

RAPPORT DE STAGE :

Comment la mesure de caractères phénotypiques d'arbres forestiers permet elle d'étudier la croissance du bois?



Introduction générale

J'ai effectué mon stage à l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) au sein de l'unité d'amélioration génétique et physiologie forestière. Ce stage de découverte m'a fait explorer trois thématiques légèrement différentes, avec trois modèles différents : le mélèze (*Larix sp.*), le pin maritime (*Pinus pinaster*) et le peuplier (*Populus sp.*). Le point commun de ces thématiques a été d'observer des caractères phénotypiques pour comprendre le comportement du bois face aux stress ou simplement d'étudier sa croissance afin de produire de la biomasse rapidement. Les différentes observations effectuées sont des mesures de diamètre et de hauteur sur des arbres sur pied, ou sur rondelles, ainsi que des mesures de densités de cernes de bois.

La demande en énergie et en matières premières ne cessant d'augmenter, il est utile et intéressant de porter son attention sur la production rapide de biomasse, surtout en bois. Le peuplier se prête bien à cette fonction ayant une croissance très rapide.

La sécheresse de 2003, dans certaines régions de France, a entraîné beaucoup de dépérissements au sein des forêts. Cette sécheresse est aussi un facteur limitant dans la croissance des arbres. Il est prédit que des épisodes de sécheresse tel que celui de 2003 soient de plus en plus fréquents et de plus en plus intenses (Meehl et Tebaldi, 2004). C'est pourquoi il est intéressant d'étudier le comportement des arbres en cas de sécheresse, pour pouvoir par exemple faire de la sélection variétale lors des plantations. Nous nous pencherons sur le cas du Pin maritime.

Le mélèze est bien implanté dans le milieu alpin, c'est un arbre résistant et productif, qui est utilisé en menuiserie ou pour des toitures, car son bois est imputrescible. Ceci justifie que des recherches soient menées sur sa croissance et la qualité de son bois.

Dans un premier temps, nous aborderons la thématique autour du mélèze, puis les résultats qui ont été trouvés lors de ce stage. Nous ferons de même pour le pin maritime puis le peuplier.

Remerciements

Je tiens à remercier toute l'équipe "forêt" de l'INRA, pour m'avoir accueilli, intégré à l'équipe et pour sa bonne ambiance.

Je remercie spécialement, tout d'abord Philippe Rozenberg de m'avoir pris en stage si rapidement, d'avoir eu la patience de tout m'expliquer, et de m'avoir formé sur différents sujets. Je souhaite aussi remercier Maxime Nardin, Frédéric Millier et Sara Marin pour m'avoir aidé à m'intégrer et avoir répondu à toutes mes questions. Je remercie Luc Pâques et Jean-Paul Charpentier pour m'avoir permis de voyager et découvrir les joies du terrain (et les techniques) à Peyrat comme à Heidelberg.

Ensuite je remercie Vincent Segura et Catherine Bastien pour avoir répondu à mes questions et aiguillé dans mes choix.

Merci à Baptiste, Joseph et Maxime pour les repas et les cafés, et bon courage pour la suite.

Enfin, merci à Marie Anne, pour les démarches, les vieilles photos et sa bonne humeur.

Table des matières

➤ Introduction générale	P. 1
➤ Remerciements	P.2
➤ Table des matières	P.3
➤ 1 Mélèze	
1.1 Présentation du projet	P.4
1.2 Résultats et interprétations	P.5
1.3 Conclusion	P.6
➤ 2 Pin maritime	
2.1 Présentation du projet et dispositif	P.7
2.2 Résultats et interprétations	P.7
2.3 Conclusion	P.9
➤ 3 Peuplier	
3.1 Présentation du projet et analyses	P.10
3.2 Résultats et interprétations	P.10
3.3 Conclusion	P.12
➤ Conclusion générale	P.12
➤ Bibliographie	P.12

1. Mélèze

1.1 Présentation du projet

Ce dispositif est constitué de mélèzes d'Europe, de mélèzes du Japon et des mélèzes hybrides, (hybridés suivant un plan de croisement diallèle) à partir de 9 parents européens et 9 parents japonais, et leurs réciproques. Les descendants ont été copiés sur 4 sites naturels et un sous serre. Le but est d'étudier l'hétérosis¹, les effets de réciprociétés dans les croisements et essayer de les prédire. La croissance, l'architecture et la qualité du bois sont ainsi étudiées.

Pour étudier la qualité du bois, des carottes ont été prélevées dans les mélèzes plusieurs fois depuis le début de l'expérience (Fig. 2).

Les carottes de bois, après récolte, sont séchées puis sciées pour en faire de fines planchettes. Ces planchettes sont radiographiées ce qui permet après avoir scanné ces radios, d'être interprétées grâce au logiciel WinDENDRO©. J'ai donc travaillé sur la mesure de densité d'une partie des carottes prélevées sur un des sites en 2011. Le logiciel permet de placer les limites de cernes et de mesurer la densité du bois grâce à une échelle de teinte.

J'ai ainsi obtenu 148 profils de densité que j'ai ensuite importés sous R (logiciel de traitement statistique).

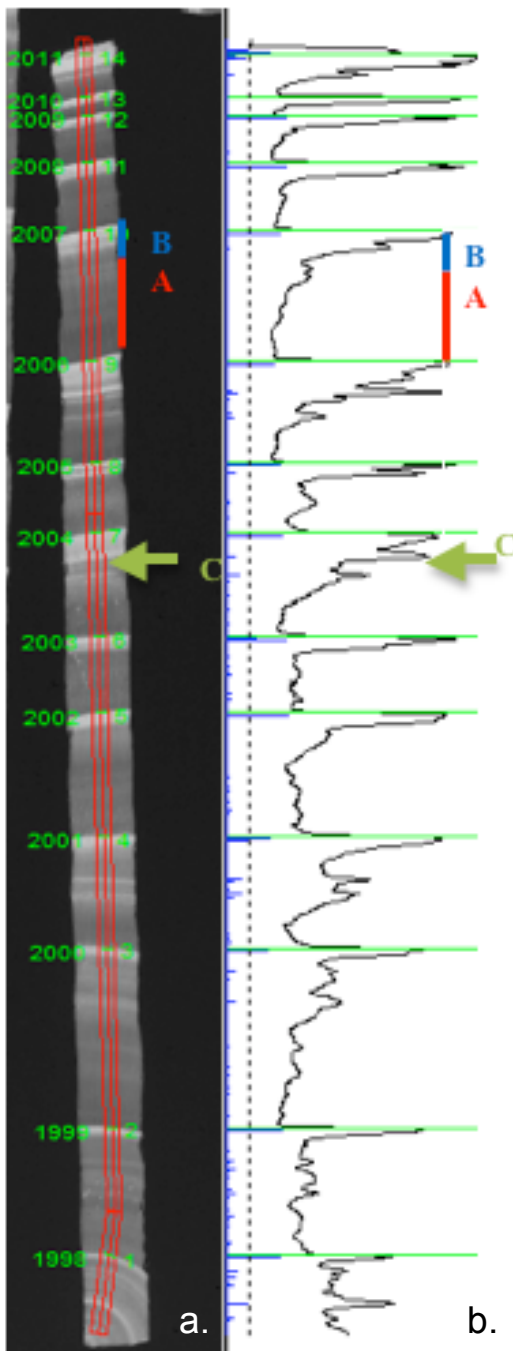
L'unité va acheter un nouvel appareil, la LignoStation© (que j'ai eu la chance d'aller essayer en Allemagne au cours de mon stage), qui par un procédé différent pourra aussi placer les limites de cernes et la densité du bois. L'avantage de cet outil est que les actions sont plus automatisées (pour peut être un gain de temps), n'utilise pas la radiographie (qui est de plus en plus soumise à des règles strictes) et donne des profils sur des échantillons qu'il était impossible de traiter avec l'ancienne méthode (trop de cernes trop proches, résidus de résine). Les carottes après séchage, sont collées directement sur des supports en bois, puis placées dans l'appareil, les carottes sont fraisées pour obtenir un état de surface le plus lisse possible. Ensuite une sonde glisse le long de la carotte, envoyant un léger courant électrique qui est lu par une seconde sonde, permettant d'acquérir le profil densitométrique.

1

Hétérosis : Du point de vue de l'améliorateur, désigne les individus au sein d'une population d'hybrides interspécifiques, dit « supérieurs » c'est-à-dire ayant des caractères améliorés par rapport aux lignées pures.

1.2 Résultats et interprétations

Je n'ai pas beaucoup contribué à cette étude, j'ai plus effectué une exploration de données me permettant d'acquérir et de pratiquer les techniques de mesure de densité à partir de carottes de mélèze. Ces données m'ont également permis de m'entraîner à l'analyse statistique sous R avec des données moi-même recueillies.



La figure 1.a est un extrait d'une radiographie de planchette de mélèze, avec les limites de cernes placés sous WinDENDRO. L'image 1.b est le profil densitométrique correspondant. Le bois initial à une densité inférieure et se trouve donc comme dans la partie A et le bois final beaucoup plus dense, la partie B. Une zone de bois initial et une zone de bois final sont produites chaque année. Les phases arrêts-reprises de croissance sont visibles à ce qu'on appelle des "faux cernes" (comme le point C). Ces faux cernes sont donc des pics de densité marquant normalement la fin de la croissance pour l'année, mais un évènement fait que la croissance reprend cette même année. Ceci peut rendre difficile l'analyse des cernes.



Figure 2 : Carotte de Mélèze.

Figure 1 : Radiographie de planchette de Mélèze et profil densitométrique.

Parmi les analyses que j'ai effectuées, je tenais à présenter ce graphique (Fig. 3), car il est assez représentatif du travail accompli. Pour ce graphique nous avons réduit la courbe de densité de chaque arbre aux valeurs de densité de 20 points par cerne. Nous avons ensuite fait la moyenne de chaque point cerne par cerne et pour tous les individus, ce qui nous permet de voir la densité moyenne par cerne. Nous pouvons donc observer que généralement la courbe a toujours la même tendance, avec un bois initial peu dense par rapport au bois final. Mais en comparant les cernes entiers on voit que les premiers cernes (ceux des premières années de l'arbre) font du bois moins dense que les derniers. C'est à dire que quand l'arbre est jeune il fait du bois moins dense que lorsqu'il est plus âgé.

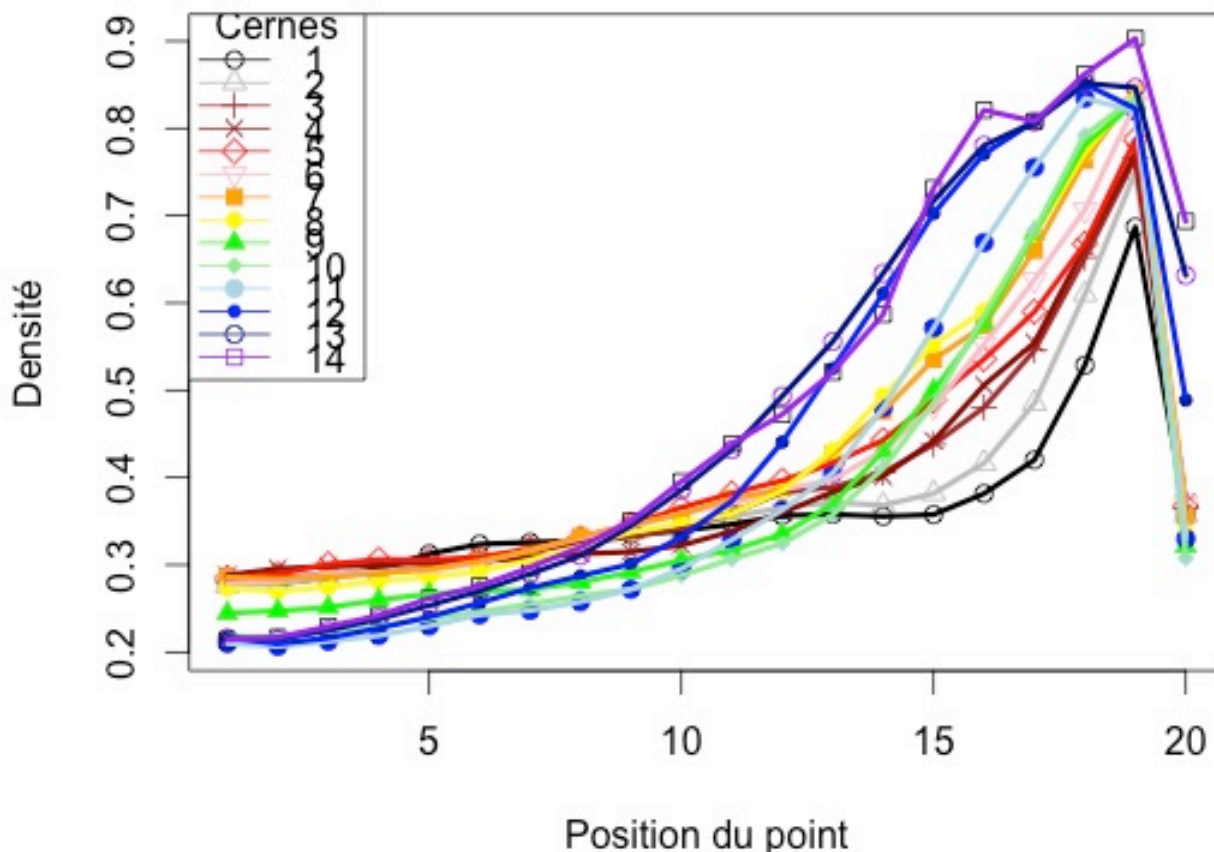


Figure 3 : Graphique de densité de mélèze point par point pour chaque cerne.

1.3 Conclusion

Mes résultats obtenus ne sont pas définitifs, je n'ai fait l'étude que de 148 individus sur 1245, et ne connaissant pas leurs identités je n'ai pas pu comparer les familles entre elles, comparer les hybrides et les pures. Mais ce travail a été très utile personnellement, il m'a servi à maîtriser R, WinDENDRO, à distinguer les cernes et à gérer des données.

2. Pin Maritime

2.1 Présentation du projet et dispositif

L'étude menée sur le pin maritime entre dans le cadre du projet « Xylome ». C'est un projet de la Région Centre portant sur la réponse des forêts aux changements climatiques et surtout l'augmentation des stress hydriques (sur des douglas (*Pseudotsuga menziesii*) en forêt et des pins maritimes en serres).

Le dispositif sur lequel j'ai travaillé a été mis en place et analysé lors d'un stage de M2 en 2011 (Berthier, 2011) et est composé de 180 pins maritimes (*Pinus pinaster*) (20 individus par familles, 9 familles) répartis en deux blocs (est et ouest). Le bloc Ouest a subi un stress hydrique de 6 semaines il y a un an et le bloc Est est resté dans des conditions initiales. Les pins sont élevés sous serre, arrosés tous les deux jours (quand ils ne sont pas soumis au stress) avec une quantité d'eau proche de la capacité au champ et un ajout de fertilisant équivalent à 1g/L d'eau.

Mon rôle a été de mesurer la hauteur totale de chaque pin et son diamètre à la base. Ainsi j'ai pu analyser sous R les différences phénotypiques entre traitements et entre familles.

2.2 Résultats et interprétations

L'analyse des 180 pins maritimes sous R a permis d'obtenir les résultats suivants :

Ce graphique (Fig. 4) présente le diamètre de chaque individu en fonction de sa hauteur, on s'attendait à obtenir une corrélation importante entre les deux variables. Ce qui n'est pas le cas ($cor=0.3903473$, $p\text{-value} = 6.599e-08$). Les conditions optimales d'arrosage et de disponibilité en nutriment auraient peut être tendance à augmenter la variabilité au sein du groupe.

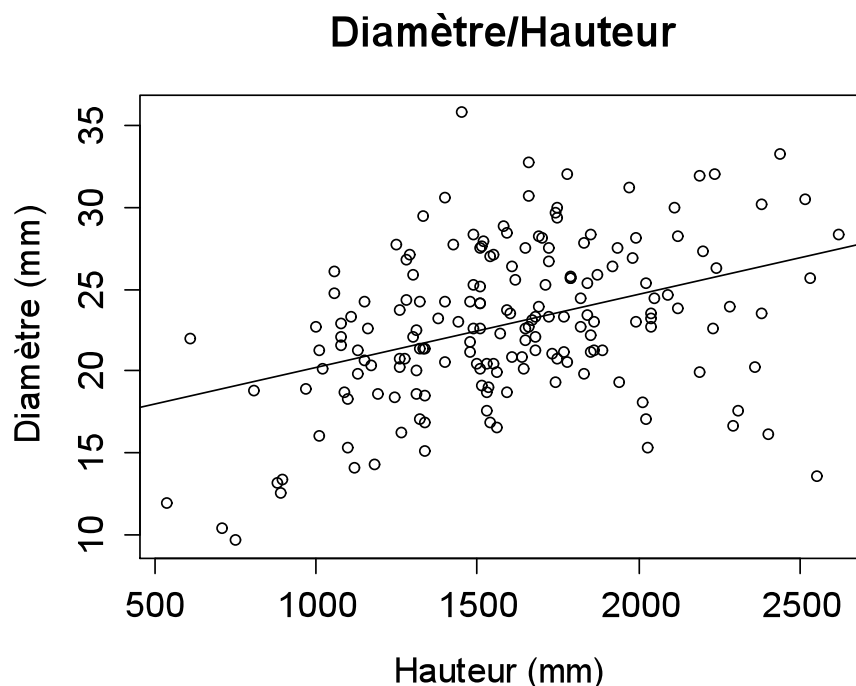


Figure 4: Graphique du diamètre en fonction de la hauteur avec la droite de régression chez le pin maritime.

Les deux graphiques suivants (Fig. 5 et 6) représentent le traitement subi en fonction respectivement, du diamètre et de la hauteur (WS=water stressed, WW=Well watered). La ligne rouge indique la moyenne.

On observe que pour la hauteur, après un an et demi après le stress, la différence entre les deux blocs n'est pas significative. Mais pour le diamètre on peut observer une différence importante entre les deux blocs, et ce dans le sens opposé à notre attente. Les individus ayant subi un stress hydrique sont plus gros en diamètre que ceux ayant été arrosés continuellement.

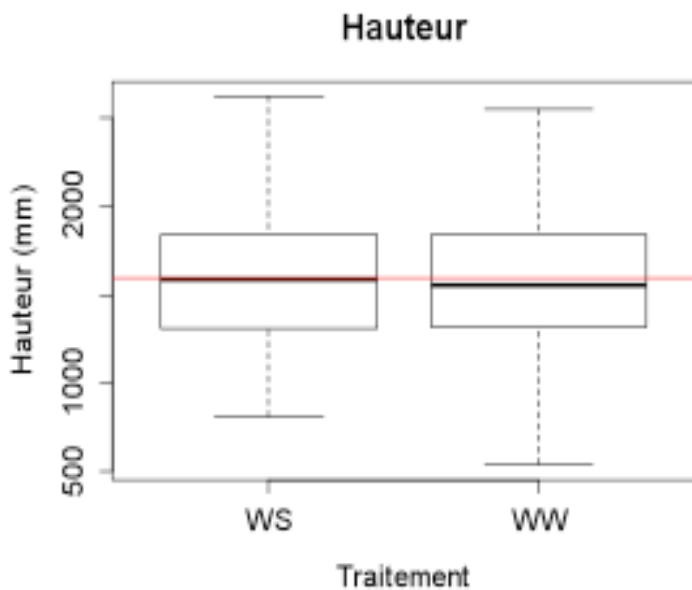


Figure 5 : Hauteur en fonction du traitement (pin maritime).

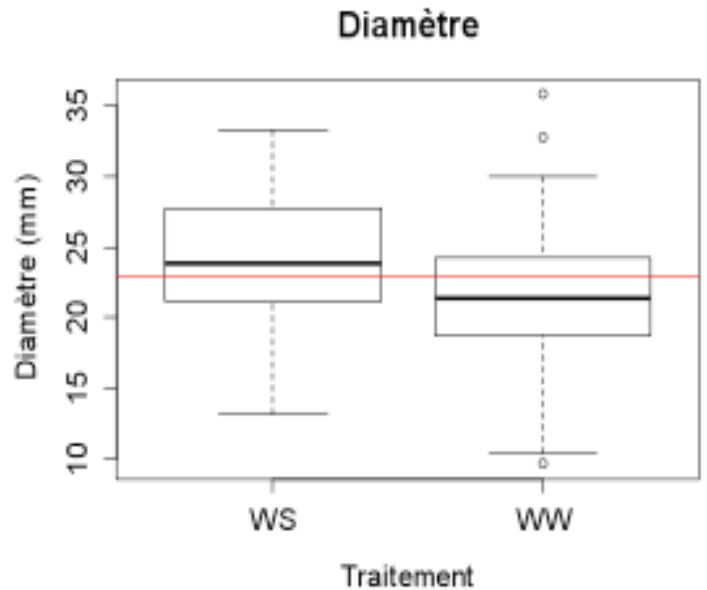


Figure 6: Diamètre en fonction du traitement (pin maritime).

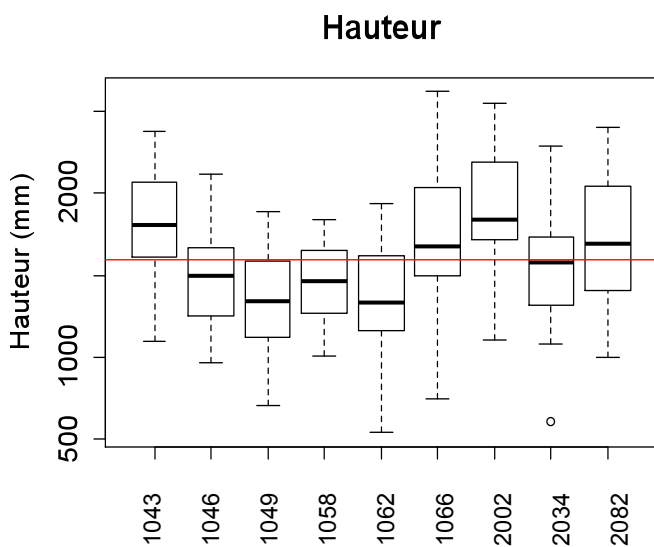


Figure 7 : Hauteur en fonction de la famille (pin maritime).

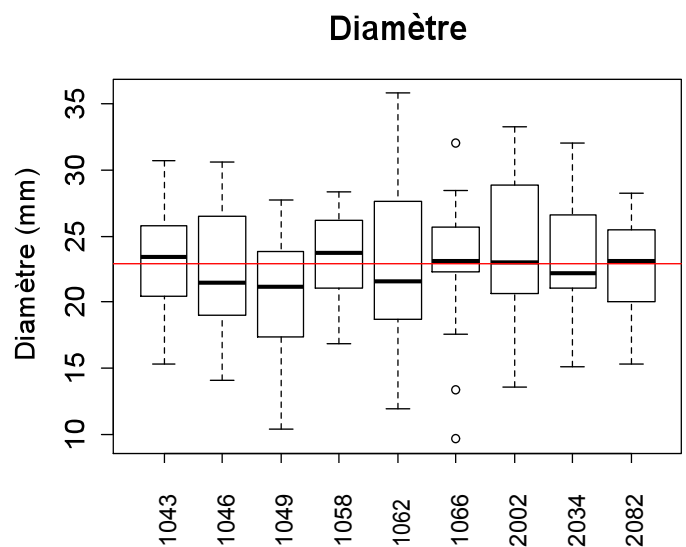


Figure 8: Diamètre en fonction de la famille (pin maritime).

Ces « diagrammes à boîtes » (Fig. 7 et 8) permettent de comparer les différentes familles entre elles du point de vue du diamètre et de la hauteur. On remarque que certaines familles ont eu une meilleure croissance en hauteur et d'autres une croissance en diamètre plus importante. Mais en comparant ces deux graphiques on ne peut pas discerner de famille ayant une croissance en hauteur et une croissance radiale supérieure aux autres familles.

2.3 Conclusion

Les résultats obtenus ne sont pas ceux prédits : on s'attendait à une forte corrélation entre diamètre et hauteur et à des individus ayant subi le stress hydrique ayant un diamètre et une hauteur inférieure à ceux des individus bien arrosés. Ce qui n'est pas clairement le cas, on observe presque l'inverse. Malgré quelques recherches bibliographiques on ne retrouve ces résultats dans aucun article, ce qui soulève des questions et des hypothèses sur le dispositif. Leur arrosage a été calculé pour être proche de la capacité au champ, mais y a-t-il eu un surdosage d'eau dans le bloc Est ? Ce qui aurait fait pourrir les racines et entraîner une plus faible croissance ? Les tuteurs mis à chaque arbre au début de l'expérience mais pas retirés à tous, ont-ils accentué la faible corrélation entre la hauteur et le diamètre ?

3. Peuplier

3.1 Présentation du projet et analyses

Les échantillons de peuplier que j'ai analysés proviennent d'un dispositif constitué afin d'étudier la productivité et la qualité du peuplier en taillis à courte rotation (TCR). Des peupliers avec un seul brin par souche (futaie) de 7 ans ont été abattus et il a été laissé repousser plusieurs brins par souche (cépée) pendant 12 ans. Le but étant ici de pouvoir modéliser la biomasse d'une cépée grâce à l'analyse des cernes, et d'apporter des connaissances sur le niveau de variabilité génétique pour l'aptitude au rejet de souche et la production de biomasse.

Ce dispositif est composé de 279 clones issus de 14 familles de plein-frères (mêmes parents) provenant d'un croisement interspécifique *Populus deltoides* x *Populus trichocarpa*. Une mesure du nombre de brins par souche et du diamètre de chaque brin en 2008 (10 ans après le recépage) a permis de sélectionner un sous échantillon de 2 familles (familles 63 et 84) dont il a été pris 5 clones, chacun représenté par 5 cépées soit 50 cépées au total. Les critères étant une croissance élevée, une variabilité de brins par cépée.

De chacune des 50 cépées ont été abattus 1 à 2 brins, donnant 92 échantillons. Ces échantillons ont été mesurés en hauteur, en diamètre et en masse lors de l'abattage.

Ma participation à ce projet a été de mesurer le diamètre de chacun des échantillons à partir d'une rondelle en mesurant la superficie des cernes, permettant d'avoir le diamètre de 1999 à 2009. Ceci a été effectué sur des scans de ces rondelles grâce à un logiciel de traitement d'image (ImageJ©). J'ai ensuite pu mettre toutes ces valeurs de diamètre en lien avec les hauteurs de chaque année qui avaient pu être estimées lors de l'abattage grâce aux marques de croissance.

J'ai effectué un tri dans les données que j'ai obtenus moi même et celles obtenus sur le terrain car il y avait un certain nombre d'incohérence (hauteur en 2008 inférieur à celle de 2007 par exemple).

3.2 Résultats et interprétations

Tout d'abord ces graphiques présentent l'accroissement en diamètre en fonction de l'accroissement en hauteur entre l'année 2008 et 2009 mesuré sur le terrain (Fig. 9) et mesuré par l'analyse d'image (Fig. 10). On observe une bonne corrélation entre l'accroissement en hauteur et en diamètre. Ces graphiques ainsi que les valeurs de R^2 montrent qu'on a une meilleure précision avec l'analyse d'image ($R^2=0.32$) que directement pris sur le terrain ($R^2=0.23$). Ce qui peut être expliqué par la présence de l'écorce lors des mesures sur le terrain et le fait que la hauteur à laquelle les mesures ont été prises peut varier. D'autres analyses (non présentées ici) montrent que plus on remonte dans les années moins les données sont précises.

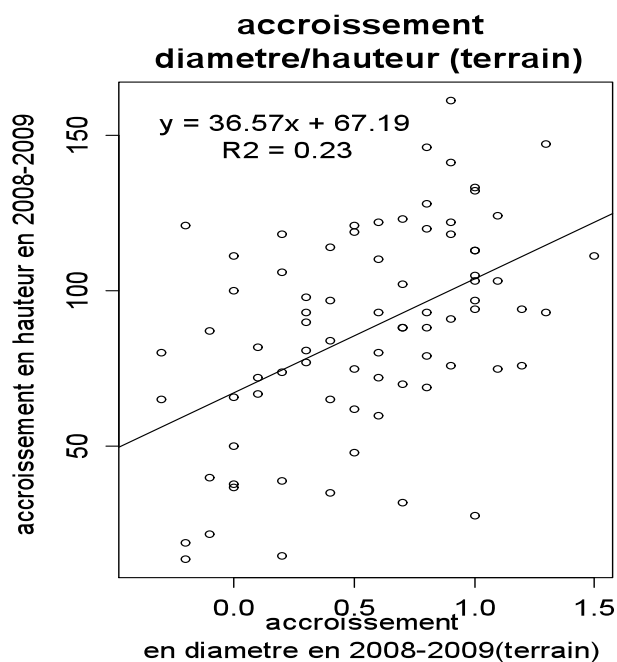


Figure 9 : Accroissement du diamètre et de la hauteur des peupliers, entre 2008 et 2009 mesuré sur le terrain.

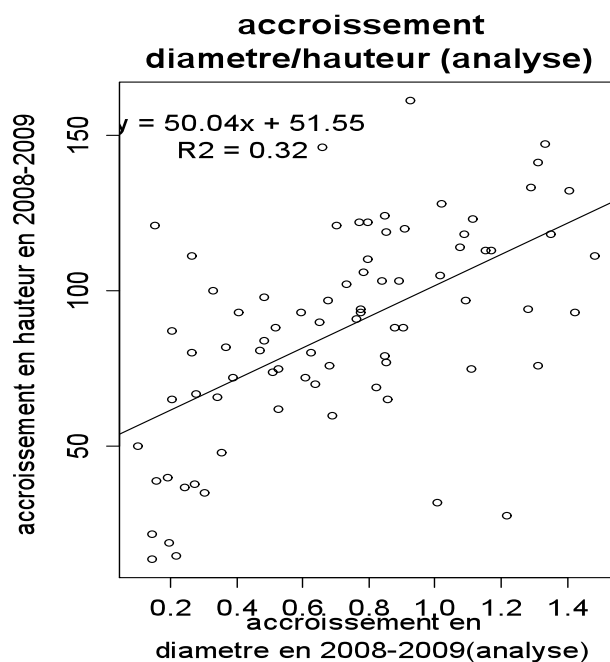


Figure 10 : Accroissement du diamètre et de la hauteur des peupliers, entre 2008 et 2009 mesuré par analyse d'image.

Le reste des analyses a été effectué sur les données provenant de l'analyse de cernes à partir des rondelles.

La figure 11 présente pour chaque famille le diamètre pour chaque année. On n'observe pas de différences significatives entre ces deux familles durant leur croissance radiale. Ce qui peut être expliqué par le fait que ces familles ont été choisies, entre autre pour leur croissance élevée.

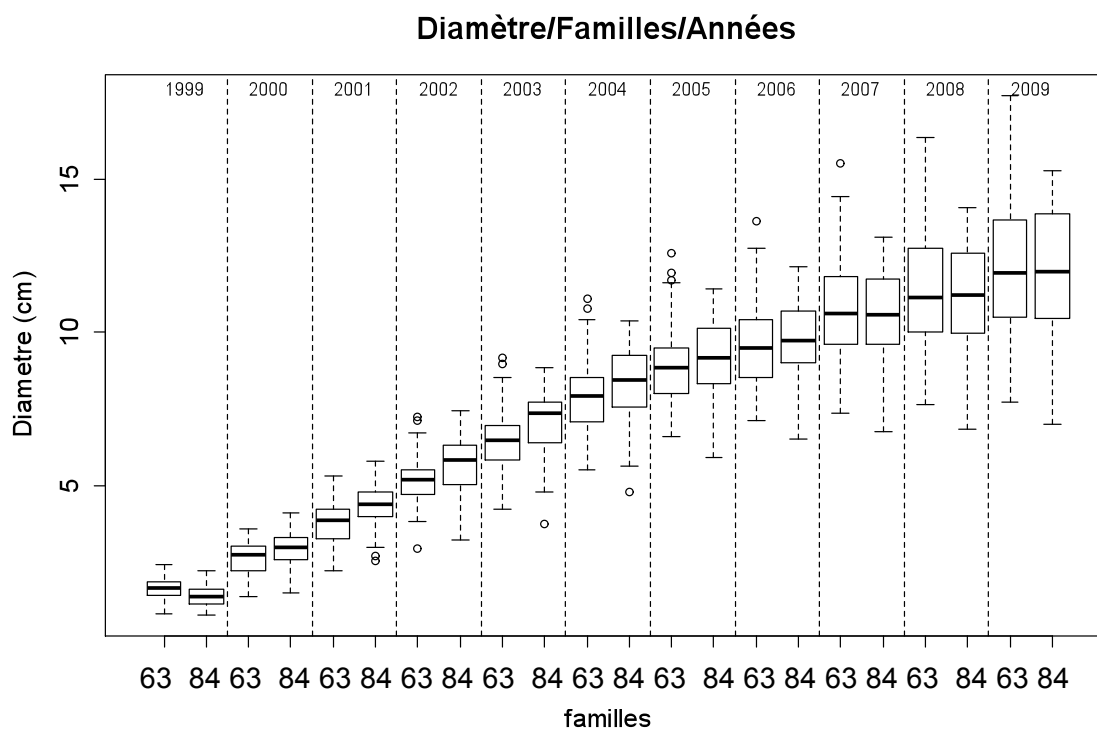


Figure 11 : Diamètre en fonction des 2 familles de peupliers, pour chaque année de croissance.

3.3 Conclusion

Il reste beaucoup de manière d'interpréter ces données, beaucoup d'analyse que je n'ai pas faites faute de temps. Par exemple comparer les individus ayant un brin et ceux en ayant plusieurs. Est ce que moins un individus a de brins, plus grand et large il est ? Une étude préalable effectuée sur peu d'arbres montre que c'est l'inverse : plus un arbre a de brins, plus ses brins sont importants. Il aurait été intéressant de comparer ces résultats avec ceux d'une famille moins « productive ».

Conclusion générale

Ce stage m'a permis de découvrir l'aspect agronomique de la physiologie végétale dont je ne connaissais que l'aspect biochimique. Cela m'a aussi permis de me familiariser avec les analyses statistiques, les récoltes d'échantillons sur le terrain, l'utilisation des données ainsi récupérées et de faire un pas dans le monde de la recherche. J'ai pu voir en action les démarches scientifiques, le montage et le maintien de projets, les relations entre les chercheurs et le fonctionnement d'une équipe de recherche. J'ai pu observer comment un intitulé d'unité de recherche aussi vaste que l'amélioration forestière, se découpe en thématiques précises. Le fait d'avoir effectué ce stage sera, je pense, bénéfique pour moi autant d'un point de vu professionnel que d'un point de vu personnel.

Bibliographie :

Berthier, A., 2011. *Adaptation des conifères au climat : variabilité génétique de la réponse du pin maritime (Pinus pinaster Aiton) à un stress hydrique en conditions contrôlées, approche écophysiological*. Rapport de stage M2. Orléans

Meehl, G., Tebaldi, C., 2004. *More intensive, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century*. Science 305, 994.