2e-16 ***
## AGE_PPT      7.299e-02  9.053e-04   80.629  < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 139662  on 30  degrees of freedom
## Residual deviance:  13549  on 14  degrees of freedom
## AIC: 13848
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

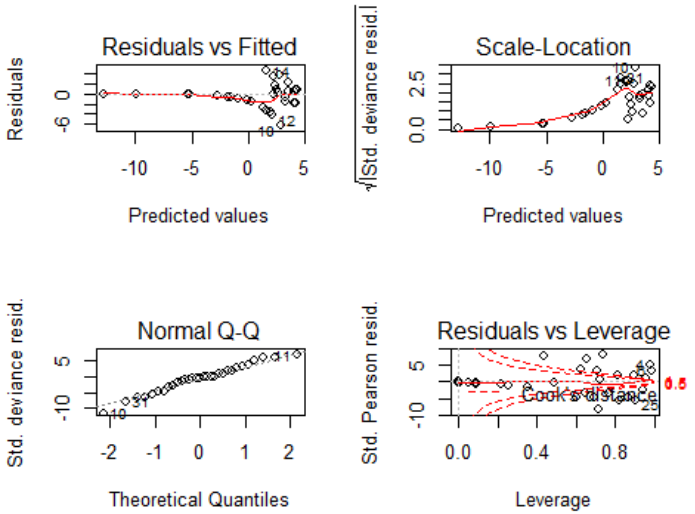
```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modPO_P50)
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> seule la normalite est bonne

# Modele poissonien sur la probabilite d'avoir un placeau regenere en semis de moins de
10 cm
modPO_PROP10 <- glm(as.integer(PROP_10_5000*100) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + H.0
+ TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PA
R_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT,
                    data=NewData,
                    family=poisson(link="log"))
summary(modPO_PROP10)

##
## Call:
## glm(formula = as.integer(PROP_10_5000 * 100) ~ PEN + COS_EXP +
##     SIN_EXP + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 +
##     AGE_PPT, family = poisson(link = "log"), data = NewData)
##
## Deviance Residuals:
##    Min      1Q  Median      3Q     Max
## -6.980  -3.147  -1.241   2.094   5.843
##
## Coefficients:
##               Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  1.737e+01  2.802e+00   6.200 5.64e-10 ***
## PEN         -1.447e+00  6.982e-01  -2.072 0.038260 *
## COS_EXP      3.457e-01  2.013e-01   1.717 0.085952 .
## SIN_EXP      6.230e-01  8.316e-02   7.492 6.78e-14 ***
## G_TOT        5.411e-02  2.508e-02   2.157 0.030983 *
## H.0         -2.925e-02  4.070e-02  -0.719 0.472366
## TOT_MOU      1.302e-01  6.447e-01   0.202 0.839945
## TOT_HER     -2.519e+00  4.560e-01  -5.524 3.32e-08 ***
## TOT_ARB     -4.489e+00  4.862e-01  -9.234  < 2e-16 ***
## TOT_BLO     -1.438e+01  3.784e+00  -3.801 0.000144 ***
## TOT_CAI      2.406e+00  8.573e-01   2.806 0.005013 **
## TOT_REM      9.194e-01  1.085e+00   0.848 0.396622
## DUR          7.230e-02  3.089e-02   2.340 0.019261 *
## PRE_PAR_REL  9.719e+00  3.737e+00   2.601 0.009300 **
## PRE_PAR_ABS -2.120e-01  5.411e-02  -3.918 8.94e-05 ***
## RAY_2012    -4.229e-06  1.721e-06  -2.457 0.014019 *
## AGE_PPT     -7.002e-02  9.058e-03  -7.730 1.08e-14 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 1089.10  on 30  degrees of freedom
## Residual deviance:  418.28  on 14  degrees of freedom
## AIC: 555.95
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 8

par(mfcol=c(2,2))
plot(modPO_PROP10)

## Warning in sqrt(crit * p * (1 - hh)/hh): production de NaN
```



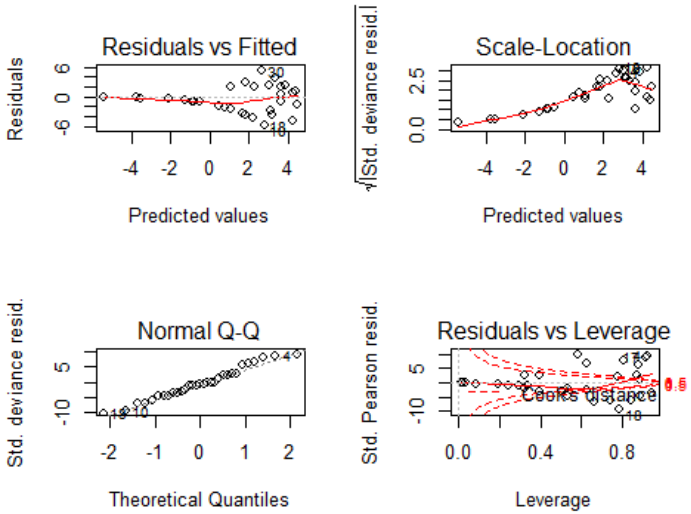

```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> seule la normalite est bonne

# Modele poissonien sur la probabilite d'avoir un placeau regenere en semis de 10 a 50 c
m
modPO_PROP50 <- glm(as.integer(PROP_50_2500*100) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + H.0
+ TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PA
R_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT,
                    data=NewData,
                    family=poisson(link="log"))
summary(modPO_PROP50)

##
## Call:
## glm(formula = as.integer(PROP_50_2500 * 100) ~ PEN + COS_EXP +
##     SIN_EXP + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 +
##     AGE_PPT, family = poisson(link = "log"), data = NewData)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -6.1247  -1.6131  -0.2047   0.5543   4.4556
##
## Coefficients:
##               Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  8.592e+01  8.842e+00   9.718  < 2e-16 ***
## PEN          9.387e+00  1.093e+00   8.585  < 2e-16 ***
## COS_EXP      1.646e+00  3.673e-01   4.482 7.41e-06 ***
## SIN_EXP     -2.281e+00  3.737e-01  -6.103 1.04e-09 ***
## G_TOT       -8.527e-01  9.593e-02  -8.888  < 2e-16 ***
## H.0          9.381e-01  1.043e-01   8.991  < 2e-16 ***
## TOT_MOU     -1.397e+01  1.585e+00  -8.817  < 2e-16 ***
## TOT_HER     -7.641e+00  7.467e-01 -10.233  < 2e-16 ***
## TOT_ARB      1.000e+00  7.127e-01   1.403   0.1605
## TOT_BLO     -1.436e+02  1.239e+01 -11.588  < 2e-16 ***
## TOT_CAI     -3.986e+01  7.090e+00  -5.621 1.89e-08 ***
## TOT_REM      1.517e+01  2.362e+00   6.420 1.36e-10 ***
## DUR         -1.272e-01  7.224e-02  -1.760   0.0784 .
## PRE_PAR_REL -1.769e+02  1.964e+01  -9.007  < 2e-16 ***
## PRE_PAR_ABS  1.933e+00  2.285e-01   8.458  < 2e-16 ***
## RAY_2012    -1.622e-05  3.135e-06  -5.175 2.27e-07 ***
## AGE_PPT     -2.412e-01  2.121e-02 -11.372  < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 988.26  on 30  degrees of freedom
## Residual deviance: 156.96  on 14  degrees of freedom
## AIC: 274.79
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 8

par(mfcol=c(2,2))
plot(modPO_PROP50)

## Warning in sqrt(crit * p * (1 - hh)/hh): production de NaN
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> seule la normalite est bonne

# Modele poissonien sur la probabilite d'avoir un placeau regenere en semis de plus de 5
0 cm
modPO_PROPP50 <- glm(as.integer(PROP_P50_2500*100) ~ PEN + COS_EXP + SIN_EXP + G_TOT + H
.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO + TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE
_PAR_ABS + RAY_2012 + AGE_PPT,
                    data=NewData,
                    family=poisson(link="log"))
summary(modPO_PROPP50)

##
## Call:
## glm(formula = as.integer(PROP_P50_2500 * 100) ~ PEN + COS_EXP +
```

```
##     SIN_EXP + G_TOT + H.0 + TOT_MOU + TOT_HER + TOT_ARB + TOT_BLO +
##     TOT_CAI + TOT_REM + DUR + PRE_PAR_REL + PRE_PAR_ABS + RAY_2012 +
##     AGE_PPT, family = poisson(link = "log"), data = NewData)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -5.6468  -2.2610  -0.7349   1.5055   5.1796
##
## Coefficients:
##               Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept) -2.274e+01  5.325e+00  -4.271 1.95e-05 ***
## PEN         -9.894e-01  1.609e+00  -0.615 0.538577
## COS_EXP      6.566e-01  2.882e-01   2.278 0.022719 *
## SIN_EXP     -1.181e+00  2.530e-01  -4.666 3.07e-06 ***
## G_TOT        5.849e-02  3.729e-02   1.569 0.116756
## H.0         -3.491e-03  5.314e-02  -0.066 0.947613
## TOT_MOU     -3.705e+00  1.086e+00  -3.413 0.000644 ***
## TOT_HER     -6.942e+00  6.830e-01 -10.164  < 2e-16 ***
## TOT_ARB     -1.153e+00  9.505e-01  -1.213 0.224955
## TOT_BLO      5.234e+01  1.576e+01   3.320 0.000899 ***
## TOT_CAI     -2.154e+01  5.521e+00  -3.901 9.60e-05 ***
## TOT_REM     -1.427e+01  1.809e+00  -7.891 3.01e-15 ***
## DUR         -4.775e-01  7.684e-02  -6.215 5.14e-10 ***
## PRE_PAR_REL  5.644e+00  7.061e+00   0.799 0.424098
## PRE_PAR_ABS -8.539e-02  8.039e-02  -1.062 0.288157
## RAY_2012     1.476e-05  2.919e-06   5.056 4.27e-07 ***
## AGE_PPT      1.025e-01  1.626e-02   6.304 2.91e-10 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 1101.35  on 30  degrees of freedom
## Residual deviance:  211.23  on 14  degrees of freedom
## AIC: 329.68
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 9
```

```r
par(mfcol=c(2,2))
plot(modPO_PROPP50)
```




```r
par(mfcol=c(1,1))
# ==> seule la normalite est bonne
```

ANNEXE I

-

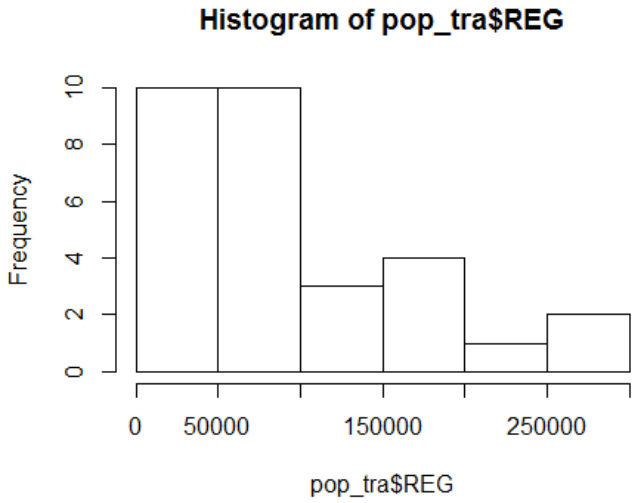
Code R de l'analyse des données de l'inventaire sur le travail du sol

Travaux.R

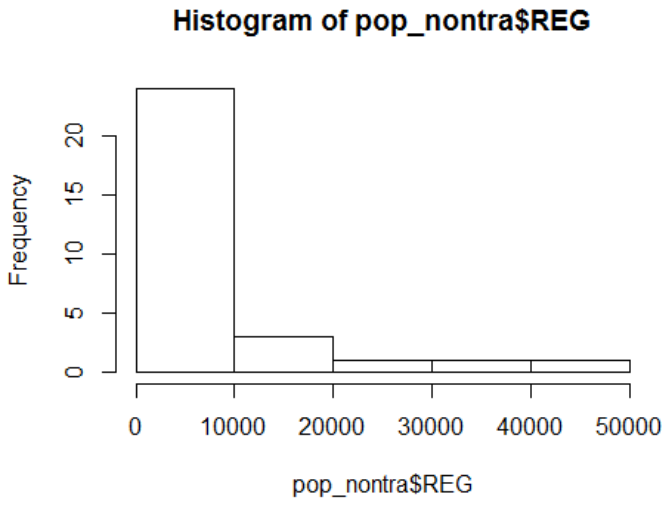
Maxime

Tue Jul 31 10:01:23 2018

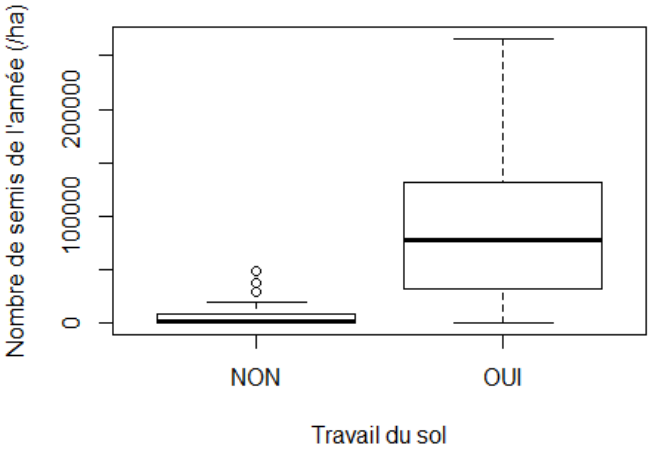
```
### OUVERTURE DES LIBRAIRIES ###

library(readxl) # Permet de lire des fichiers Excel

## Warning: package 'readxl' was built under R version 3.3.3

### DEFINITION DES DONNEES ###

# Definition de l'espace de travail
setwd("C:/Users/Maxime/Desktop/Regeneration_P.N")

# Importation des donnees
Data <- read_xlsx(path="C:/Users/Maxime/Desktop/Regeneration_P.N/Travaux.xlsx",
col_names=TRUE)

# Conversion de la modalite 'travaux' en factor
Data$TRA <- as.factor(Data$TRA)
# Conversion du nombre de semis comptes en numeric
Data$REG <- as.numeric(Data$REG)

# Transformation du nombre de semis comptes en densite par hectare
Data$REG <- Data$REG * 10000 / (pi * 1.5 * 1.5)

# Presentation des donnees
summary(Data)

##   TRA          REG
##  NON:30   Min.   :     0
##  OUI:30   1st Qu.:  1415
##           Median : 17684
##           Mean   : 49303
##           3rd Qu.: 74272
##           Max.   :265966

# Definition de la population "zone travaillee"
pop_tra <- as.data.frame(Data[which(Data$TRA=="OUI"),which(names(Data)=="REG")])
# Definition de la population "zone non travaillee"
pop_nontra <- as.data.frame(Data[which(Data$TRA=="NON"),which(names(Data)=="REG")])

### REPRESENTATION DES DONNEES ###

# Histogramme des fréquences des valeurs de densité de semis ==> demi-gaussienne
hist(x=pop_tra$REG)
```




```
# Histogramme des fréquences des valeurs de densité de semis ==> demi-gaussienne
hist(x=pop_nontra$REG)
```




```
# Diagramme en boite representant les deux populations ==> difference semble
significative
boxplot(Data$REG ~ Data$TRA, xlab="Travail du sol", ylab="Nombre de semis de l'année
(/ha)")
```




```
### TEST DE WILCOXON : COMPARAISON DES MOYENNES ###

# Le test de Wilcoxon est utilise car pour celui de Student l'hypothese
d'homoscedacticite n'est pas verifiee
wilcox.test(pop_tra$REG,pop_nontra$REG,exact=FALSE,conf.int=TRUE)

##
##  Wilcoxon rank sum test with continuity correction
##
## data:  pop_tra$REG and pop_nontra$REG
## W = 842.5, p-value = 5.996e-09
## alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
## 95 percent confidence interval:
##  43856.03 96200.32
## sample estimates:
## difference in location
##               67906.11

# ==> la difference est significative au seuil de 5%
```

ANNEXE J

-

Code R de l'analyse des données de l'inventaire des lisières

Lisières.R

Maxime

Tue Jul 31 14:48:56 2018

```
############################
# OUVERTURE DES LIBRAIRIES #
############################

#library(car) # Aide a la realisation des regressions
library(readxl) # Permet de lire des fichiers Excel

## Warning: package 'readxl' was built under R version 3.3.3

#library("FactoMineR") # Permet d'analyser des donnees multivariees
library(lsmeans) # Permet de calculer des moyennes ajustees

## Loading required package: estimability

# library(magrittr)
#library(dplyr) # Permet de manipuler plus facilement des donnees
library(ggplot2) # Permet de representer des donnees

## Warning: package 'ggplot2' was built under R version 3.3.3

library(reshape) # Permet de remettre en forme des donnees

## Warning: package 'reshape' was built under R version 3.3.3

########################
# FONCTIONS UTILISEES #
########################

# Fonction calculant la proportion de placeaux regeneres a differents seuils
pour les semis de moins de 10 cm
proportion_10 <- function(distance){
  compteur_0 <- 0
  compteur_1500 <- 0
  compteur_3000 <- 0
  compteur_4500 <- 0
  compteur_7500 <- 0
  compteur_10000 <- 0
  compteur_sup10000 <- 0
  for (i in 1:length(Data$REG10)){
    if (Data$DIS[i]==distance){
      if (Data$REG10[i]==0){
        compteur_0 <- compteur_0 + 1
      }
      else if (Data$REG10[i]>0 & Data$REG10[i]<1500){
        compteur_1500 <- compteur_1500 + 1
      }
      else if (Data$REG10[i]>=1500 & Data$REG10[i]<3000){
        compteur_3000 <- compteur_3000 + 1
      }
      else if (Data$REG10[i]>=3000 & Data$REG10[i]<4500){
        compteur_4500 <- compteur_4500 + 1
      }
      else if (Data$REG10[i]>=4500 & Data$REG10[i]<7500){
        compteur_7500 <- compteur_7500 + 1
      }
      else if (Data$REG10[i]>=7500 & Data$REG10[i]<10000){
        compteur_10000 <- compteur_10000 + 1
      }
      else if (Data$REG10[i]>=10000){
        compteur_sup10000 <- compteur_sup10000 + 1
      }
    }
  }
  results <-
c(compteur_0,compteur_1500,compteur_3000,compteur_4500,compteur_7500,compteur_1
0000,compteur_sup10000)
  return(results/sum(results))
}

# Fonction calculant la proportion de placeaux regeneres a differents seuils
pour les semis de 10 a 50 cm
proportion_50 <- function(distance){
  compteur_0 <- 0
  compteur_1500 <- 0
  compteur_3000 <- 0
  compteur_4500 <- 0
  compteur_7500 <- 0
  compteur_10000 <- 0
  compteur_sup10000 <- 0
  for (i in 1:length(Data$REG50)){
    if (Data$DIS[i]==distance){
      if (Data$REG50[i]==0){
        compteur_0 <- compteur_0 + 1
      }
      else if (Data$REG50[i]>0 & Data$REG50[i]<1500){
        compteur_1500 <- compteur_1500 + 1
      }
      else if (Data$REG50[i]>=1500 & Data$REG50[i]<3000){
        compteur_3000 <- compteur_3000 + 1
      }
      else if (Data$REG50[i]>=3000 & Data$REG50[i]<4500){
        compteur_4500 <- compteur_4500 + 1
      }
      else if (Data$REG50[i]>=4500 & Data$REG50[i]<7500){
        compteur_7500 <- compteur_7500 + 1
      }
      else if (Data$REG50[i]>=7500 & Data$REG50[i]<10000){
        compteur_10000 <- compteur_10000 + 1
      }
      else if (Data$REG50[i]>=10000){
        compteur_sup10000 <- compteur_sup10000 + 1
```

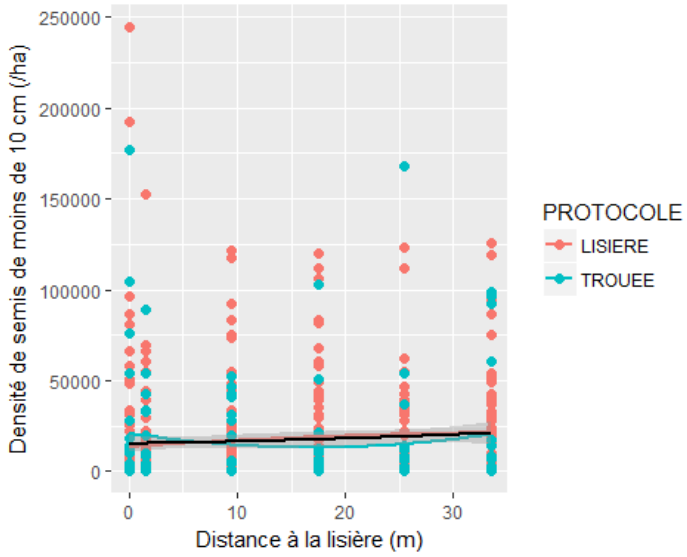
```
      }
    }
  }
  results <-
c(compteur_0,compteur_1500,compteur_3000,compteur_4500,compteur_7500,compteur_1
0000,compteur_sup10000)
  return(results/sum(results))
}

# Fonction calculant la proportion de placeaux regeneres a differents seuils
pour les semis de plus de 50 cm
proportion_p50 <- function(distance){
  compteur_0 <- 0
  compteur_1500 <- 0
  compteur_3000 <- 0
  compteur_4500 <- 0
  compteur_7500 <- 0
  compteur_10000 <- 0
  compteur_sup10000 <- 0
  for (i in 1:length(Data$REGP50)){
    if (Data$DIS[i]==distance){
      if (Data$REGP50[i]==0){
        compteur_0 <- compteur_0 + 1
      }
      else if (Data$REGP50[i]>0 & Data$REGP50[i]<1500){
        compteur_1500 <- compteur_1500 + 1
      }
      else if (Data$REGP50[i]>=1500 & Data$REGP50[i]<3000){
        compteur_3000 <- compteur_3000 + 1
      }
      else if (Data$REGP50[i]>=3000 & Data$REGP50[i]<4500){
        compteur_4500 <- compteur_4500 + 1
      }
      else if (Data$REGP50[i]>=4500 & Data$REGP50[i]<7500){
        compteur_7500 <- compteur_7500 + 1
      }
      else if (Data$REGP50[i]>=7500 & Data$REGP50[i]<10000){
        compteur_10000 <- compteur_10000 + 1
      }
      else if (Data$REGP50[i]>=10000){
        compteur_sup10000 <- compteur_sup10000 + 1
      }
    }
  }
  results <-
c(compteur_0,compteur_1500,compteur_3000,compteur_4500,compteur_7500,compteur_1
0000,compteur_sup10000)
  return(results/sum(results))
}

##########################
# DEFINITION DES DONNEES #
##########################

# Definition de l'espace de travail
setwd("C:/Users/Maxime/Desktop/Regeneration_P.N")
```

```
# Importation des donnees
Data <-
read_xlsx(path="C:/Users/Maxime/Desktop/Regeneration_P.N/Compilation_lisières.x
lsx", col_names=TRUE, sheet="COMPILATION")

# Conversion des nombres de semis par placeaux en densites par hectare
Data$REG10 <- round(Data$REG10 * 10000 / (pi * 1.5 * 1.5))
Data$REG50 <- round(Data$REG50 * 10000 / (pi * 1.5 * 1.5))
Data$REG50NV <- round(Data$REG50NV * 10000 / (pi * 1.5 * 1.5))
Data$REG200 <- round(Data$REG200 * 10000 / (pi * 1.5 * 1.5))
Data$REG200NV <- round(Data$REG200NV * 10000 / (pi * 1.5 * 1.5))
Data$REG300 <- round(Data$REG300 * 10000 / (pi * 1.5 * 1.5))
Data$REG300NV <- round(Data$REG300NV * 10000 / (pi * 1.5 * 1.5))
Data$REG900 <- round(Data$REG900 * 10000 / (pi * 1.5 * 1.5))
Data$REG900NV <- round(Data$REG900NV * 10000 / (pi * 1.5 * 1.5))
Data$REGSUP <- round(Data$REGSUP * 10000 / (pi * 1.5 * 1.5))

# Creation du champ stockant la densite de semis de plus de 50 cm
Data$REGP50 <- Data$REG200 + Data$REG300 + Data$REG900 + Data$REGSUP

# Ajout de la variable distance au carre et au cube
Data$DIS2 <- Data$DIS * Data$DIS
Data$DIS3 <- Data$DIS * Data$DIS * Data$DIS

# Suppression des donnees des placeaux situes sous des micro-trouees faussant
les resultats
Data <- Data[-which(Data$RMQ=="TROUEE"),]

# Binarisation des donnees de regeneration pour les trois strates etudiees
Data$BIN_10 <- 0
Data$BIN_50 <- 0
Data$BIN_P50 <- 0

for (i in 1:length(Data$REG10)){
  if(Data$REG10[i]<=0){
    Data$BIN_10[i] <- 0
  }
  else{
    Data$BIN_10[i] <- 1
  }
}

for (i in 1:length(Data$REG50)){
  if(Data$REG50[i]<=0){
    Data$BIN_50[i] <- 0
  }
  else{
    Data$BIN_50[i] <- 1
  }
}

for (i in 1:length(Data$REGP50)){
  if(Data$REGP50[i]<=5000){
    Data$BIN_P50[i] <- 0
  }
```

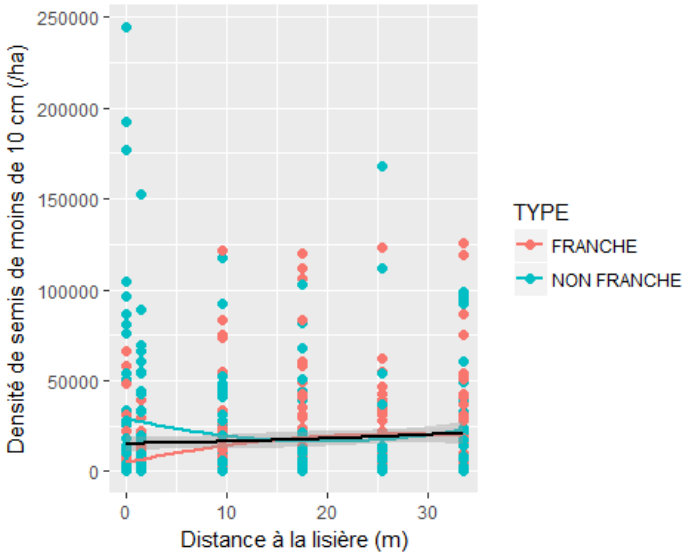
```
  else{
    Data$BIN_P50[i] <- 1
  }
}

# Conversion des variables binaires en facteur
Data$BIN_10 <- as.factor(Data$BIN_10)
Data$BIN_50 <- as.factor(Data$BIN_50)
Data$BIN_P50 <- as.factor(Data$BIN_P50)

# Presentation des donnees
summary(Data)
```

```
##      TRA                TYPE             PROTOCOLE              DIS        
##  Length:553         Length:553         Length:553         Min.   : 0.00  
##  Class :character   Class :character   Class :character   1st Qu.: 1.50  
##  Mode  :character   Mode  :character   Mode  :character   Median : 9.50  
##                                                           Mean   :13.67  
##                                                           3rd Qu.:25.50  
##                                                           Max.   :33.50  
##      GPE                ORI              CAR            SUR_TER      
##  Length:553         Min.   :  0.0   Min.   :1.000   Min.   :15  
##  Class :character   1st Qu.: 80.0   1st Qu.:2.000   1st Qu.:25  
##  Mode  :character   Median :125.0   Median :2.000   Median :35  
##                     Mean   :161.5   Mean   :2.638   Mean   :38  
##                     3rd Qu.:285.0   3rd Qu.:4.000   3rd Qu.:51  
##                     Max.   :320.0   Max.   :4.000   Max.   :86  
##       HTR              DHT             REG10             REG50        
##  Min.   : 9.1   Min.   :20.00   Min.   :    0   Min.   :    0  
##  1st Qu.:14.0   1st Qu.:25.00   1st Qu.:    0   1st Qu.:    0  
##  Median :22.7   Median :40.00   Median : 2829   Median : 7074  
##  Mean   :20.7   Mean   :37.45   Mean   :17217   Mean   :20617  
##  3rd Qu.:26.7   3rd Qu.:45.00   3rd Qu.:21221   3rd Qu.:29709  
##  Max.   :30.3   Max.   :60.00   Max.   :244745  Max.   :226354  
##     REG50NV           REG200           REG200NV          REG300       
##  Min.   :    0.0   Min.   :    0   Min.   :   0.0   Min.   :    0.0  
##  1st Qu.:    0.0   1st Qu.:    0   1st Qu.:   0.0   1st Qu.:    0.0  
##  Median :    0.0   Median :    0   Median :   0.0   Median :    0.0  
##  Mean   :  406.8   Mean   : 6877   Mean   : 148.4   Mean   :  199.5  
##  3rd Qu.:    0.0   3rd Qu.: 2829   3rd Qu.:   0.0   3rd Qu.:    0.0  
##  Max.   :66491.0   Max.   :116006  Max.   :8488.0   Max.   :21221.0  
##     REG300NV          REG900           REG900NV          REGSUP       
##  Min.   :   0.00   Min.   :    0.00   Min.   :   0.000   Min.   :0  
##  1st Qu.:   0.00   1st Qu.:    0.00   1st Qu.:   0.000   1st Qu.:0  
##  Median :   0.00   Median :    0.00   Median :   0.000   Median :0  
##  Mean   :  12.79   Mean   :   53.73   Mean   :   2.559   Mean   :0  
##  3rd Qu.:   0.00   3rd Qu.:    0.00   3rd Qu.:   0.000   3rd Qu.:0  
##  Max.   :1415.00   Max.   :12732.00   Max.   :1415.000   Max.   :0  
##       MOU               HER               ARB               REM          
##  Min.   :0.0000   Min.   :0.0000   Min.   :0.000   Min.   :0.00000  
##  1st Qu.:0.0200   1st Qu.:0.0500   1st Qu.:0.010   1st Qu.:0.00000  
##  Median :0.1000   Median :0.2500   Median :0.050   Median :0.00000  
##  Mean   :0.2116   Mean   :0.3265   Mean   :0.186   Mean   :0.03461  
##  3rd Qu.:0.3500   3rd Qu.:0.5000   3rd Qu.:0.250   3rd Qu.:0.02000  
##  Max.   :0.9900   Max.   :1.0000   Max.   :1.000   Max.   :1.00000  
##       GIB               ESP               RMQ               REGP50       
##  Min.   :0.0000   Length:553         Length:553         Min.   :     0  
##  1st Qu.:0.0000   Class :character   Class :character   1st Qu.:     0  
##  Median :0.0000   Mode  :character   Mode  :character   Median :     0  
##  Mean   :0.4087                                         Mean   :  7130  
##  3rd Qu.:1.0000                                         3rd Qu.:  2829  
##  Max.   :4.0000                                         Max.   :116006  
##       DIS2              DIS3          BIN_10   BIN_50   BIN_P50 
##  Min.   :   0.00   Min.   :    0.00   0:211   0:139   0:435  
##  1st Qu.:   2.25   1st Qu.:    3.38   1:342   1:414   1:118  
##  Median :  90.25   Median :  857.38                          
##  Mean   : 331.97   Mean   : 9122.32                          
##  3rd Qu.: 650.25   3rd Qu.:16581.38                          
##  Max.   :1122.25   Max.   :37595.38
```

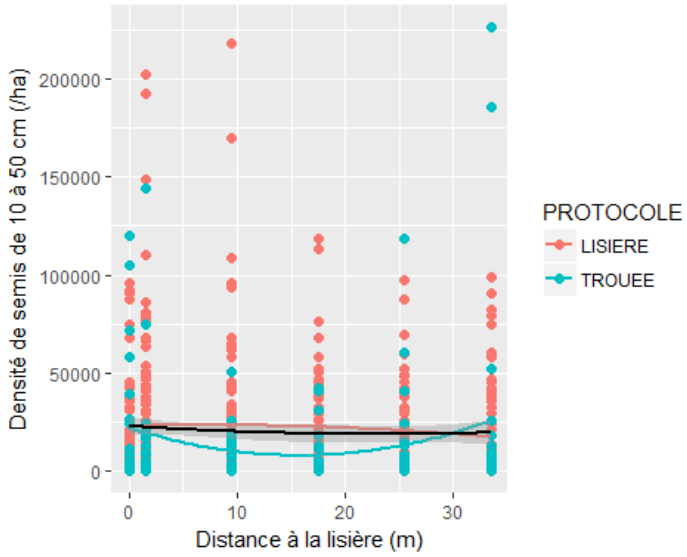
```
############################
# DESCRIPTION DES DONNEES #
############################

# Graphique representant la densite de semis de moins de 10 cm en fonction de
la distance a la lisiere
# Couleur = protocole utilise
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DIS,y=Data$REG10,color=PROTOCOLE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisière (m)")+
  ylab("Densité de semis de moins de 10 cm (/ha)")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DIS,y=Data$REG10),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=TRUE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")
```



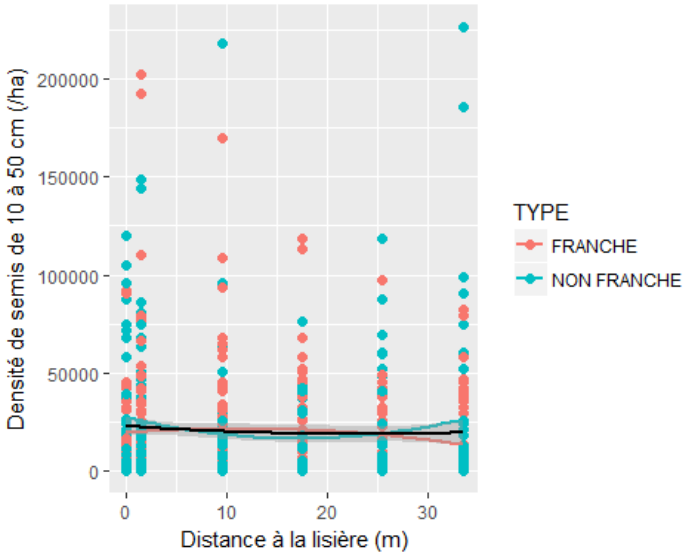
```
# Graphique representant la densite de semis de moins de 10 cm en fonction de
la distance a la lisiere
# Couleur = type de lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DIS,y=Data$REG10,color=TYPE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisière (m)")+
  ylab("Densité de semis de moins de 10 cm (/ha)")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DIS,y=Data$REG10),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=TRUE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")
```

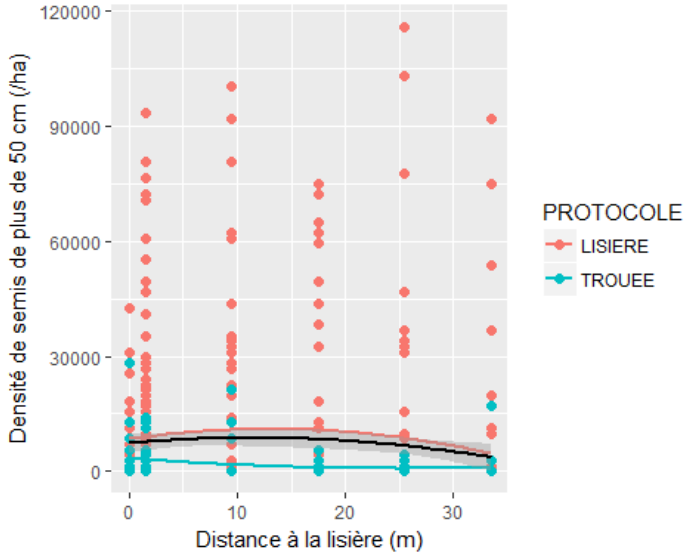



```
# Graphique representant la densite de 10 a 50 cm en fonction de la distance a
la lisiere
# Couleur = protocole utilise
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DIS,y=Data$REG50,color=PROTOCOLE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisière (m)")+
  ylab("Densité de semis de 10 à 50 cm (/ha)")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DIS,y=Data$REG50),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=TRUE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")
```



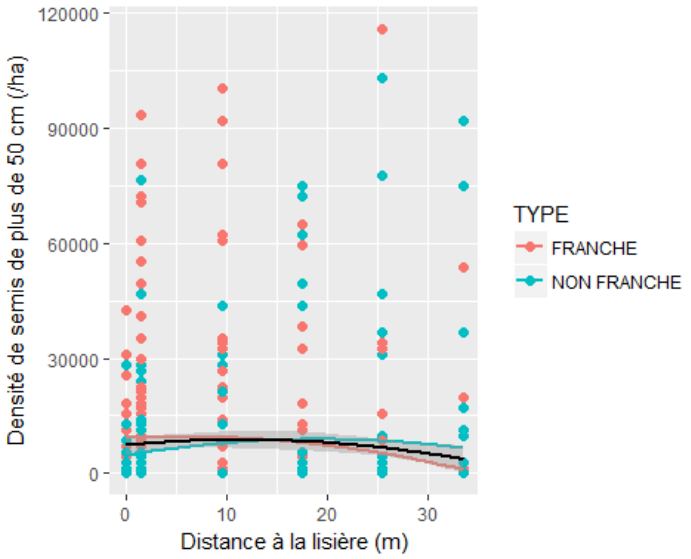

```
# Graphique representant la densite de semis de 10 a 50 cm en fonction de la
distance a la lisiere
# Couleur = type de lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DIS,y=Data$REG50,color=TYPE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisière (m)")+
  ylab("Densité de semis de 10 à 50 cm (/ha)")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DIS,y=Data$REG50),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=TRUE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")
```



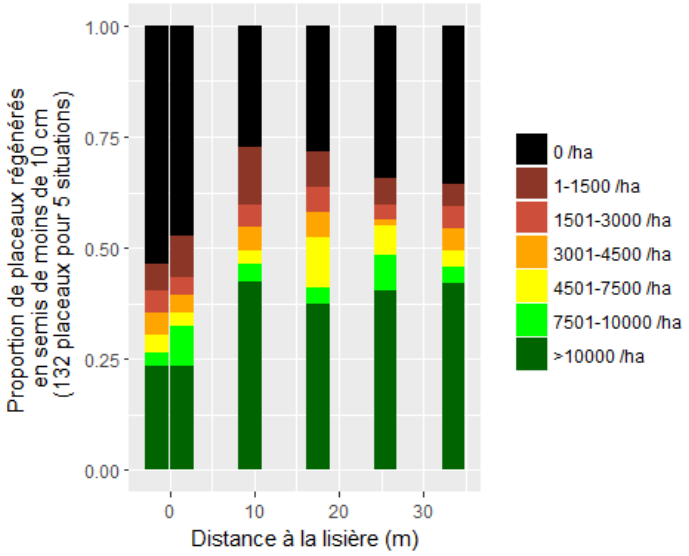



```r
# Graphique representant la densite de semis de plus de 50 cm en fonction de la distance a la lisiere
# Couleur = protocole utilise
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DIS,y=Data$REGP50,color=PROTOCOLE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisière (m)")+
  ylab("Densité de semis de plus de 50 cm (/ha)")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DIS,y=Data$REGP50),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=TRUE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")
```

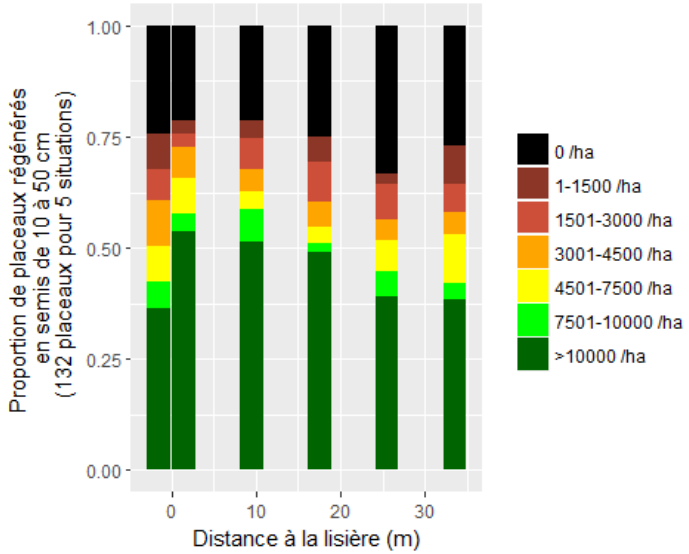
```r
# Graphique representant la densite de semis de plus de 50 cm en fonction de la distance a la lisiere
# Couleur = type de lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DIS,y=Data$REGP50,color=TYPE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisière (m)")+
  ylab("Densité de semis de plus de 50 cm (/ha)")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DIS,y=Data$REGP50),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=TRUE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")
```




```
#####################################################
# ANALYSE QUALITATIVE DE L'EFFET DE LA DISTANCE #
#####################################################

# Choisir une des deux etudes : soit pour le protocole lisieres, soit pour
celui trouees
# /!\ REDEFINIR LES DONNEES A LA FIN DE L'ANALYSE /!\
# Data <- Data[-which(Data$PROTOCOLE=="TROUEE"),] # 421 placeaux / 12
situations
# Data <- Data[-which(Data$PROTOCOLE=="LISIERE"),] # 132 placeaux / 5
situations

# Construction de la table des proportions de placeaux regeneres pour les semis
de moins de 10 cm
proportion_table_10 <- data.frame("Distance"=c(-1.5,1.5,9.5,17.5,25.5,33.5),

"0"=c(proportion_10(0)[1],proportion_10(1.5)[1],proportion_10(9.5)[1],proportio
n_10(17.5)[1],proportion_10(25.5)[1],proportion_10(33.5)[1]),
                                    "1-
500"=c(proportion_10(0)[2],proportion_10(1.5)[2],proportion_10(9.5)[2],proporti
on_10(17.5)[2],proportion_10(25.5)[2],proportion_10(33.5)[2]),
                                    "501-
1000"=c(proportion_10(0)[3],proportion_10(1.5)[3],proportion_10(9.5)[3],proport
ion_10(17.5)[3],proportion_10(25.5)[3],proportion_10(33.5)[3]),
                                    "1001-
2000"=c(proportion_10(0)[4],proportion_10(1.5)[4],proportion_10(9.5)[4],proport
ion_10(17.5)[4],proportion_10(25.5)[4],proportion_10(33.5)[4]),
                                    "2001-
5000"=c(proportion_10(0)[5],proportion_10(1.5)[5],proportion_10(9.5)[5],proport
ion_10(17.5)[5],proportion_10(25.5)[5],proportion_10(33.5)[5]),
                                    "5001-
10000"=c(proportion_10(0)[6],proportion_10(1.5)[6],proportion_10(9.5)[6],propor
tion_10(17.5)[6],proportion_10(25.5)[6],proportion_10(33.5)[6]),

">10000"=c(proportion_10(0)[7],proportion_10(1.5)[7],proportion_10(9.5)[7],prop
ortion_10(17.5)[7],proportion_10(25.5)[7],proportion_10(33.5)[7]))

# Mise en forme de la table precedente et etiquetage des variables
melt_table_10 <- melt(data=proportion_table_10,id.vars="Distance")
levels(melt_table_10$variable)[levels(melt_table_10$variable)=="X0"] <- "0 /ha"
levels(melt_table_10$variable)[levels(melt_table_10$variable)=="X1.500"] <- "1-
1500 /ha"
levels(melt_table_10$variable)[levels(melt_table_10$variable)=="X501.1000"] <-
"1501-3000 /ha"
levels(melt_table_10$variable)[levels(melt_table_10$variable)=="X1001.2000"] <-
"3001-4500 /ha"
levels(melt_table_10$variable)[levels(melt_table_10$variable)=="X2001.5000"] <-
"4501-7500 /ha"
levels(melt_table_10$variable)[levels(melt_table_10$variable)=="X5001.10000"]
<- "7501-10000 /ha"
levels(melt_table_10$variable)[levels(melt_table_10$variable)=="X.10000"] <-
">10000 /ha"

# Graphique representant la proportion de placeaux regeneres aux differents
seuils en fonction de la distance a la lisiere pour les semis de moins de 10 cm
ggplot(data=melt_table_10,mapping=aes(x=Distance,y=value,fill=variable))+
  geom_bar(stat="identity")+

scale_fill_manual(values=c("black","tomato4","tomato3","orange","yellow","green
","darkgreen"))+
  xlab("Distance à la lisière (m)")+
  ylab("Proportion de placeaux régénérés \n en semis de moins de 10 cm \n (132
placeaux pour 5 situations)")+
  theme(legend.title=element_blank())
```

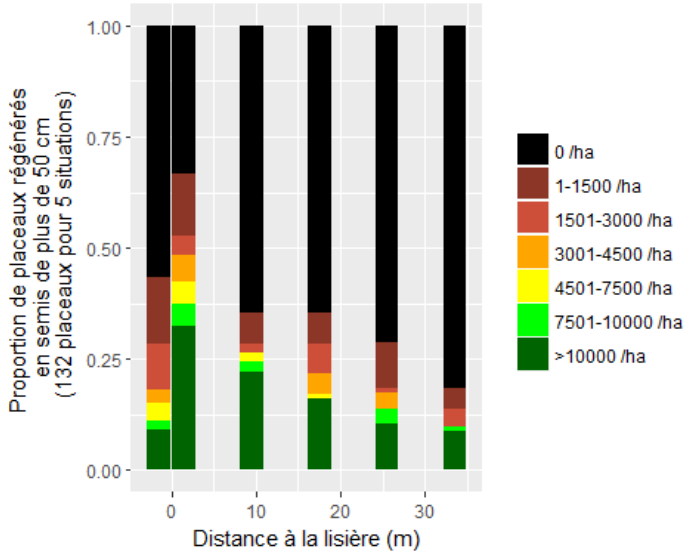



```
# Construction de la table des proportions de placeaux regeneres pour les semis de 10 a 50 cm
proportion_table_50 <- data.frame("Distance"=c(-1.5,1.5,9.5,17.5,25.5,33.5),

"0"=c(proportion_50(0)[1],proportion_50(1.5)[1],proportion_50(9.5)[1],proportion_50(17.5)[1],proportion_50(25.5)[1],proportion_50(33.5)[1]),
                                "1-500"=c(proportion_50(0)[2],proportion_50(1.5)[2],proportion_50(9.5)[2],proportion_50(17.5)[2],proportion_50(25.5)[2],proportion_50(33.5)[2]),
                                "501-1000"=c(proportion_50(0)[3],proportion_50(1.5)[3],proportion_50(9.5)[3],proportion_50(17.5)[3],proportion_50(25.5)[3],proportion_50(33.5)[3]),
                                "1001-2000"=c(proportion_50(0)[4],proportion_50(1.5)[4],proportion_50(9.5)[4],proportion_50(17.5)[4],proportion_50(25.5)[4],proportion_50(33.5)[4]),
                                "2001-5000"=c(proportion_50(0)[5],proportion_50(1.5)[5],proportion_50(9.5)[5],proportion_50(17.5)[5],proportion_50(25.5)[5],proportion_50(33.5)[5]),
                                "5001-10000"=c(proportion_50(0)[6],proportion_50(1.5)[6],proportion_50(9.5)[6],proportion_50(17.5)[6],proportion_50(25.5)[6],proportion_50(33.5)[6]),

">10000"=c(proportion_50(0)[7],proportion_50(1.5)[7],proportion_50(9.5)[7],proportion_50(17.5)[7],proportion_50(25.5)[7],proportion_50(33.5)[7]))

# Mise en forme de la table precedente et etiquetage des variables
melt_table_50 <- melt(data=proportion_table_50,id.vars="Distance")
levels(melt_table_50$variable)[levels(melt_table_50$variable)=="X0"] <- "0 /ha"
levels(melt_table_50$variable)[levels(melt_table_50$variable)=="X1.500"] <- "1-1500 /ha"
levels(melt_table_50$variable)[levels(melt_table_50$variable)=="X501.1000"] <- "1501-3000 /ha"
levels(melt_table_50$variable)[levels(melt_table_50$variable)=="X1001.2000"] <- "3001-4500 /ha"
levels(melt_table_50$variable)[levels(melt_table_50$variable)=="X2001.5000"] <- "4501-7500 /ha"
levels(melt_table_50$variable)[levels(melt_table_50$variable)=="X5001.10000"] <- "7501-10000 /ha"
levels(melt_table_50$variable)[levels(melt_table_50$variable)=="X.10000"] <- ">10000 /ha"

# Graphique representant la proportion de placeaux regeneres aux differents seuils en fonction de la distance a la lisiere pour les semis de 10 a 50 cm
ggplot(data=melt_table_50,mapping=aes(x=Distance,y=value,fill=variable))+
  geom_bar(stat="identity")+

scale_fill_manual(values=c("black","tomato4","tomato3","orange","yellow","green","darkgreen"))+
  xlab("Distance à la lisière (m)")+
  ylab("Proportion de placeaux régénérés \n en semis de 10 à 50 cm \n (132 placeaux pour 5 situations)")+
  theme(legend.title=element_blank())
```

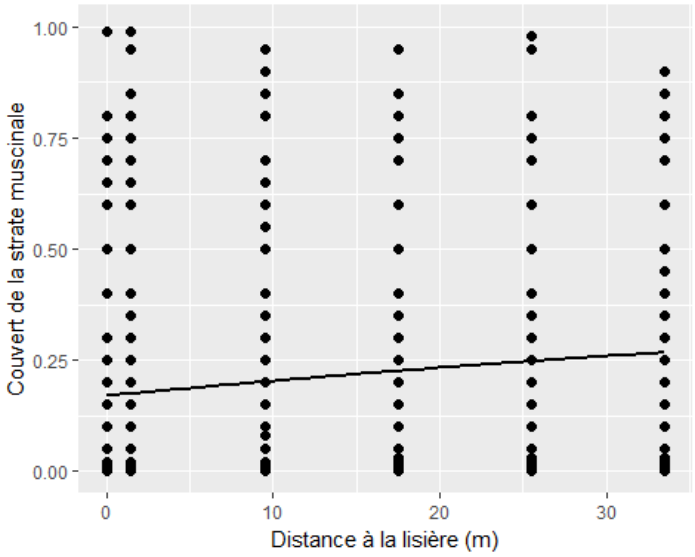


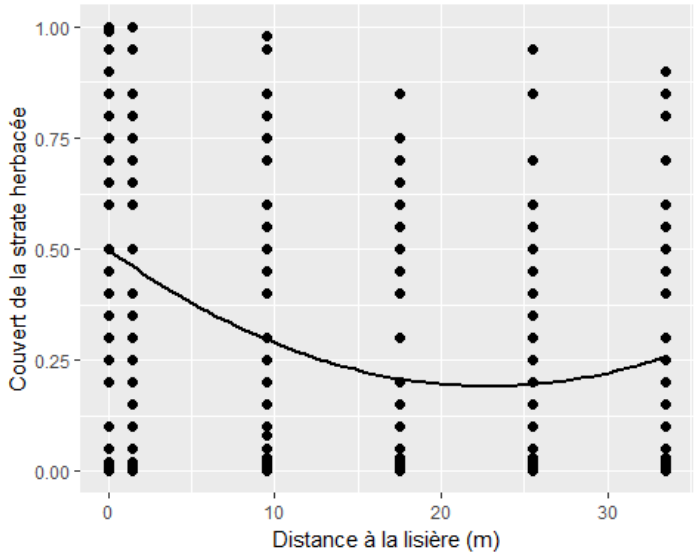

```
# Construction de la table des proportions de placeaux regeneres pour les semis de plus de 50 cm
proportion_table_p50 <- data.frame("Distance"=c(-1.5,1.5,9.5,17.5,25.5,33.5),

"0"=c(proportion_p50(0)[1],proportion_p50(1.5)[1],proportion_p50(9.5)[1],proportion_p50(17.5)[1],proportion_p50(25.5)[1],proportion_p50(33.5)[1]),
```

```
                                  "1-
500"=c(proportion_p50(0)[2],proportion_p50(1.5)[2],proportion_p50(9.5)[2],propo
rtion_p50(17.5)[2],proportion_p50(25.5)[2],proportion_p50(33.5)[2]),
                                  "501-
1000"=c(proportion_p50(0)[3],proportion_p50(1.5)[3],proportion_p50(9.5)[3],prop
ortion_p50(17.5)[3],proportion_p50(25.5)[3],proportion_p50(33.5)[3]),
                                  "1001-
2000"=c(proportion_p50(0)[4],proportion_p50(1.5)[4],proportion_p50(9.5)[4],prop
ortion_p50(17.5)[4],proportion_p50(25.5)[4],proportion_p50(33.5)[4]),
                                  "2001-
5000"=c(proportion_p50(0)[5],proportion_p50(1.5)[5],proportion_p50(9.5)[5],prop
ortion_p50(17.5)[5],proportion_p50(25.5)[5],proportion_p50(33.5)[5]),
                                  "5001-
10000"=c(proportion_p50(0)[6],proportion_p50(1.5)[6],proportion_p50(9.5)[6],pro
portion_p50(17.5)[6],proportion_p50(25.5)[6],proportion_p50(33.5)[6]),

">10000"=c(proportion_p50(0)[7],proportion_p50(1.5)[7],proportion_p50(9.5)[7],p
roportion_p50(17.5)[7],proportion_p50(25.5)[7],proportion_p50(33.5)[7]))

# Mise en forme de la table precedente et etiquetage des variables
melt_table_p50 <- melt(data=proportion_table_p50,id.vars="Distance")
levels(melt_table_p50$variable)[levels(melt_table_p50$variable)=="X0"] <- "0
/ha"
levels(melt_table_p50$variable)[levels(melt_table_p50$variable)=="X1.500"] <-
"1-1500 /ha"
levels(melt_table_p50$variable)[levels(melt_table_p50$variable)=="X501.1000"]
<- "1501-3000 /ha"
levels(melt_table_p50$variable)[levels(melt_table_p50$variable)=="X1001.2000"]
<- "3001-4500 /ha"
levels(melt_table_p50$variable)[levels(melt_table_p50$variable)=="X2001.5000"]
<- "4501-7500 /ha"
levels(melt_table_p50$variable)[levels(melt_table_p50$variable)=="X5001.10000"]
<- "7501-10000 /ha"
levels(melt_table_p50$variable)[levels(melt_table_p50$variable)=="X.10000"] <-
">10000 /ha"

# Graphique representant la proportion de placeaux regeneres aux differents
seuils en fonction de la distance a la lisiere pour les semis de plus de 50 cm
ggplot(data=melt_table_p50,mapping=aes(x=Distance,y=value,fill=variable))+
  geom_bar(stat="identity")+

scale_fill_manual(values=c("black","tomato4","tomato3","orange","yellow","green
","darkgreen"))+
  xlab("Distance à la lisière (m)")+
  ylab("Proportion de placeaux régénérés \n en semis de plus de 50 cm \n (132
placeaux pour 5 situations)")+
  theme(legend.title=element_blank())
```



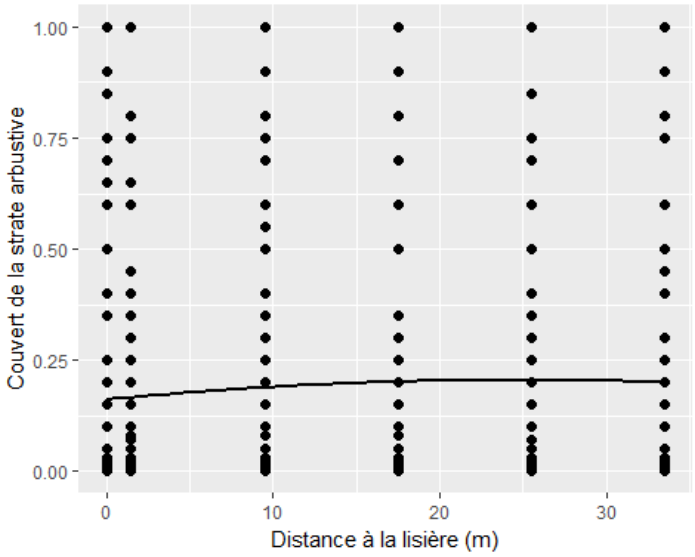

```
# Graphique representant le couvert de la strate muscinale en fonction de la
distance a la lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DIS,y=Data$MOU))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisière (m)")+
  ylab("Couvert de la strate muscinale")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")+
  ylim(0,1)
```






```r
# Graphique representant le couvert de la strate herbacee en fonction de la
distance a la lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DIS,y=Data$HER))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisière (m)")+
  ylab("Couvert de la strate herbacée")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")+
  ylim(0,1)
```

```r
# Graphique representant le couvert de la strate arbustive en fonction de la
distance a la lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DIS,y=Data$ARB))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisière (m)")+
  ylab("Couvert de la strate arbustive")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")+
  ylim(0,1)
```

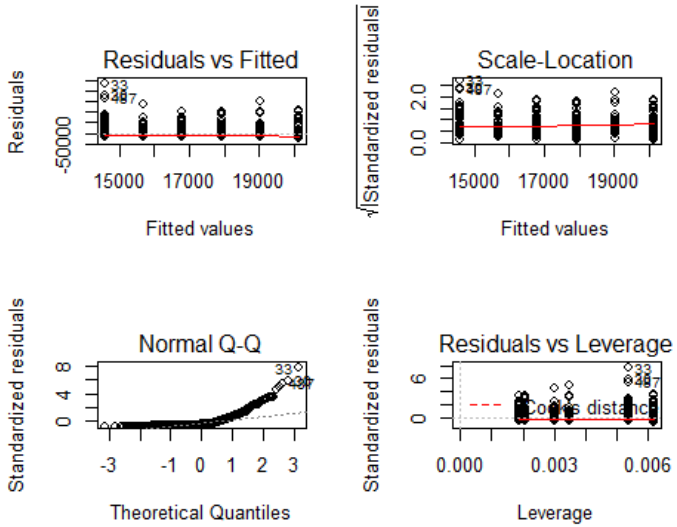



```
#####################################
# TESTS DE COMPARAISON DES MOYENNES #
#####################################

Data$DIS <- as.factor(Data$DIS)

# Data <- Data[-which(Data$PROTOCOLE=="TROUEE"),]
# Data <- Data[-which(Data$PROTOCOLE=="LISIERE"),]

# Construction de la table de comparaison des moyennes de regeneration de moins
de 10 cm entre les differentes positions
mean_comparison_10 <- data.frame("Distance"=c(-1.5,1.5,9.5,17.5,25.5,33.5),
                                 "Comp_-1.5" =
c(1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in% c(0,1.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS
%in% c(0,1.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(0,9.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,9.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(0,17.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(0,25.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(0,33.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                 "Comp_1.5" = c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS
%in% c(0,1.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,1.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,9.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,9.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,17.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,25.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,33.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                 "Comp_9.5" = c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS
%in% c(9.5,0)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,0)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,9.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,9.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,17.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,25.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,33.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                 "Comp_17.5" =
c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in% c(17.5,0)),]$REG10~Data[which(Data$DIS
%in% c(17.5,0)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,17.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,17.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,25.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,33.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                 "Comp_25.5" =
c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in% c(25.5,0)),]$REG10~Data[which(Data$DIS
%in% c(25.5,0)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,25.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,25.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,25.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(25.5,33.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(25.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                 "Comp_25.5" =
c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in% c(33.5,0)),]$REG10~Data[which(Data$DIS
%in% c(33.5,0)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,33.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,33.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,33.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(25.5,33.5)),]$REG10~Data[which(Data$DIS %in%
c(25.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1)
)
# Affichage de la table
mean_comparison_10

##   Distance   Comp_.1.5   Comp_1.5    Comp_9.5   Comp_17.5  Comp_25.5
## 1     -1.5 1.000000000 0.54972006 0.001207272 0.002379758 0.01051030
## 2      1.5 0.549720059 1.00000000 0.005528660 0.011738289 0.03943467
## 3      9.5 0.001207272 0.00552866 1.000000000 0.807422862 0.47374127
```

```
## 4     17.5 0.002379758 0.01173829 0.807422862 1.000000000 0.77324683
## 5     25.5 0.010510304 0.03943467 0.473741271 0.773246829 1.00000000
## 6     33.5 0.007576011 0.02429940 0.925517816 0.918420011 0.60803019
##   Comp_25.5.1
## 1 0.007576011
## 2 0.024299403
## 3 0.925517816
## 4 0.918420011
## 5 0.608030189
## 6 1.000000000

# Construction de la table de comparaison des moyennes de regeneration de 10 a
50 cm entre les differentes positions
mean_comparison_50 <- data.frame("Distance"=c(-1.5,1.5,9.5,17.5,25.5,33.5),
                                 "Comp_-1.5" =
c(1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in% c(0,1.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS
%in% c(0,1.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(0,9.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,9.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(0,17.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(0,25.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(0,33.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                 "Comp_1.5" = c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS
%in% c(0,1.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,1.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,9.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,9.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,17.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,25.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,33.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                 "Comp_9.5" = c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS
%in% c(9.5,0)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,0)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,9.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,9.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,17.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,25.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,33.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                 "Comp_17.5" =
c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in% c(17.5,0)),]$REG50~Data[which(Data$DIS
%in% c(17.5,0)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,17.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,17.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,25.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,33.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                 "Comp_25.5" =
c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in% c(25.5,0)),]$REG50~Data[which(Data$DIS
%in% c(25.5,0)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,25.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,25.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,25.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(25.5,33.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(25.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                 "Comp_25.5" =
c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in% c(33.5,0)),]$REG50~Data[which(Data$DIS
%in% c(33.5,0)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,33.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,33.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,33.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(25.5,33.5)),]$REG50~Data[which(Data$DIS %in%
c(25.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1)
)
# Affichage de la table
mean_comparison_50

##   Distance Comp_.1.5   Comp_1.5   Comp_9.5 Comp_17.5  Comp_25.5
## 1     -1.5 1.0000000 0.04002500 0.13673873 0.5382562 0.62572590
## 2      1.5 0.0400250 1.00000000 0.50641434 0.1605968 0.01589374
## 3      9.5 0.1367387 0.50641434 1.00000000 0.4888767 0.06152527
## 4     17.5 0.5382562 0.16059684 0.48887669 1.0000000 0.27437945
## 5     25.5 0.6257259 0.01589374 0.06152527 0.2743795 1.00000000
## 6     33.5 0.9398539 0.08668220 0.22268777 0.6576317 0.59618403
##   Comp_25.5.1
## 1   0.9398539
## 2   0.0866822
## 3   0.2226878
## 4   0.6576317
## 5   0.5961840
## 6   1.0000000

# Construction de la table de comparaison des moyennes de regeneration de plus
de 50 cm entre les differentes positions
mean_comparison_P50 <- data.frame("Distance"=c(-1.5,1.5,9.5,17.5,25.5,33.5),
                                  "Comp_-1.5" =
c(1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in% c(0,1.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS
%in% c(0,1.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(0,9.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,9.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(0,17.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(0,25.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(0,33.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
```

```
                                "Comp_1.5" = c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS
%in% c(0,1.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(0,1.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,9.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,9.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,17.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,25.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,33.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                "Comp_9.5" = c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS
%in% c(9.5,0)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,0)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,9.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,9.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,17.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,25.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,33.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                "Comp_17.5" =
c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in% c(17.5,0)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS
%in% c(17.5,0)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,17.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,17.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,17.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,25.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,33.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                "Comp_25.5" =
c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in% c(25.5,0)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS
%in% c(25.5,0)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,25.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,25.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,25.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,25.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(25.5,33.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(25.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value),
                                "Comp_25.5" =
c(wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in% c(33.5,0)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS
%in% c(33.5,0)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,33.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(1.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,33.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(9.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,33.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(17.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,wilcox.test(Data[which(Data$DIS %in%
c(25.5,33.5)),]$REGP50~Data[which(Data$DIS %in%
c(25.5,33.5)),]$DIS,exact=FALSE)$p.value,1)
)
```

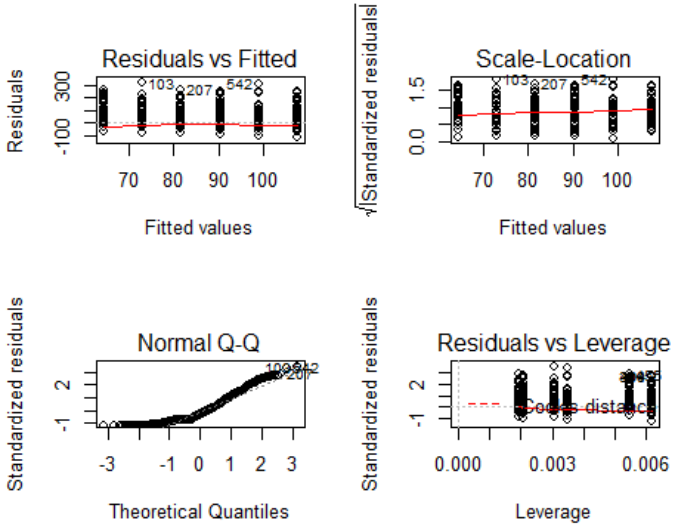
```
# Affichage de la table
mean_comparison_P50

##   Distance    Comp_.1.5     Comp_1.5     Comp_9.5    Comp_17.5
## 1     -1.5 1.000000e+00 1.671203e-05 0.9091934656 6.528847e-01
## 2      1.5 1.671203e-05 1.000000e+00 0.0003463729 5.836003e-05
## 3      9.5 9.091935e-01 3.463729e-04 1.0000000000 8.058785e-01
## 4     17.5 6.528847e-01 5.836003e-05 0.8058784802 1.000000e+00
## 5     25.5 9.562206e-02 5.065534e-07 0.2285904808 3.066263e-01
## 6     33.5 1.512639e-03 7.987917e-10 0.0092472018 1.520790e-02
##      Comp_25.5  Comp_25.5.1
## 1 9.562206e-02 1.512639e-03
## 2 5.065534e-07 7.987917e-10
## 3 2.285905e-01 9.247202e-03
## 4 3.066263e-01 1.520790e-02
## 5 1.000000e+00 1.394964e-01
## 6 1.394964e-01 1.000000e+00

####################################
# MODELISATION DE LA REGENERATION #
####################################

# Transformation du champ distance de facteur a nombre
Data$DIS <- as.numeric(Data$DIS)

# SEMIS DE MOINS DE 10 cm

# Regression lineaire simple
modRLS_REG10 <- lm(Data$REG10 ~ Data$DIS)

summary(modRLS_REG10)

##
## Call:
## lm(formula = Data$REG10 ~ Data$DIS)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -20117 -15696 -13353   3800 230154
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  13485.9     2878.2   4.686 3.52e-06 ***
## Data$DIS      1105.1      762.2   1.450    0.148
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 30310 on 551 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.003801,   Adjusted R-squared:  0.001993
## F-statistic: 2.102 on 1 and 551 DF,  p-value: 0.1477

par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLS_REG10)
```




```r
par(mfcol=c(1,1))
# ==> normalite mauvaise + homoscedasticite a revoir en enlevant certains points

# Regression lineaire simple sur la racine en enlevant certaines donnees
modRLS_REG10 <- lm(sqrt(Data[-c(33,30,487),]$REG10) ~ Data[-c(33,30,487),]$DIS)

summary(modRLS_REG10)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data[-c(33, 30, 487), ]$REG10) ~ Data[-c(33,
##     30, 487), ]$DIS)
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -107.60  -73.02  -26.76   55.17  317.86
##
## Coefficients:
##                             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)                   55.731      8.970   6.213 1.03e-09 ***
## Data[-c(33, 30, 487), ]$DIS    8.644      2.369   3.648 0.000289 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 93.72 on 548 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.02371,    Adjusted R-squared:  0.02193
## F-statistic: 13.31 on 1 and 548 DF,  p-value: 0.0002891
```

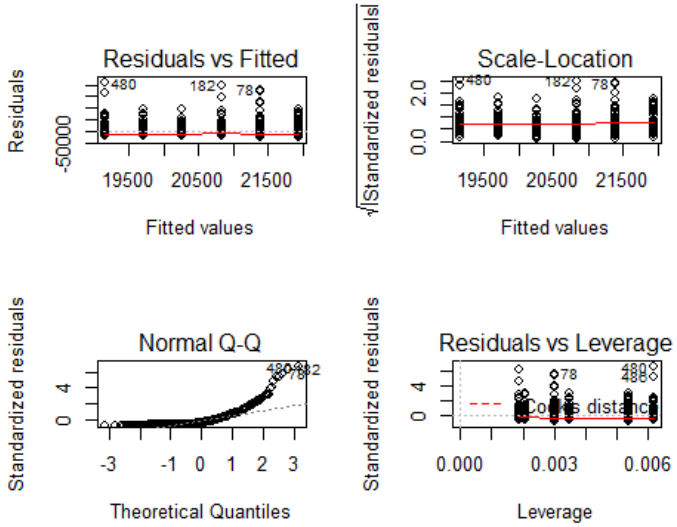
```r
par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLS_REG10)
```




```r
par(mfcol=c(1,1))
# ==> normalite et homoscedasticite meilleures

# SEMIS DE 10 À 50 cm

# Regression lineaire simple
modRLS_REG50 <- lm(Data$REG50 ~ Data$DIS)

summary(modRLS_REG50)
```

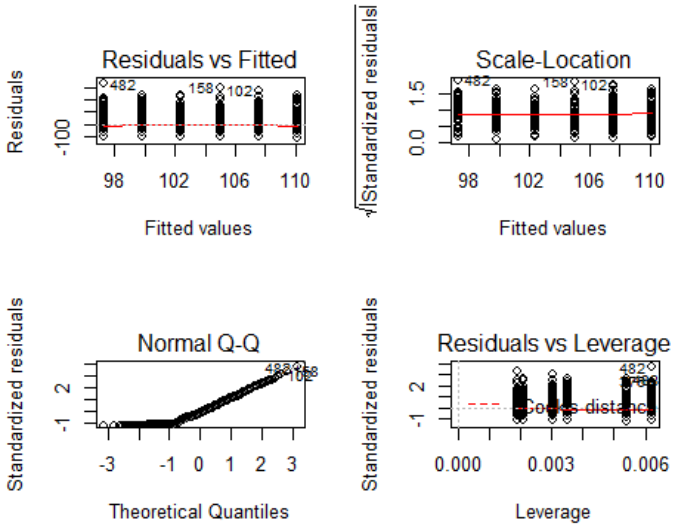
```
##
## Call:
## lm(formula = Data$REG50 ~ Data$DIS)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -21939 -19157 -12639   8326 207197
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  22495.8     3003.3    7.49 2.75e-13 ***
## Data$DIS      -556.5      795.4   -0.70    0.484
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 31630 on 551 degrees of freedom
```

```
## Multiple R-squared:  0.0008877,  Adjusted R-squared:  -0.0009255
## F-statistic: 0.4896 on 1 and 551 DF,  p-value: 0.4844

par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLS_REG50)
```



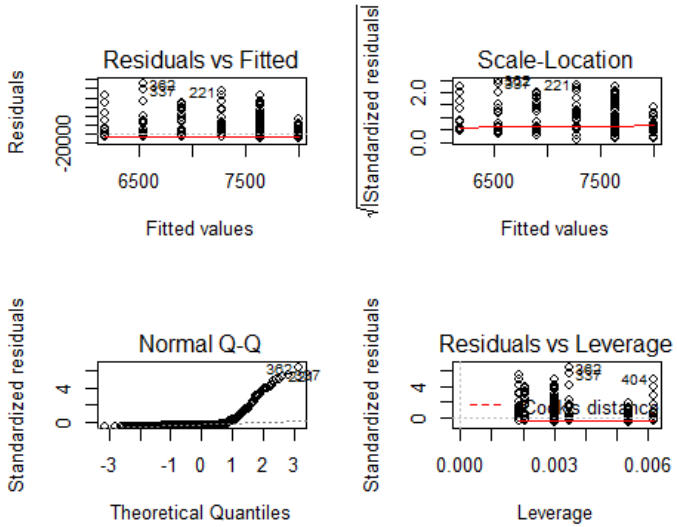

```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> normalite et homoscedasticite mauvaises

# Regression lineaire simple sur la racine en enlevant certaines donnees
modRLS_REG50 <- lm(sqrt(Data[-c(78,79,182,480),]$REG50) ~ Data[-
c(78,79,182,480),]$DIS)

summary(modRLS_REG50)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data[-c(78, 79, 182, 480), ]$REG50) ~ Data[-c(78,
##     79, 182, 480), ]$DIS)
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -110.08  -97.32  -15.76   62.26  333.18
##
## Coefficients:
##                                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)                     112.632      8.751  12.871   <2e-16 ***
## Data[-c(78, 79, 182, 480), ]$DIS   -2.552      2.317  -1.102    0.271
## ---
```

```
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 91.83 on 547 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.002214,   Adjusted R-squared:  0.0003894
## F-statistic: 1.213 on 1 and 547 DF,  p-value: 0.2711

par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLS_REG50)
```



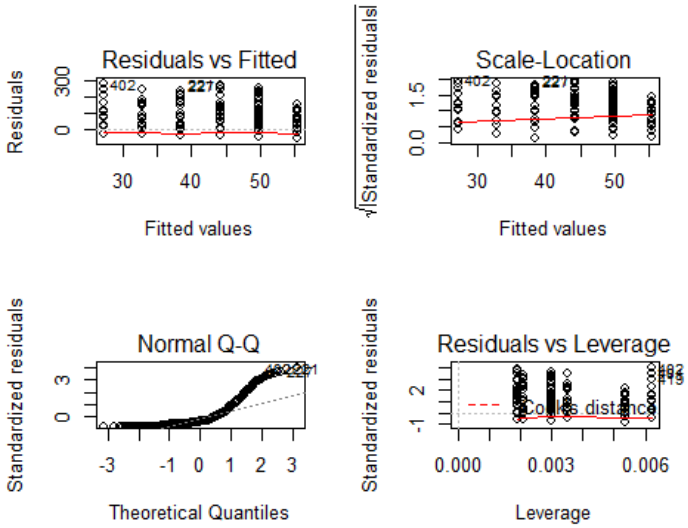

```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> hypotheses OK mais la p-value du test est trop elevee

# SEMIS DE PLUS DE 50 cm

# Regression lineaire simple
modRLS_REGP50 <- lm(Data$REGP50 ~ Data$DIS)

summary(modRLS_REGP50)

##
## Call:
## lm(formula = Data$REGP50 ~ Data$DIS)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
##  -7995  -7267  -6538  -4073 109468
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
```

```
## (Intercept)   8359.7     1666.0   5.018 7.07e-07 ***
## Data$DIS      -364.3      441.2  -0.826    0.409
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 17550 on 551 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.001236,   Adjusted R-squared:  -0.0005771
## F-statistic: 0.6816 on 1 and 551 DF,  p-value: 0.4094

par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLS_REGP50)
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> normalite et homoscedasticite mauvaises

# Regression lineaire simple sur la racine en enlevant certaines donnees
modRLS_REGP50 <- lm(sqrt(Data[-c(337,362),]$REGP50) ~ Data[-c(337,362),]$DIS)

summary(modRLS_REGP50)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data[-c(337, 362), ]$REGP50) ~ Data[-c(337,
##     362), ]$DIS)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -55.39 -44.12 -27.22  14.70 276.02
##
```

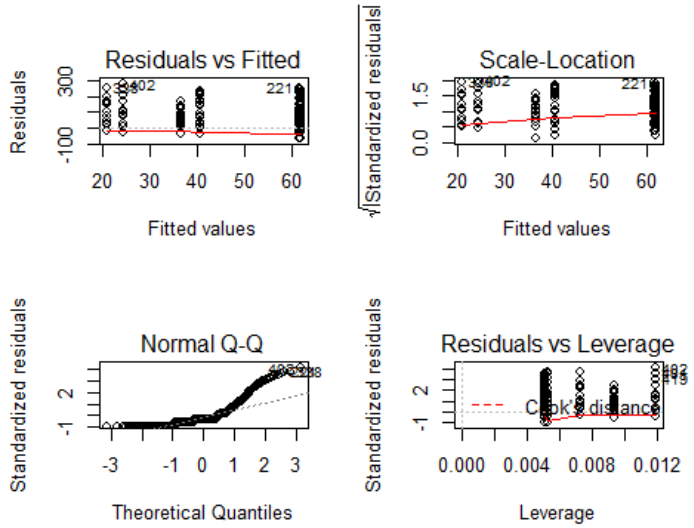
```
## Coefficients:
##                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)                61.028      6.660   9.163   <2e-16 ***
## Data[-c(337, 362), ]$DIS   -5.635      1.766  -3.191   0.0015 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 70.13 on 549 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.0182, Adjusted R-squared:  0.01642
## F-statistic: 10.18 on 1 and 549 DF,  p-value: 0.001501

par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLS_REGP50)
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> la normalite reste mauvaise

# Regression polynomiale sur la racine en enlevant certaines donnees
modRLP_sqrtREGP50 <- lm(sqrt(Data[-c(337,362),]$REGP50) ~ Data[-
c(337,362),]$DIS + Data[-c(337,362),]$DIS2 + Data[-c(337,362),]$DIS3)

summary(modRLP_sqrtREGP50)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data[-c(337, 362), ]$REGP50) ~ Data[-c(337,
##     362), ]$DIS + Data[-c(337, 362), ]$DIS2 + Data[-c(337, 362),
##     ]$DIS3)
##
```

```
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -61.81 -40.70 -24.29  16.72 278.95
##
## Coefficients:
##                              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)                 10.318357  13.183932   0.783 0.434173
## Data[-c(337, 362), ]$DIS    26.150457   7.396103   3.536 0.000441 ***
## Data[-c(337, 362), ]$DIS2 -0.368130   0.095188  -3.867 0.000123 ***
## Data[-c(337, 362), ]$DIS3   0.007187   0.002156   3.334 0.000913 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 69.02 on 547 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.05231,    Adjusted R-squared:  0.04711
## F-statistic: 10.06 on 3 and 547 DF,  p-value: 1.83e-06
```

```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLP_sqrtREGP50)
```

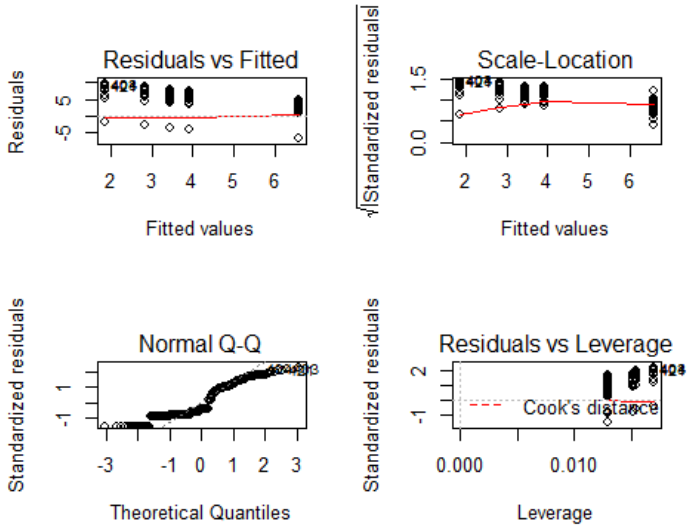



```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> normalite mauvaise

# Modele d'analyse de la variance pour la regeneration de plus de 50 cm

# Conversion des champs de distance et d'exposition en facteur
Data$DIS <- as.factor(Data$DIS)
Data$CAR <- as.factor(Data$CAR)
```

```
# Ecriture du modele
modANOVA_REGP50 <- lm(log1p(REGP50) ~ DIS,
data=Data[which(Data$PROTOCOLE=="LISIERE" & Data$DIS!=0),])
mod0 <- lm(log1p(REGP50) ~ 1, data=Data[which(Data$PROTOCOLE=="LISIERE" &
Data$DIS!=0),])

summary(modANOVA_REGP50)
```

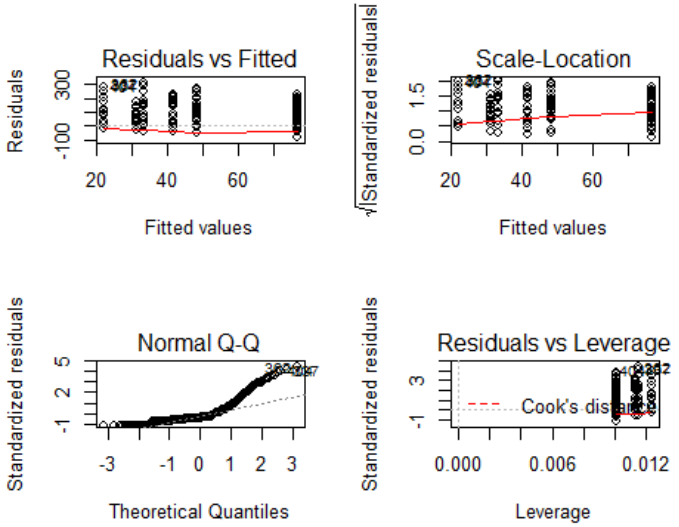
```
##
## Call:
## lm(formula = log1p(REGP50) ~ DIS, data = Data[which(Data$PROTOCOLE ==
##     "LISIERE" & Data$DIS != 0), ])
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -6.580 -3.443 -1.855  4.230  9.574
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  3.44294    0.49771   6.918 1.75e-11 ***
## DIS2         3.13728    0.70387   4.457 1.07e-05 ***
## DIS3         0.47103    0.70387   0.669   0.5037
## DIS4        -0.01214    0.73261  -0.017   0.9868
## DIS5        -0.62771    0.73563  -0.853   0.3940
## DIS6        -1.58772    0.75565  -2.101   0.0362 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 4.367 on 415 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.1022, Adjusted R-squared:  0.09138
## F-statistic: 9.448 on 5 and 415 DF,  p-value: 1.521e-08
```

```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modANOVA_REGP50)
```



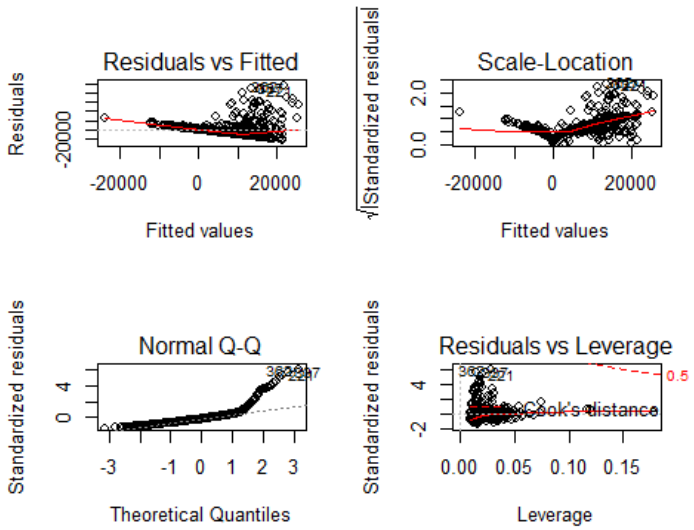

```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> normalite et homoscedasticite mauvaises

# Modele sur la racine
modANOVA_sqrtREGP50 <- lm(sqrt(Data$REGP50) ~ Data$DIS)
mod0 <- lm(sqrt(Data$REGP50) ~ 1)

summary(modANOVA_sqrtREGP50)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data$REGP50) ~ Data$DIS)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -76.81 -41.62 -31.19  15.55 307.43
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)   31.194      7.116   4.384 1.40e-05 ***
## Data$DIS2     45.619     10.064   4.533 7.15e-06 ***
## Data$DIS3     17.245     10.064   1.713   0.0872 .
## Data$DIS4     10.430     10.374   1.005   0.3151
## Data$DIS5      1.972     10.405   0.190   0.8497
## Data$DIS6     -9.124     10.608  -0.860   0.3901
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 70.81 on 547 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.05965,    Adjusted R-squared:  0.05106
## F-statistic:  6.94 on 5 and 547 DF,  p-value: 2.687e-06
```

```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modANOVA_sqrtREGP50)
```

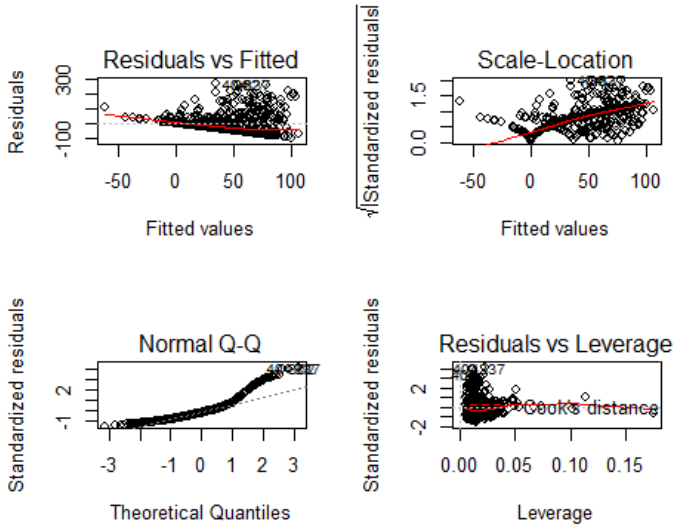



```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> normalite et homoscedasticite toujours mediocres

# Conversion du champ de distance en nombre
Data$DIS <- as.numeric(Data$DIS)

# Modele de regression lineaire multiple pour la regeneration de plus de 50 cm
modRLM_REGP50 <- lm(REGP50 ~ DIS + CAR + SUR_TER + MOU + HER + ARB + REM +
GPE,data=Data)
summary(modRLM_REGP50)

##
## Call:
## lm(formula = REGP50 ~ DIS + CAR + SUR_TER + MOU + HER + ARB +
##     REM + GPE, data = Data)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -21625  -8390  -3511   2800  93984
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)   8624.87    6087.10   1.417 0.157086
```

```
## DIS          -1351.57     446.16  -3.029 0.002568 **
## CAR2          6680.04    2215.30   3.015 0.002687 **
## CAR3          8195.46    2792.78   2.935 0.003483 **
## CAR4          3826.34    2163.71   1.768 0.077556 .
## SUR_TER         55.64      67.53   0.824 0.410392
## MOU           -910.54    3315.41  -0.275 0.783700
## HER         -16546.18    3017.04  -5.484 6.39e-08 ***
## ARB         -13310.41    3030.20  -4.393 1.35e-05 ***
## REM         -28376.52    7277.91  -3.899 0.000109 ***
## GPEA2        11852.88    3468.06   3.418 0.000679 ***
## GPEA3        -2254.37    2953.72  -0.763 0.445659
## GPEP          6132.86    2580.41   2.377 0.017816 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 16020 on 540 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.1843, Adjusted R-squared:  0.1661
## F-statistic: 10.16 on 12 and 540 DF,  p-value: < 2.2e-16

par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLM_REGP50)
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> normalite et homoscedasticite mauvaises

# Modele de regression lineaire multiple sur la racine pour la regeneration de
plus de 50 cm
modRLM_sqrtREGP50 <- lm(sqrt(REGP50) ~ DIS + ORI + SUR_TER + MOU + HER + ARB +
REM + DIS2 + DIS*ORI, data=Data)
summary(modRLM_sqrtREGP50)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(REGP50) ~ DIS + ORI + SUR_TER + MOU + HER +
##     ARB + REM + DIS2 + DIS * ORI, data = Data)
##
## Residuals:
##     Min      1Q  Median      3Q     Max
## -100.27  -43.63  -16.24   19.83  268.13
##
## Coefficients:
##               Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 139.370315  18.918118   7.367 6.53e-13 ***
## DIS          -4.583966   5.424212  -0.845 0.398431
## ORI          -0.027294   0.059615  -0.458 0.647256
## SUR_TER      -0.754315   0.195546  -3.857 0.000128 ***
## MOU           2.375947  12.988861   0.183 0.854928
## HER         -77.927153  12.258742  -6.357 4.37e-10 ***
## ARB         -71.188590  11.811480  -6.027 3.08e-09 ***
## REM         -81.820340  29.844688  -2.742 0.006317 **
## DIS2         -0.024632   0.019917  -1.237 0.216719
## DIS:ORI       0.002628   0.015970   0.165 0.869358
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 67.25 on 543 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.158,  Adjusted R-squared:  0.1441
## F-statistic: 11.32 on 9 and 543 DF,  p-value: 2.562e-16

par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLM_sqrtREGP50)
```

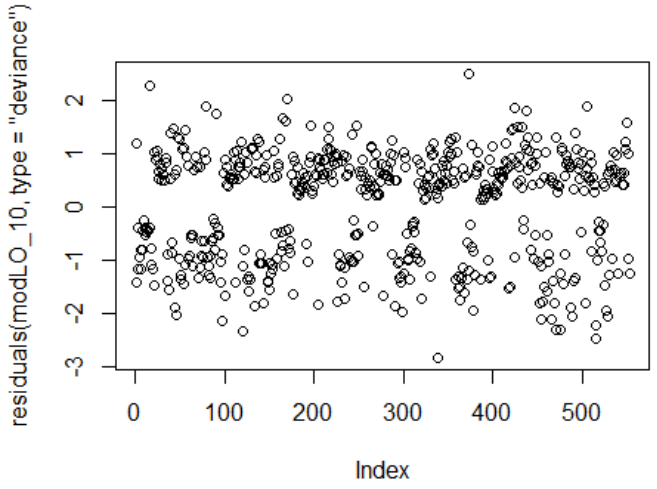



```
## CAR3         -2.007480   0.407723  -4.924 8.50e-07 ***
## CAR4         -0.533309   0.353759  -1.508 0.131670
## SUR_TER      -0.016401   0.008664  -1.893 0.058357 .
## HTR           0.166287   0.024029   6.920 4.51e-12 ***
## MOU          -1.881776   0.545729  -3.448 0.000564 ***
## HER          -2.005521   0.451197  -4.445 8.79e-06 ***
## ARB          -3.762660   0.501840  -7.498 6.49e-14 ***
## REM          -2.436819   1.081432  -2.253 0.024239 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 735.29  on 552  degrees of freedom
## Residual deviance: 562.77  on 542  degrees of freedom
## AIC: 584.77
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 5
```

```
# Graphique representant la deviance des residus ==> espace vide au niveau de 0 mais OK
plot(residuals(modLO_10,type="deviance"))
```

```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> normalite et homoscedasticite toujours mauvaises

############################
# REGRESSIONS LOGISTIQUES #
############################

# Regression logistique sur la regeneration de moins de 10 cm
modLO_10_base <- glm(BIN_10~1,data=Data, family=binomial(link="logit"))
modLO_10 <- glm(BIN_10 ~ DIS + CAR + SUR_TER + HTR + MOU + HER + ARB + REM,
                data=Data,
                family=binomial(link="logit"))

summary(modLO_10)
```

```
##
## Call:
## glm(formula = BIN_10 ~ DIS + CAR + SUR_TER + HTR + MOU + HER +
##     ARB + REM, family = binomial(link = "logit"), data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.8256  -0.8856   0.4602   0.8132   2.5134
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  0.089091   0.566432   0.157 0.875020
## DIS          0.173462   0.067844   2.557 0.010564 *
## CAR2        -1.622432   0.347876  -4.664 3.10e-06 ***
```




```
# Selection du modele le plus parcimonieux selon l'AIC
mod_AIC_10 <- step(object=modLO_10_base,
                   scope=list(upper=modLO_10),
                   direction="both")
```

```
## Start:  AIC=737.29
## BIN_10 ~ 1
##
##           Df Deviance    AIC
## + ARB      1   691.32 695.32
## + CAR      3   689.88 697.88
## + HTR      1   716.91 720.91
## + DIS      1   725.45 729.45
## + HER      1   728.17 732.17
## + SUR_TER  1   731.44 735.44
## <none>         735.29 737.29
## + REM      1   734.10 738.10
## + MOU      1   735.18 739.18
##
## Step:  AIC=695.32
## BIN_10 ~ ARB
##
##           Df Deviance    AIC
## + HTR      1   647.23 653.23
## + CAR      3   654.64 664.64
## + HER      1   669.65 675.65
## + DIS      1   677.61 683.61
## + SUR_TER  1   683.74 689.74
## + MOU      1   686.07 692.07
## + REM      1   689.22 695.22
## <none>         691.32 695.32
## - ARB      1   735.29 737.29
##
## Step:  AIC=653.23
## BIN_10 ~ ARB + HTR
##
##           Df Deviance    AIC
## + CAR      3   608.13 620.13
## + HER      1   624.35 632.35
## + DIS      1   634.18 642.18
## + REM      1   644.53 652.53
## <none>         647.23 653.23
## + SUR_TER  1   646.09 654.09
## + MOU      1   647.22 655.22
## - HTR      1   691.32 695.32
## - ARB      1   716.91 720.91
##
## Step:  AIC=620.13
## BIN_10 ~ ARB + HTR + CAR
##
##           Df Deviance    AIC
## + HER      1   585.97 599.97
## + DIS      1   591.45 605.45
## <none>         608.13 620.13
## + SUR_TER  1   606.33 620.33
## + REM      1   607.04 621.04
## + MOU      1   607.28 621.28
## - CAR      3   647.23 653.23
## - HTR      1   654.64 664.64
## - ARB      1   665.84 675.84
##
## Step:  AIC=599.97
## BIN_10 ~ ARB + HTR + CAR + HER
##
##           Df Deviance    AIC
## + MOU      1   578.87 594.87
## + DIS      1   579.70 595.70
## + REM      1   582.65 598.65
## <none>         585.97 599.97
## + SUR_TER  1   584.18 600.18
## - HER      1   608.13 620.13
## - CAR      3   624.35 632.35
## - HTR      1   633.01 645.01
## - ARB      1   659.93 671.93
##
## Step:  AIC=594.87
## BIN_10 ~ ARB + HTR + CAR + HER + MOU
##
##           Df Deviance    AIC
## + DIS      1   570.54 588.54
## + REM      1   573.11 591.11
## + SUR_TER  1   576.71 594.71
## <none>         578.87 594.87
## - MOU      1   585.97 599.97
## - HER      1   607.28 621.28
## - CAR      3   621.35 631.35
## - HTR      1   633.00 647.00
## - ARB      1   647.01 661.01
##
## Step:  AIC=588.54
## BIN_10 ~ ARB + HTR + CAR + HER + MOU + DIS
##
##           Df Deviance    AIC
## + REM      1   566.37 586.37
## + SUR_TER  1   568.25 588.25
## <none>         570.54 588.54
## - DIS      1   578.87 594.87
## - MOU      1   579.70 595.70
## - HER      1   587.73 603.73
## - CAR      3   617.06 629.06
## - HTR      1   626.25 642.25
## - ARB      1   636.40 652.40
##
## Step:  AIC=586.37
## BIN_10 ~ ARB + HTR + CAR + HER + MOU + DIS + REM
##
##           Df Deviance    AIC
## + SUR_TER  1   562.77 584.77
## <none>         566.37 586.37
## - REM      1   570.54 588.54
## - DIS      1   573.11 591.11
## - MOU      1   577.59 595.59
## - HER      1   586.75 604.75
## - CAR      3   610.41 624.41
## - HTR      1   624.78 642.78
## - ARB      1   634.89 652.89
##
## Step:  AIC=584.77
## BIN_10 ~ ARB + HTR + CAR + HER + MOU + DIS + REM + SUR_TER
```

```
##
##           Df Deviance    AIC
## <none>         562.77 584.77
## - SUR_TER  1   566.37 586.37
## - REM      1   568.25 588.25
## - DIS      1   569.44 589.44
## - MOU      1   574.92 594.92
## - HER      1   583.78 603.78
## - CAR      3   607.43 623.43
## - HTR      1   619.74 639.74
## - ARB      1   632.46 652.46
```

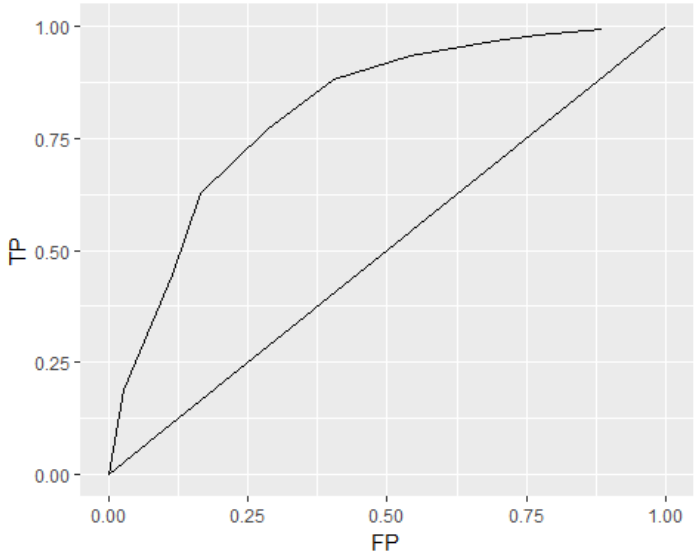
```
summary(mod_AIC_10)
```

```
##
## Call:
## glm(formula = BIN_10 ~ ARB + HTR + CAR + HER + MOU + DIS + REM +
##     SUR_TER, family = binomial(link = "logit"), data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.8256  -0.8856   0.4602   0.8132   2.5134
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  0.089091   0.566432   0.157 0.875020
## ARB         -3.762660   0.501840  -7.498 6.49e-14 ***
## HTR          0.166287   0.024029   6.920 4.51e-12 ***
## CAR2        -1.622432   0.347876  -4.664 3.10e-06 ***
## CAR3        -2.007480   0.407723  -4.924 8.50e-07 ***
## CAR4        -0.533309   0.353759  -1.508 0.131670
## HER         -2.005521   0.451197  -4.445 8.79e-06 ***
## MOU         -1.881776   0.545729  -3.448 0.000564 ***
## DIS          0.173462   0.067844   2.557 0.010564 *
## REM         -2.436819   1.081432  -2.253 0.024239 *
## SUR_TER     -0.016401   0.008664  -1.893 0.058357 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 735.29  on 552  degrees of freedom
## Residual deviance: 562.77  on 542  degrees of freedom
## AIC: 584.77
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 5
```

```
# Table de prediction du modele
table(Data$BIN_10,round(predict(mod_AIC_10,type="response"),0))
```

```
##
##       0   1
##   0 126  85
##   1  41 301
```

```
# Trace de la courbe ROC
ROC10_table <- data.frame("FP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),
                          "TP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))
for(i in seq(0,10,by=1)){
  Ps=predict(mod_AIC_10,type="response")>i/10
  ROC10_table$FP[i]<-sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_10==0))/sum(Data$BIN_10==0)
  ROC10_table$TP[i]=sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_10==1))/sum(Data$BIN_10==1)
}
ggplot(data=ROC10_table,mapping=aes(x=FP,y=TP))+
  geom_line()+
  geom_line(data=data.frame("X"=c(0:1,step=0.1),"Y"=c(0:1,step=0.1)),
            mapping=aes(x=X,y=Y))
```

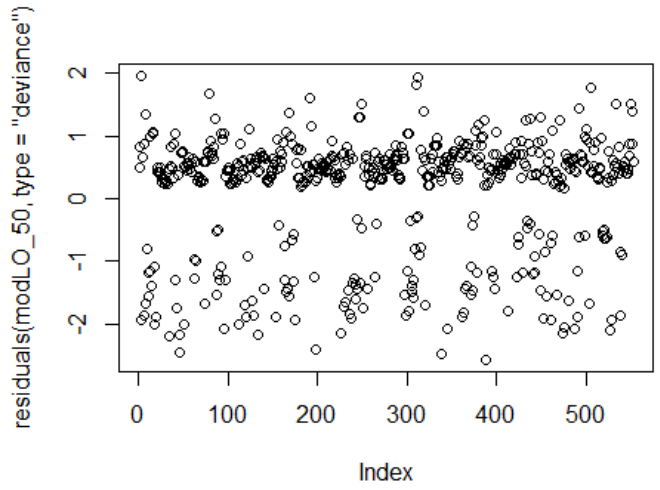



```
# Regression logistique sur la regeneration de 10 a 50 cm
modLO_50_base <- glm(BIN_50~1,data=Data, family=binomial(link="logit"))
modLO_50 <- glm(BIN_50 ~ DIS + CAR + SUR_TER + HTR + MOU + HER + ARB + REM,
                data=Data,
                family=binomial(link="logit"))

summary(modLO_50)
```

```
##
## Call:
## glm(formula = BIN_50 ~ DIS + CAR + SUR_TER + HTR + MOU + HER +
##     ARB + REM, family = binomial(link = "logit"), data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.5700  -0.2719   0.4574   0.6688   1.9644
```

```
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  2.916773   0.721183   4.044 5.25e-05 ***
## DIS         -0.107629   0.074125  -1.452 0.146502
## CAR2        -1.571340   0.455253  -3.452 0.000557 ***
## CAR3        -1.723203   0.499119  -3.452 0.000555 ***
## CAR4        -1.119854   0.467471  -2.396 0.016595 *
## SUR_TER     -0.021459   0.009261  -2.317 0.020502 *
## HTR          0.104591   0.023981   4.361 1.29e-05 ***
## MOU         -0.779805   0.570658  -1.367 0.171781
## HER         -0.884724   0.473365  -1.869 0.061621 .
## ARB         -4.384890   0.514084  -8.530  < 2e-16 ***
## REM         -2.658394   1.012926  -2.624 0.008678 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 623.59  on 552  degrees of freedom
## Residual deviance: 482.86  on 542  degrees of freedom
## AIC: 504.86
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 5
```

```
# Graphique representant la deviance des residus ==> espace vide au niveau de 0
et desequilibre dans la repartition des donnees mais passable
plot(residuals(modLO_50,type="deviance"))
```




```
# Selection du modele le plus parcimonieux selon l'AIC
mod_AIC_50 <- step(object=modLO_50_base,
                   scope=list(upper=modLO_50),
                   direction="both")

## Start:  AIC=625.59
## BIN_50 ~ 1
##
##           Df Deviance    AIC
## + ARB      1   532.06 536.06
## + CAR      3   592.69 600.69
## + HER      1   619.94 623.94
## + DIS      1   621.53 625.53
## <none>         623.59 625.59
## + MOU      1   621.94 625.94
## + REM      1   622.01 626.01
## + HTR      1   622.52 626.52
## + SUR_TER  1   623.50 627.50
##
## Step:  AIC=536.06
## BIN_50 ~ ARB
##
##           Df Deviance    AIC
## + CAR      3   508.50 518.50
## + HTR      1   514.85 520.85
## + REM      1   528.57 534.57
## <none>         532.06 536.06
## + MOU      1   530.07 536.07
## + DIS      1   531.25 537.25
## + HER      1   531.46 537.46
## + SUR_TER  1   531.62 537.62
## - ARB      1   623.59 625.59
##
## Step:  AIC=518.5
## BIN_50 ~ ARB + CAR
##
##           Df Deviance    AIC
## + HTR      1   495.66 507.66
## <none>         508.50 518.50
## + REM      1   506.58 518.58
## + HER      1   507.88 519.88
## + DIS      1   507.95 519.95
## + MOU      1   508.18 520.18
## + SUR_TER  1   508.49 520.49
## - CAR      3   532.06 536.06
## - ARB      1   592.69 600.69
##
## Step:  AIC=507.66
## BIN_50 ~ ARB + CAR + HTR
##
##           Df Deviance    AIC
## + SUR_TER  1   492.19 506.19
## + REM      1   492.95 506.95
## <none>         495.66 507.66
## + DIS      1   494.88 508.88
## + MOU      1   495.19 509.19
## + HER      1   495.20 509.20
```

```
## - HTR      1   508.50 518.50
## - CAR      3   514.85 520.85
## - ARB      1   591.56 601.56
##
## Step:  AIC=506.19
## BIN_50 ~ ARB + CAR + HTR + SUR_TER
##
##           Df Deviance    AIC
## + REM      1   488.30 504.30
## <none>         492.19 506.19
## + DIS      1   491.43 507.43
## + MOU      1   491.54 507.54
## - SUR_TER  1   495.66 507.66
## + HER      1   491.78 507.78
## - CAR      3   512.15 520.15
## - HTR      1   508.49 520.49
## - ARB      1   589.23 601.23
##
## Step:  AIC=504.3
## BIN_50 ~ ARB + CAR + HTR + SUR_TER + REM
##
##           Df Deviance    AIC
## <none>         488.30 504.30
## + MOU      1   487.06 505.06
## + DIS      1   487.16 505.16
## + HER      1   487.32 505.32
## - REM      1   492.19 506.19
## - SUR_TER  1   492.95 506.95
## - CAR      3   506.71 516.71
## - HTR      1   506.52 520.52
## - ARB      1   588.27 602.27
```

```
summary(mod_AIC_50)
```

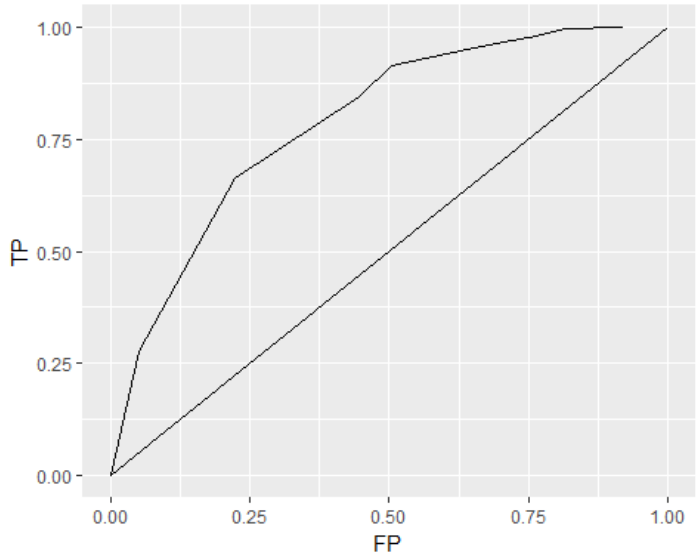
```
##
## Call:
## glm(formula = BIN_50 ~ ARB + CAR + HTR + SUR_TER + REM, family =
binomial(link = "logit"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.5929  -0.2642   0.5004   0.6688   2.0032
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  2.191302   0.618158   3.545 0.000393 ***
## ARB         -4.219844   0.489043  -8.629  < 2e-16 ***
## CAR2        -1.546898   0.450890  -3.431 0.000602 ***
## CAR3        -1.677480   0.493413  -3.400 0.000674 ***
## CAR4        -1.051718   0.464008  -2.267 0.023415 *
## HTR          0.091598   0.022382   4.092 4.27e-05 ***
## SUR_TER     -0.019943   0.009233  -2.160 0.030766 *
## REM         -1.911960   0.955534  -2.001 0.045400 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 623.59  on 552  degrees of freedom
## Residual deviance: 488.30  on 545  degrees of freedom
## AIC: 504.3
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 5
```

```
# Table de prediction du modele
table(Data$BIN_50,round(predict(mod_AIC_50,type="response"),0))
```

```
##
##       0   1
##   0  50  89
##   1  21 393
```

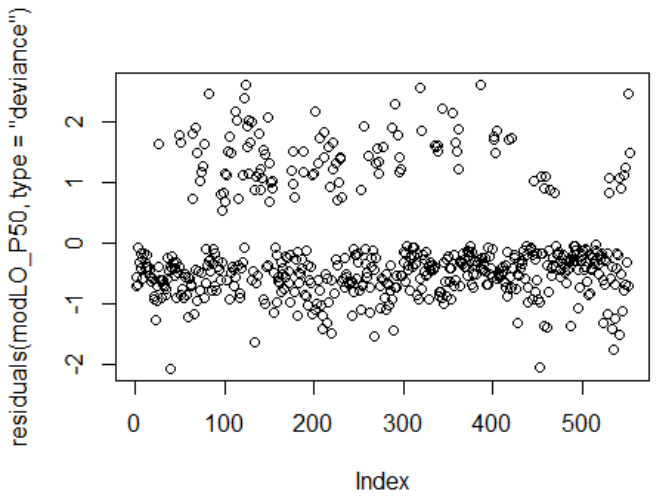
```
# Construction de la courbe ROC
ROC50_table <- data.frame("FP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),
                          "TP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))
for(i in seq(0,10,by=1)){
  Ps=predict(mod_AIC_50,type="response")>i/10
  ROC50_table$FP[i]<-sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_50==0))/sum(Data$BIN_50==0)
  ROC50_table$TP[i]=sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_50==1))/sum(Data$BIN_50==1)
}
ggplot(data=ROC50_table,mapping=aes(x=FP,y=TP))+
  geom_line()+
  geom_line(data=data.frame("X"=c(0:1,step=0.1),"Y"=c(0:1,step=0.1)),
            mapping=aes(x=X,y=Y))
```



```r
# Regression logistique sur la regeneration de plus de 50 cm
modLO_P50_base <- glm(BIN_P50~1,data=Data, family=binomial(link="logit"))
modLO_P50 <- glm(BIN_P50 ~ DIS + CAR + SUR_TER + HTR + MOU + HER + ARB + REM,
                 data=Data,
                 family=binomial(link="logit"))

summary(modLO_P50)
```

```
##
## Call:
## glm(formula = BIN_P50 ~ DIS + CAR + SUR_TER + HTR + MOU + HER +
##     ARB + REM, family = binomial(link = "logit"), data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.0710  -0.6508  -0.3898  -0.1143   2.5988
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  1.87564    0.64866   2.892  0.00383 **
## DIS         -0.52517    0.08934  -5.878 4.14e-09 ***
## CAR2         1.05762    0.39093   2.705  0.00682 **
## CAR3         0.79211    0.49245   1.609  0.10773
## CAR4         0.35083    0.38757   0.905  0.36537
## SUR_TER     -0.05256    0.01187  -4.428 9.51e-06 ***
## HTR          0.07968    0.02735   2.913  0.00358 **
## MOU          0.53017    0.59716   0.888  0.37463
## HER         -3.88078    0.59232  -6.552 5.68e-11 ***
## ARB         -5.02709    0.87262  -5.761 8.37e-09 ***
## REM         -3.77547    1.31037  -2.881  0.00396 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 573.35  on 552  degrees of freedom
## Residual deviance: 443.40  on 542  degrees of freedom
## AIC: 465.4
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

```r
# Graphique representant la deviance des residus ==> espace vide au niveau de 0
et desequilibre dans la repartition des donnees mais passable
plot(residuals(modLO_P50,type="deviance"))
```




```r
mod_AIC_P50 <- step(object=modLO_P50_base,
                    scope=list(upper=modLO_P50),
                    direction="both")
```

```
## Start:  AIC=575.35
## BIN_P50 ~ 1
##
##           Df Deviance    AIC
## + ARB      1   549.22 553.22
## + HER      1   556.51 560.51
## + SUR_TER  1   559.94 563.94
## + DIS      1   562.44 566.44
## <none>         573.35 575.35
## + MOU      1   572.10 576.10
## + HTR      1   573.19 577.19
## + REM      1   573.23 577.23
## + CAR      3   570.61 578.61
##
## Step:  AIC=553.22
## BIN_P50 ~ ARB
##
##           Df Deviance    AIC
## + HER      1   521.35 527.35
## + SUR_TER  1   539.39 545.39
## + DIS      1   539.47 545.47
## + MOU      1   542.05 548.05
## <none>         549.22 553.22
## + HTR      1   548.34 554.34
## + CAR      3   544.84 554.84
## + REM      1   548.93 554.93
```

```
## - ARB      1   573.35 575.35
##
## Step:  AIC=527.35
## BIN_P50 ~ ARB + HER
##
##           Df Deviance    AIC
## + DIS      1   485.90 493.90
## + SUR_TER  1   509.52 517.52
## <none>         521.35 527.35
## + REM      1   519.60 527.60
## + MOU      1   519.62 527.62
## + CAR      3   516.15 528.15
## + HTR      1   520.68 528.68
## - HER      1   549.22 553.22
## - ARB      1   556.51 560.51
##
## Step:  AIC=493.9
## BIN_P50 ~ ARB + HER + DIS
##
##           Df Deviance    AIC
## + SUR_TER  1   475.68 485.68
## + REM      1   480.89 490.89
## + CAR      3   477.91 491.91
## + MOU      1   483.68 493.68
## <none>         485.90 493.90
## + HTR      1   485.19 495.19
## - DIS      1   521.35 527.35
## - ARB      1   526.87 532.87
## - HER      1   539.47 545.47
##
## Step:  AIC=485.68
## BIN_P50 ~ ARB + HER + DIS + SUR_TER
##
##           Df Deviance    AIC
## + HTR      1   462.02 474.02
## + REM      1   468.32 480.32
## + MOU      1   471.04 483.04
## + CAR      3   468.65 484.65
## <none>         475.68 485.68
## - SUR_TER  1   485.90 493.90
## - DIS      1   509.52 517.52
## - ARB      1   512.21 520.21
## - HER      1   530.36 538.36
##
## Step:  AIC=474.02
## BIN_P50 ~ ARB + HER + DIS + SUR_TER + HTR
##
##           Df Deviance    AIC
## + REM      1   453.48 467.48
## <none>         462.02 474.02
## + CAR      3   456.28 474.28
## + MOU      1   461.39 475.39
## - HTR      1   475.68 485.68
## - SUR_TER  1   485.19 495.19
## - DIS      1   494.79 504.79
## - ARB      1   510.09 520.09
## - HER      1   515.52 525.52
```

```
##
## Step:  AIC=467.48
## BIN_P50 ~ ARB + HER + DIS + SUR_TER + HTR + REM
##
##           Df Deviance    AIC
## + CAR      3   444.18 464.18
## <none>         453.48 467.48
## + MOU      1   453.44 469.44
## - REM      1   462.02 474.02
## - HTR      1   468.32 480.32
## - SUR_TER  1   480.30 492.30
## - DIS      1   490.47 502.47
## - ARB      1   505.27 517.27
## - HER      1   513.52 525.52
##
## Step:  AIC=464.18
## BIN_P50 ~ ARB + HER + DIS + SUR_TER + HTR + REM + CAR
##
##           Df Deviance    AIC
## <none>         444.18 464.18
## + MOU      1   443.40 465.40
## - CAR      3   453.48 467.48
## - REM      1   456.28 474.28
## - HTR      1   458.07 476.07
## - SUR_TER  1   468.80 486.80
## - DIS      1   484.60 502.60
## - ARB      1   501.92 519.92
## - HER      1   507.95 525.95
```

```
summary(mod_AIC_P50)
```

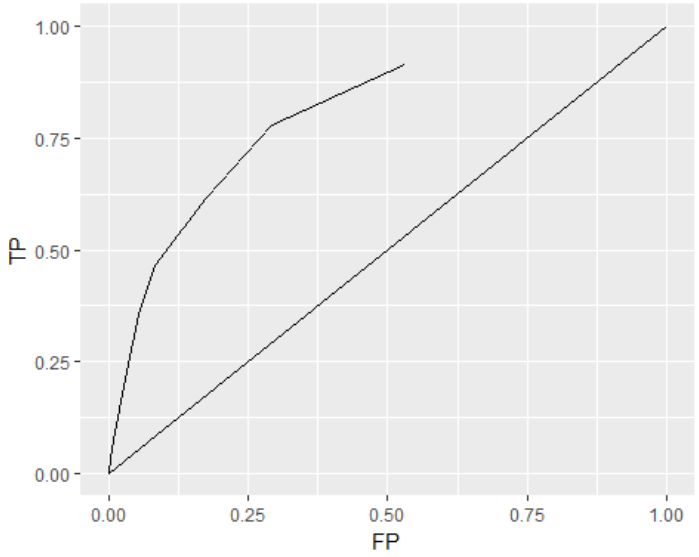
```
##
## Call:
## glm(formula = BIN_P50 ~ ARB + HER + DIS + SUR_TER + HTR + REM +
##     CAR, family = binomial(link = "logit"), data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.1300  -0.6427  -0.3853  -0.1153   2.5607
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  1.92742    0.64578   2.985 0.002839 **
## ARB         -4.86819    0.84150  -5.785 7.25e-09 ***
## HER         -4.00261    0.57677  -6.940 3.93e-12 ***
## DIS         -0.51983    0.08888  -5.849 4.96e-09 ***
## SUR_TER     -0.05443    0.01175  -4.634 3.59e-06 ***
## HTR          0.09002    0.02492   3.612 0.000303 ***
## REM         -3.95176    1.30808  -3.021 0.002519 **
## CAR2         0.96657    0.37310   2.591 0.009580 **
## CAR3         0.67509    0.47153   1.432 0.152228
## CAR4         0.27510    0.37478   0.734 0.462930
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
```

```
##
##     Null deviance: 573.35  on 552  degrees of freedom
## Residual deviance: 444.18  on 543  degrees of freedom
## AIC: 464.18
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

```r
# Table de prediction du modele
table(Data$BIN_P50,round(predict(mod_AIC_P50,type="response"),0))
```

```
##
##       0   1
##   0 412  23
##   1  76  42
```

```r
# Construction de la courbe ROC
ROCP50_table <- data.frame("FP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),
                           "TP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))
for(i in seq(0,10,by=1)){
  Ps=predict(mod_AIC_P50,type="response")>i/10
  ROCP50_table$FP[i]<-sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_P50==0))/sum(Data$BIN_P50==0)
  ROCP50_table$TP[i]=sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_P50==1))/sum(Data$BIN_P50==1)
}
ggplot(data=ROCP50_table,mapping=aes(x=FP,y=TP))+
  geom_line()+
  geom_line(data=data.frame("X"=c(0:1,step=0.1),"Y"=c(0:1,step=0.1)),
            mapping=aes(x=X,y=Y))
```



ANNEXE K

-

Code R de l'analyse des données de l'inventaire des trouées

Trouées.R

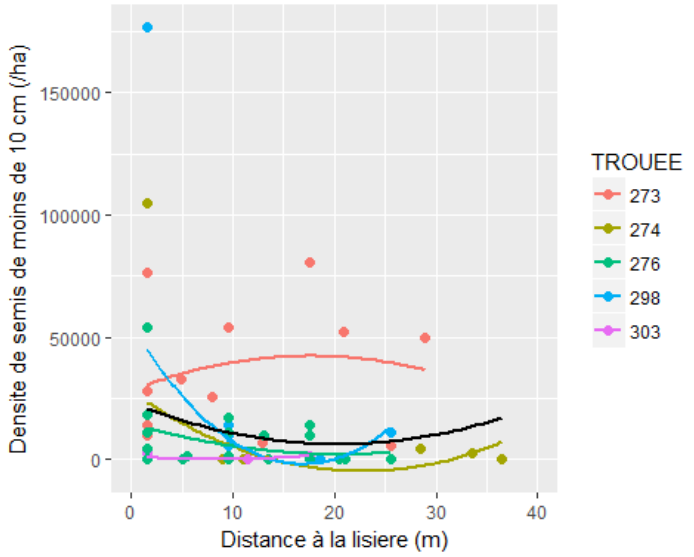
Maxime

Tue Jul 31 11:04:49 2018

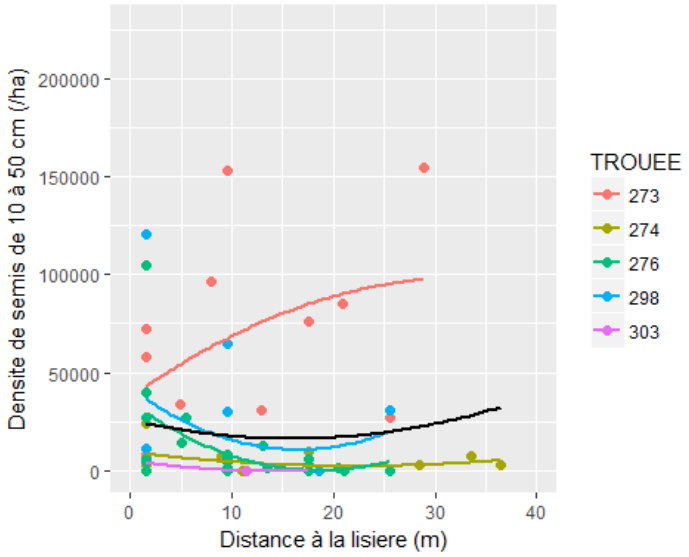
```
############################
# OUVERTURE DES LIBRAIRIES #
############################

library(readxl) # Permet de lire les fichiers Excel

## Warning: package 'readxl' was built under R version 3.3.3

library(ggplot2) # Permet de creer des graphiques de visualisation des donnees

## Warning: package 'ggplot2' was built under R version 3.3.3

######################
# FONCTIONS UTILISEES #
######################

# Fonction renvoyant la largeur de l'intervalle de confiance pour une serie de donnees
intervalle <- function(data,confiance){
  v=var(x=data,na.rm=FALSE)
  n=length(data)
  ddl=n-1
  proba=1-(1-confiance)/2
  t_student=qt(proba,ddl)
  intervalle=t_student*sqrt(v/n)
  return(intervalle)
}

##########################
# DEFINITION DES DONNEES #
##########################

# Definition de l'espace de travail
setwd("C:/Users/Maxime/Desktop/Regeneration_P.N")

# Importation des donnees
Data <-
read_xlsx(path="C:/Users/Maxime/Desktop/Regeneration_P.N/Compilation_trouées.xlsx",
col_names=TRUE, sheet="COMPILATION")

# Ajout de la variable "Distance au carre"
Data$DISTANCE_LISIERE_2 <- Data$DISTANCE_LISIERE * Data$DISTANCE_LISIERE

# Ajout des variables binaires utilisees plus loin dans la regression logistique
Data$BIN_10 <- 0
Data$BIN_50 <- 0
Data$BIN_P50 <- 0

for (i in 1:length(Data$'DEN<10')){
  if(Data$'DEN<10'[i]<=0){ # Seuil fixe a 0 semis/ha
    Data$BIN_10[i] <- 0
  }
  else{
    Data$BIN_10[i] <- 1
  }
}

for (i in 1:length(Data$'DEN<50')){
  if(Data$'DEN<50'[i]<=0){ # Seuil fixe a 0 semis/ha
    Data$BIN_50[i] <- 0
  }
  else{
    Data$BIN_50[i] <- 1
  }
}

for (i in 1:length(Data$'DEN>50')){
  if(Data$'DEN>50'[i]<=0){ # Seuil fixe a 0 semis/ha
    Data$BIN_P50[i] <- 0
  }
  else{
    Data$BIN_P50[i] <- 1
  }
}

# Conversion des champs binaire de numeric a facteur
Data$BIN_10 <- as.factor(Data$BIN_10)
Data$BIN_50 <- as.factor(Data$BIN_50)
Data$BIN_P50 <- as.factor(Data$BIN_P50)

# Presentation des donnees
summary(Data)

##      TROUEE       NUM_PLACEAU      POSITION             RANG
##  Min.   :273.0   Min.   : 1.00   Length:183         Min.   :0.0000
##  1st Qu.:274.0   1st Qu.:10.00   Class :character   1st Qu.:0.0000
##  Median :276.0   Median :19.00   Mode  :character   Median :0.0000
##  Mean   :283.2   Mean   :20.12                      Mean   :0.8689
##  3rd Qu.:298.0   3rd Qu.:28.00                      3rd Qu.:2.0000
##  Max.   :303.0   Max.   :56.00                      Max.   :5.0000
##
##  DISTANCE_LISIERE        X                  Y
##  Min.   :-33.500   Min.   :-72.50000   Min.   :-87.2500
##  1st Qu.:-17.500   1st Qu.:-13.70000   1st Qu.: -4.1250
##  Median : -1.500   Median :  0.00000   Median :  0.0000
##  Mean   : -6.259   Mean   :  0.00683   Mean   : -0.6017
##  3rd Qu.:  6.750   3rd Qu.: 16.00000   3rd Qu.:  4.1250
##  Max.   : 36.500   Max.   : 72.50000   Max.   : 79.2500
##                    NA's   :22          NA's   :33
##  ORIENTATION        SURF_TERRIÈRE      HAUTEUR       DIAM_HAUTEUR
##  Length:183         Min.   :15.00   Min.   :25.40   Min.   :40.00
##  Class :character   1st Qu.:29.00   1st Qu.:26.20   1st Qu.:45.00
##  Mode  :character   Median :36.00   Median :27.00   Median :45.00
##                     Mean   :41.27   Mean   :27.56   Mean   :47.95
##                     3rd Qu.:53.00   3rd Qu.:28.60   3rd Qu.:50.00
##                     Max.   :86.00   Max.   :30.30   Max.   :60.00
##                     NA's   :73      NA's   :73      NA's   :73
##       <10              <50             <50NV             <200
##  Min.   :  0.00   Min.   :  0.00   Min.   :0.00000   Min.   : 0.000
##  1st Qu.:  0.00   1st Qu.:  0.00   1st Qu.:0.00000   1st Qu.: 0.000
##  Median :  2.00   Median :  3.00   Median :0.00000   Median : 0.000
##  Mean   : 10.97   Mean   : 12.04   Mean   :0.08197   Mean   : 1.525
##  3rd Qu.: 10.00   3rd Qu.: 11.50   3rd Qu.:0.00000   3rd Qu.: 1.000
##  Max.   :125.00   Max.   :160.00   Max.   :5.00000   Max.   :27.000
##
##      <200NV             <300             <300NV       <900
##  Min.   :0.00000   Min.   :0.00000   Min.   :0   Min.   :0.00000
##  1st Qu.:0.00000   1st Qu.:0.00000   1st Qu.:0   1st Qu.:0.00000
##  Median :0.00000   Median :0.00000   Median :0   Median :0.00000
```

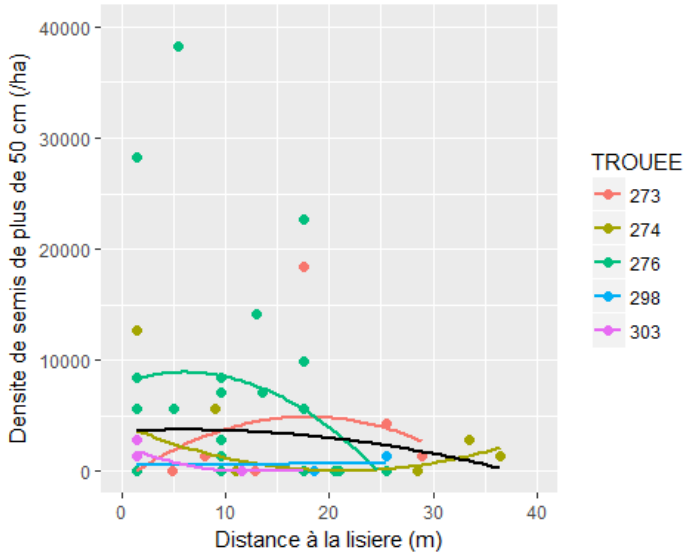
```
##  Mean   :0.08197   Mean   :0.01093   Mean   :0   Mean   :0.01093
##  3rd Qu.:0.00000   3rd Qu.:0.00000   3rd Qu.:0   3rd Qu.:0.00000
##  Max.   :7.00000   Max.   :1.00000   Max.   :0   Max.   :2.00000
##
##      <900NV       SUP        DEN<10           DEN<50           DEN>50
##  Min.   :0   Min.   :0   Min.   :     0   Min.   :     0   Min.   :    0
##  1st Qu.:0   1st Qu.:0   1st Qu.:     0   1st Qu.:     0   1st Qu.:    0
##  Median :0   Median :0   Median :  2829   Median :  4244   Median :    0
##  Mean   :0   Mean   :0   Mean   : 15515   Mean   : 17038   Mean   : 2188
##  3rd Qu.:0   3rd Qu.:0   3rd Qu.: 14147   3rd Qu.: 16270   3rd Qu.: 1415
##  Max.   :0   Max.   :0   Max.   :176839   Max.   :226354   Max.   :38197
##
##       MOU              HER              ARB              REM
##  Min.   :0.0000   Min.   :0.0000   Min.   :0.0000   Min.   :0.00000
##  1st Qu.:0.1250   1st Qu.:0.1000   1st Qu.:0.1500   1st Qu.:0.00000
##  Median :0.4000   Median :0.3000   Median :0.3000   Median :0.00000
##  Mean   :0.3935   Mean   :0.3534   Mean   :0.3861   Mean   :0.03137
##  3rd Qu.:0.6000   3rd Qu.:0.5750   3rd Qu.:0.6000   3rd Qu.:0.02000
##  Max.   :0.9900   Max.   :1.0000   Max.   :1.0000   Max.   :0.60000
##
##     FLORE                GIB           REMARQUES         DISTANCE_LISIERE_2
##  Length:183         Min.   :0.0000   Length:183         Min.   :   2.25
##  Class :character   1st Qu.:0.0000   Class :character   1st Qu.:  16.50
##  Mode  :character   Median :0.0000   Mode  :character   Median : 166.41
##                     Mean   :0.1803                      Mean   : 339.33
##                     3rd Qu.:0.0000                      3rd Qu.: 650.25
##                     Max.   :2.0000                      Max.   :1332.25
##
##  BIN_10  BIN_50  BIN_P50
##  0: 74   0: 55   0:121
##  1:109   1:128   1: 62
##
##
##
##
##
```

```
########################################
# REPRESENTATION GENERALE DES DONNEES #
########################################

# Conversion du champ TROUEE en caractere texte
Data$TROUEE <- as.character(Data$TROUEE)

# Graphique representant la densite de regeneration de moins de 10 cm en fonction de la
distance a la lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$`DEN<10`,color=TROUEE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisiere (m)")+
  ylab("Densite de semis de moins de 10 cm (/ha)")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$`DEN<10`),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")+
  xlim(0,40)

## Warning: Removed 112 rows containing non-finite values (stat_smooth).

## Warning: Removed 112 rows containing non-finite values (stat_smooth).

## Warning: Removed 112 rows containing missing values (geom_point).

## Warning: Removed 112 rows containing missing values (geom_point).
```



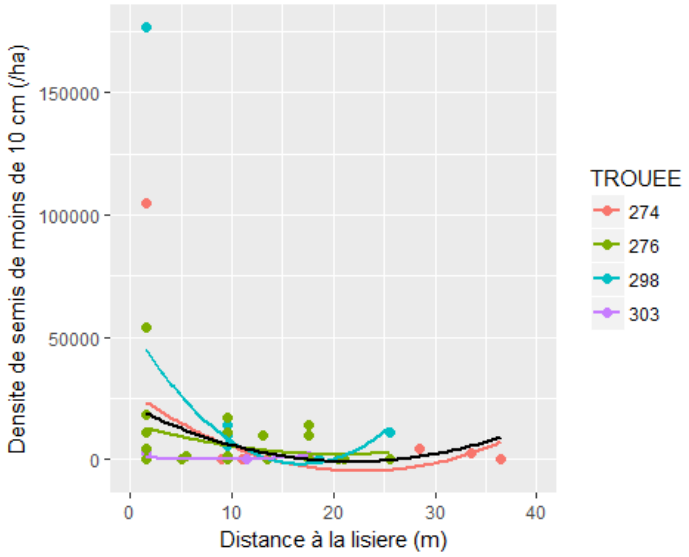

```
# Graphique representant la densite de regeneration de 10 a 50 cm en fonction de la
distance a la lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$`DEN<50`,color=TROUEE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisiere (m)")+
  ylab("Densite de semis de 10 à 50 cm (/ha)")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$`DEN<10`),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")+
  xlim(0,40)

## Warning: Removed 112 rows containing non-finite values (stat_smooth).

## Warning: Removed 112 rows containing non-finite values (stat_smooth).

## Warning: Removed 112 rows containing missing values (geom_point).

## Warning: Removed 112 rows containing missing values (geom_point).
```



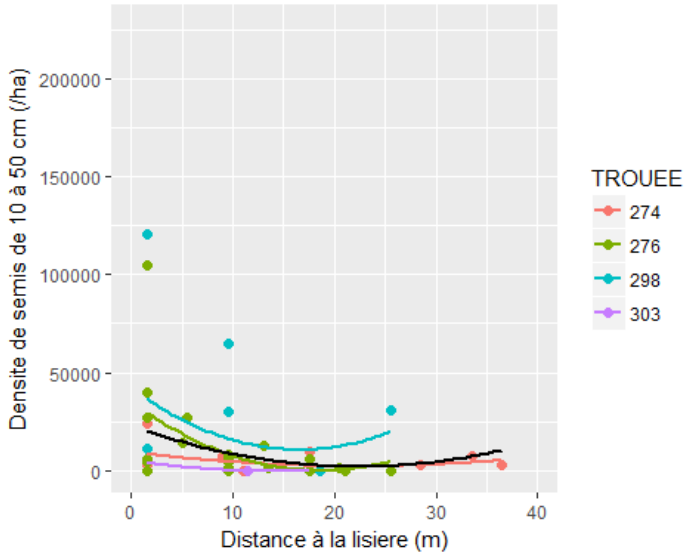



```
# Graphique representant la densite de regeneration de plus de 50 cm en fonction de la
distance a la lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$`DEN>50`,color=TROUEE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisiere (m)")+
  ylab("Densite de semis de plus de 50 cm (/ha)")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$`DEN<10`),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")+
  ylim(0,40000)+
  xlim(0,40)

## Warning: Removed 112 rows containing non-finite values (stat_smooth).

## Warning: Removed 112 rows containing non-finite values (stat_smooth).

## Warning: Removed 112 rows containing missing values (geom_point).

## Warning: Removed 40 rows containing missing values (geom_smooth).

## Warning: Removed 120 rows containing missing values (geom_point).
```

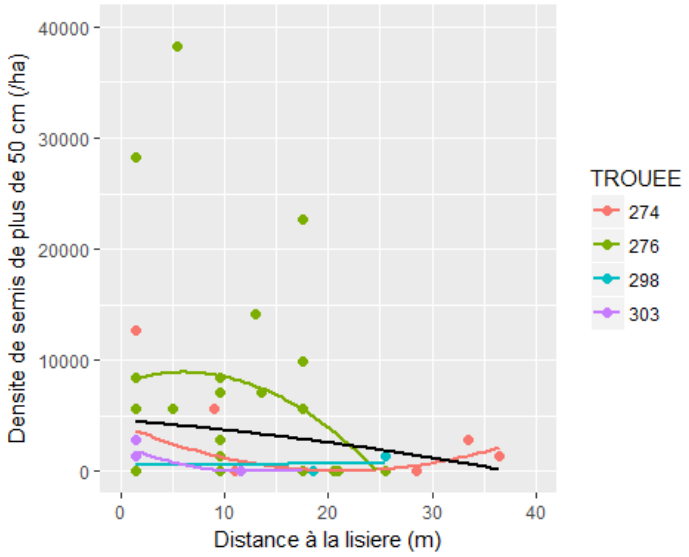
```
# Suppression de la trouee 273 qui a un comportement different des autres
Data <- Data[-which(Data$TROUEE=="273"),]

# Graphique representant la densite de regeneration de moins de 10 cm en fonction de la
distance a la lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$`DEN<10`,color=TROUEE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisiere (m)")+
  ylab("Densite de semis de moins de 10 cm (/ha)")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$`DEN<10`),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")+
  xlim(0,40)

## Warning: Removed 92 rows containing non-finite values (stat_smooth).

## Warning: Removed 92 rows containing non-finite values (stat_smooth).

## Warning: Removed 92 rows containing missing values (geom_point).

## Warning: Removed 92 rows containing missing values (geom_point).
```



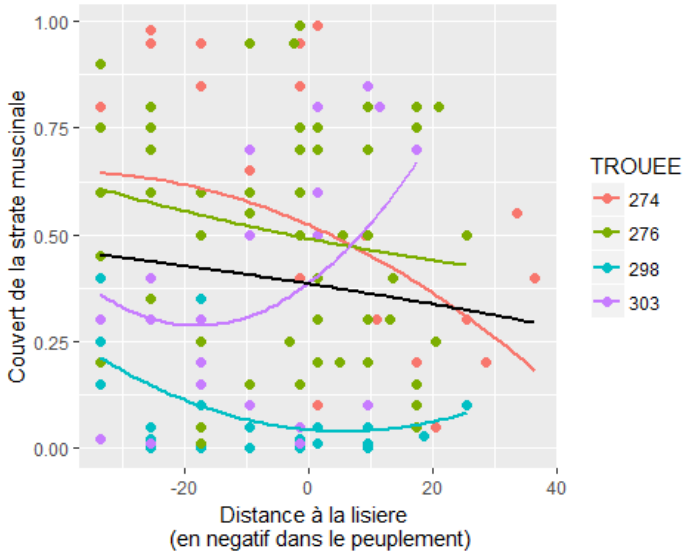

```
# Graphique representant la densite de regeneration de 10 a 50 cm en fonction de la
distance a la lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$`DEN<50`,color=TROUEE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisiere (m)")+
  ylab("Densite de semis de 10 à 50 cm (/ha)")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$`DEN<10`),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")+
  xlim(0,40)

## Warning: Removed 92 rows containing non-finite values (stat_smooth).

## Warning: Removed 92 rows containing non-finite values (stat_smooth).

## Warning: Removed 92 rows containing missing values (geom_point).

## Warning: Removed 92 rows containing missing values (geom_point).
```



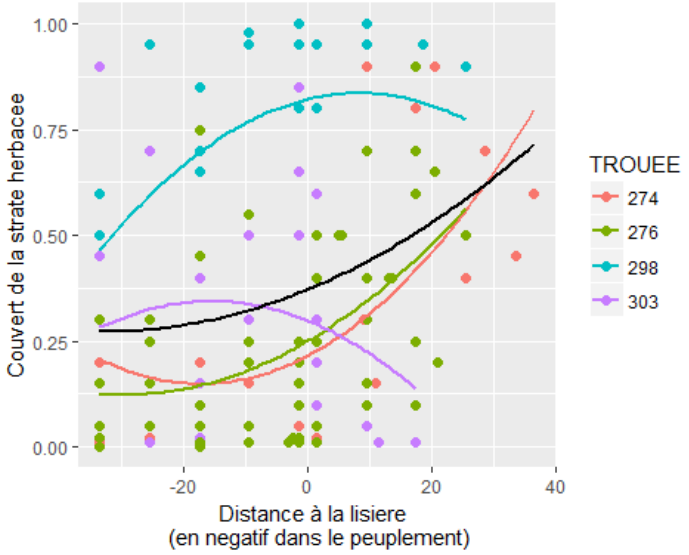

```
# Graphique representant la densite de regeneration de plus de 50 cm en fonction de la
distance a la lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$`DEN>50`,color=TROUEE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisiere (m)")+
  ylab("Densite de semis de plus de 50 cm (/ha)")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$`DEN<10`),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")+
  ylim(0,40000)+
  xlim(0,40)

## Warning: Removed 92 rows containing non-finite values (stat_smooth).

## Warning: Removed 92 rows containing non-finite values (stat_smooth).

## Warning: Removed 92 rows containing missing values (geom_point).

## Warning: Removed 40 rows containing missing values (geom_smooth).

## Warning: Removed 95 rows containing missing values (geom_point).
```



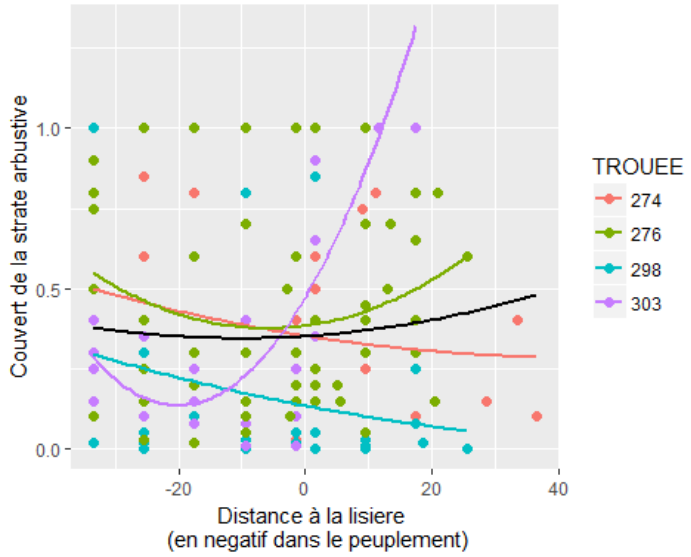

```
# Graphique representant le couvert de la strate muscinale en fonction de la distance a la lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$MOU,color=TROUEE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisiere \n (en negatif dans le peuplement)")+
  ylab("Couvert de la strate muscinale")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$MOU),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")
```




```
# Graphique representant le couvert de la strate herbacee en fonction de la distance a la lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$HER,color=TROUEE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisiere \n (en negatif dans le peuplement)")+
  ylab("Couvert de la strate herbacee")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$HER),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")
```



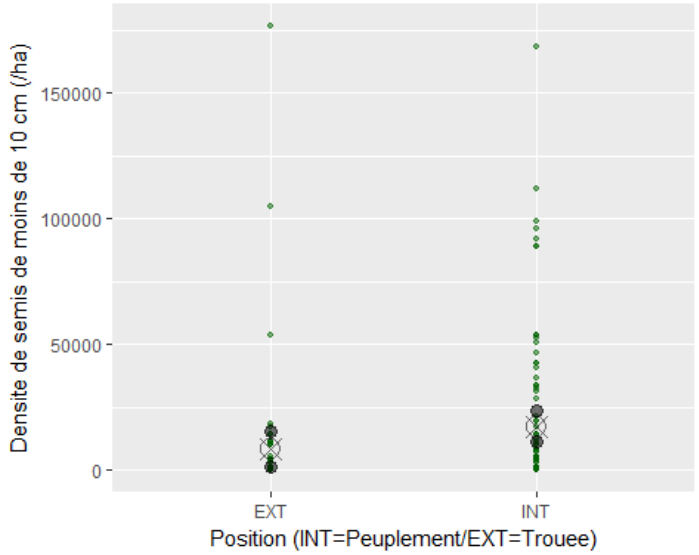

```
# Graphique representant le couvert de la strate arbustive en fonction de la distance a la lisiere
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$ARB,color=TROUEE))+
  geom_point(alpha=1,size=2)+
  xlab("Distance à la lisiere \n (en negatif dans le peuplement)")+
  ylab("Couvert de la strate arbustive")+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE))+
  geom_point(data=Data,mapping=aes(x=DISTANCE_LISIERE,y=Data$ARB),alpha=0)+
  geom_smooth(method=lm,se=FALSE,formula=y~poly(x,2,raw=TRUE),color="black")
```



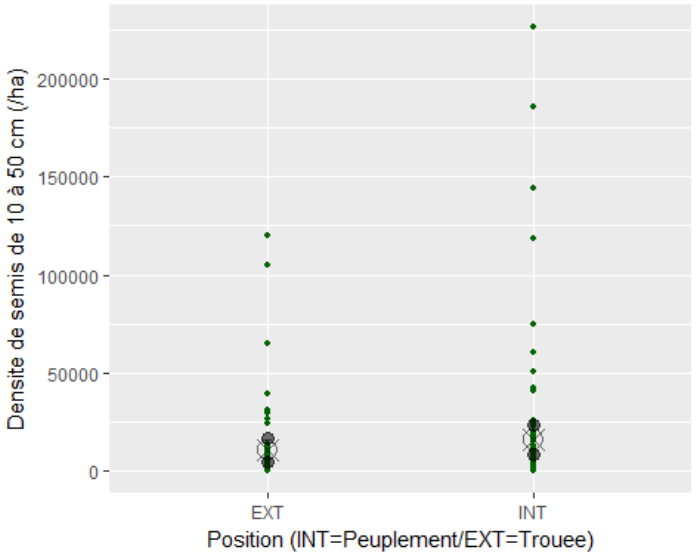

```
########################################################################
# ETUDE DE LA DIFFERENCE ENTRE LA TROUEE ET L'INTERIEUR DU PEUPLEMENT #
########################################################################

# Stockage des donnees de densite de la regeneration de moins de 10 cm a l'interieur du
peuplement
reg10_int <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="INT"),which(names(Data)=="DEN<10")])
# Stockage des donnees de densite de la regeneration de moins de 10 cm a l'exterieur du
peuplement
reg10_ext <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="EXT"),which(names(Data)=="DEN<10")])
# Stockage des donnees de densite de la regeneration de 10 a 50 cm a l'interieur du
peuplement
reg50_int <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="INT"),which(names(Data)=="DEN<50")])
# Stockage des donnees de densite de la regeneration de 10 a 50 cm a l'exterieur du
peuplement
reg50_ext <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="EXT"),which(names(Data)=="DEN<50")])
# Stockage des donnees de densite de la regeneration de plus de 50 cm a l'interieur du
peuplement
regp50_int <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="INT"),which(names(Data)=="DEN>50")])
# Stockage des donnees de densite de la regeneration de plus de 50 cm a l'exterieur du
peuplement
regp50_ext <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="EXT"),which(names(Data)=="DEN>50")])
# Stockage des donnees de couvert de la strate muscinale a l'interieur du peuplement
mou_int <- as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="INT"),which(names(Data)=="MOU")])
# Stockage des donnees de couvert de la strate muscinale a l'exterieur du peuplement
mou_ext <- as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="EXT"),which(names(Data)=="MOU")])
# Stockage des donnees de couvert de la strate herbacee a l'interieur du peuplement
her_int <- as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="INT"),which(names(Data)=="HER")])
# Stockage des donnees de couvert de la strate herbacee a l'exterieur du peuplement
her_ext <- as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="EXT"),which(names(Data)=="HER")])
# Stockage des donnees de couvert de la strate arbustive a l'interieur du peuplement
arb_int <- as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="INT"),which(names(Data)=="ARB")])
```

```
# Stockage des donnees de couvert de la strate arbustive a l'exterieur du peuplement
arb_ext <- as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="EXT"),which(names(Data)=="ARB")])

# Creation de la table des moyennes des differentes vairables a l'interieur du
peuplement et dans la trouee
mean_table <- data.frame('POSITION'=c("INT","EXT"),

'DEN<10'=c(mean(Data[which(Data$POSITION=="INT"),]$'DEN<10'),mean(Data[which(Data$POSITI
ON=="EXT"),]$'DEN<10')),

'DEN<50'=c(mean(Data[which(Data$POSITION=="INT"),]$'DEN<50'),mean(Data[which(Data$POSITI
ON=="EXT"),]$'DEN<50')),

'DEN<50'=c(mean(Data[which(Data$POSITION=="INT"),]$'DEN>50'),mean(Data[which(Data$POSITI
ON=="EXT"),]$'DEN>50')),

'MOU'=c(mean(Data[which(Data$POSITION=="INT"),]$'MOU'),mean(Data[which(Data$POSITION=="E
XT"),]$'MOU')),

'HER'=c(mean(Data[which(Data$POSITION=="INT"),]$'HER'),mean(Data[which(Data$POSITION=="E
XT"),]$'HER')),

'ARB'=c(mean(Data[which(Data$POSITION=="INT"),]$'ARB'),mean(Data[which(Data$POSITION=="E
XT"),]$'ARB')))

# Creation de la table des intervalles de confiance des differentes vairables a
l'interieur du peuplement et dans la trouee
interval_table <- data.frame('POSITION'=c("INT","EXT"),

'DEN<10'=c(intervalle(Data[which(Data$POSITION=="INT"),]$'DEN<10',0.95),intervalle(Data[
which(Data$POSITION=="EXT"),]$'DEN<10',0.95)),

'DEN<50'=c(intervalle(Data[which(Data$POSITION=="INT"),]$'DEN<50',0.95),intervalle(Data[
which(Data$POSITION=="EXT"),]$'DEN<50',0.95)),

'DEN<50'=c(intervalle(Data[which(Data$POSITION=="INT"),]$'DEN>50',0.95),intervalle(Data[
which(Data$POSITION=="EXT"),]$'DEN>50',0.95)),

'MOU'=c(intervalle(Data[which(Data$POSITION=="INT"),]$'MOU',0.95),intervalle(Data[which(
Data$POSITION=="EXT"),]$'MOU',0.95)),

'HER'=c(intervalle(Data[which(Data$POSITION=="INT"),]$'HER',0.95),intervalle(Data[which(
Data$POSITION=="EXT"),]$'HER',0.95)),

'ARB'=c(intervalle(Data[which(Data$POSITION=="INT"),]$'ARB',0.95),intervalle(Data[which(
Data$POSITION=="EXT"),]$'ARB',0.95)))

# Calcul des bornes superieures et inferieures des intervalles de confiance
sup_table <- mean_table[,-which(names(mean_table)=="POSITION")]+interval_table[,-
which(names(interval_table)=="POSITION")]
inf_table <- mean_table[,-which(names(mean_table)=="POSITION")]-interval_table[,-
which(names(interval_table)=="POSITION")]
sup_table$POSITION <- c("INT","EXT")
inf_table$POSITION <- c("INT","EXT")

# Conversion de la variable position en caractere (qualitatif)
mean_table$POSITION <- as.character(mean_table$POSITION)
sup_table$POSITION <- as.character(sup_table$POSITION)
inf_table$POSITION <- as.character(inf_table$POSITION)

# Graphique representant la densite de semis de moins de 10 cm en fonction de la
position du placeau
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=POSITION,y=Data$'DEN<10',show.legend=FALSE))+
  geom_point(alpha=.5,size=1,color='darkgreen')+
```

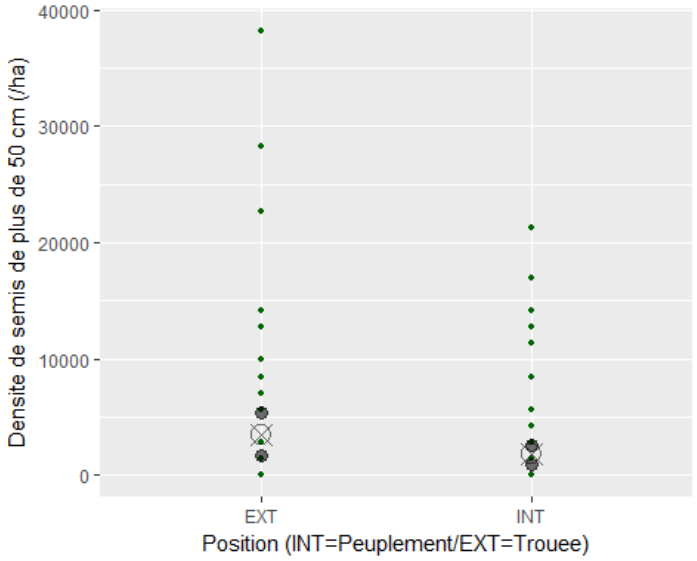
```
  geom_point(data=mean_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.10,alpha=1,shape=13,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=sup_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.10,alpha=1,shape=20,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=inf_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.10,alpha=1,shape=20,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  scale_shape_identity()+
  xlab("Position (INT=Peuplement/EXT=Trouee)")+
  ylab("Densite de semis de moins de 10 cm (/ha)")
```

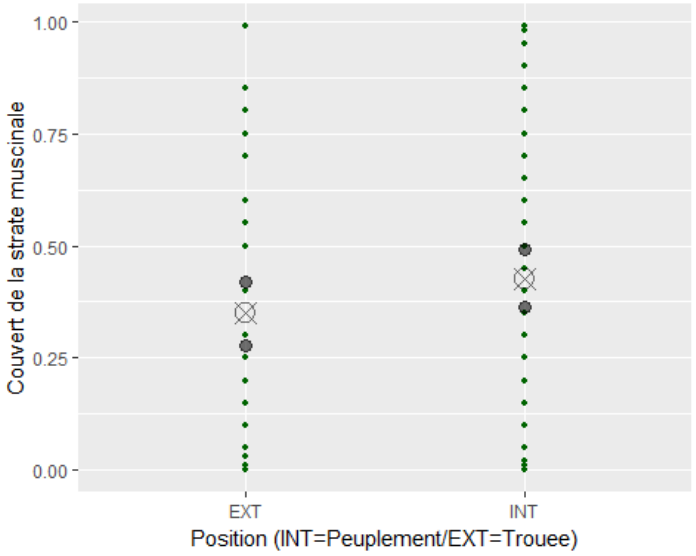



```
# Graphique representant la densite de semis de 10 a 50 cm en fonction de la position du placeau
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=POSITION,y=Data$'DEN<50'))+
  geom_point(alpha=1,size=1,color='darkgreen')+
  geom_point(data=mean_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.50,alpha=1,shape=13,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=sup_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.50,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=inf_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.50,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  scale_shape_identity()+
  xlab("Position (INT=Peuplement/EXT=Trouee)")+
  ylab("Densite de semis de 10 à 50 cm (/ha)")
```



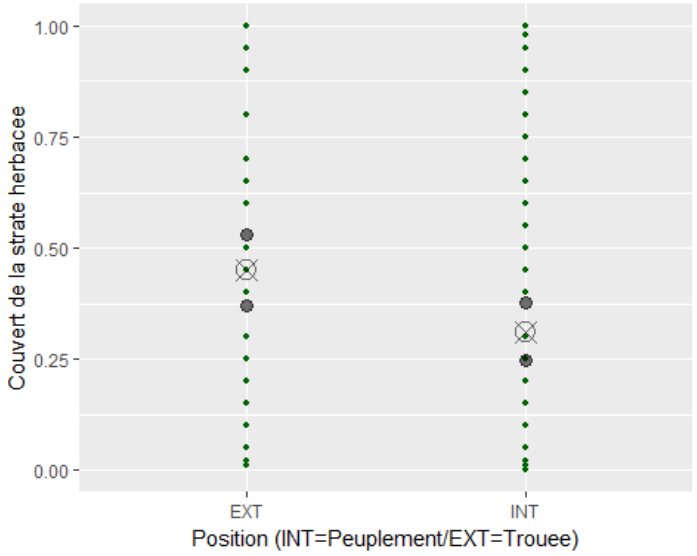

```
# Graphique representant la densite de semis de plus de 50 cm en fonction de la position du placeau
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=POSITION,y=Data$'DEN>50'))+
  geom_point(alpha=1,size=1,color='darkgreen')+
  geom_point(data=mean_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.50.1,alpha=1,shape=13,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=sup_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.50.1,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE
)+
  geom_point(data=inf_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.50.1,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE
)+
  scale_shape_identity()+
  xlab("Position (INT=Peuplement/EXT=Trouee)")+
  ylab("Densite de semis de plus de 50 cm (/ha)")
```

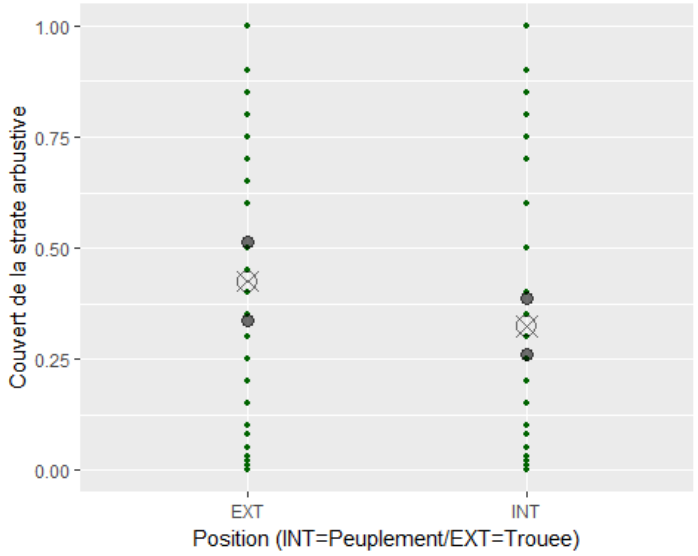





```
# Graphique representant le recouvrement de la strate muscinale en fonction de la
position du placeau
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=POSITION,y=Data$MOU))+
  geom_point(alpha=1,size=1,color='darkgreen')+
  geom_point(data=mean_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=MOU,alpha=1,shape=13,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=sup_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=MOU,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=inf_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=MOU,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  scale_shape_identity()+
  xlab("Position (INT=Peuplement/EXT=Trouee)")+
  ylab("Couvert de la strate muscinale")
```

```
# Graphique representant le recouvrement de la strate herbacee en fonction de la
position du placeau
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=POSITION,y=Data$HER))+
  geom_point(alpha=1,size=1,color='darkgreen')+
  geom_point(data=mean_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=HER,alpha=1,shape=13,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=sup_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=HER,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=inf_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=HER,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  scale_shape_identity()+
  xlab("Position (INT=Peuplement/EXT=Trouee)")+
  ylab("Couvert de la strate herbacee")
```





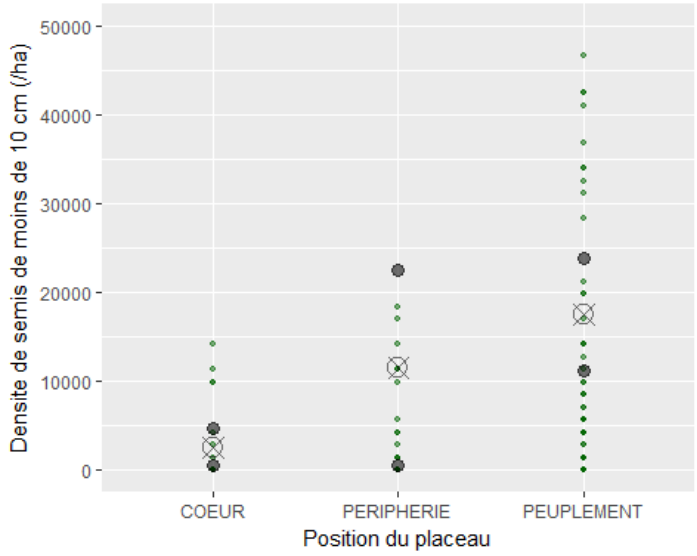

```
# Graphique representant le recouvrement de la strate arbustive en fonction de la
position du placeau
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=POSITION,y=Data$ARB))+
  geom_point(alpha=1,size=1,color='darkgreen')+
  geom_point(data=mean_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=ARB,alpha=1,shape=13,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=sup_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=ARB,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=inf_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=ARB,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  scale_shape_identity()+
  xlab("Position (INT=Peuplement/EXT=Trouee)")+
  ylab("Couvert de la strate arbustive")
```

```
# Creation de la table stockant les resultats des tests de comparaison des moyennes
entre l'interieur et l'exterieur du peuplement
student_test_table <- data.frame('VALEUR'=c("p-value","TROUEE","PEUPLEMENT"),

'REG10'=c(t.test(reg10_ext,reg10_int)$p.value,format(t.test(reg10_ext,reg10_int)$estimat
e[1],digits=0,scientific=FALSE),format(t.test(reg10_ext,reg10_int)$estimate[2],digits=0,
scientific=FALSE)),

'REG50'=c(t.test(reg50_ext,reg50_int)$p.value,format(t.test(reg50_ext,reg50_int)$estimat
e[1],digits=0,scientific=FALSE),format(t.test(reg50_ext,reg50_int)$estimate[2],digits=0,
scientific=FALSE)),

'REGP50'=c(t.test(regp50_ext,regp50_int)$p.value,format(t.test(regp50_ext,regp50_int)$es
timate[1],digits=0,scientific=FALSE),format(t.test(regp50_ext,regp50_int)$estimate[2],di
gits=0,scientific=FALSE)),

'MOU'=c(t.test(mou_ext,mou_int)$p.value,format(t.test(mou_ext,mou_int)$estimate[1],digit
s=2,scientific=FALSE),format(t.test(mou_ext,mou_int)$estimate[2],digits=2,scientific=FAL
SE)),

'HER'=c(t.test(her_ext,her_int)$p.value,format(t.test(her_ext,her_int)$estimate[1],digit
s=2,scientific=FALSE),format(t.test(her_ext,her_int)$estimate[2],digits=2,scientific=FAL
SE)),

'ARB'=c(t.test(arb_ext,arb_int)$p.value,format(t.test(arb_ext,arb_int)$estimate[1],digit
s=2,scientific=FALSE),format(t.test(arb_ext,arb_int)$estimate[2],digits=2,scientific=FAL
SE)))
# Affichage de la table
student_test_table
```

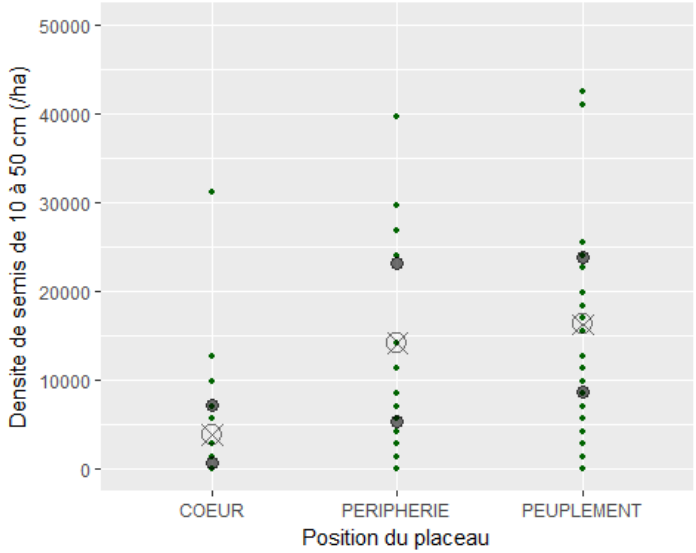
```
##               VALEUR            REG10             REG50             REGP50
##              p-value 0.05757107250574 0.233600251329411 0.0916732056980213
## mean of x     TROUEE             8344             10550               3501
## mean of y PEUPLEMENT            17453             16285               1768
##                           MOU                 HER                 ARB
##           0.109356307318941 0.00743929135114863 0.0666541737015214
## mean of x              0.35                0.45                0.43
## mean of y              0.43                0.31                0.32
```

```r
# Suppression des donnees extremes se detachant du reste du groupe de donnees
reg10_int <- as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="INT" &
Data$'DEN<10'<150000),which(names(Data)=="DEN<10")])
reg10_ext <- as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="EXT" &
Data$'DEN<10'<150000),which(names(Data)=="DEN<10")])
reg50_int <- as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="INT" &
Data$'DEN<50'<150000),which(names(Data)=="DEN<50")])
reg50_ext <- as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="EXT" &
Data$'DEN<50'<150000),which(names(Data)=="DEN<50")])
regp50_int <- as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="INT" &
Data$'DEN>50'<25000),which(names(Data)=="DEN>50")])
regp50_ext <- as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="EXT" &
Data$'DEN>50'<25000),which(names(Data)=="DEN>50")])

# Actualisation des resultats des tests apres suppression des donnees
student_test_table <- data.frame('VALEUR'=c("p-value","mean_EXT","mean_INT"),

'REG10'=c(t.test(reg10_ext,reg10_int)$p.value,format(t.test(reg10_ext,reg10_int)$estimat
e[1],digits=0,scientific=FALSE),format(t.test(reg10_ext,reg10_int)$estimate[2],digits=0,
scientific=FALSE)),

'REG50'=c(t.test(reg50_ext,reg50_int)$p.value,format(t.test(reg50_ext,reg50_int)$estimat
e[1],digits=0,scientific=FALSE),format(t.test(reg50_ext,reg50_int)$estimate[2],digits=0,
scientific=FALSE)),

'REGP50'=c(t.test(regp50_ext,regp50_int)$p.value,format(t.test(regp50_ext,regp50_int)$es
timate[1],digits=0,scientific=FALSE),format(t.test(regp50_ext,regp50_int)$estimate[2],di
gits=0,scientific=FALSE)),

'MOU'=c(t.test(mou_ext,mou_int)$p.value,format(t.test(mou_ext,mou_int)$estimate[1],digit
s=2,scientific=FALSE),format(t.test(mou_ext,mou_int)$estimate[2],digits=2,scientific=FAL
SE)),

'HER'=c(t.test(her_ext,her_int)$p.value,format(t.test(her_ext,her_int)$estimate[1],digit
s=2,scientific=FALSE),format(t.test(her_ext,her_int)$estimate[2],digits=2,scientific=FAL
SE)),

'ARB'=c(t.test(arb_ext,arb_int)$p.value,format(t.test(arb_ext,arb_int)$estimate[1],digit
s=2,scientific=FALSE),format(t.test(arb_ext,arb_int)$estimate[2],digits=2,scientific=FAL
SE)))
# Affichage de la table actualisee
student_test_table

##             VALEUR               REG10              REG50           REGP50
##            p-value 0.00295183939246501 0.688662295719041 0.33361546763816
## mean of x mean_EXT                5439              10550             2457
## mean of y mean_INT               15795              12072             1768
##                          MOU                 HER               ARB
##           0.109356307318941 0.00743929135114863 0.0666541737015214
## mean of x              0.35                0.45              0.43
## mean of y              0.43                0.31              0.32

######################################################################
# ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA DISTANCE A LA LISIERE DANS LA TROUEE #
######################################################################

# Definition d'un parametre de proximite a la lisiere (lie au "rang" des placeaux)
proxi <- 2

# Creation de la table stockant les moyennes de densite pour les differentes situations
: dans le peuplement, en peripherie de la trouee, au coeur de la trouee
mean_table <- data.frame('POSITION'=c("PEUPLEMENT","PERIPHERIE","COEUR"),

'DEN<10'=c(mean(Data[which(Data$RANG==0),]$'DEN<10'),mean(Data[which(Data$RANG<=proxi &
Data$RANG>0),]$'DEN<10'),mean(Data[which(Data$RANG>proxi),]$'DEN<10')),

'DEN<50'=c(mean(Data[which(Data$RANG==0),]$'DEN<50'),mean(Data[which(Data$RANG<=proxi &
Data$RANG>0),]$'DEN<50'),mean(Data[which(Data$RANG>proxi),]$'DEN<50')),

'DEN<50'=c(mean(Data[which(Data$RANG==0),]$'DEN>50'),mean(Data[which(Data$RANG<=proxi &
Data$RANG>0),]$'DEN>50'),mean(Data[which(Data$RANG>proxi),]$'DEN>50')),

'MOU'=c(mean(Data[which(Data$RANG==0),]$'MOU'),mean(Data[which(Data$RANG<=proxi &
Data$RANG>0),]$'MOU'),mean(Data[which(Data$RANG>proxi),]$'MOU')),

'HER'=c(mean(Data[which(Data$RANG==0),]$'HER'),mean(Data[which(Data$RANG<=proxi &
Data$RANG>0),]$'HER'),mean(Data[which(Data$RANG>proxi),]$'HER')),

'ARB'=c(mean(Data[which(Data$RANG==0),]$'ARB'),mean(Data[which(Data$RANG<=proxi &
Data$RANG>0),]$'ARB'),mean(Data[which(Data$RANG>proxi),]$'ARB')))

# Creation de la table stockant les largeurs des intervalles de confiance pour les
differentes situations
interval_table <- data.frame('POSITION'=c("PEUPLEMENT","PERIPHERIE","COEUR"),

'DEN<10'=c(intervalle(Data[which(Data$RANG==0),]$'DEN<10',0.95),intervalle(Data[which(Da
ta$RANG<=proxi &
Data$RANG>0),]$'DEN<10',0.95),intervalle(Data[which(Data$RANG>proxi),]$'DEN<10',0.95)),

'DEN<50'=c(intervalle(Data[which(Data$RANG==0),]$'DEN<50',0.95),intervalle(Data[which(Da
ta$RANG<=proxi &
Data$RANG>0),]$'DEN<50',0.95),intervalle(Data[which(Data$RANG>proxi),]$'DEN<50',0.95)),

'DEN<50'=c(intervalle(Data[which(Data$RANG==0),]$'DEN>50',0.95),intervalle(Data[which(Da
ta$RANG<=proxi &
Data$RANG>0),]$'DEN>50',0.95),intervalle(Data[which(Data$RANG>proxi),]$'DEN>50',0.95)),

'MOU'=c(intervalle(Data[which(Data$RANG==0),]$'MOU',0.95),intervalle(Data[which(Data$RAN
G<=proxi &
Data$RANG>0),]$'MOU',0.95),intervalle(Data[which(Data$RANG>proxi),]$'MOU',0.95)),

'HER'=c(intervalle(Data[which(Data$RANG==0),]$'HER',0.95),intervalle(Data[which(Data$RAN
G<=proxi &
Data$RANG>0),]$'HER',0.95),intervalle(Data[which(Data$RANG>proxi),]$'HER',0.95)),

'ARB'=c(intervalle(Data[which(Data$RANG==0),]$'ARB',0.95),intervalle(Data[which(Data$RAN
G<=proxi &
Data$RANG>0),]$'ARB',0.95),intervalle(Data[which(Data$RANG>proxi),]$'ARB',0.95)))

# Creation de la table stockant les bornes superieures des intervalles de confiance pour
les differentes situations
sup_table <- mean_table[,-which(names(mean_table)=="POSITION")]+interval_table[,-
which(names(interval_table)=="POSITION")]
sup_table$POSITION <- c("PEUPLEMENT","PERIPHERIE","COEUR")

# Creation de la table stockant les bornes inferieures des intervalles de confiance pour
les differentes situations
inf_table <- mean_table[,-which(names(mean_table)=="POSITION")]-interval_table[,-
which(names(interval_table)=="POSITION")]
inf_table$POSITION <- c("PEUPLEMENT","PERIPHERIE","COEUR")

# Transformation du champ position en champ texte
mean_table$POSITION <- as.character(mean_table$POSITION)
sup_table$POSITION <- as.character(sup_table$POSITION)
inf_table$POSITION <- as.character(inf_table$POSITION)

# Boucle associant a chaque placeau sa position selon le parametre de proximite defini
prealablement
for (i in 1:length(Data$RANG)){
  if(Data$RANG[i]<=proxi & Data$RANG[i]>0){
```

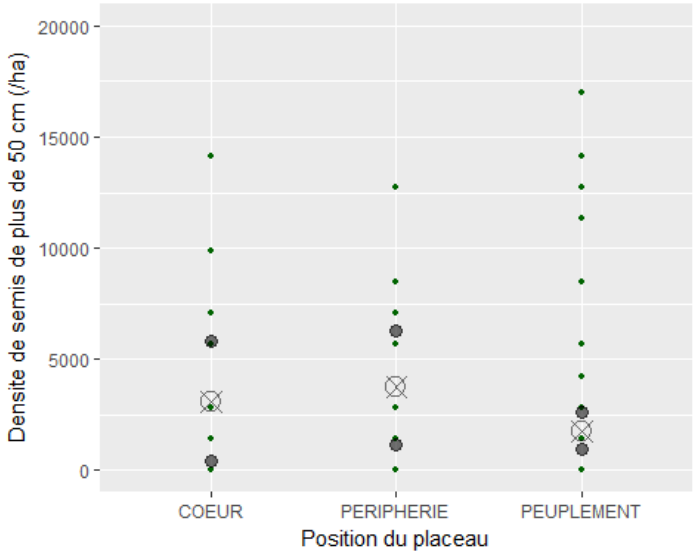
```
    Data$POSITION[i] <- "PERIPHERIE"
    } else if(Data$RANG[i]>proxi){
      Data$POSITION[i] <- "COEUR"
    } else{
      Data$POSITION[i] <- "PEUPLEMENT"
    }
  }

# Graphique representant la densite de regeneration de moins de 10 cm en fonction de la
position
# En vert sont representees les donnees brutes, le rond barre correspond a la moyenne,
les deux puces grises marquent les bornes des intervalles de confiance a 95 %
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=POSITION,y=Data$'DEN<10',show.legend=FALSE))+
  geom_point(alpha=.5,size=1,color='darkgreen')+
  geom_point(data=mean_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.10,alpha=1,shape=13,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=sup_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.10,alpha=1,shape=20,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=inf_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.10,alpha=1,shape=20,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  scale_shape_identity()+
  xlab("Position du placeau")+
  ylab("Densite de semis de moins de 10 cm (/ha)")+
  ylim(0,50000)

## Warning: Removed 14 rows containing missing values (geom_point).
```

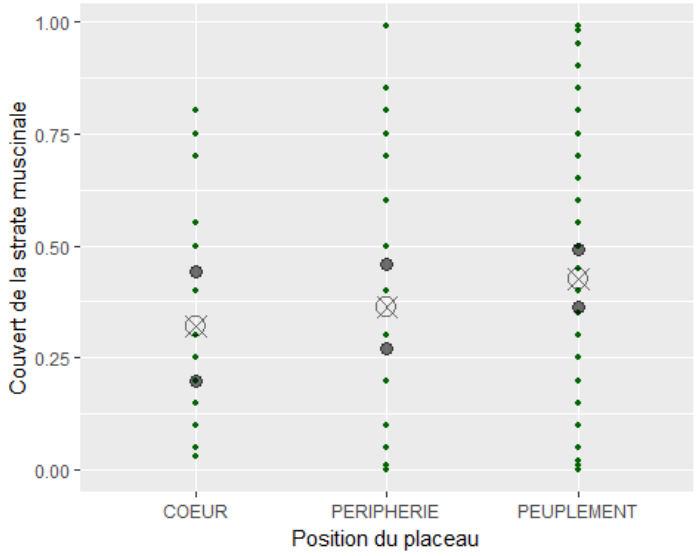



```
# Graphique representant la densite de regeneration de 10 a 50 cm en fonction de la
position
# En vert sont representees les donnees brutes, le rond barre correspond a la moyenne,
les deux puces grises marquent les bornes des intervalles de confiance a 95 %
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=POSITION,y=Data$'DEN<50'))+
  geom_point(alpha=1,size=1,color='darkgreen')+
  geom_point(data=mean_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.50,alpha=1,shape=13,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=sup_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.50,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=inf_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.50,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  scale_shape_identity()+
  xlab("Position du placeau")+
  ylab("Densite de semis de 10 à 50 cm (/ha)")+
  ylim(0,50000)

## Warning: Removed 10 rows containing missing values (geom_point).
```



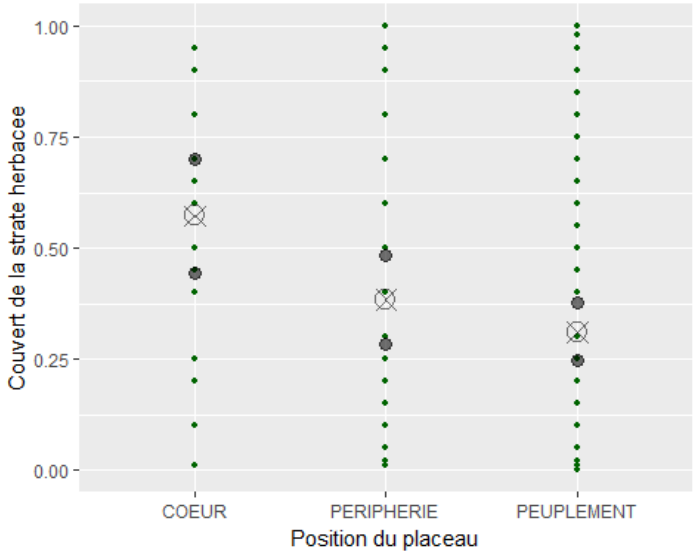

```
# Graphique representant la densite de regeneration de plus de 50 cm en fonction de la
position
# En vert sont representees les donnees brutes, le rond barre correspond a la moyenne,
les deux puces grises marquent les bornes des intervalles de confiance a 95 %
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=POSITION,y=Data$'DEN>50'))+
  geom_point(alpha=1,size=1,color='darkgreen')+
  geom_point(data=mean_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.50.1,alpha=1,shape=13,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=sup_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.50.1,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE
)+
  geom_point(data=inf_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=DEN.50.1,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE
)+
  scale_shape_identity()+
  xlab("Position du placeau")+
  ylab("Densite de semis de plus de 50 cm (/ha)")+
  ylim(0,20000)

## Warning: Removed 4 rows containing missing values (geom_point).
```

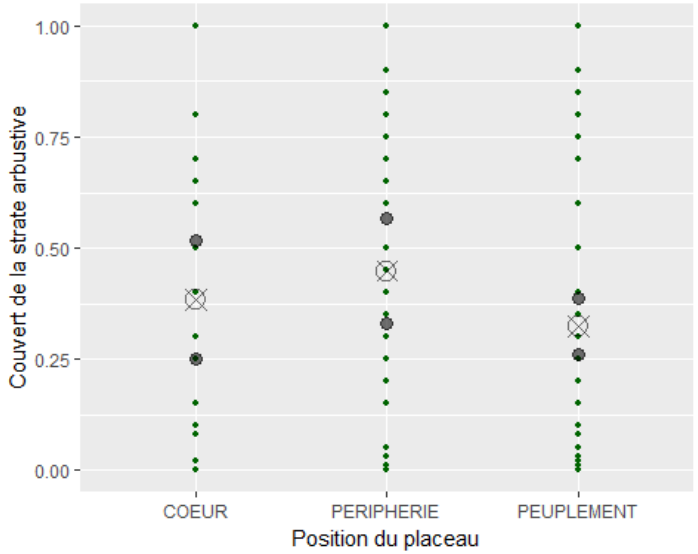





```
# Graphique representant le couvert de la strate muscinale en fonction de la position
# En vert sont representees les donnees brutes, le rond barre correspond a la moyenne,
les deux puces grises marquent les bornes des intervalles de confiance a 95 %
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=POSITION,y=Data$MOU))+
  geom_point(alpha=1,size=1,color='darkgreen')+
  geom_point(data=mean_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=MOU,alpha=1,shape=13,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=sup_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=MOU,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=inf_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=MOU,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  scale_shape_identity()+
  xlab("Position du placeau")+
  ylab("Couvert de la strate muscinale")
```

```
# Graphique representant le couvert de la strate herbacee en fonction de la position
# En vert sont representees les donnees brutes, le rond barre correspond a la moyenne,
les deux puces grises marquent les bornes des intervalles de confiance a 95 %
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=POSITION,y=Data$HER))+
  geom_point(alpha=1,size=1,color='darkgreen')+
  geom_point(data=mean_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=HER,alpha=1,shape=13,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=sup_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=HER,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=inf_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=HER,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  scale_shape_identity()+
  xlab("Position du placeau")+
  ylab("Couvert de la strate herbacee")
```






```
# Graphique representant le couvert de la strate arbustive en fonction de la position
# En vert sont representees les donnees brutes, le rond barre correspond a la moyenne,
les deux puces grises marquent les bornes des intervalles de confiance a 95 %
ggplot(data=Data,
       mapping=aes(x=POSITION,y=Data$ARB))+
  geom_point(alpha=1,size=1,color='darkgreen')+
  geom_point(data=mean_table,
             mapping=aes(x=POSITION,y=ARB,alpha=1,shape=13,lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=sup_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=ARB,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  geom_point(data=inf_table,

mapping=aes(x=POSITION,y=ARB,alpha=1,shape=20,fill="black",lwd=2),show.legend=FALSE)+
  scale_shape_identity()+
  xlab("Position du placeau")+
  ylab("Couvert de la strate arbustive")
```

```
# Stockage des donnees de densite de la regeneration de moins de 10 cm en peripherie de
la trouee
reg10_limite <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="PERIPHERIE"),which(names(Data)=="DEN<10")])
# Stockage des donnees de densite de la regeneration de moins de 10 cm au coeur de la
trouee
reg10_coeur <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="COEUR"),which(names(Data)=="DEN<10")])
# Stockage des donnees de densite de la regeneration de 10 a 50 cm en peripherie de la
trouee
reg50_limite <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="PERIPHERIE"),which(names(Data)=="DEN<50")])
# Stockage des donnees de densite de la regeneration de 10 a 50 cm au coeur de la trouee
reg50_coeur <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="COEUR"),which(names(Data)=="DEN<50")])
# Stockage des donnees de densite de la regeneration de plus de 50 cm en peripherie de
la trouee
regp50_limite <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="PERIPHERIE"),which(names(Data)=="DEN>50")])
# Stockage des donnees de densite de la regeneration de plus de 50 cm au coeur de la
trouee
regp50_coeur <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="COEUR"),which(names(Data)=="DEN>50")])
# Stockage des donnees de couvert de la strate muscinale en peripherie de la trouee
mou_limite <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="PERIPHERIE"),which(names(Data)=="MOU")])
# Stockage des donnees de couvert de la strate muscinale au coeur de la trouee
mou_coeur <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="COEUR"),which(names(Data)=="MOU")])
# Stockage des donnees de couvert de la strate herbacee en peripherie de la trouee
her_limite <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="PERIPHERIE"),which(names(Data)=="HER")])
# Stockage des donnees de couvert de la strate herbacee au coeur de la trouee
her_coeur <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="COEUR"),which(names(Data)=="HER")])
# Stockage des donnees de couvert de la strate arbustive en peripherie de la trouee
arb_limite <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="PERIPHERIE"),which(names(Data)=="ARB")])
```

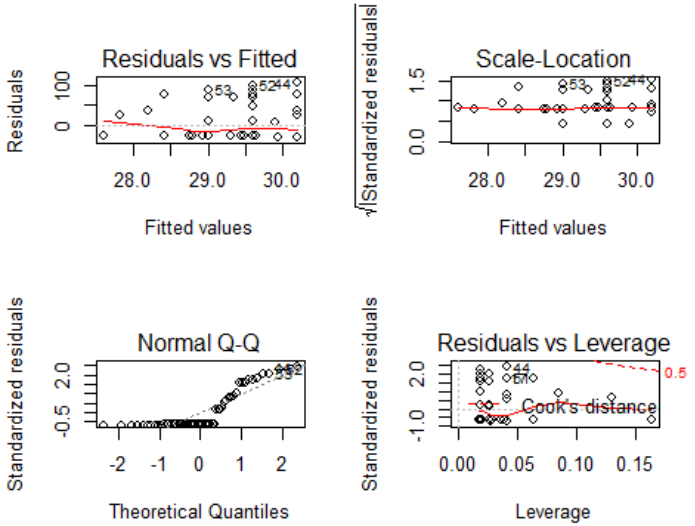
```r
# Stockage des donnees de couvert de la strate arbustive au coeur de la trouee
arb_coeur <-
as.data.frame(Data[which(Data$POSITION=="COEUR"),which(names(Data)=="ARB")])

# Creation de la table stockant les resultats des tests de comparaison des moyennes
entre la peripherie et le coeur de la trouee
student_test_table <- data.frame('VALEUR'=c("p-value","mean_PERIPHERIE","mean_COEUR"),

'REG10'=c(t.test(reg10_limite,reg10_coeur)$p.value,format(t.test(reg10_limite,reg10_coeu
r)$estimate[1],digits=0,scientific=FALSE),format(t.test(reg10_limite,reg10_coeur)$estima
te[2],digits=0,scientific=FALSE)),

'REG50'=c(t.test(reg50_limite,reg50_coeur)$p.value,format(t.test(reg50_limite,reg50_coeu
r)$estimate[1],digits=0,scientific=FALSE),format(t.test(reg50_limite,reg50_coeur)$estima
te[2],digits=0,scientific=FALSE)),

'REGP50'=c(t.test(regp50_limite,regp50_coeur)$p.value,format(t.test(regp50_limite,regp50
_coeur)$estimate[1],digits=0,scientific=FALSE),format(t.test(regp50_limite,regp50_coeur)
$estimate[2],digits=0,scientific=FALSE)),

'MOU'=c(t.test(mou_limite,mou_coeur)$p.value,format(t.test(mou_limite,mou_coeur)$estimat
e[1],digits=2,scientific=FALSE),format(t.test(mou_limite,mou_coeur)$estimate[2],digits=2
,scientific=FALSE)),

'HER'=c(t.test(her_limite,her_coeur)$p.value,format(t.test(her_limite,her_coeur)$estimat
e[1],digits=2,scientific=FALSE),format(t.test(her_limite,her_coeur)$estimate[2],digits=2
,scientific=FALSE)),

'ARB'=c(t.test(arb_limite,arb_coeur)$p.value,format(t.test(arb_limite,arb_coeur)$estimat
e[1],digits=2,scientific=FALSE),format(t.test(arb_limite,arb_coeur)$estimate[2],digits=2
,scientific=FALSE)))
# Affichage de la table
student_test_table
```

```
##                   VALEUR            REG10              REG50
##                  p-value 0.11117102975062 0.0321527666786153
## mean of x mean_PERIPHERIE            11541              14222
## mean of y      mean_COEUR             2560               3907
##                     REGP50              MOU               HER
##           0.731202343329011 0.553647769245642 0.0209310808246914
## mean of x              3723             0.36              0.38
## mean of y              3099             0.32              0.57
##                         ARB
##           0.457566012821974
## mean of x              0.45
## mean of y              0.38
```

```r
##############################################################################################
#
# MODELISATION DE L'EFFET DE LA DISTANCE A L'INTERIEUR DE LA TROUEE SUR LA REGENERATION
#
##############################################################################################
#

# Suppression des donnees a l'interieur du peuplement
Data <- Data[-which(Data$POSITION=="PEUPLEMENT"),]

# Regression lineaire simple sur la racine de la densite de regeneration de moins de 10
cm
modRLS_REG10 <- lm(sqrt(Data[-c(22,10,54),]$'DEN<10')~Data[-
c(22,10,54),]$DISTANCE_LISIERE)

summary(modRLS_REG10)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data[-c(22, 10, 54), ]$"DEN<10") ~ Data[-c(22,
##     10, 54), ]$DISTANCE_LISIERE)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -30.18 -29.60 -29.01  27.75 105.43
##
## Coefficients:
##                                       Estimate Std. Error t value
## (Intercept)                           30.29305    9.93318   3.050
## Data[-c(22, 10, 54), ]$DISTANCE_LISIERE -0.07334    0.68646  -0.107
##                                       Pr(>|t|)
## (Intercept)                            0.00355 **
## Data[-c(22, 10, 54), ]$DISTANCE_LISIERE  0.91532
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 44.82 on 54 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.0002113,  Adjusted R-squared:  -0.0183
## F-statistic: 0.01141 on 1 and 54 DF,  p-value: 0.9153
```

```r
par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLS_REG10)
```

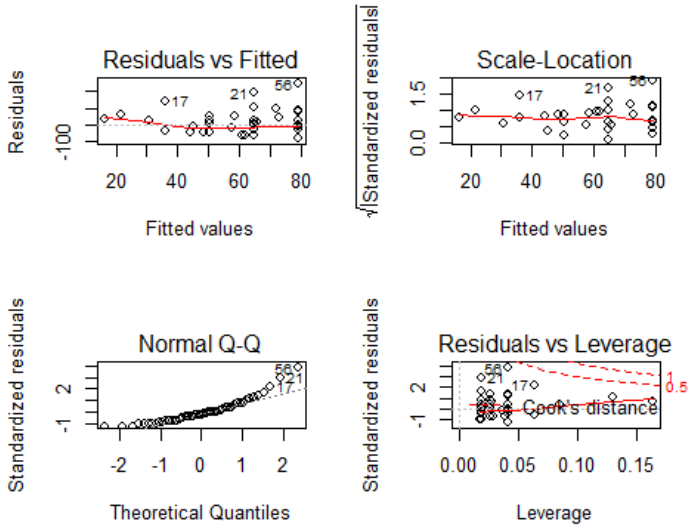



```r
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite et normalite mauvaises

# Regression lineaire simple sur la racine de la densite de regeneration de 10 a 50 cm
modRLS_REG50 <- lm(sqrt(Data[-c(22,10,54),]$'DEN<50')~Data[-
c(22,10,54),]$DISTANCE_LISIERE)

summary(modRLS_REG50)
```

```
##
## Call:
```

```
## lm(formula = sqrt(Data[-c(22, 10, 54), ]$"DEN<50") ~ Data[-c(22,
##     10, 54), ]$DISTANCE_LISIERE)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -78.92 -50.34 -13.77  25.53 244.64
##
## Coefficients:
##                                       Estimate Std. Error t value
## (Intercept)                             81.599     14.670   5.562
## Data[-c(22, 10, 54), ]$DISTANCE_LISIERE   -1.786      1.014  -1.762
##                                       Pr(>|t|)
## (Intercept)                           8.49e-07 ***
## Data[-c(22, 10, 54), ]$DISTANCE_LISIERE   0.0838 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 66.18 on 54 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.05436,    Adjusted R-squared:  0.03685
## F-statistic: 3.104 on 1 and 54 DF,  p-value: 0.08376
```

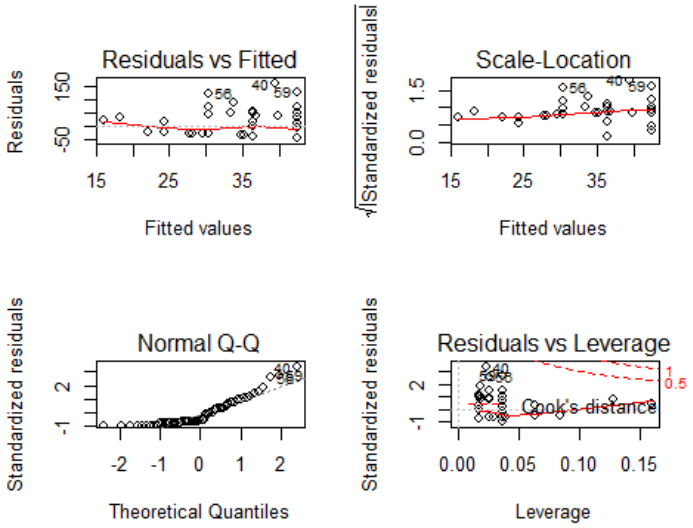
```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLS_REG50)
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasicite mauvaise

# Regression lineaire simple sur la racine de la densite de regeneration de plus de 50
cm
modRLS_REGP50 <- lm(sqrt(Data$'DEN>50')~Data$DISTANCE_LISIERE)

summary(modRLS_REGP50)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data$"DEN>50") ~ Data$DISTANCE_LISIERE)
##
```

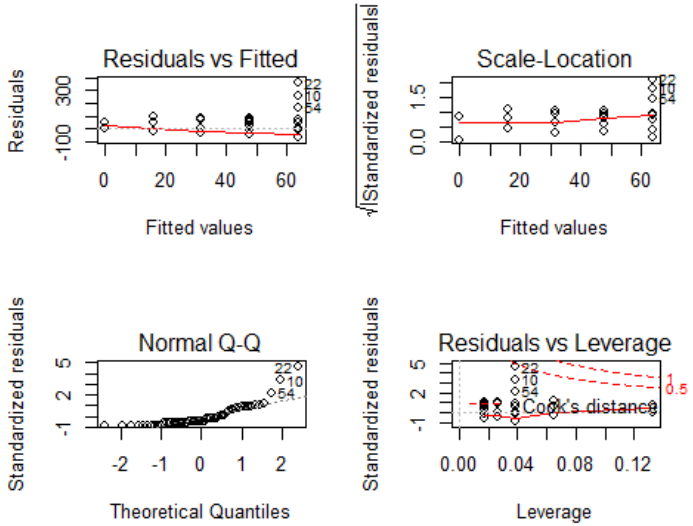
```
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -42.49 -36.44 -24.33  27.18 155.98
##
## Coefficients:
##                         Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)              43.6253    10.0047   4.360  5.5e-05 ***
## Data$DISTANCE_LISIERE  -0.7568     0.7095  -1.067    0.291
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 47.85 on 57 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.01957,    Adjusted R-squared:  0.002372
## F-statistic: 1.138 on 1 and 57 DF,  p-value: 0.2906
```

```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLS_REGP50)
```



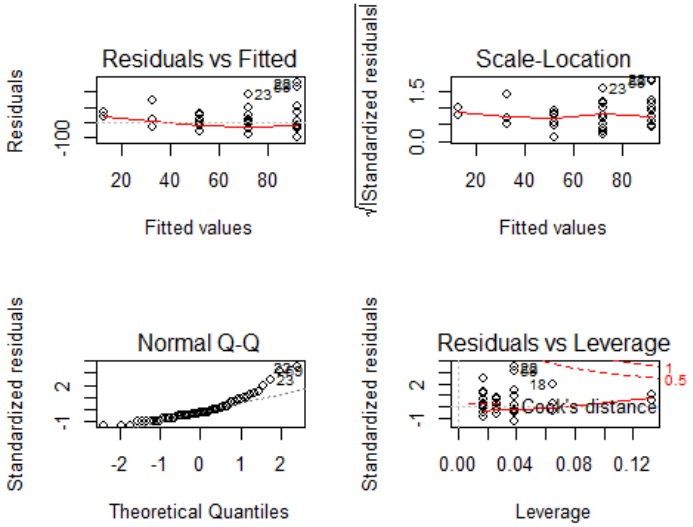

```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite mauvaise

# ANOVA sur la racine de la densite de regeneration de moins de 10 cm
modANO_REG10 <- lm(sqrt(Data$'DEN<10')~Data$RANG)

summary(modANO_REG10)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data$"DEN<10") ~ Data$RANG)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -63.68 -47.73 -31.79  35.10 356.85
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)   79.619     23.630   3.369  0.00136 **
```

```
## Data$RANG    -15.943      9.647  -1.653  0.10390
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 79.29 on 57 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.04573,    Adjusted R-squared:  0.02898
## F-statistic: 2.731 on 1 and 57 DF,  p-value: 0.1039

par(mfcol=c(2,2))
plot(modANO_REG10)
```

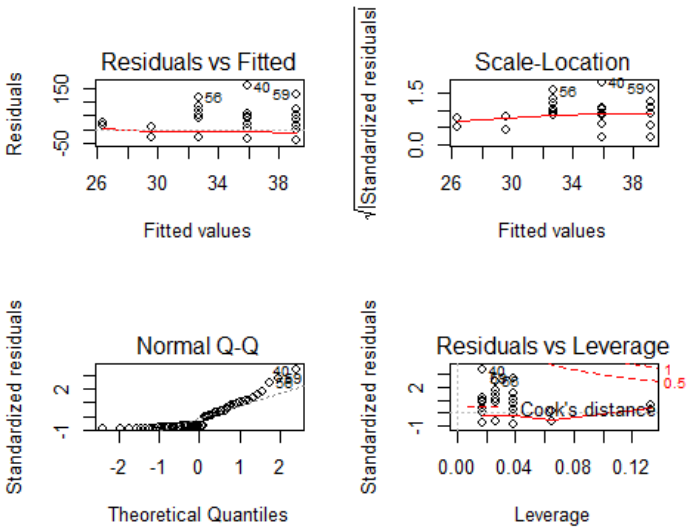



```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite mauvaise

# ANOVA sur la racine de la densite de regeneration de 10 a 50 cm
modANO_REG50 <- lm(sqrt(Data$'DEN<50')~Data$RANG)

summary(modANO_REG50)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data$"DEN<50") ~ Data$RANG)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -92.11 -52.43 -16.88  21.70 254.66
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  111.944     22.371   5.004 5.72e-06 ***
## Data$RANG    -19.838      9.133  -2.172    0.034 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 75.07 on 57 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.07645,    Adjusted R-squared:  0.06025
## F-statistic: 4.718 on 1 and 57 DF,  p-value: 0.03402
```

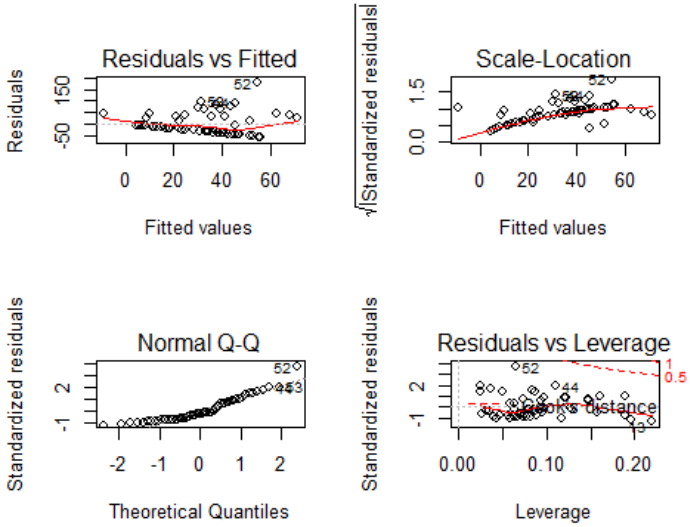
```
par(mfcol=c(2,2))
plot(modANO_REG50)
```




```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite et normalite mauvaises

# ANOVA sur la racine de la densite de regeneration de plus de 50 cm
modANO_REGP50 <- lm(sqrt(Data$'DEN>50')~Data$RANG)

summary(modANO_REGP50)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data$"DEN>50") ~ Data$RANG)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -39.10 -35.92 -29.56  22.04 159.52
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)   42.288     14.365   2.944  0.00468 **
## Data$RANG     -3.183      5.865  -0.543  0.58943
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 48.2 on 57 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.005141,   Adjusted R-squared:  -0.01231
## F-statistic: 0.2946 on 1 and 57 DF,  p-value: 0.5894

par(mfcol=c(2,2))
plot(modANO_REGP50)
```

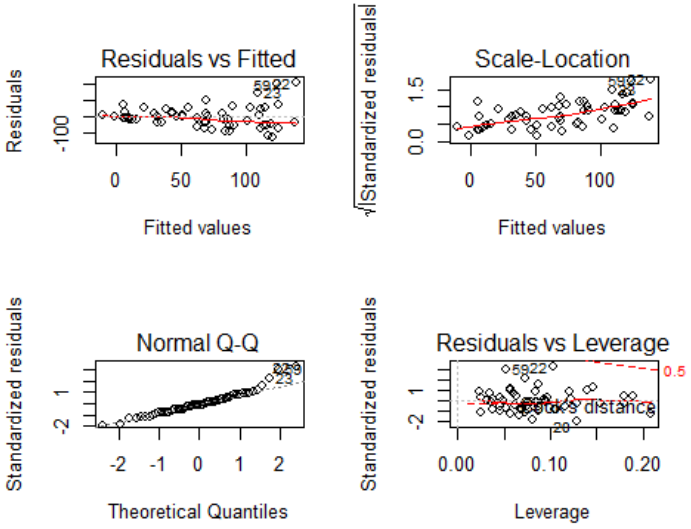



```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite et normalite mauvaises

# Regression lineaire multiple sur la racine de la densite de regeneration de moins de
10 cm
modRLM_REG10 <- lm(sqrt(Data[-c(22,10),]$'DEN<10')~Data[-
c(22,10),]$DISTANCE_LISIERE+Data[-c(22,10),]$MOU+Data[-c(22,10),]$HER+Data[-
c(22,10),]$ARB)

summary(modRLM_REG10)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data[-c(22, 10), ]$"DEN<10") ~ Data[-c(22,
##     10), ]$DISTANCE_LISIERE + Data[-c(22, 10), ]$MOU + Data[-c(22,
##     10), ]$HER + Data[-c(22, 10), ]$ARB)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -55.73 -38.21 -15.06  32.28 177.22
##
## Coefficients:
##                                 Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)                      94.8230    32.3289   2.933  0.00498
## Data[-c(22, 10), ]$DISTANCE_LISIERE  -0.3882     0.8208  -0.473  0.63822
## Data[-c(22, 10), ]$MOU          -29.6423    35.5332  -0.834  0.40798
## Data[-c(22, 10), ]$HER          -47.6157    38.8558  -1.225  0.22593
## Data[-c(22, 10), ]$ARB          -57.9545    25.8922  -2.238  0.02951
##
## (Intercept)                     **
## Data[-c(22, 10), ]$DISTANCE_LISIERE
## Data[-c(22, 10), ]$MOU
## Data[-c(22, 10), ]$HER
## Data[-c(22, 10), ]$ARB          *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 50.42 on 52 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.1111, Adjusted R-squared:  0.0427
## F-statistic: 1.624 on 4 and 52 DF,  p-value: 0.182

par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLM_REG10)
```



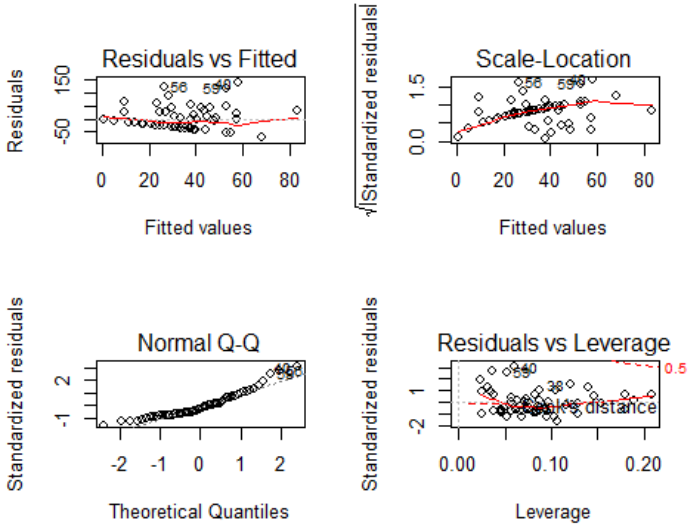

```
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite mauvaise

# Regression lineaire multiple sur la racine de la densite de regeneration de 10 a 50 cm
modRLM_REG50 <- lm(sqrt(Data$'DEN<50')~Data$DISTANCE_LISIERE+Data$MOU+Data$HER+Data$ARB)

summary(modRLM_REG50)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data$"DEN<50") ~ Data$DISTANCE_LISIERE + Data$MOU +
##     Data$HER + Data$ARB)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -121.040  -40.247   -9.224   27.073  207.677
##
## Coefficients:
##                       Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)            153.969     40.166   3.833 0.000332 ***
## Data$DISTANCE_LISIERE   -2.832      1.089  -2.600 0.011997 *
## Data$MOU                -7.667     46.851  -0.164 0.870612
## Data$HER               -12.152     50.041  -0.243 0.809053
## Data$ARB               -108.955     33.191  -3.283 0.001807 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 67.31 on 54 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.2965, Adjusted R-squared:  0.2444
## F-statistic:  5.69 on 4 and 54 DF,  p-value: 0.0006765
```

```r
par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLM_REG50)
```




```r
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite mauvaise

# Regression lineaire multiple sur la racine de la densite de regeneration de moins de
10 cm
modRLM_REGP50 <-
lm(sqrt(Data$'DEN>50')~Data$DISTANCE_LISIERE+Data$MOU+Data$HER+Data$ARB)

summary(modRLM_REGP50)

##
## Call:
## lm(formula = sqrt(Data$"DEN>50") ~ Data$DISTANCE_LISIERE + Data$MOU +
##     Data$HER + Data$ARB)
##
## Residuals:
##    Min     1Q Median     3Q    Max
## -68.34 -32.80 -11.42  27.27 137.09
##
## Coefficients:
##                       Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)            47.5592    28.0006   1.699   0.0952 .
## Data$DISTANCE_LISIERE  -0.8111     0.7592  -1.068   0.2901
## Data$MOU               43.9694    32.6603   1.346   0.1838
## Data$HER               -0.4276    34.8844  -0.012   0.9903
## Data$ARB              -43.4711    23.1383  -1.879   0.0657 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 46.92 on 54 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.1069, Adjusted R-squared:  0.04077
## F-statistic: 1.616 on 4 and 54 DF,  p-value: 0.1835
```

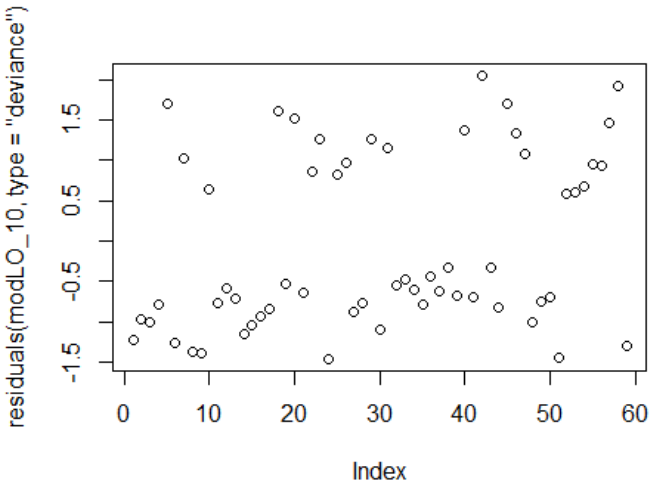
```r
par(mfcol=c(2,2))
plot(modRLM_REGP50)
```




```r
par(mfcol=c(1,1))
# ==> homoscedasticite mauvaise

# Regression logistique sur la regeneration de moins de 10 cm
modLO_10_base <- glm(BIN_10~1,data=Data, family=binomial(link="logit"))
modLO_10 <- glm(BIN_10 ~ DISTANCE_LISIERE + ORIENTATION + MOU + HER + ARB,
                data=Data,
                family=binomial(link="logit")
)

summary(modLO_10)

##
## Call:
## glm(formula = BIN_10 ~ DISTANCE_LISIERE + ORIENTATION + MOU +
##     HER + ARB, family = binomial(link = "logit"), data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.4600  -0.8617  -0.5879   0.9622   2.0514
##
## Coefficients:
##                    Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)         2.60164    1.56841   1.659  0.09716 .
## DISTANCE_LISIERE -0.02724    0.03726  -0.731  0.46479
## ORIENTATIONNORD  -2.52924    0.97756  -2.587  0.00967 **
## ORIENTATIONOUEST -1.04397    0.76477  -1.365  0.17223
## ORIENTATIONSUD   -1.47701    0.91411  -1.616  0.10614
## MOU                -0.90491    1.86135  -0.486  0.62686
## HER                -1.45139    1.90029  -0.764  0.44500
## ARB                -1.68064    1.19272  -1.409  0.15881
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
```

```
##
##     Null deviance: 78.903  on 58  degrees of freedom
## Residual deviance: 66.880  on 51  degrees of freedom
## AIC: 82.88
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 4
```

```
# Graphique representant la deviance des residus ==> espace vide au niveau de 0 mais OK
plot(residuals(modLO_10,type="deviance"))
```




```
# Selection du modele le plus parcimonieux selon l'AIC
mod_AIC_10 <- step(object=modLO_10_base,
                   scope=list(upper=modLO_10),
                   direction="both")
```

```
## Start:  AIC=80.9
## BIN_10 ~ 1
##
##                    Df Deviance    AIC
## + ORIENTATION       3   70.455 78.455
## <none>                  78.903 80.903
## + ARB               1   77.300 81.300
## + MOU               1   78.538 82.538
## + DISTANCE_LISIERE  1   78.640 82.640
## + HER               1   78.902 82.902
##
## Step:  AIC=78.46
## BIN_10 ~ ORIENTATION
##
##                    Df Deviance    AIC
## <none>                  70.455 78.455
## + ARB               1   68.824 78.824
## + DISTANCE_LISIERE  1   69.442 79.442
## + MOU               1   70.120 80.120
## + HER               1   70.452 80.452
## - ORIENTATION       3   78.903 80.903
```

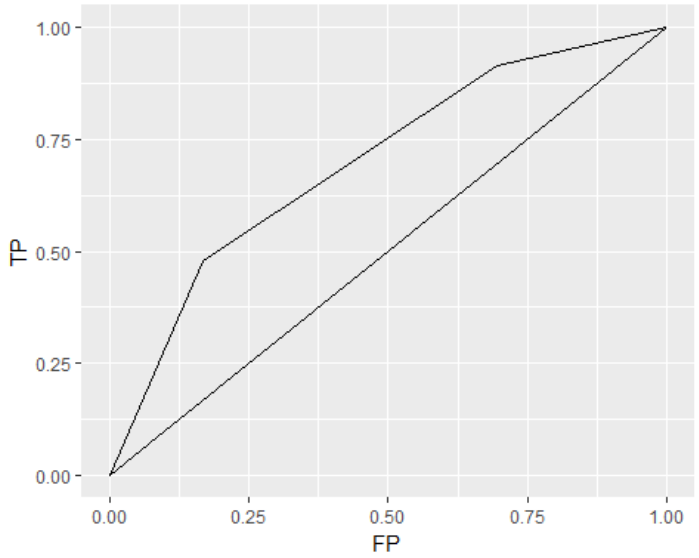
```
summary(mod_AIC_10)
```

```
##
## Call:
## glm(formula = BIN_10 ~ ORIENTATION, family = binomial(link = "logit"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.4432  -0.9695  -0.5780   0.9331   1.9348
##
## Coefficients:
##                  Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)        0.6061     0.5075   1.194   0.2324
## ORIENTATIONNORD   -2.3109     0.9211  -2.509   0.0121 *
## ORIENTATIONOUEST  -1.1170     0.7240  -1.543   0.1229
## ORIENTATIONSUD    -1.4171     0.7866  -1.802   0.0716 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 78.903  on 58  degrees of freedom
## Residual deviance: 70.455  on 55  degrees of freedom
## AIC: 78.455
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 4
```

```
# Table de prediction du modele
table(Data$BIN_10,round(predict(mod_AIC_10,type="response"),0))
```

```
##
##      0  1
##   0 30  6
##   1 12 11
```

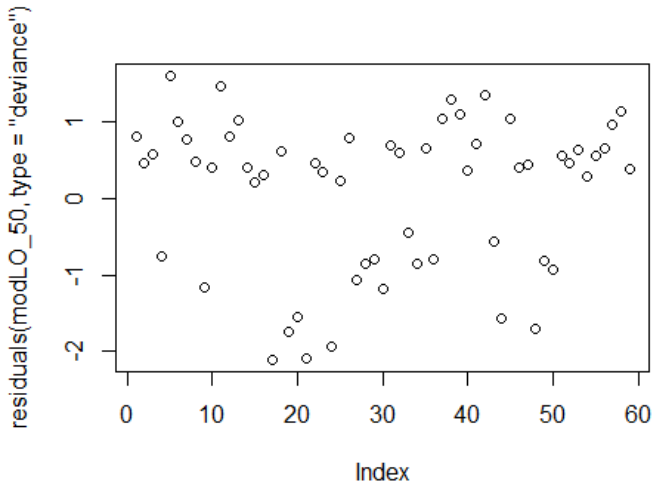
```
# Trace de la courbe ROC
ROC10_table <- data.frame("FP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),
                          "TP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))
for(i in seq(0,10,by=1)){
  Ps=predict(mod_AIC_10,type="response")>i/10
  ROC10_table$FP[i]<-sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_10==0))/sum(Data$BIN_10==0)
  ROC10_table$TP[i]=sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_10==1))/sum(Data$BIN_10==1)
}
ggplot(data=ROC10_table,mapping=aes(x=FP,y=TP))+
  geom_line()+
  geom_line(data=data.frame("X"=c(0:1,step=0.1),"Y"=c(0:1,step=0.1)),
            mapping=aes(x=X,y=Y))
```




```r
# Regression logistique sur la regeneration de 10 a 50 cm
modLO_50_base <- glm(BIN_50~1,data=Data, family=binomial(link="logit"))
modLO_50 <- glm(BIN_50 ~ DISTANCE_LISIERE + ORIENTATION + MOU + HER + ARB,
                data=Data,
                family=binomial(link="logit")
)

summary(modLO_50)
```

```
##
## Call:
## glm(formula = BIN_50 ~ DISTANCE_LISIERE + ORIENTATION + MOU +
##     HER + ARB, family = binomial(link = "logit"), data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.1062  -0.7957   0.4327   0.7365   1.5943
##
## Coefficients:
##                  Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)       2.32035    1.57587   1.472   0.1409
## DISTANCE_LISIERE -0.09545    0.04421  -2.159   0.0309 *
## ORIENTATIONNORD  -1.48526    0.94336  -1.574   0.1154
## ORIENTATIONOUEST -0.75627    0.90532  -0.835   0.4035
## ORIENTATIONSUD   -0.49083    1.06675  -0.460   0.6454
## MOU               1.19169    1.94233   0.614   0.5395
## HER               2.31706    2.00161   1.158   0.2470
## ARB              -2.51611    1.25494  -2.005   0.0450 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 74.150  on 58  degrees of freedom
## Residual deviance: 56.693  on 51  degrees of freedom
## AIC: 72.693
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 5
```

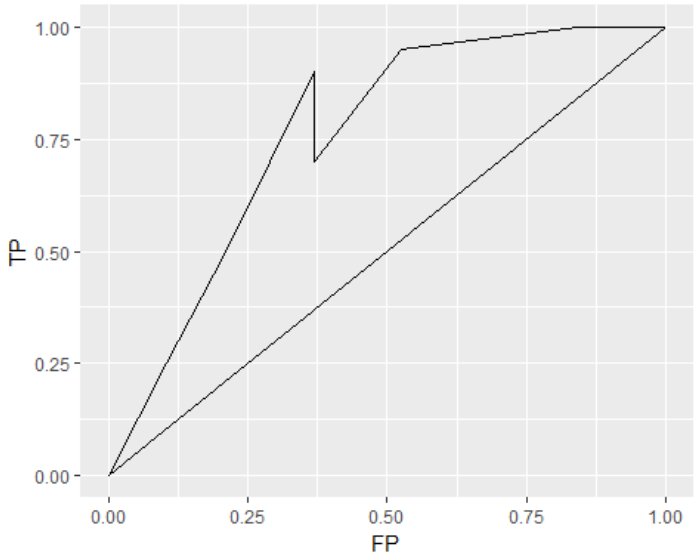
```r
# Graphique representant la deviance des residus ==> espace vide au niveau de 0 mais OK
plot(residuals(modLO_50,type="deviance"))
```




```r
# Selection du modele le plus parcimonieux selon l'AIC
mod_AIC_50 <- step(object=modLO_50_base,
                   scope=list(upper=modLO_50),
                   direction="both")
```

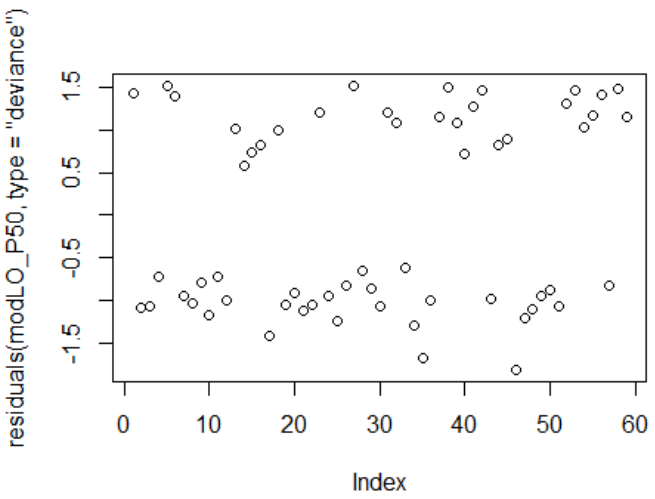
```
## Start:  AIC=76.15
## BIN_50 ~ 1
##
##                    Df Deviance    AIC
## + ARB               1   64.126 68.126
## + HER               1   69.917 73.917
## <none>                  74.150 76.150
## + DISTANCE_LISIERE  1   72.334 76.334
## + MOU               1   72.364 76.364
## + ORIENTATION       3   71.710 79.710
##
## Step:  AIC=68.13
## BIN_50 ~ ARB
##
##                    Df Deviance    AIC
## + DISTANCE_LISIERE  1   60.763 66.763
## <none>                  64.126 68.126
## + HER               1   64.074 70.074
## + MOU               1   64.125 70.125
## + ORIENTATION       3   62.050 72.050
## - ARB               1   74.150 76.150
##
## Step:  AIC=66.76
## BIN_50 ~ ARB + DISTANCE_LISIERE
##
##                    Df Deviance    AIC
## <none>                  60.763 66.763
## + HER               1   60.049 68.049
## - DISTANCE_LISIERE  1   64.126 68.126
## + MOU               1   60.753 68.753
```

```
## + ORIENTATION       3   58.086 70.086
## - ARB               1   72.334 76.334

summary(mod_AIC_50)

##
## Call:
## glm(formula = BIN_50 ~ ARB + DISTANCE_LISIERE, family = binomial(link = "logit"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.2016  -0.8875   0.4678   0.7921   1.4982
##
## Coefficients:
##                  Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)       2.97696    0.83371   3.571 0.000356 ***
## ARB              -3.09019    0.99145  -3.117 0.001828 **
## DISTANCE_LISIERE -0.06476    0.03605  -1.796 0.072471 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 74.150  on 58  degrees of freedom
## Residual deviance: 60.763  on 56  degrees of freedom
## AIC: 66.763
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 4

# Table de prediction du modele
table(Data$BIN_50,round(predict(mod_AIC_50,type="response"),0))

##
##      0  1
##   0 12  7
##   1  4 36

# Trace de la courbe ROC
ROC50_table <- data.frame("FP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),
                          "TP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))
for(i in seq(0,10,by=1)){
  Ps=predict(mod_AIC_50,type="response")>i/10
  ROC50_table$FP[i]<-sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_50==0))/sum(Data$BIN_50==0)
  ROC50_table$TP[i]=sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_50==1))/sum(Data$BIN_50==1)
}
ggplot(data=ROC50_table,mapping=aes(x=FP,y=TP))+
  geom_line()+
  geom_line(data=data.frame("X"=c(0:1,step=0.1),"Y"=c(0:1,step=0.1)),
            mapping=aes(x=X,y=Y))
```

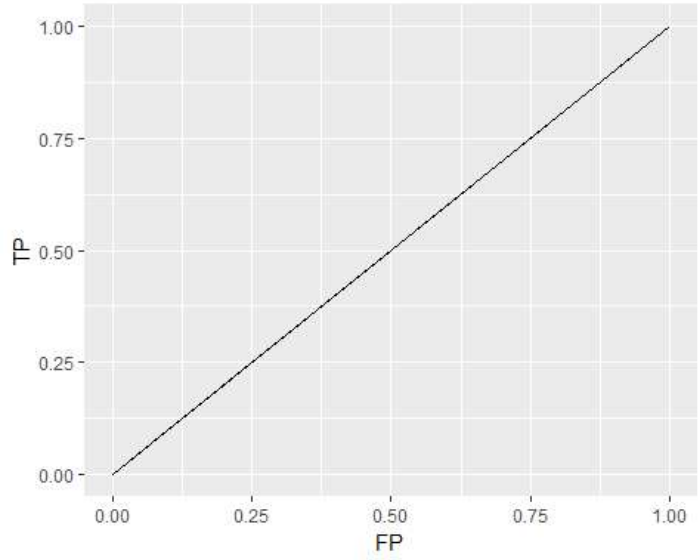



```
# Regression logistique sur la regeneration de plus de 50 cm
modLO_P50_base <- glm(BIN_P50~1,data=Data, family=binomial(link="logit"))
modLO_P50 <- glm(BIN_P50 ~ DISTANCE_LISIERE + ORIENTATION + MOU + HER + ARB,
                 data=Data,
                 family=binomial(link="logit")
)

summary(modLO_P50)

##
## Call:
## glm(formula = BIN_P50 ~ DISTANCE_LISIERE + ORIENTATION + MOU +
##     HER + ARB, family = binomial(link = "logit"), data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##     Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.8184  -1.0473  -0.7212   1.1531   1.5221
##
## Coefficients:
##                    Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)       -0.67554    1.31779  -0.513    0.608
## DISTANCE_LISIERE -0.03158    0.03528  -0.895    0.371
## ORIENTATIONNORD  -0.14080    0.78026  -0.180    0.857
## ORIENTATIONOUEST -0.21226    0.74029  -0.287    0.774
## ORIENTATIONSUD    0.73228    0.85747   0.854    0.393
## MOU               1.81971    1.72676   1.054    0.292
## HER               1.13369    1.66880   0.679    0.497
## ARB              -0.86698    1.08650  -0.798    0.425
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 81.367  on 58  degrees of freedom
## Residual deviance: 75.302  on 51  degrees of freedom
## AIC: 91.302
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 4
```

```r
# Graphique representant la deviance des residus ==> espace vide au niveau de 0 mais OK
plot(residuals(modLO_P50,type="deviance"))
```




```r
# Selection du modele le plus parcimonieux selon l'AIC
mod_AIC_P50 <- step(object=modLO_P50_base,
                    scope=list(upper=modLO_P50),
                    direction="both")

## Start:  AIC=83.37
## BIN_P50 ~ 1
##
##                     Df Deviance    AIC
## <none>                   81.367 83.367
## + ARB                1   80.404 84.404
## + MOU                1   80.680 84.680
## + DISTANCE_LISIERE   1   80.856 84.856
## + HER                1   81.308 85.308
## + ORIENTATION        3   77.576 85.576

summary(mod_AIC_P50)

##
## Call:
## glm(formula = BIN_P50 ~ 1, family = binomial(link = "logit"),
##     data = Data)
##
## Deviance Residuals:
##    Min      1Q  Median      3Q     Max
## -1.106  -1.106  -1.106   1.250   1.250
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  -0.1699     0.2613   -0.65    0.516
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 81.367  on 58  degrees of freedom
## Residual deviance: 81.367  on 58  degrees of freedom
## AIC: 83.367
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 3

# Table de prediction du modele
table(Data$BIN_P50,round(predict(mod_AIC_P50,type="response"),0))

##
##      0
##   0 32
##   1 27

# Trace de la courbe ROC
ROCP50_table <- data.frame("FP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),
                           "TP"=c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))
for(i in seq(0,10,by=1)){
  Ps=predict(mod_AIC_P50,type="response")>i/10
  ROCP50_table$FP[i]<-sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_P50==0))/sum(Data$BIN_P50==0)
  ROCP50_table$TP[i]=sum((Ps==TRUE)*(Data$BIN_P50==1))/sum(Data$BIN_P50==1)
}
ggplot(data=ROCP50_table,mapping=aes(x=FP,y=TP))+
  geom_line()+
  geom_line(data=data.frame("X"=c(0:1,step=0.1),"Y"=c(0:1,step=0.1)),
            mapping=aes(x=X,y=Y))
```



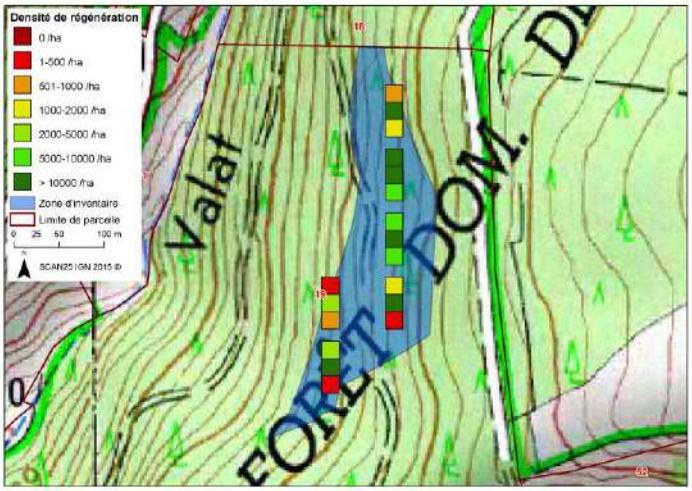
ANNEXE L

-

Fiches de synthèse par unité de gestion inventoriée

FORÊT DOMANIALE DES GORGES DU TARN
PARCELLE 19

❖ CARTOGRAPHIE

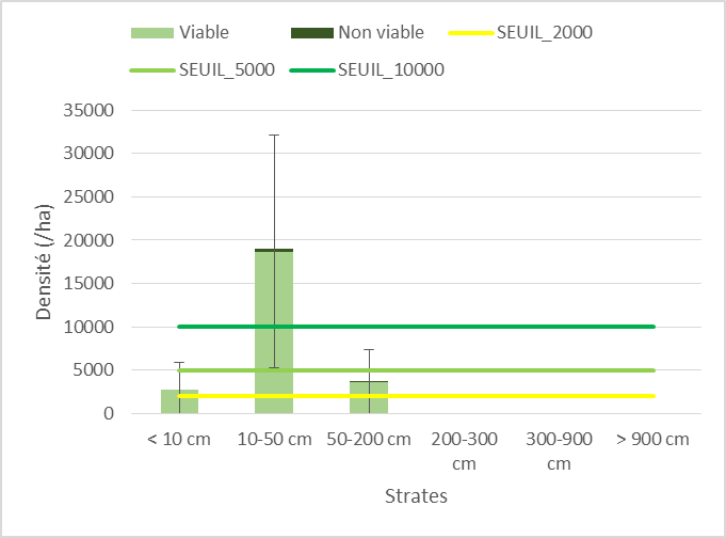


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

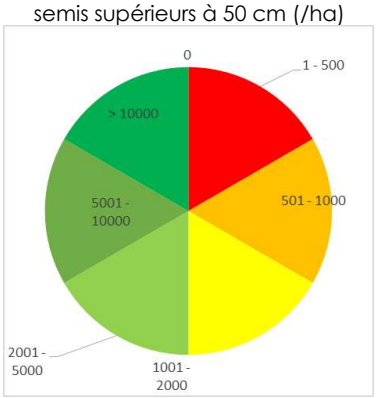
SURFACE	5,57 ha
PENTE MOYENNE	60 ±8 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	300 ± 11 grades OUEST
TOPOGRAPHIE	Milieu et haut de versant
STATION	Bonne fertilité de versant / Fertilité
SURFACE TERRIÈRE	33 ± 4 m²/ha
DENSITÉ	313 ± 47 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	37 ± 1 cm
HAUTEUR DOMINANTE	24,7 ± 1,8 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	114 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2015 (12 m²/ha – 26 % 142 tiges/ha

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 6 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

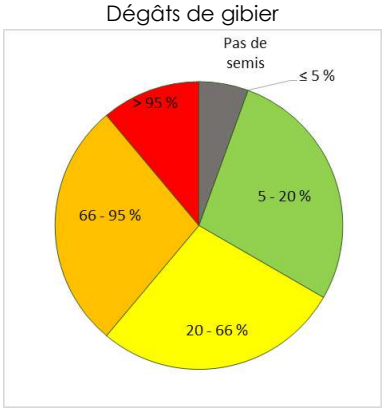


Couvert strate muscinale (%)	16 ± 9 %
Couvert strate herbacée (%)	3 ± 4 %
Couvert strate arbustive (%)	40 ± 20 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

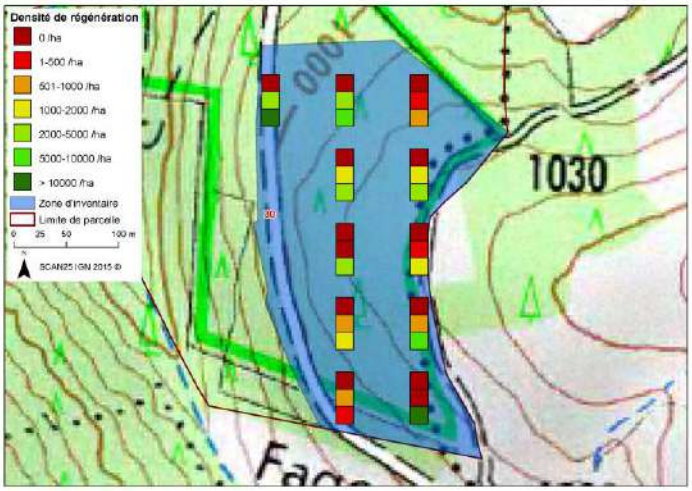
Consignes de l'aménagement : RS en 2022 / RD en 2028
Bilan : La régénération de plus de 50 cm est présente localement dans le centre de la parcelle, mais sa densité n'est globalement pas suffisante. La densité de semis de 10 à 50 cm est supérieure à 10000 /ha sur presque la totalité de la parcelle, par conséquent, pour favoriser leur croissance la coupe secondaire pourrait être avancée de deux ans. Si la densité se maintient et que les semis atteignent les 50 cm, la coupe définitive pourra être réalisée. Si par contre la strate arbustive explose lors de la coupe secondaire, des dégagements par placeaux pourraient être envisagés.
Remarques : Concernant les dégâts de gibier (mouflon) des tirs localisés pourraient être sollicités afin de préserver la qualité de la régénération.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DES GORGES DU TARN
PARCELLE 30

❖ CARTOGRAPHIE

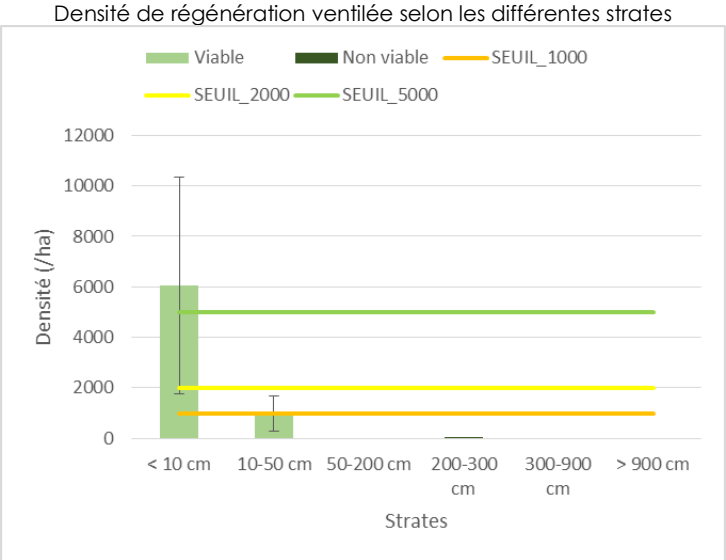


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

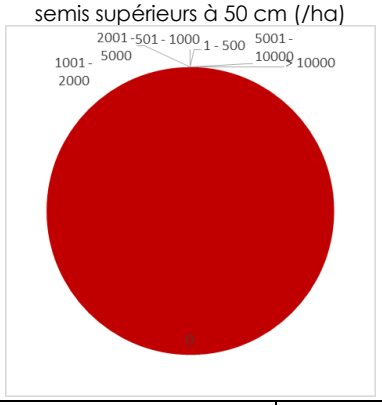
SURFACE	5,57 ha
PENTE MOYENNE	24 ± 3 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	301 ± 21 grades OUEST
TOPOGRAPHIE	Plateau et Haut de versant
STATION	Plateau - Fertilité moyenne sur versant
SURFACE TERRIÈRE	24 ± 3 m²/ha
DENSITÉ	152 ± 17 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	45 ± 3 cm
HAUTEUR DOMINANTE	23,6 ± 1,1 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	109 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2008 (17 m²/ha – 41 % 118 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 11 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)



Couvert strate muscinale (%)	7 ± 5 %
Couvert strate herbacée (%)	45 ± 15 %
Couvert strate arbustive (%)	33 ± 12 %

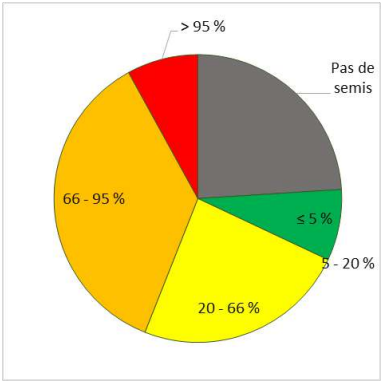
❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Consignes de l'aménagement : RD en 2022

Bilan : La densité de régénération de plus de 10 cm est insuffisante sur la parcelle, alors que la coupe d'ensemencement a été faite il y a 10 ans. La dynamique d'installation de la régénération semble pourtant active, mais de forts dégâts de gibier empêchent les semis d'évoluer vers les strates supérieures de régénération. Ce constat est paradoxal puisque la totalité de la parcelle est entourée d'une clôture à gibier. Il serait donc nécessaire de s'assurer de l'étanchéité de l'enclos.

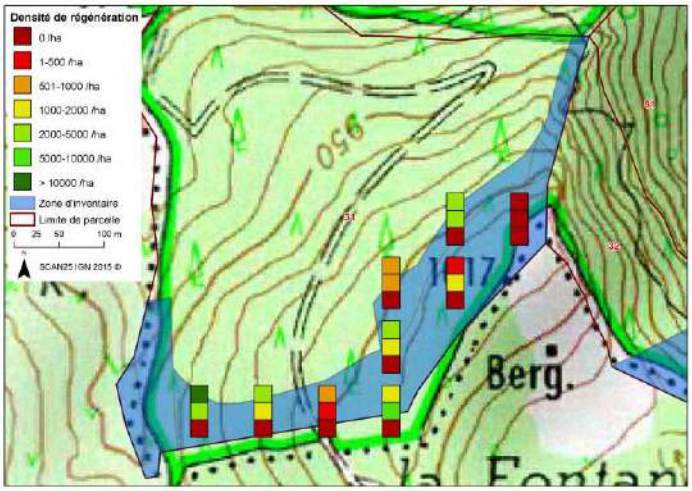
Si la régénération ne réagit pas dans les trois ans (car il y a en moyenne une bonne régénération tous les trois ans), le problème pourrait alors venir de la concurrence avec les herbacées, un travail du sol consistant à gratter ce couvert pourrait être programmé. La définitive ne sera alors pas maintenue aussi tôt.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DES GORGES DU TARN
PARCELLE 31

❖ CARTOGRAPHIE

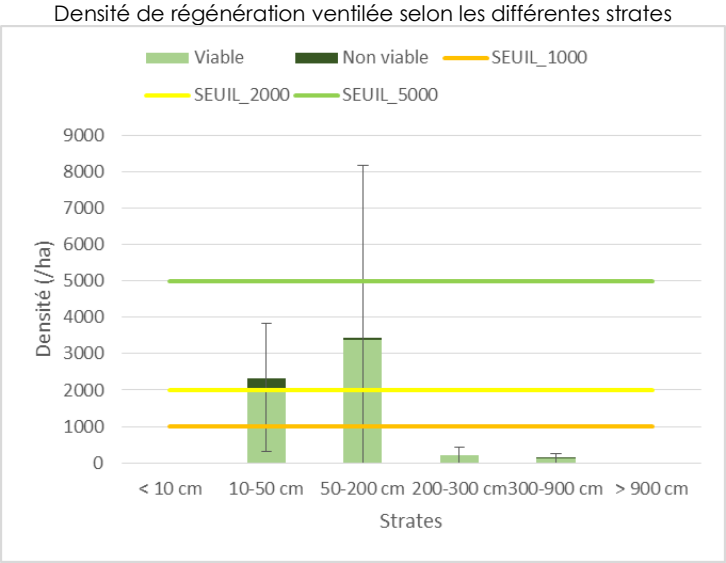


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

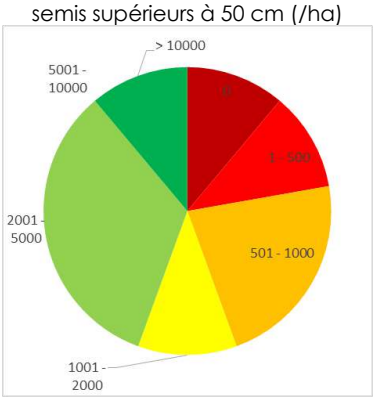
SURFACE	4,84 ha
PENTE MOYENNE	24 ± 6 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	21 ± 85 grades OUEST
TOPOGRAPHIE	Plateau & Haut à milieu de versant
STATION	Plateau & Fertilité moyenne sur versant
SURFACE TERRIÈRE	28 ± 3 m²/ha
DENSITÉ	292 ± 99 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	36 ± 5 cm
HAUTEUR DOMINANTE	21,3 ± 1,5 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	104 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en, 2018 (13 m²/ha – 32 % 115 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 9 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

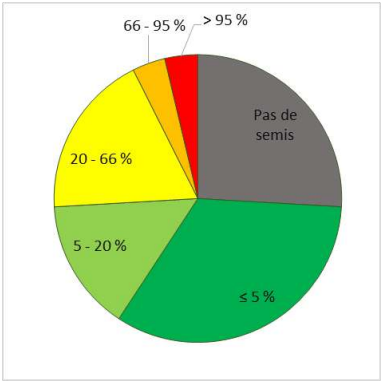


Couvert strate muscinale (%)	27 ± 10 %
Couvert strate herbacée (%)	21 ± 20 %
Couvert strate arbustive (%)	62 ± 12 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

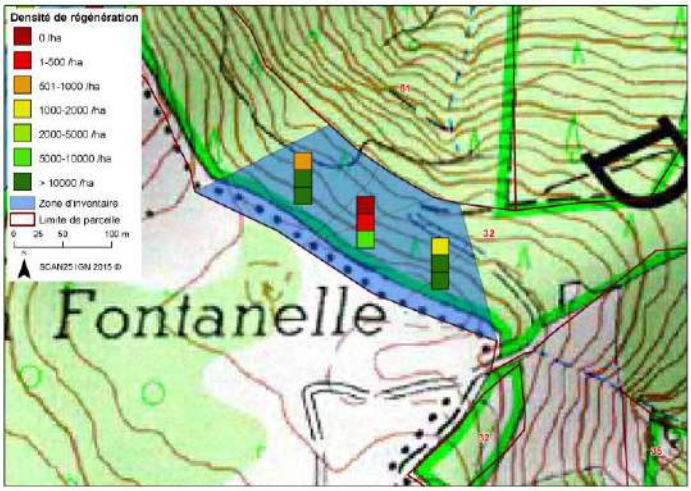
Consignes de l'aménagement : RD en 2020
Bilan : En-dessous de la piste, la régénération est assurée et même déjà haute, la coupe définitive pourrait donc être programmée rapidement, cette zone était marquée en échec de régénération dans l'aménagement.
La situation est plus complexe au-dessus de la piste où la régénération peine à s'installer durablement (très peu de semis de moins de 10 cm ont été comptés) Un dégagement du fort sous-étage de buis pourrait être envisagé (celui-ci n'étant pas encore touché par la pyrale dans le département). Si l'opération est jugée trop « risquée », il faudra recourir aux propositions de l'aménagement : coupe rase puis plantation.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DES GORGES DU TARN
PARCELLE 32

❖ CARTOGRAPHIE

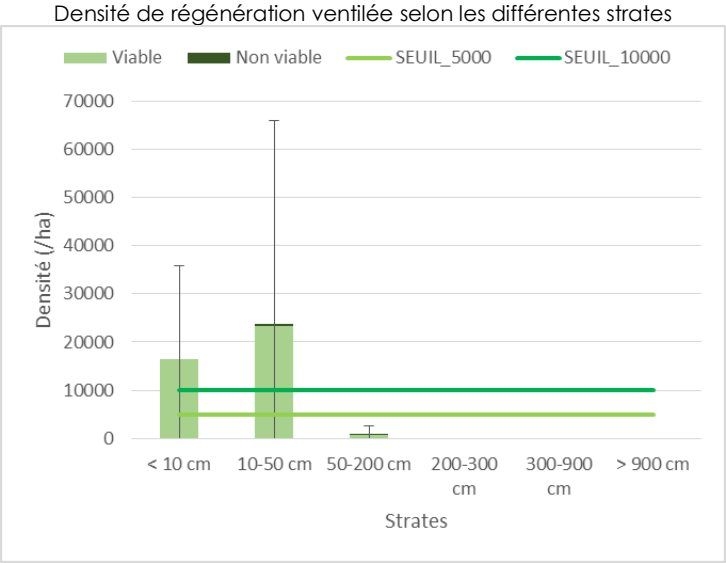


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

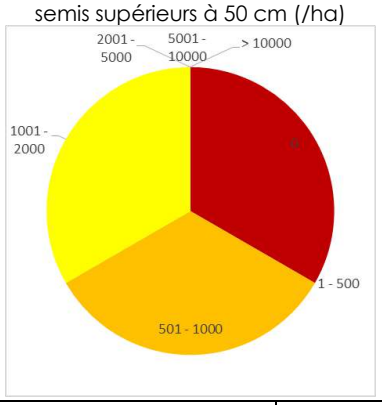
SURFACE	2,78 ha
PENTE MOYENNE	62 ± 16 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	43 ± 23 grades NORD
TOPOGRAPHIE	Haut de versant
STATION	Fertilité moyenne sur versant frais
SURFACE TERRIÈRE	31 ± 7 m²/ha
DENSITÉ	325 ± 74 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	35 ± 1 cm
HAUTEUR DOMINANTE	22,3 ± 4,4 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	104 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en, 2009 (19 m²/ha – 38 % 218 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 3 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

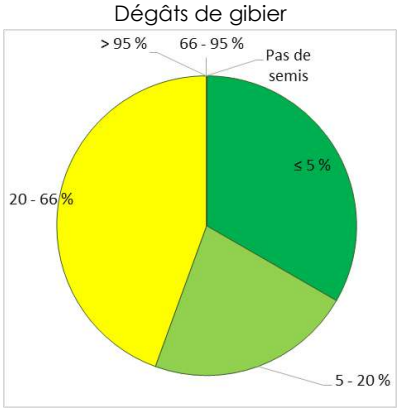


Couvert strate muscinale (%)	54 ± 40 %
Couvert strate herbacée (%)	19 ± 23 %
Couvert strate arbustive (%)	37 ± 55 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

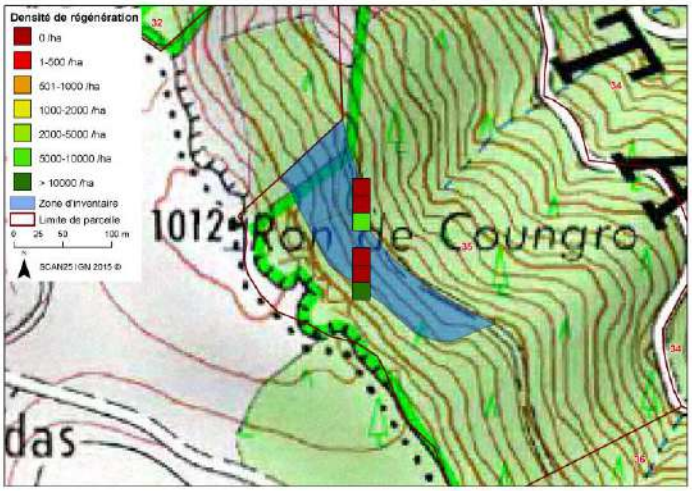
Consignes de l'aménagement : RS en 2019 + RD en 2027
Bilan : 10 ans après la coupe d'ensemencement, la dynamique de régénération de 10 à 50 cm est bonne à l'Est et à l'Ouest de la parcelle. Elle est moins bonne au centre et dans la partie basse en raison d'un fort couvert arbustif. Des travaux de dégagement du sous-étage (buis, épicéa et sapin) pourrait être envisagés afin d'aider la régénération, d'autant que cela ne représente pas une grande surface (environ 1 ha).
À noter toutefois la présence de dégâts de processionnaires sur la régénération, avec des semis ayant été dépourvus de toutes leurs aiguilles au pied des arbres porteurs de nids. La situation devrait aller en s'améliorant puisque le pic de population est passé, il faudrait toutefois rester vigilant. Dans tous les cas, la régénération de plus de 50 cm n'étant pas installée, la coupe secondaire en 2019 peut être maintenue afin de profiter à la régénération de 10 à 50 cm

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DES GORGES DU TARN
PARCELLE 35

❖ CARTOGRAPHIE

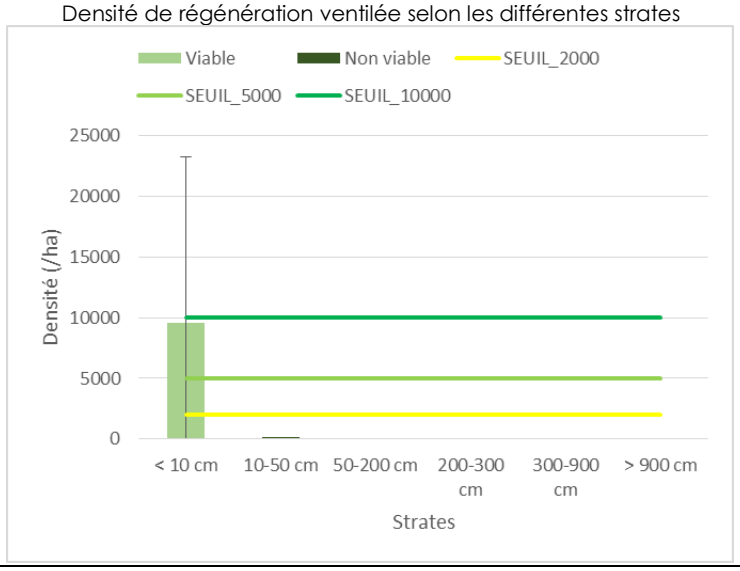


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

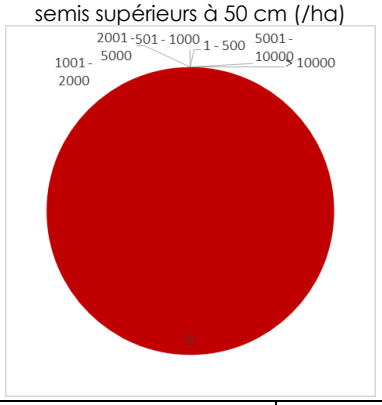
SURFACE	1,36 ha
PENTE MOYENNE	74 ± 37 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	65 ± 65 grades EST
TOPOGRAPHIE	Haut de versant
STATION	Fertilité moyenne sur versant frais
SURFACE TERRIÈRE	22 ± 9 m²/ha
DENSITÉ	250 ± 0 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	33 ± 7 cm
HAUTEUR DOMINANTE	20,5 ± 2,6 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	104 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en, 2016 (17 m²/ha – 35 % 192 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 2 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

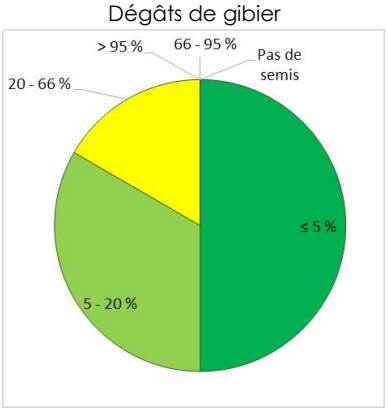


Couvert strate muscinale (%)	55 ± 29 %
Couvert strate herbacée (%)	2 ± 6 %
Couvert strate arbustive (%)	63 ± 0 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

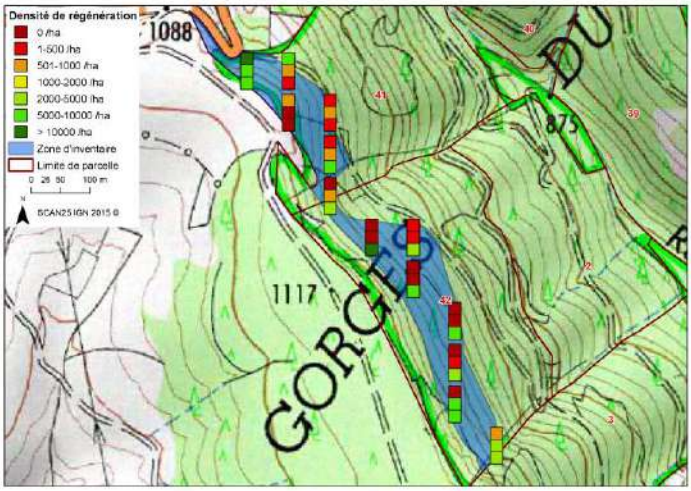
Consignes de l'aménagement : RS en 2021 + RD en 2033
Bilan : La densité de régénération de moins de 10 cm est bonne (près de 10 000 semis/ha), toutefois, la forte pente du versant sur lequel se trouve la parcelle pourrait freiner l'évolution de cette régénération.
La coupe d'ensemencement étant assez récente, il serait bien de suivre la régénération : si celle-ci parvient à évoluer vers les strates supérieures, un dégagement du sous-étage arbustif (buis principalement) pourrait être envisagé ; si celle-ci ne montre pas de meilleure dynamique, il semble inutile de réaliser un dégagement et il faudra directement recourir à la plantation. Dans l'état actuel, la coupe secondaire n'est pas utile. Elle ne devra être déclenchée que si la dynamique d'évolution de la régénération de moins de 10 cm est bonne.
Remarque : Il faudra particulièrement veiller à l'impact du mouflon, qui est très présent sur la zone et qui pourrait participer au manque de semis de plus de 10 cm.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DES GORGES DU TARN
PARCELLES 41 & 42

❖ CARTOGRAPHIE



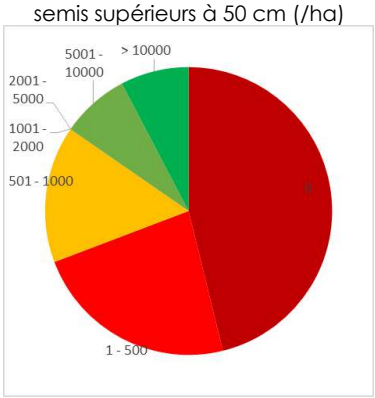
❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

SURFACE	5,50 ha
PENTE MOYENNE	69 ± 5 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	62 ± 16 grades EST
TOPOGRAPHIE	Haut de versant
STATION	Fertilité moyenne sur versant frais et Lithosol
SURFACE TERRIÈRE	26 ± 4 m²/ha
DENSITÉ	304 ± 106 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	35 ± 4 cm
HAUTEUR DOMINANTE	20,4 ± 1,4 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	119 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2016 (8 m²/ha – 24 % 81 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 13 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates

Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

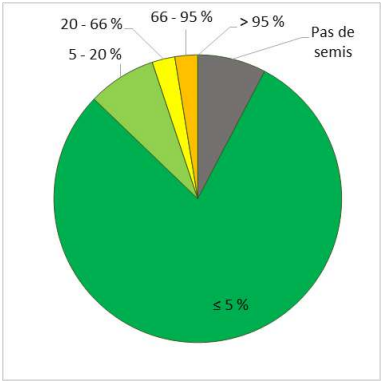


Couvert strate muscinale (%)	11 ± 9 %
Couvert strate herbacée (%)	25 ± 11 %
Couvert strate arbustive (%)	11 ± 7 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

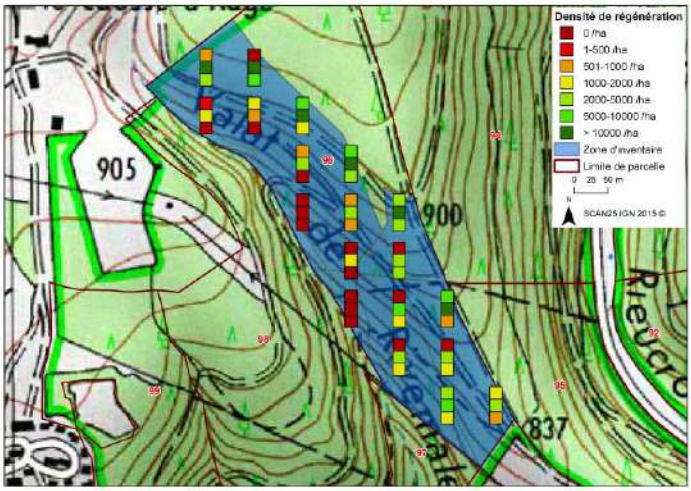
Consignes de l'aménagement : RS en 2022 + RD en 2030
Bilan : Au niveau de la pointe Nord de la parcelle 41, la régénération est dense et haute, tous les arbres pourront être enlevés au prochain passage dans cette zone. Ailleurs, la densité est insuffisante, quelle que soit la strate de régénération considérée, sans doute en raison de la forte pente et des éboulis qui parsèment les deux parcelles. Deux options pourraient être envisagées : plantation de Pin noir d'Autriche (les arbres seront récoltés en un passage, par exemple en 2022) ou évolution naturelle avec changement d'essence (les arbres seront récoltés en deux passages afin de permettre au sous-étage de bien s'installer, en 2022 et en 2030 pour ne pas déranger l'état d'assiette).

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 96

❖ CARTOGRAPHIE

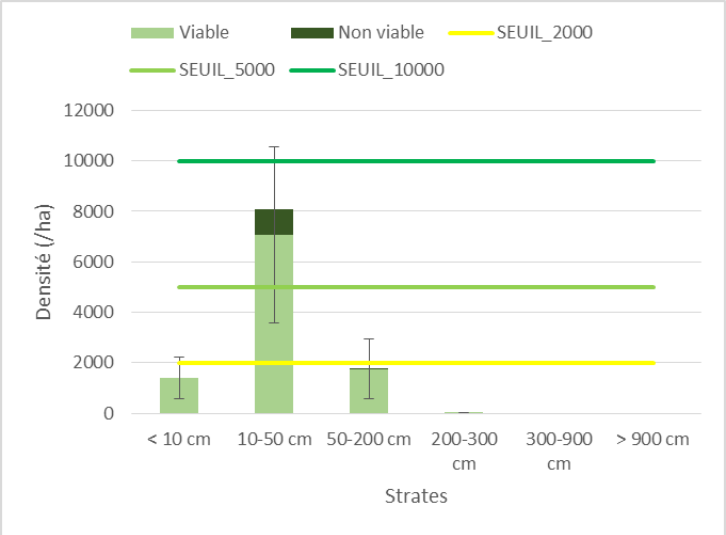


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

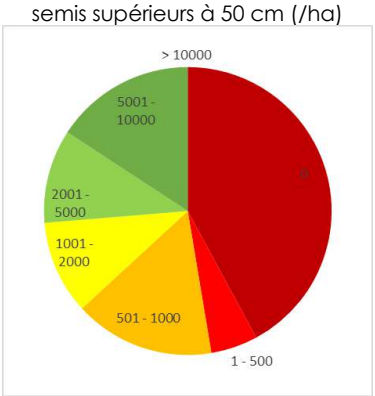
SURFACE	10,14 ha
PENTE MOYENNE	47 ± 7 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	242 ± 7 grades OUEST
TOPOGRAPHIE	Plateau, Versant, Talweg
STATION	Fertilité moyenne sur versant sec à médiocre
SURFACE TERRIÈRE	26 ± 4 m²/ha
DENSITÉ	300 ± 47 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	33 ± 2 cm
HAUTEUR DOMINANTE	20,9 ± 1,2 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	123 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2011 (8 m²/ha – 24 % 144 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 19 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

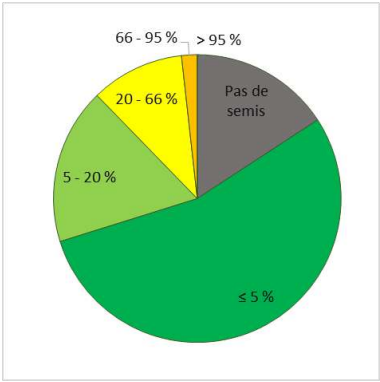


Couvert strate muscinale (%)	1 ± 1 %
Couvert strate herbacée (%)	48 ± 10 %
Couvert strate arbustive (%)	20 ± 7 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

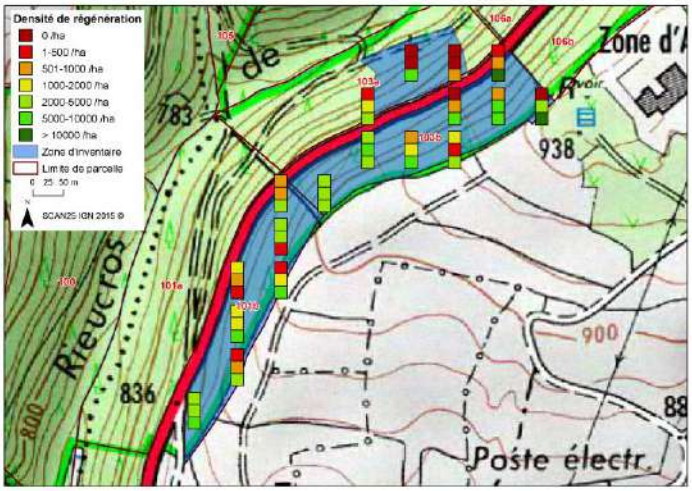
Consignes de l'aménagement : RD en 2022
Bilan : La coupe secondaire ayant été réalisée au cours de l'hiver 2017-2018 (8 m²/ha – 94 tiges/ha), il est trop tôt pour préjuger de la réaction de la régénération. L'aménagement prévoyant la coupe définitive à l'état d'assiette de 2022, cela laisse une période de 5-6 ans pour que la régénération se développe davantage, sans mettre trop en péril la zone déjà bien régénérée dans le haut de la parcelle. De plus, des semis de pin de 10 à 50 cm sont souvent présents là où il n'y a pas de semis de plus de 50 cm, la coupe secondaire devrait leur être profitable. Les consignes de l'aménagement semblent donc compatibles avec l'évolution de la régénération.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLES 101b, 103a.p et 103b

❖ CARTOGRAPHIE

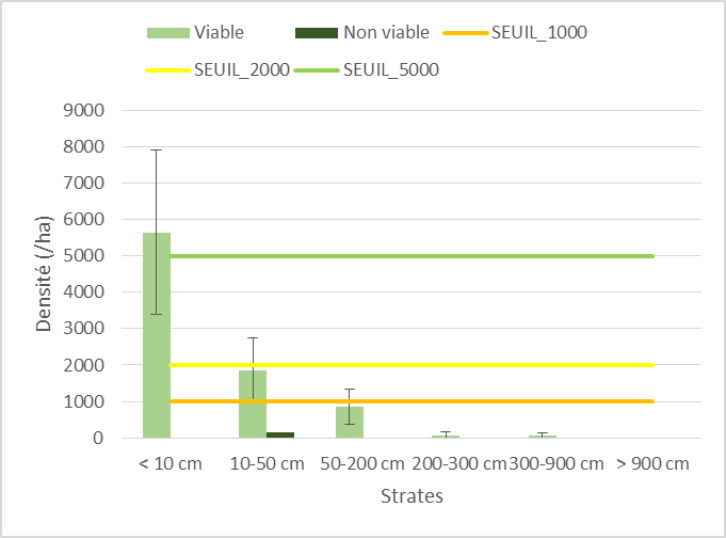


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

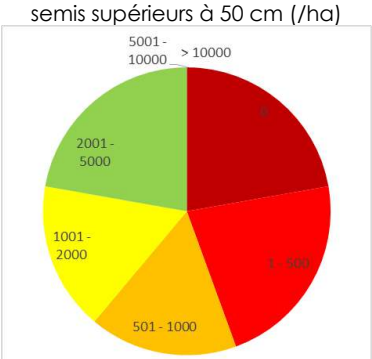
SURFACE	8,08 ha
PENTE MOYENNE	53 ± 3 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	346 ± 11 grades OUEST
TOPOGRAPHIE	Haut de versant, Milieu de versant
STATION	Fertilité moyenne sur versant sec à lithosol
SURFACE TERRIÈRE	23 ± 3 m²/ha
DENSITÉ	318 ± 104 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	33 ± 3 cm
HAUTEUR DOMINANTE	21,5 ± 1,2 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	133 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2013 (9 à 12 m²/ha – 33 % 106 à 162 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 18 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

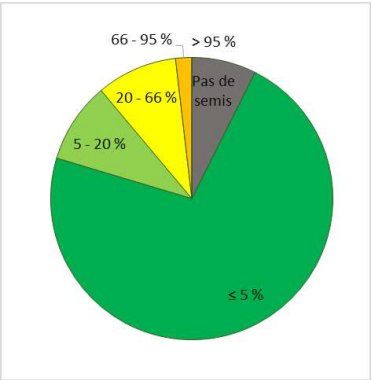


Couvert strate muscinale (%)	23 ± 11 %
Couvert strate herbacée (%)	28 ± 11 %
Couvert strate arbustive (%)	14 ± 5 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

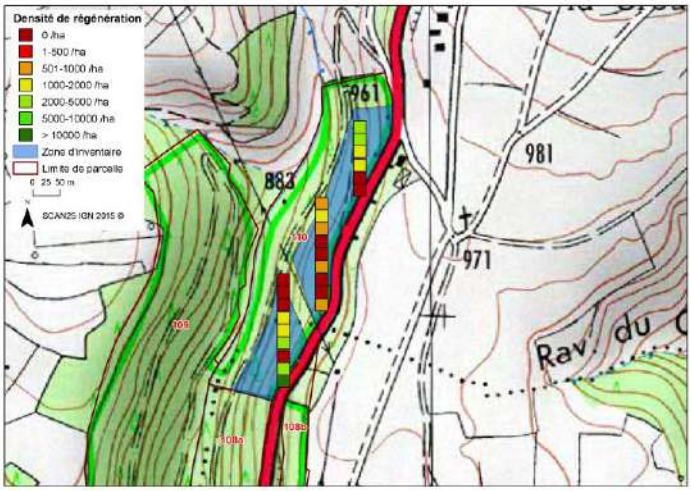
Consignes de l'aménagement : RD 2018 (101b) ou 2019 (103)
Bilan : La coupe d'ensemencement a été réalisée il y a 5 ans et dans l'ensemble la régénération semble insuffisante pour passer directement en définitive, surtout dans la partie Nord (éboulis des sous-parcelles 103a et 103b). Des semis de 10 à 50 cm et surtout de moins de 10 cm sont toutefois en cours d'apparition dans cette zone, ce qui est encourageant pour le futur. Il serait intéressant de suivre l'évolution de la régénération basse : si elle évolue vers la strate 10-50 cm, lui laisser du temps, sinon il faudra recourir à la plantation. Dans tous les cas, les définitives prévues ne devraient pas être exécutées car la surface terrière est déjà suffisamment basse pour permettre à la régénération de croître correctement. Une coupe secondaire pourrait éventuellement être prévue en 2019 dans la zone centrale où la régénération de plus de 50 cm est la mieux installée, mais ne devra en aucun cas déborder sur les zones moins régénérées.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 110

❖ CARTOGRAPHIE

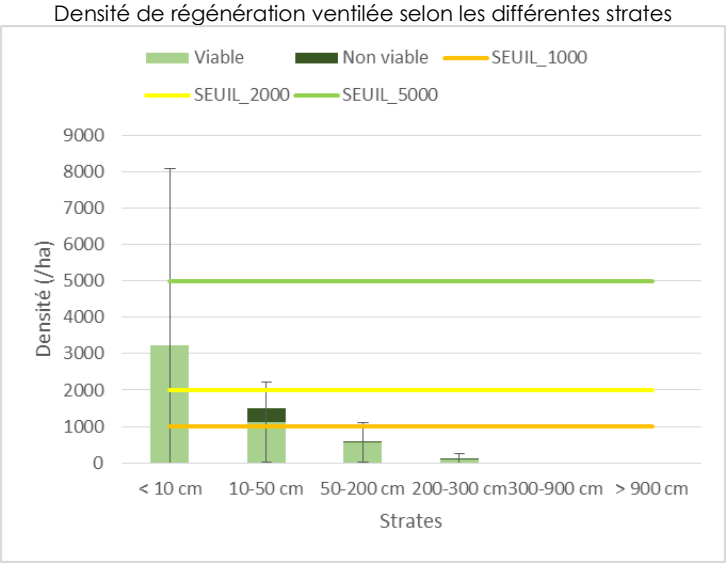


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

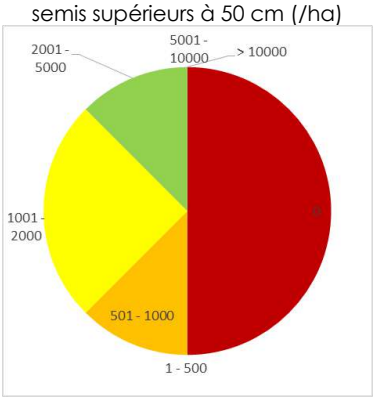
SURFACE	3,71 ha
PENTE MOYENNE	45 ± 4 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	321 ± 6 grades OUEST
TOPOGRAPHIE	Milieu à bas de versant
STATION	Bonne fertilité de versant
SURFACE TERRIÈRE	29 ± 5 m²/ha
DENSITÉ	241 ± 46 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	39 ± 4 cm
HAUTEUR DOMINANTE	27,7 ± 2,7 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	129 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2017 (15 m²/ha – 34 % 135 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 8 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

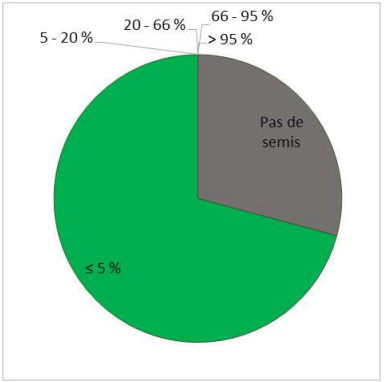


Couvert strate muscinale (%)	18 ± 11 %
Couvert strate herbacée (%)	34 ± 21 %
Couvert strate arbustive (%)	42 ± 19 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

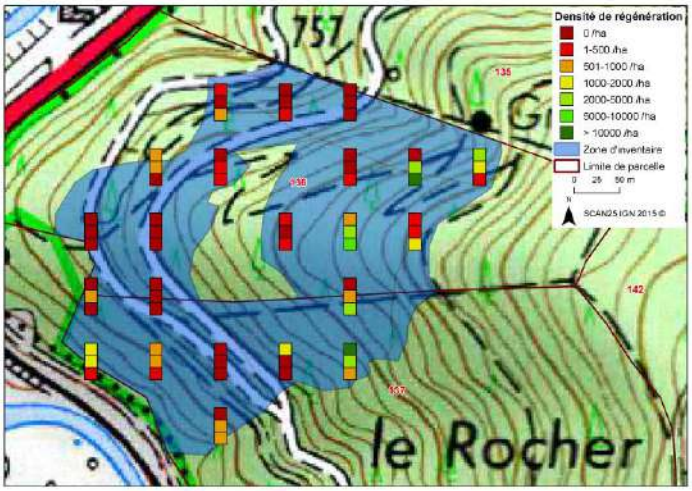
Consignes de l'aménagement : RD en 2021
Bilan : La dynamique de la régénération est assez faible, même si par endroits la régénération de moins de 10 cm semble apparaître. La coupe d'ensemencement a eu lieu trop récemment pour préjuger de l'évolution de cette régénération vers les strates supérieures. Il conviendrait donc d'attendre pendant quelques années : si la densité de régénération de plus de 10 cm augmente et que les strates supérieures se développent, un coupe secondaire ramenant la surface terrière à 20-22 m²/ha pourrait être entreprise en 2021, sinon le recours à la plantation devra être envisagé.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLES 136 et 137

❖ CARTOGRAPHIE

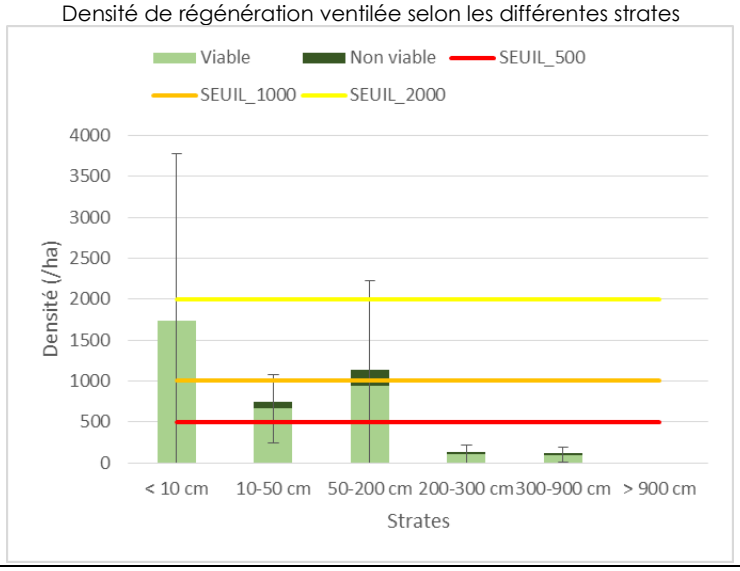


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

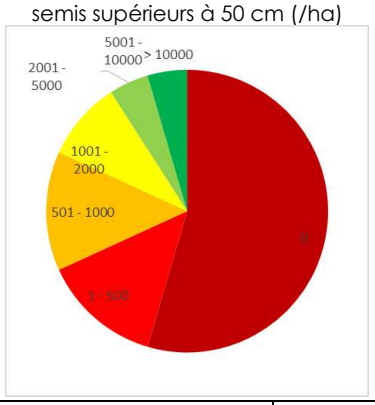
SURFACE	10,69 ha
PENTE MOYENNE	57 ± 5 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	308 ± 28 grades OUEST
TOPOGRAPHIE	Milieu de versant
STATION	Fertilité moyenne sur versant frais ou sec
SURFACE TERRIÈRE	31 ± 4 m²/ha
DENSITÉ	347 ± 54 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	34 ± 2 cm
HAUTEUR DOMINANTE	25,4 ± 1,5 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	133 et 128 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2015 (11 à 12 m²/ha – 27 % 162 à 228 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 22 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

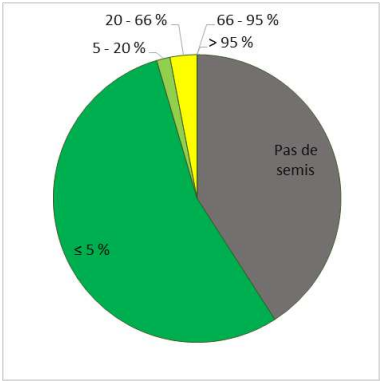


Couvert strate muscinale (%)	40 ± 14 %
Couvert strate herbacée (%)	9 ± 4 %
Couvert strate arbustive (%)	44 ± 12 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

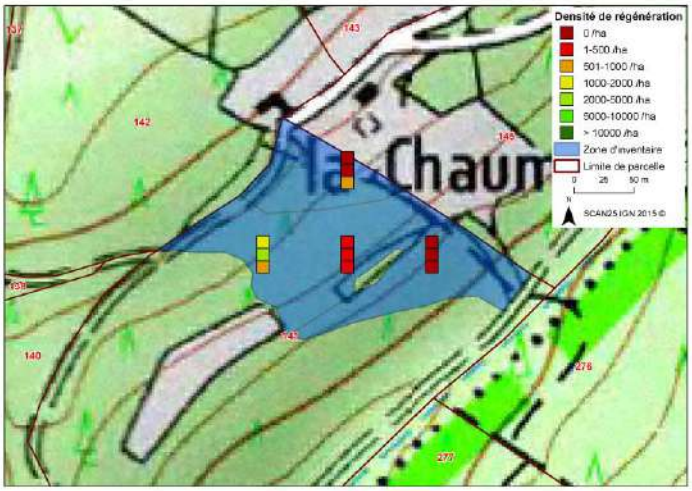
Consignes de l'aménagement : RD en 2021
Bilan : La coupe d'ensemencement a été réalisée en 2015, et depuis la régénération ne semble pas avoir beaucoup réagi. En effet, la majorité des placeaux présentent une régénération de plus de 50 cm absente, et le constat reste préoccupant pour les strates de régénération inférieures. L'aménagement prévoit une définitive en 2021, mais dans l'état actuel des choses cela semble difficile à mettre en œuvre sans avoir recours à une plantation. Sur les versants plus frais (Nord de la zone d'inventaire), la solution pourrait être d'intervenir dans le sous-étage feuillu qui reste assez dense, et sur les versants plus secs où le sous-étage n'est pas problématique, si au terme de l'exploitation la régénération ne s'est pas densifiée, le recours à la plantation sera nécessaire.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 141

❖ CARTOGRAPHIE

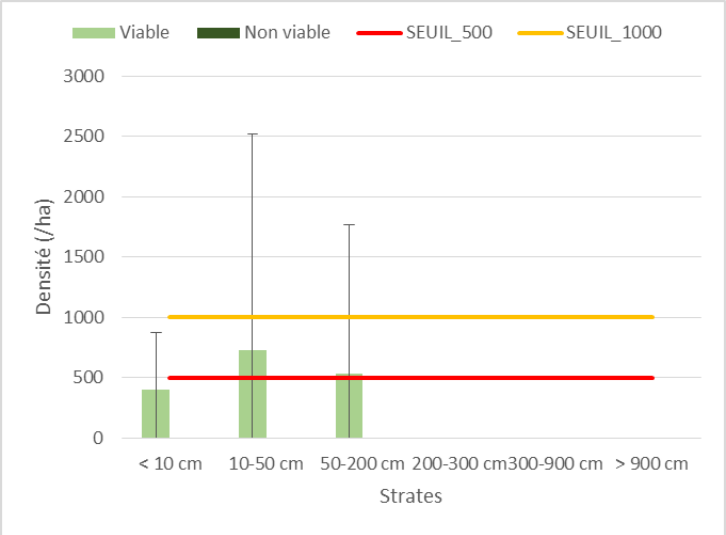


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

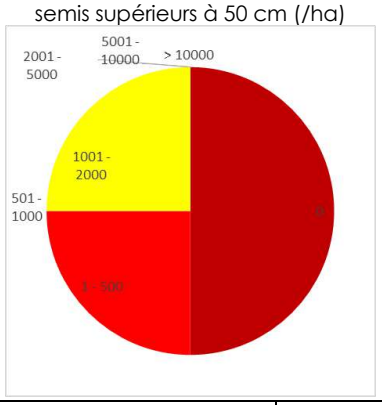
SURFACE	2,41 ha
PENTE MOYENNE	23 ± 8 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	171 ± 14 grades SUD
TOPOGRAPHIE	Plateau
STATION	Plateau
SURFACE TERRIÈRE	28 ± 6 m²/ha
DENSITÉ	256 ± 33 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	37 ± 4 cm
HAUTEUR DOMINANTE	26,8 ± 2,0 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	111 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2013 (18 m²/ha – 39 % 190 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 4 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)



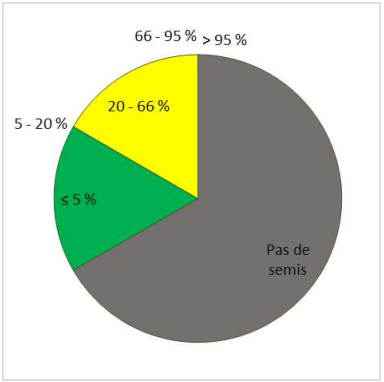
Couvert strate muscinale (%)	6 ± 2 %
Couvert strate herbacée (%)	43 ± 26 %
Couvert strate arbustive (%)	59 ± 23 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Consignes de l'aménagement : RD en 2018

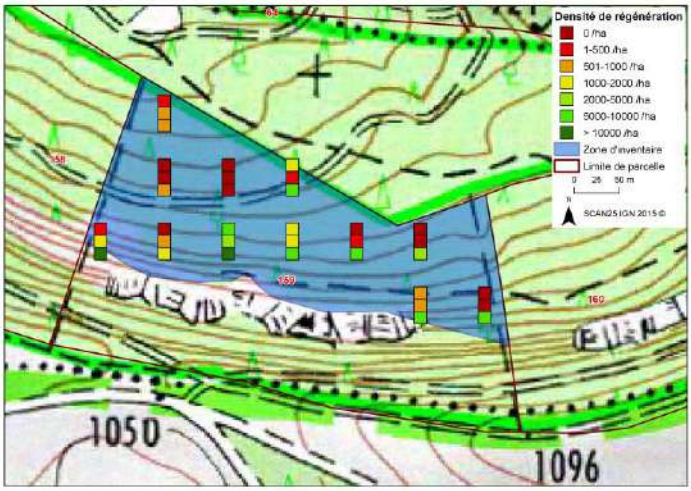
Bilan : La régénération reste insuffisante, quelle que soit la strate considérée, et ce malgré les travaux entrepris (nettoyage superficiel du sol à la pelle TP en 2015). La strate arbustive pourrait être en cause mais pourtant même à l'issue des travaux la régénération n'était pas apparue (alors que les arbustes avaient été réduits). Soit les travaux ont été réalisés sur une période d'années peu propices à la régénération, soit une cause non expliquée empêche la régénération de s'installer. Dans tous les cas la coupe définitive ne peut être envisagée sans plantation.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 159

❖ CARTOGRAPHIE

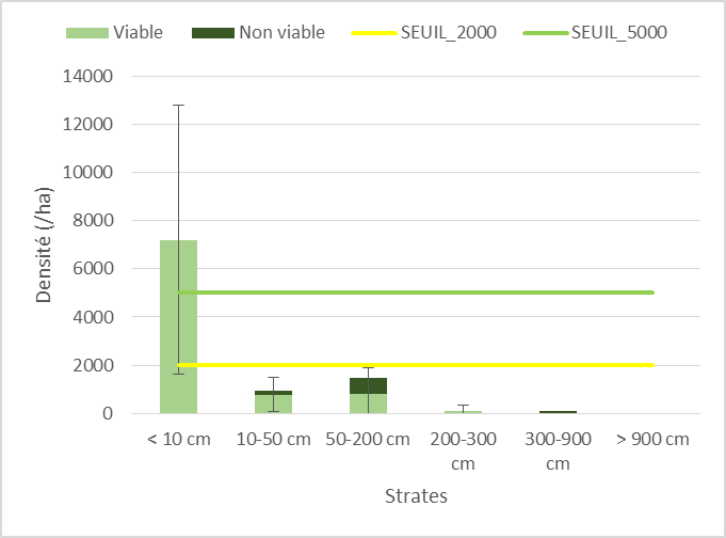


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

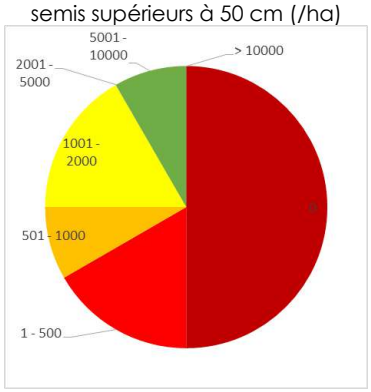
SURFACE	6,51 ha
PENTE MOYENNE	46 ± 13 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	399 ± 10 grades NORD
TOPOGRAPHIE	Milieu à bas de versant
STATION	Bonne fertilité sur marne ou lithosol
SURFACE TERRIÈRE	24 ± 4 m²/ha
DENSITÉ	229 ± 47 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	38 ± 4 cm
HAUTEUR DOMINANTE	26,2 ± 2,4 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	118 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2018 (13 m²/ha – 35 % 156 tiges/ha

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 12 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)



Couvert strate muscinale (%)	31 ± 12 %
Couvert strate herbacée (%)	38 ± 13 %
Couvert strate arbustive (%)	40 ± 14 %

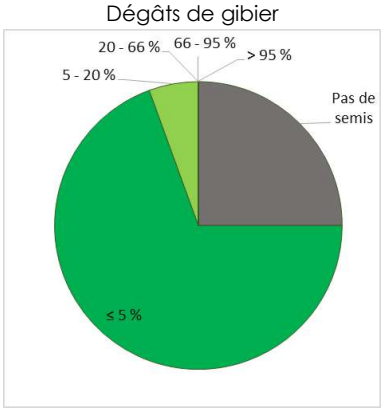
❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Consignes de l'aménagement : RD en 2022

Bilan : La coupe d'ensemencement étant récente, il est trop tôt pour préjuger de l'évolution de la régénération. Sur toute la partie amont de la piste, la dynamique de régénération est bonne avec plus de 5 000 semis/ha de moins de 10 cm. Cependant, cette zone correspond souvent à des éboulis, et il paraît peu probable que les semis parviennent à s'implanter durablement. Le recours à la plantation sera nécessaire si la pente et les rochers les en empêchent.

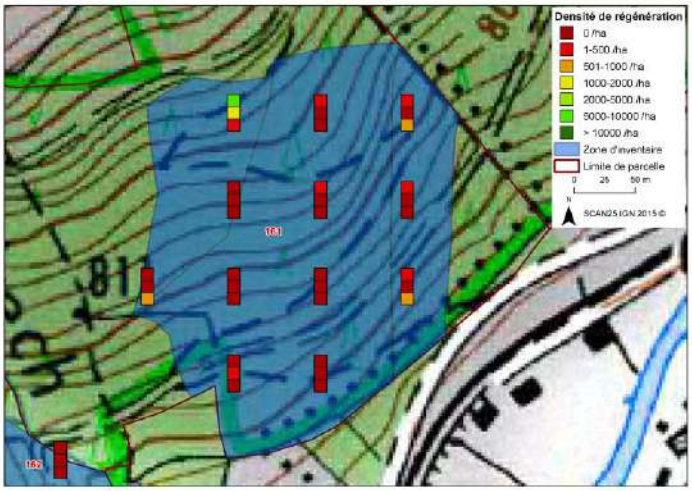
Sur la partie aval de la piste, les sols sont plus favorables mais la dynamique est moins bonne. Si elle ne se relance pas suite à la coupe, il sera sans doute nécessaire d'éclaircir le sous-étage arbustif assez dense.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 161

❖ CARTOGRAPHIE

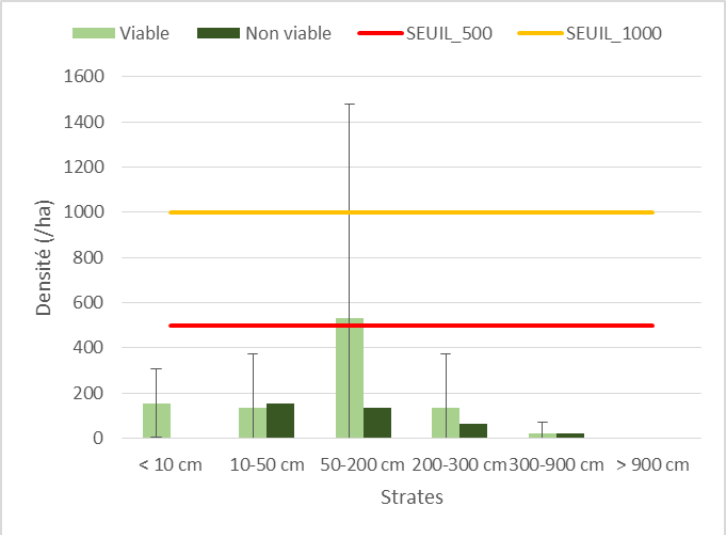


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

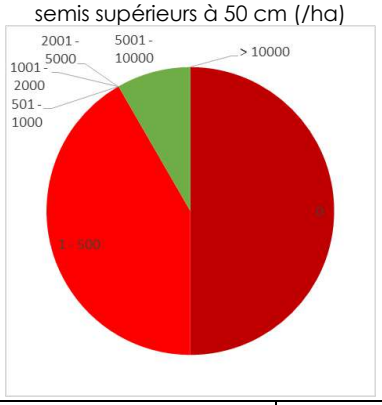
SURFACE	6,59 ha
PENTE MOYENNE	56 ± 5 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	162 ± 16 grades SUD
TOPOGRAPHIE	Milieu à bas de versant
STATION	Bonne fertilité de versant
SURFACE TERRIÈRE	20 ± 5 m²/ha
DENSITÉ	154 ± 59 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	42 ± 3 cm
HAUTEUR DOMINANTE	24,7 ± 1,7 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	150 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en, 2018 (13 m²/ha – 39 % 91 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 12 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)



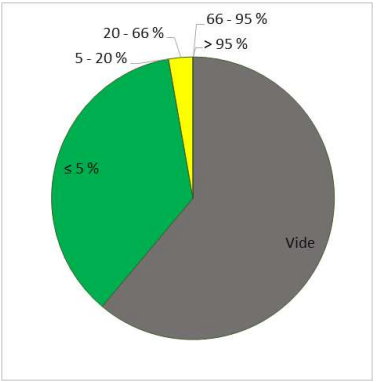
Couvert strate muscinale (%)	9 ± 4 %
Couvert strate herbacée (%)	34 ± 12 %
Couvert strate arbustive (%)	57 ± 9 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Consignes de l'aménagement : RD en 2022

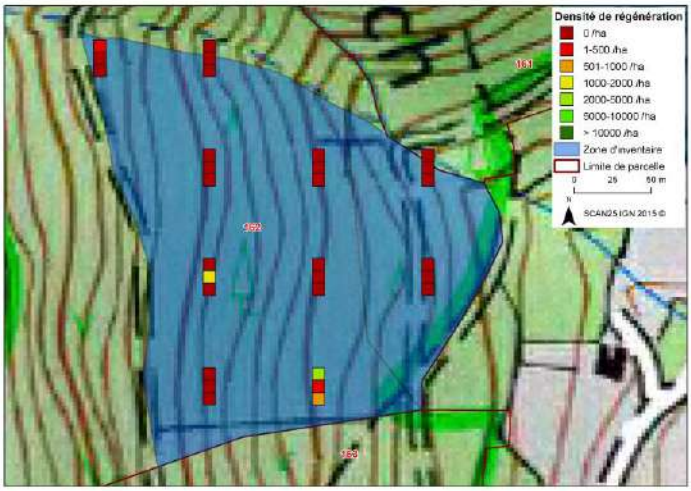
Bilan : Le peuplement ne présente pas une dynamique de régénération très importante, et la régénération en place est très peu dense. La coupe d'ensemencement venant d'avoir lieu, il convient de laisser au peuplement le temps de réagir, même si *a priori* la densité de régénération de moins de 10 cm ne s'améliorera pas, et le peu de semis qui parviendront à s'installer seront grillés par l'effet de versant Sud et le moindre couvert forestier. Cette parcelle risque de suivre la même évolution que la parcelle 162 avoisinante. Un recours à la plantation serait donc peut être nécessaire dans quelques années, mais ne serait pas bénéfique pour les sols du fait de la forte pente. L'aménagement prévoyait la coupe définitive en 2022 mais la coupe d'ensemencement a été réalisée avec 2 ans de retard, cela laisserait donc 6 ans à la régénération pour s'installer, au-delà il semble inutile de s'acharner du fait de la combinaison de facteurs défavorables à l'installation de la régénération : versant Sud, pente forte et couvert arbustif.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 162

❖ CARTOGRAPHIE

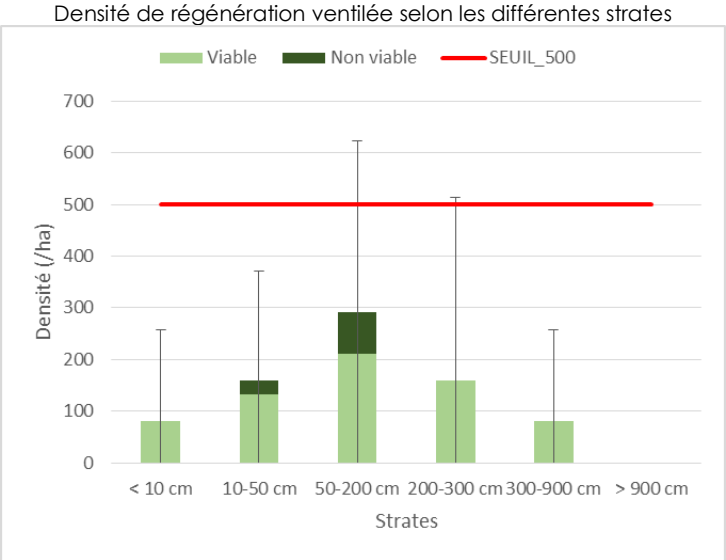


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

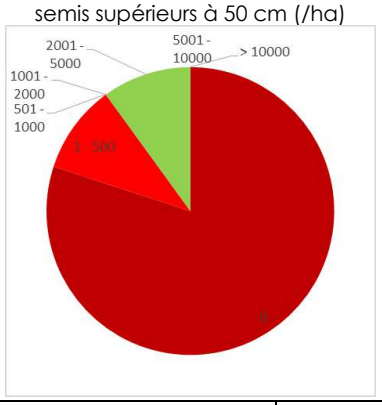
SURFACE	4,65 ha
PENTE MOYENNE	64 ± 11 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	86 ± 10 grades EST
TOPOGRAPHIE	Milieu à bas de versant
STATION	Très bonne fertilité sur versant frais
SURFACE TERRIÈRE	25 ± 5 m²/ha
DENSITÉ	195 ± 59 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	41 ± 4 cm
HAUTEUR DOMINANTE	27,6 ± 2,4 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	150 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE & PA en, 2012 (12 m²/ha – 32 % 97 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 10 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)



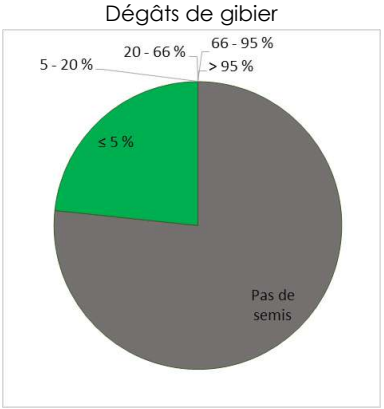
Couvert strate muscinale (%)	13 ± 9 %
Couvert strate herbacée (%)	22 ± 17 %
Couvert strate arbustive (%)	48 ± 19 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Consignes de l'aménagement : RD en 2017

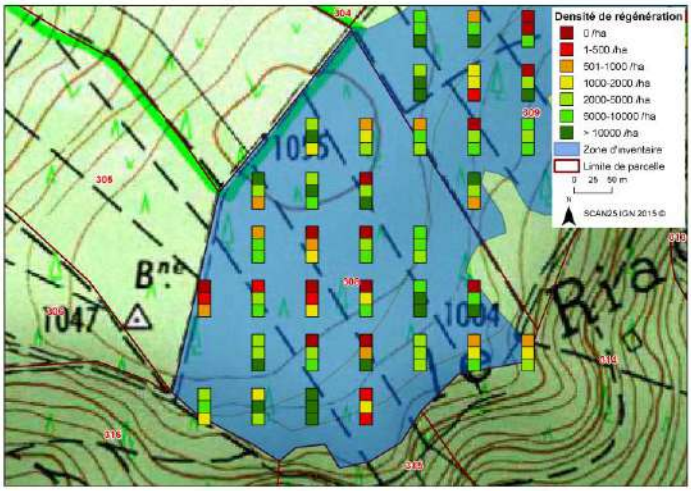
Bilan : La coupe d'ensemencement a eu lieu il y a 6 ans, mais depuis la régénération ne semble pas s'être particulièrement développée. Les conditions de forte pente ne sont pas favorables à son installation, et la strate arbustive abondante par endroit n'améliore pas la situation. Si dans deux ans la régénération ne s'est pas améliorée, il faudrait penser à la plantation ou à la conversion du peuplement, celui-ci fixant les sols sur le versant.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 308

❖ CARTOGRAPHIE

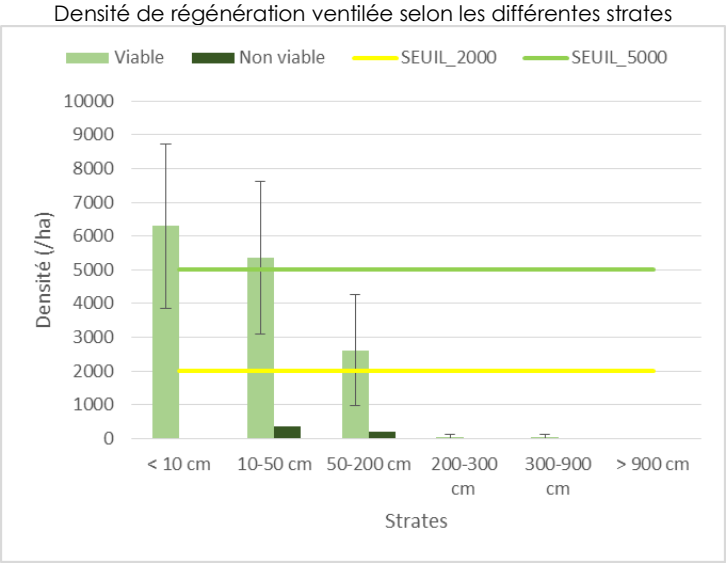


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

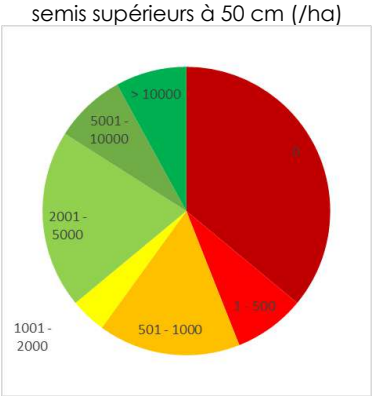
SURFACE	15,33 ha
PENTE MOYENNE	13 ± 4 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	133 ± 29 grades EST
TOPOGRAPHIE	Plateau
STATION	Plateau
SURFACE TERRIÈRE	35 ± 5 m²/ha
DENSITÉ	251 ± 37 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	42 ± 1 cm
HAUTEUR DOMINANTE	24,1 ± 1,1 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	111 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2017 (14 m²/ha – 29 % 132 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 25 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

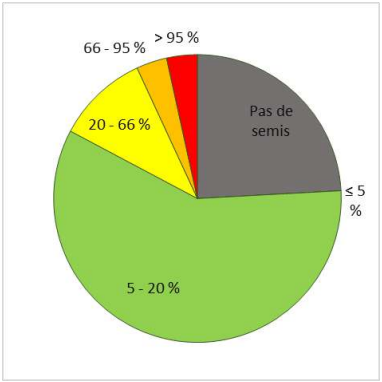


Couvert strate muscinale (%)	19 ± 20 %
Couvert strate herbacée (%)	26 ± 22 %
Couvert strate arbustive (%)	30 ± 21 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

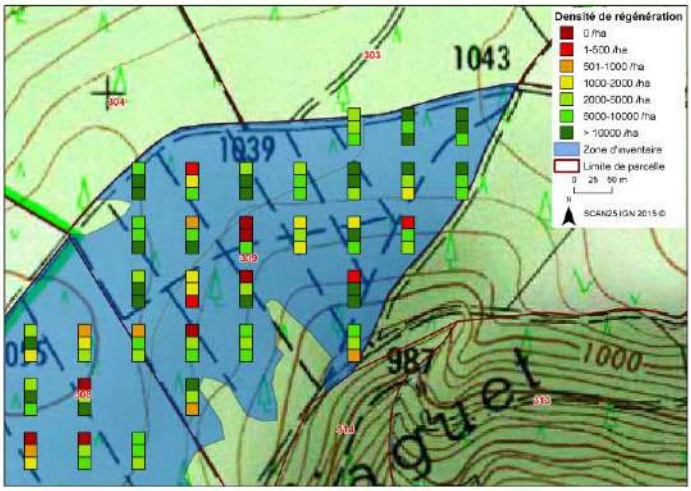
Consignes de l'aménagement : RD en 2021
Bilan : La coupe d'ensemencement ayant été réalisée au cours de l'hiver 2017, il est trop tôt pour préjuger de la réaction de la régénération. L'aménagement prévoyant la coupe définitive à l'état d'assiette de 2021, cela laisse une rotation pour que la régénération se développe davantage.
La dynamique de la régénération inférieure à 50 cm est bonne sauf dans le centre de la parcelle où les strates arbustive et herbacée sont particulièrement développées, mais cela pourrait s'améliorer en opérant localement à un travail du sol. Si cela ne s'améliore pas, deux solutions seraient envisageables : passer en définitive et recourir à des compléments de régénération dans les zones non régénérées, ou ajouter une rotation dans les zones non régénérées en poursuivant l'initiative d'ouverture des lisières et des trouées de la tempête de 1999 qui semble fonctionner. Cette dernière option semble préférable, d'autant que la surface terrière est encore élevée.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 309

❖ CARTOGRAPHIE

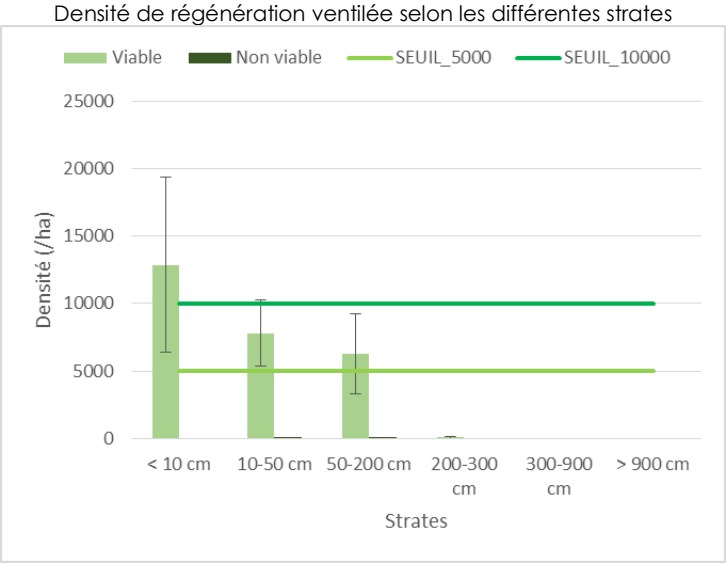


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

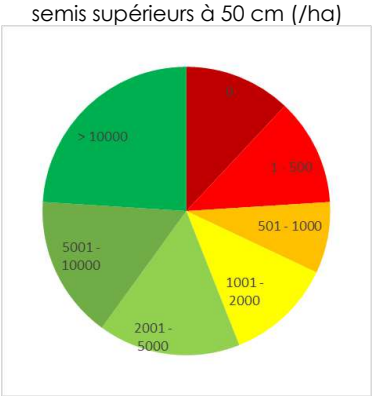
SURFACE	14,26 ha
PENTE MOYENNE	13 ± 3 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	114 ± 32 grades EST
TOPOGRAPHIE	Plateau
STATION	Plateau
SURFACE TERRIÈRE	41 ± 4 m²/ha
DENSITÉ	305 ± 29 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	41 ± 1 cm
HAUTEUR DOMINANTE	25,4 ± 1,0 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	111 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2014 (10 m²/ha – 20 % 108 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 25 placeaux)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)



Couvert strate muscinale (%)	15 ± 6 %
Couvert strate herbacée (%)	34 ± 10 %
Couvert strate arbustive (%)	25 ± 10 %

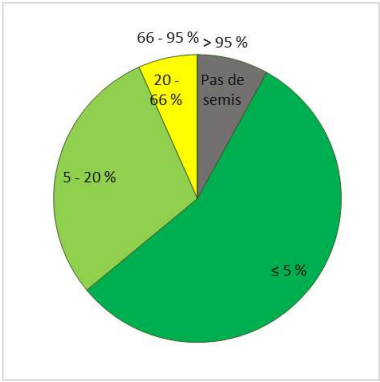
❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Consignes de l'aménagement : RS en 2018 (14 m²/ha – 34 % – 120 tiges/ha) + RD en 2023

Bilan : Près de la moitié des placeaux effectués présentent une régénération satisfaisante, et seul un quart reste critique. Toutefois, la dynamique de la régénération de moins de 50 cm est bonne, ce qui est encourageant pour le futur. La surface terrière reste élevée, mais une coupe secondaire a été martelée en 2018, ce qui devrait favoriser la dynamique de la régénération.

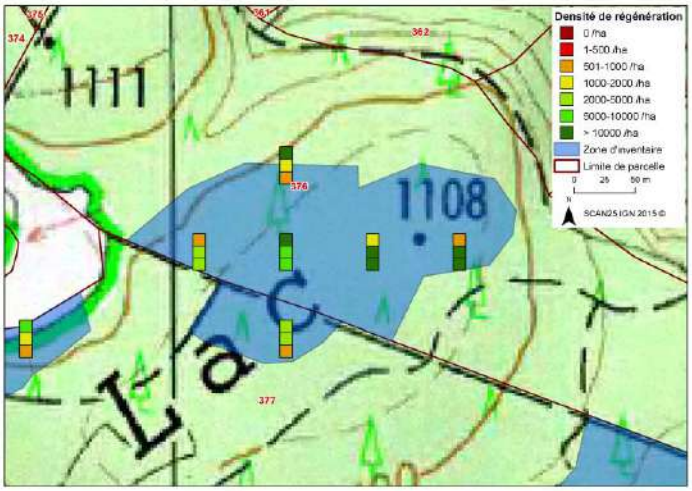
L'aménagement prévoit une définitive en 2023, ce terme ne devrait pas être dépassé pour ne pas trop retarder la mise en lumière des zones bien régénérées. De plus, il faudra veiller à limiter au maximum les dégâts sur la régénération lors des exploitations, en s'appuyant sur le réseau de cloisonnements existant.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 376

❖ CARTOGRAPHIE

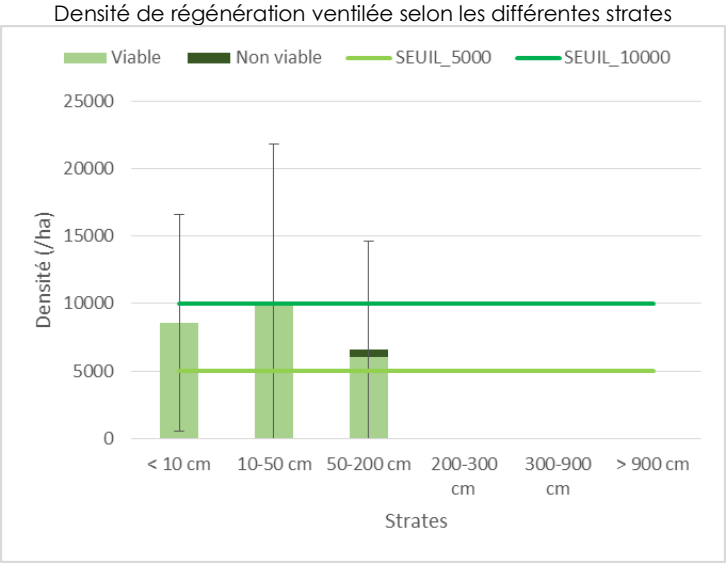


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

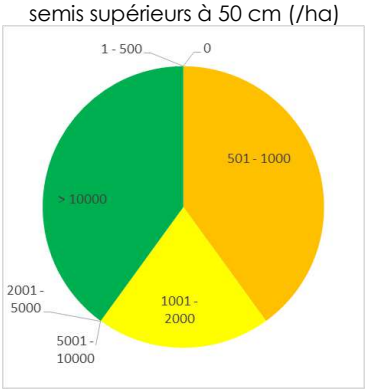
SURFACE	5,14 ha
PENTE MOYENNE	9 ± 4 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	117 ± 161 grades OUEST
TOPOGRAPHIE	Plateau
STATION	Plateau
SURFACE TERRIÈRE	32 ± 7 m²/ha
DENSITÉ	260 ± 56 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	40 ± 3 cm
HAUTEUR DOMINANTE	26,6 ± 2,0 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	115 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2018 (15 m²/ha – 32 % 154 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 5 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)



Couvert strate muscinale (%)	5 ± 6 %
Couvert strate herbacée (%)	35 ± 30 %
Couvert strate arbustive (%)	14 ± 11 %

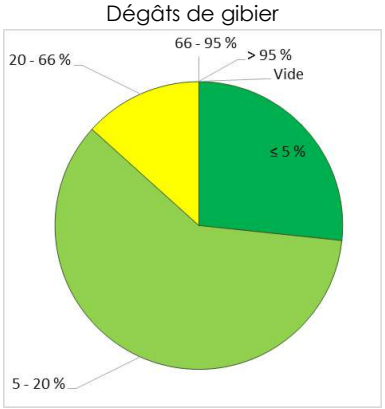
❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Consignes de l'aménagement : RD en 2020

Bilan : La régénération est déjà assurée sur presque la totalité de la surface, alors que la coupe d'ensemencement a eu lieu il y a moins d'un an. La dynamique des strates inférieures à 50 cm est bonne, et les semis devraient pouvoir profiter de la mise en lumière partielle induite par la coupe.

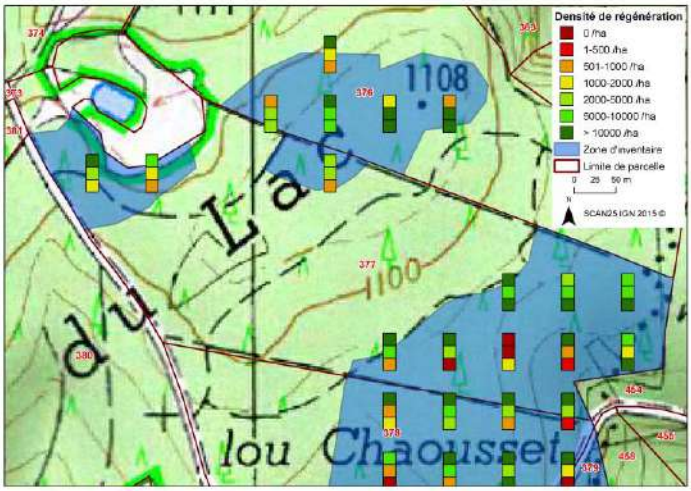
Il ne faudra pas tarder à réaliser la coupe définitive (4-5 ans maximum comme la rotation prévue à l'aménagement) pour ne pas trop pénaliser les semis de plus de 50 cm, en utilisant des cloisonnements dans le but de limiter les dégâts d'exploitation sur la régénération.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 377

❖ CARTOGRAPHIE

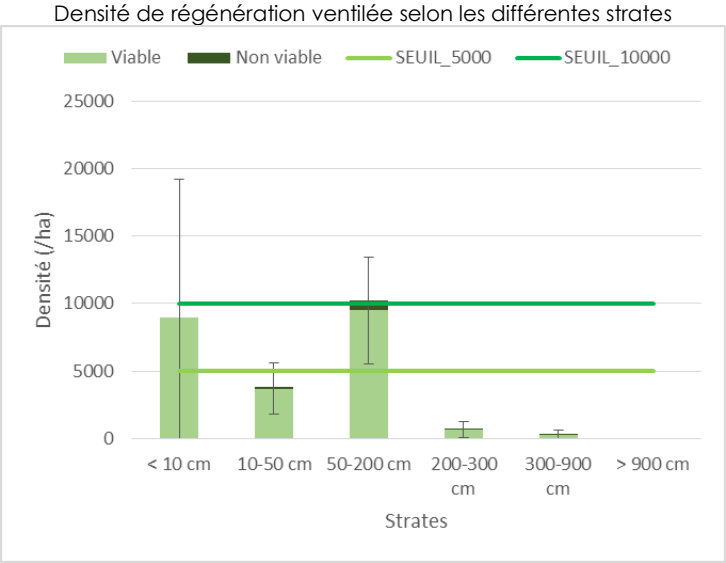


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

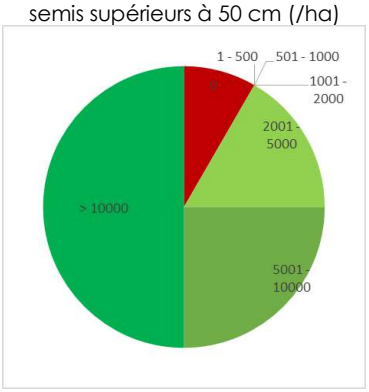
SURFACE	6,38 ha
PENTE MOYENNE	10 ± 4 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	160 ± 25 grades SUD-EST
TOPOGRAPHIE	Plateau
STATION	Plateau
SURFACE TERRIÈRE	27 ± 7 m²/ha
DENSITÉ	183 ± 53 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	44 ± 3 cm
HAUTEUR DOMINANTE	28,0 ± 1,1 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	115 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2018 (18 m²/ha – 40 % 143 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 12 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)



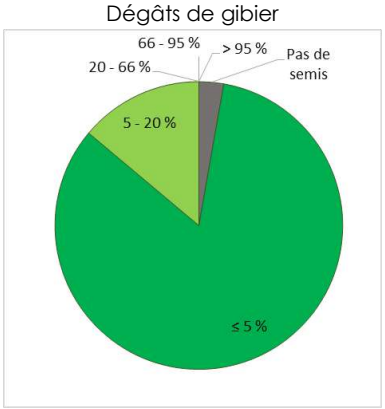
Couvert strate muscinale (%)	12 ± 8 %
Couvert strate herbacée (%)	28 ± 13 %
Couvert strate arbustive (%)	15 ± 13 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Consignes de l'aménagement : RD en 2022

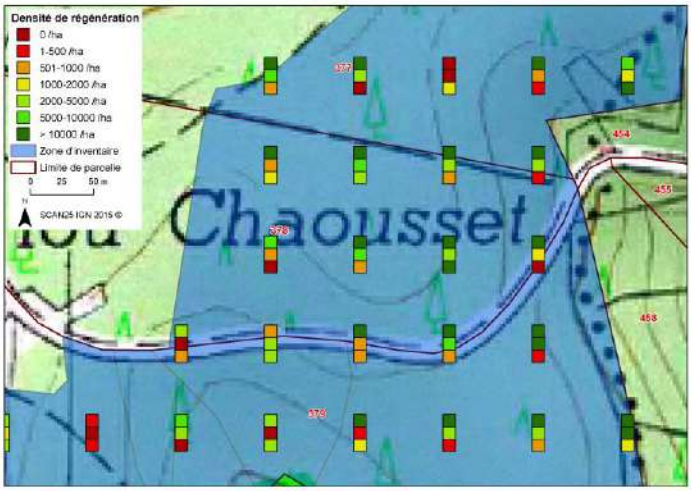
Bilan : La régénération est assurée sur les trois quarts de la surface alors que la coupe d'ensemencement a eu lieu il y a moins d'un an. Il ne faudra de fait pas tarder (4 ans maximum) à passer en coupe définitive afin de ne pas freiner la croissance des semis. La dynamique de régénération du peuplement est bonne et devrait permettre d'ensemencer les zones non régénérées à ce jour sans travaux nécessaires. L'exploitation devra se faire en s'appuyant sur le réseau de cloisonnement existant.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 378

❖ CARTOGRAPHIE

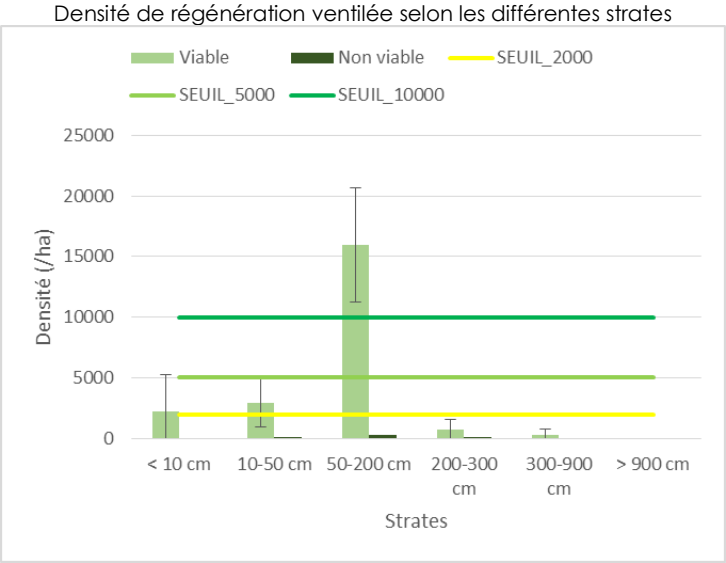


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

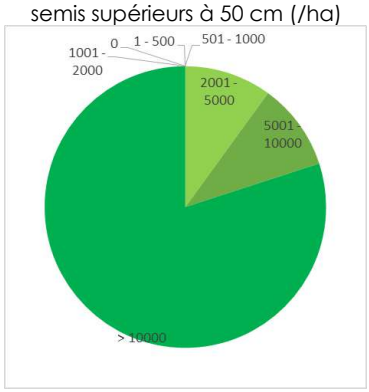
SURFACE	5,14 ha
PENTE MOYENNE	4 ± 3 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	149 ± 26 grades SUD-EST
TOPOGRAPHIE	Plateau
STATION	Plateau
SURFACE TERRIÈRE	29 ± 6 m²/ha
DENSITÉ	200 ± 51 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	43 ± 4 cm
HAUTEUR DOMINANTE	27,6 ± 1,6 m
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2016 (11 m²/ha – 119
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2016 (11 m²/ha – 28 % 119 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 10 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)



Couvert strate muscinale (%)	19 ± 7 %
Couvert strate herbacée (%)	31 ± 13 %
Couvert strate arbustive (%)	18 ± 9 %

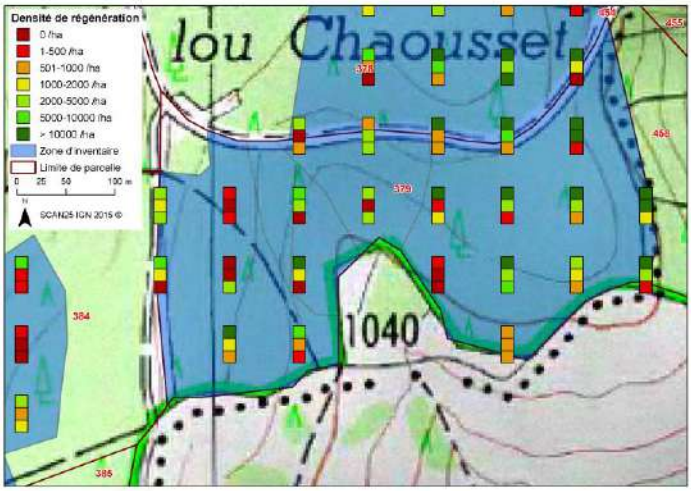
❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Consignes de l'aménagement : RD en 2019
Bilan : La régénération est assurée sur la quasi-totalité de la surface parcourue. L'aménagement prévoit la coupe définitive en 2019, et cette date semble compatible avec l'état de régénération du peuplement. Même si l'ensemencement a eu deux ans de retard, il n'est pas gênant de raccourcir la rotation dans un tel cas, d'autant que la régénération inférieure à 50 cm n'est pas très abondante, si bien qu'il faut davantage favoriser celle de plus de 50 cm. L'exploitation devra se faire en s'appuyant sur le réseau de cloisonnement existant.

Dégâts de gibier

FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 379

❖ CARTOGRAPHIE

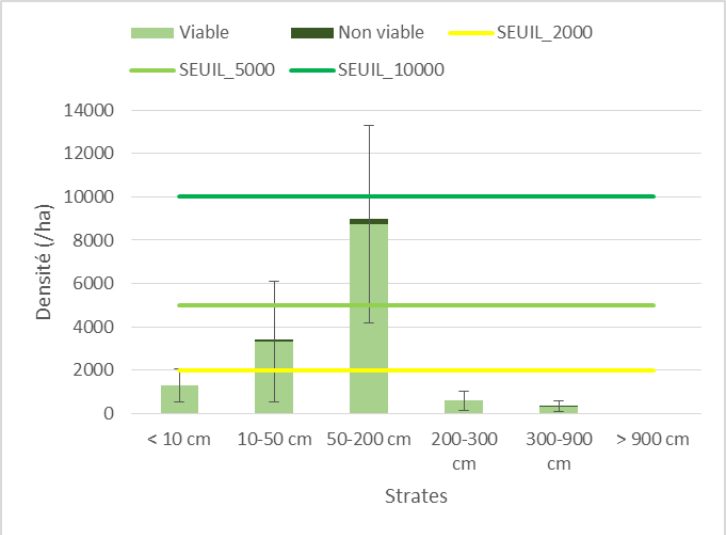


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

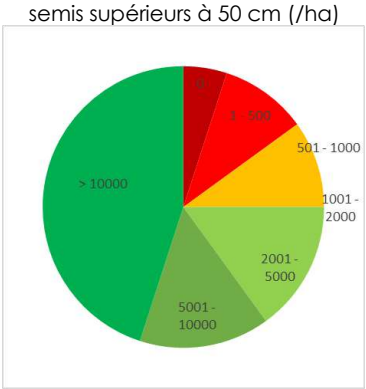
SURFACE	10,39 ha
PENTE MOYENNE	15 ± 4 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	155 ± 25 grades SUD-EST
TOPOGRAPHIE	Plateau
STATION	Plateau
SURFACE TERRIÈRE	35 ± 5 m²/ha
DENSITÉ	233 ± 43 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	45 ± 2 cm
HAUTEUR DOMINANTE	27,2 ± 1,2 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	115 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2016 (25 m²/ha – 42 % 109 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 20 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)



Couvert strate muscinale (%)	18 ± 8 %
Couvert strate herbacée (%)	37 ± 8 %
Couvert strate arbustive (%)	19 ± 9 %

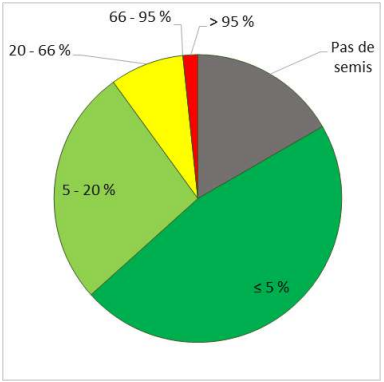
❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Consignes de l'aménagement : RD en 2019

Bilan : La régénération est assurée sur toute la moitié Est de la parcelle, qui pourra passer en coupe définitive en même temps que la parcelle 378, soit en 2019.

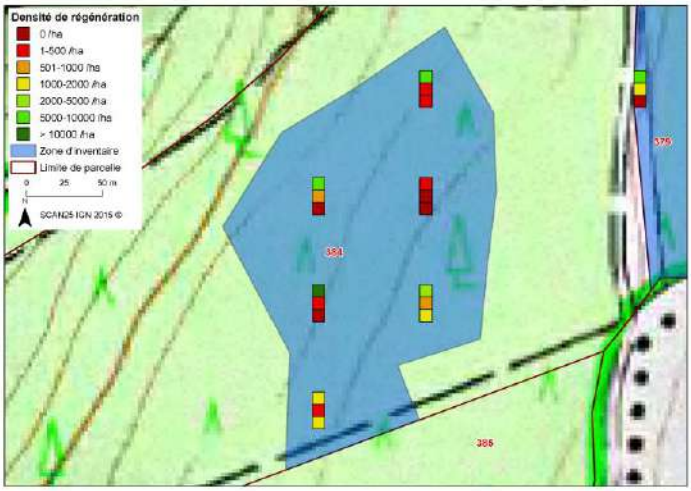
Sur la partie Ouest de la parcelle, la régénération est également abondante sauf au cœur du peuplement où la surface terrière est plus élevée et la concurrence arbustive plus accrue. Il serait donc envisageable soit de passer en coupe cette partie avec le reste de la parcelle en dégradant autant possible la strate arbustive et en pariant sur la banque de graine présente dans le sol (solution la plus logique), soit attendre et opérer à un dégagement du couvert arbustif là où il est le plus important. L'exploitation devra se faire en s'appuyant sur le réseau de cloisonnement existant.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 384

❖ CARTOGRAPHIE

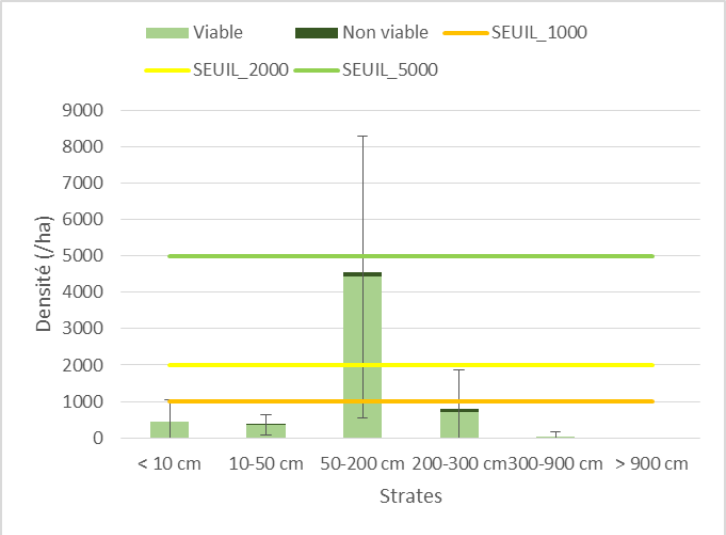


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

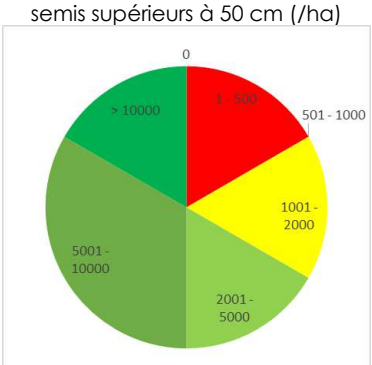
SURFACE	6,53 ha
PENTE MOYENNE	12 ± 7 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	304 ± 150 grades OUEST
TOPOGRAPHIE	Plateau
STATION	Plateau
SURFACE TERRIÈRE	26 ± 6 m²/ha
DENSITÉ	196 ± 37 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	41 ± 2 cm
HAUTEUR DOMINANTE	25,3 ± 2,5 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	111 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2017 (20 m²/ha – 43 % 131 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 6 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)



Couvert strate muscinale (%)	12 ± 12 %
Couvert strate herbacée (%)	50 ± 22 %
Couvert strate arbustive (%)	8 ± 9 %

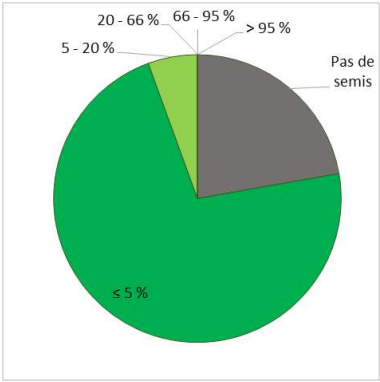
❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Consignes de l'aménagement : RD en 2020

Bilan : La régénération est acquise sur la moitié Nord-Ouest de la zone inventoriée. L'aménagement prévoyant la coupe définitive en 2020, il serait possible de l'avancer pour la grouper avec celles des parcelles 378 et 379, d'autant que l'exploitation est facile sur ce canton. Il faudra veiller à ne pas trop dégrader la régénération en place lors de cette opération, notamment en s'appuyant sur le réseau actuel de cloisonnement.

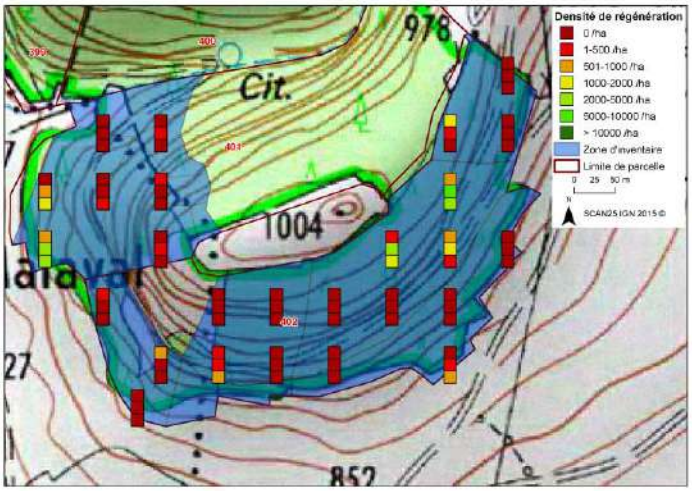
La situation est moins bien engagée sur l'autre moitié, en raison sans doute d'un manque de potentiel régénératif (très peu de semis de moins de 10 cm comptabilisés) et d'un tapis herbacé bien implanté. Un travail du sol local serait peut être bénéfique pour relancer la régénération dans cette zone. Une autre solution serait de recourir à des regarnis pour cette surface.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 401

❖ CARTOGRAPHIE

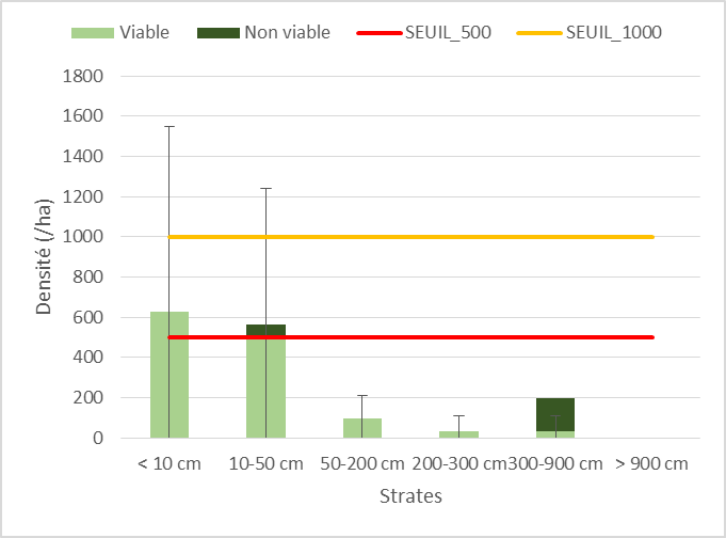


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

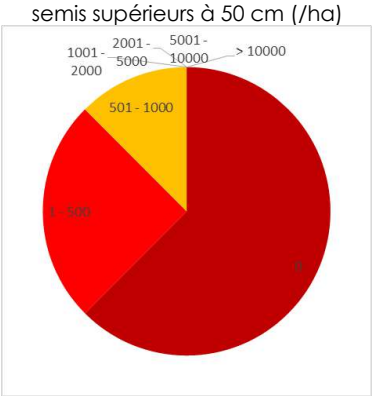
SURFACE	3,89 ha
PENTE MOYENNE	62 ± 8 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	316 ± 36 grades OUEST
TOPOGRAPHIE	Haut à bas de versant
STATION	Très bonne fertilité de versant à lithosol
SURFACE TERRIÈRE	27 ± 4 m²/ha
DENSITÉ	366 ± 81 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	31 ± 4 cm
HAUTEUR DOMINANTE	23,1 ± 3,3 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	128 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2017 (14 m²/ha – 34 % 132 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 8 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

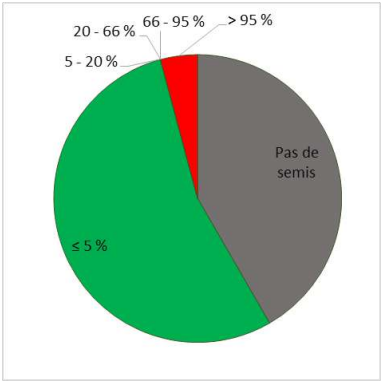


Couvert strate muscinale (%)	31 ± 31 %
Couvert strate herbacée (%)	26 ± 26 %
Couvert strate arbustive (%)	22 ± 22 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

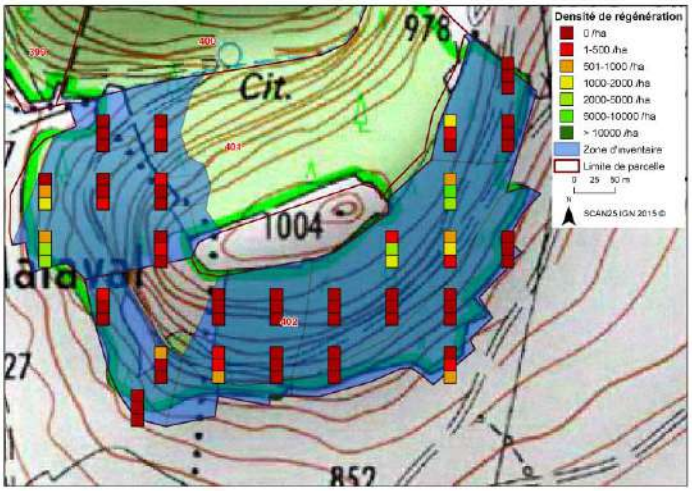
Consignes de l'aménagement : RD en 2021
Bilan : La coupe d'ensemencement ayant été réalisée récemment, il est trop tôt pour préjuger de la réaction de la régénération. Toutefois, la situation est mal engagée (la totalité des placeaux ayant moins de 1000 semis/ha de plus de 50 cm) puisque même les strates de régénération inférieure à 50 cm sont peu présentes.
Cela peut s'expliquer par la très grande zone d'éboulis recouverte de mousse (Hylocomie brillante) en amont de la piste, et par un fort sous-étage feuillu en dessous de la piste. Un travail dans le sous-étage semble difficile à mettre en place du fait de la densité de celui-ci et de l'absence totale de dynamique de régénération. Si aucune régénération ne dépasse les 50 cm d'ici le terme d'exploitabilité, cette impasse mériterait peut-être un recours à la plantation car peuplement de pin existant est de bonne venue. Une récolte en deux temps des semenciers pourrait être envisagée pour laisser une dernière chance à la régénération. Sur l'ébouli, si la plantation est difficile, le chêne devrait naturellement s'installer.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 402

❖ CARTOGRAPHIE

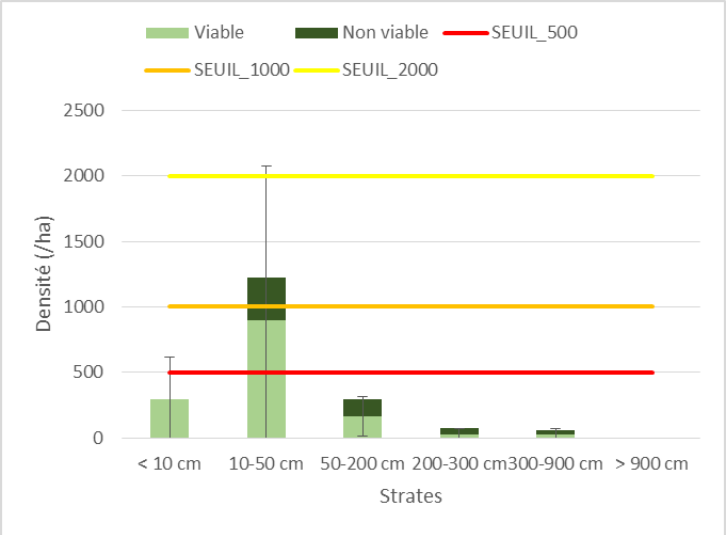


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

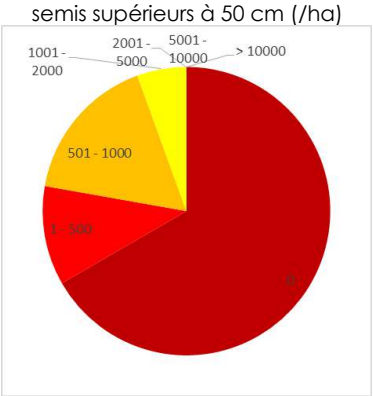
SURFACE	9,31 ha
PENTE MOYENNE	64 ± 5 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	169 ± 18 grades SUD
TOPOGRAPHIE	Haut à milieu de versant
STATION	Fertilité moyenne sur versant frais à sec
SURFACE TERRIÈRE	30 ± 4 m²/ha
DENSITÉ	306 ± 51 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	37 ± 3 cm
HAUTEUR DOMINANTE	21,6 ± 1,6 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	128 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2012 (16 m²/ha – 28 % 137 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 18 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

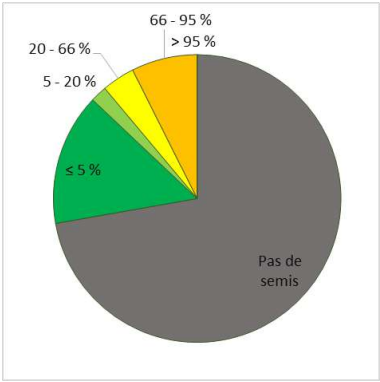


Couvert strate muscinale (%)	1 ± 1 %
Couvert strate herbacée (%)	44 ± 12 %
Couvert strate arbustive (%)	43 ± 11 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

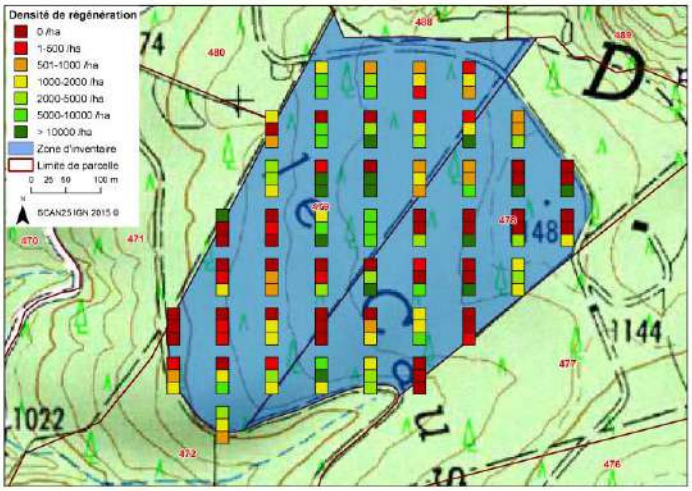
Consignes de l'aménagement : RD en 2021
Bilan : La coupe secondaire (12 m²/ha – 83 tiges/ha) ayant été réalisée récemment (2018), il est trop tôt pour préjuger de la réaction de la régénération. Toutefois, la situation est mal engagée (quasiment la totalité des placeaux ayant moins de 1000 semis/ha de plus de 50 cm) puisque même les strates de régénération inférieure à 50 cm sont peu présentes. Cela pourrait s'expliquer par trois raisons, d'une part l'épais tapis de rémanents recouvrant la moitié inférieure du versant Est, d'autre part la casse dans le peu de régénération présente (presque la moitié des semis de 50 à 200 cm), et enfin par la concurrence des strates arbustive (Cytise) et herbacée (Canche) tout du long du versant Sud. La régénération étant mal engagée, et le contexte de versant Sud à pente moyenne élevée et avec une strate arbustive importante, il sera très certainement nécessaire de recourir à la plantation, au moins pour compléter la régénération présente. Les pins étant actuellement de bonne venue, la production de bois de qualité est possible sur cette parcelle.

Dégâts de gibier



FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 478

❖ CARTOGRAPHIE

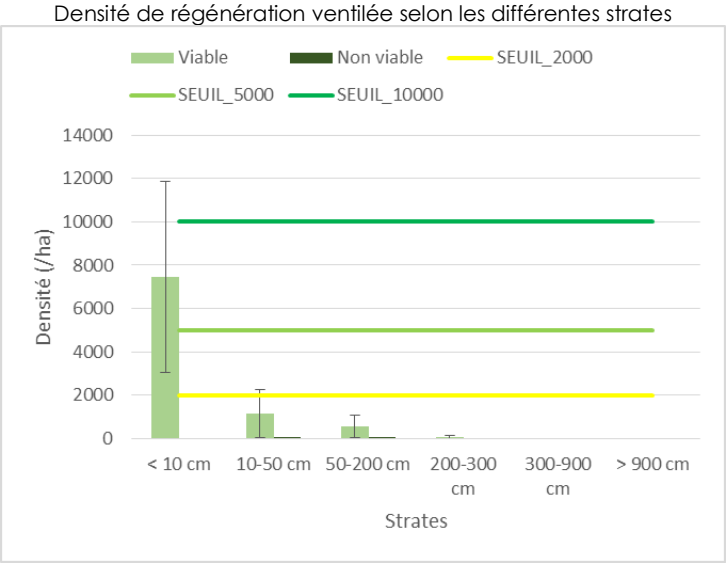


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

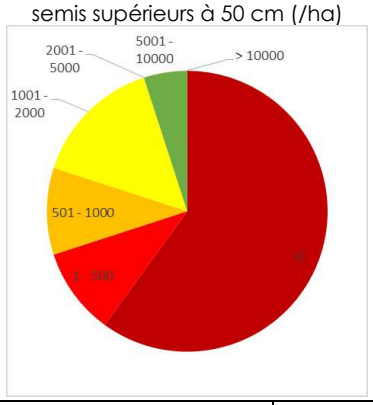
SURFACE	8,86 ha
PENTE MOYENNE	15 ± 6 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	228 ± 56 grades SUD
TOPOGRAPHIE	Plateau
STATION	Plateau
SURFACE TERRIÈRE	33 ± 4 m²/ha
DENSITÉ	200 ± 21 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	46 ± 2 cm
HAUTEUR DOMINANTE	24,2 ± 0,7 m
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2016 (16 m²/ha – 135 tiges/ha)
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2016 (16 m²/ha – 33 % 135 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 20 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



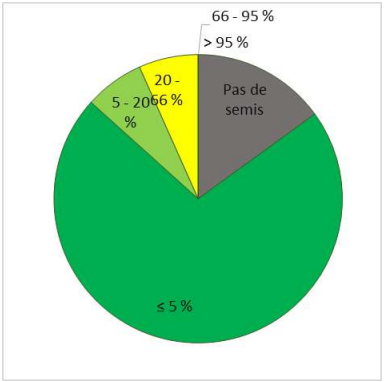
Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)



Couvert strate muscinale (%)	5 ± 3 %
Couvert strate herbacée (%)	57 ± 11 %
Couvert strate arbustive (%)	2 ± 1 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Dégâts de gibier

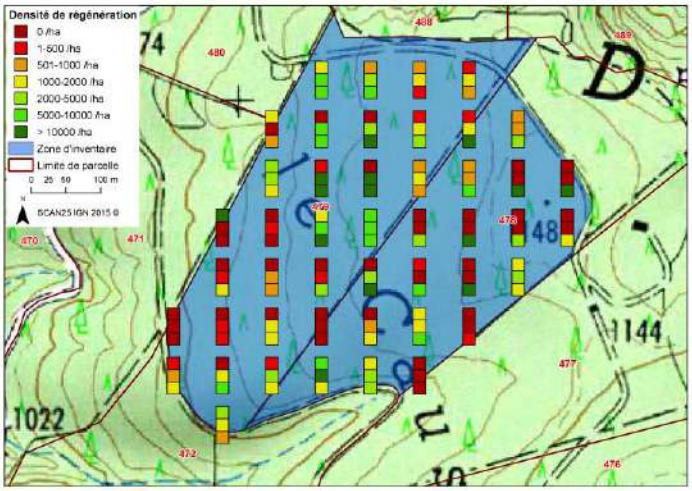


Consignes de l'aménagement : RD en 2020

Bilan : La dynamique de régénération du peuplement est bonne, et la surface terrière encore assez élevée pour favoriser l'installation des semis. Sur la zone travaillée (moitié Nord, comme présenté dans le corps du mémoire au titre 3.1.5), cela devrait se faire rapidement. Il serait intéressant de ne pas travailler la moitié Sud afin de trancher définitivement sur la question des herbacées. L'aménagement prévoit la coupe définitive en 2020, mais cette échéance est trop proche. Une coupe secondaire pourrait être prévue à cette date si la régénération de moins de 10 cm s'est bien installée afin de favoriser sa croissance (elle peut être localisée à ces seules zones), puis la définitive serait à prévoir environ 4 ans plus tard.

FORÊT DOMANIALE DE MENDE
PARCELLE 479

❖ CARTOGRAPHIE

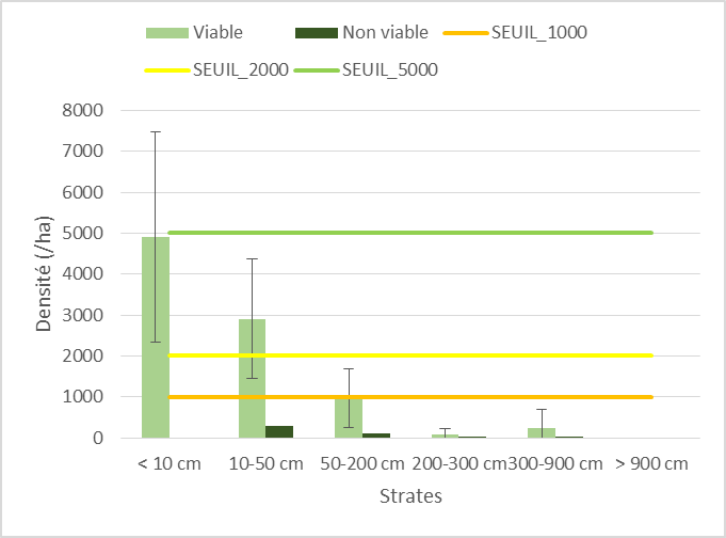


❖ CONTEXTE & PEUPLEMENT

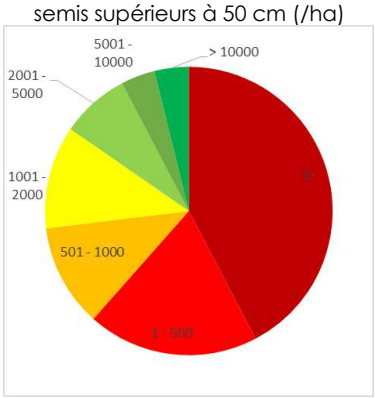
SURFACE	12,75 ha
PENTE MOYENNE	12 ± 1 %
ORIENTATION GÉNÉRALE	292 ± 25 grades OUEST
TOPOGRAPHIE	Plateau
STATION	Plateau
SURFACE TERRIÈRE	28 ± 4 m²/ha
DENSITÉ	193 ± 40 tiges/ha
DIAMÈTRE MOYEN	45 ± 3 cm
HAUTEUR DOMINANTE	24,1 ± 0,8 m
ÂGE DU PEUPLEMENT	121 ans
HISTORIQUE DU TRAITEMENT	RE en 2012 (16 m²/ha – 29 % 137 tiges/ha)

❖ RÉGÉNÉRATION (étude sur 26 placettes)

Densité de régénération ventilée selon les différentes strates



Proportion de placeaux régénérés selon différents seuils de densité de semis supérieurs à 50 cm (/ha)

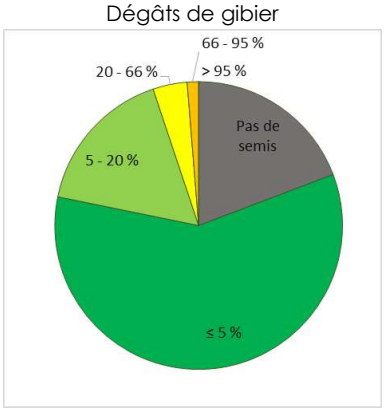


Couvert strate muscinale (%)	8 ± 5 %
Couvert strate herbacée (%)	56 ± 9 %
Couvert strate arbustive (%)	2 ± 1 %

❖ PROPOSITION SYLVICOLE

Consignes de l'aménagement : RD en 2017 (transformée en RS réalisée en 2018 : 12 m²/ha – 30 % – 83 tiges/ha)
Bilan : La dynamique de régénération du peuplement n'est pas mauvaise. Un travail du sol par grattage comme dans la parcelle 478 pourrait toutefois être bénéfique car la densité de semis n'est pas très élevée. Toutefois, une coupe secondaire vient tout juste d'être réalisée, le grattage du sol par l'exploitation pourrait donc suffire à cela, et l'abaissement du capital devrait favoriser l'évolution des semis vers les strates supérieures.
La définitive était prévue en 2017, et elle a été remplacée par la coupe secondaire déchargée en 2018, ainsi la coupe définitive pourrait être programmée 4 à 6 ans après la secondaire, soir en 2023-2024, selon l'avancée de la régénération.

Dégâts de gibier



ANNEXE M

-

Tableaux de synthèse des régressions sur la densité de régénération de 10 à 50 cm et de plus de 50 cm

Synthèse des régressions sur la densité de régénération de 10 à 50 cm						
Code	Variable	Régénération de 10 à 50 cm				
		linéaire sans les 0	quasi-poisson	neg-bin	hurdle-count	hurdle-binomial
INTERCEPT	Terme constant	1,43E+01	1,37E+01	1,61E+01	1,06E+01	2,18E+01
PEN	Pente	-1,48E+00	-2,54E+00	-3,06E+00		
COS_EXP	Cosinus de l'exposition		-3,12E-01	-4,67E-01		-1,06E+00
SIN_EXP	Sinus de l'exposition		4,49E-01		2,86E-01	
TOP	Topographie		variable		variable	variable
STA	Station	variable	variable	variable	variable	variable
G_TOT	Surface terrière		8,16E-02			
G_TOT^2	Surface terrière (carré)		-1,17E-03			
H.0	Hauteur dominante					
TOT_MOU	Couvert muscinal					
TOT_HER	Couvert herbacé	-7,55E-01		-1,78E+00	-9,41E-01	-2,31E+00
TOT_ARB	Couvert arbustif	-2,33E+00	-3,32E+00	-4,90E+00	-2,75E+00	-4,58E+00
TOT_BLO	Couvert des blocs			-8,99E+00		-1,64E+01
TOT_CAI	Couvert des éboulis					
TOT_REM	Couvert des rémanents					
DUR	Durée écoulée depuis la coupe		1,12E-01	1,48E-01	8,79E-02	2,62E-01
PRE_PAR_REL	Prélèvement relatif	-9,36E+00				
$PRE_PAR_REL^2$	Prélèvement relatif (carré)				-3,72E+01	
PRE_PAR_ABS	Prélèvement absolu					
$PRE_PAR_ABS^2$	Prélèvement absolu (carré)					
AGE_PPT	Âge du peuplement	-3,09E-02	-2,97E-02	-6,28E-02	-3,34E-02	

Synthèse des régressions sur la densité de régénération de 10 à 50 cm						
Code	Variable	Régénération de plus de 50 cm				
		linéaire sans les 0	quasi-poisson	neg-bin	hurdle-count	hurdle-binomial
INTERCEPT	Terme constant	9,59E+00	1,62E+01		1,68E+01	
PEN	Pente	-1,96E+00	-3,71E+00		-2,95E+00	
COS_EXP	Cosinus de l'exposition	-3,49E-01	-3,01E-01		-2,98E-01	
SIN_EXP	Sinus de l'exposition	4,17E-01	4,46E-01		4,29E-01	
TOP	Topographie		variable		variable	
STA	Station		variable			
G_TOT	Surface terrière	5,65E-02				
G_TOT²	Surface terrière (carré)	-1,30E-03				
H.0	Hauteur dominante					
TOT_MOU	Couvert muscinal					
TOT_HER	Couvert herbacé	-2,74E+00	-2,34E+00		-2,39E+00	-3,43E+00
TOT_ARB	Couvert arbustif	-2,32E+00	-3,08E+00		-2,73E+00	-3,54E+00
TOT_BLO	Couvert des blocs		-5,49E+00			-9,44E+00
TOT_CAI	Couvert des éboulis	-2,07E+00	-2,39E+00		-1,61E+00	-2,92E+00
TOT_REM	Couvert des rémanents	-3,64E+00	-2,74E+00		-3,32E+00	-5,07E+00
DUR	Durée écoulée depuis la coupe					
PRE_PAR_REL	Prélèvement relatif					
PRE_PAR_REL²	Prélèvement relatif (carré)					
PRE_PAR_ABS	Prélèvement absolu		-5,88E-01			
PRE_PAR_ABS²	Prélèvement absolu (carré)		1,47E-02			
AGE_PPT	Âge du peuplement		-3,38E-02		-2,94E-02	