



Direction régionale de
l'alimentation, de
l'agriculture et de la forêt
Alsace



MINISTÈRE
DE L'ALIMENTATION
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA PÊCHE

ÉTUDE DE L'INCIDENCE DE LA QUALITÉ DES PLANTS FORESTIERS SUR LA PÉRENNITÉ DES BOISEMENTS ET REBOISEMENTS EN ALSACE

Placettes permanentes

Deuxième campagne de mesures



Matthieu FELLMANN
Damien SALGUES
Mariona BORRAS
Chargés d'études AgroParisTech-ENGREF

Gérard FALCONNET
Responsable de l'étude

Octobre 2009

Résumé

Dans le cadre de l'étude de l'incidence de la qualité des plants forestiers sur la pérennité des boisements et reboisements en Alsace, menée par AgroParisTech-ENGREF et soutenue par l'État, un réseau de 13 placettes permanentes a été mis en place au cours du printemps 2006. Il a été complété par 4 placettes en 2007.

Ce réseau a fait l'objet d'une première série de mesures et d'observations racinaires sur un échantillon de plants arrachés (Pin sylvestre et Chêne sessile) en 2006. La deuxième campagne de mesures, sur les trois prévues, et objet de ce rapport, a été réalisée au cours de l'hiver 2007-2008.

L'exploitation de ces données a permis d'établir plusieurs constats concernant l'existence de déformations racinaires liées aux godets et aux caractéristiques de leurs substrats exclusivement ou induites au moment de la plantation.

L'objectif de ce réseau est de suivre l'évolution de ces déformations sur une durée minimale de 5 ans. Il doit servir de base de données et d'outil de démonstration pour la formation des principaux acteurs intervenant dans les chantiers de plantations forestières (entreprises de reboisement, gestionnaires, maîtres d'œuvre, financeurs...).

Ce protocole a été complété par l'installation, en automne 2006, de 4 sites expérimentaux permettant de suivre plus de 9 000 plants.

Sommaire

Résumé

1. Contexte et objectifs de l'étude.....	5
2. Choix des plantations «types»	6
3. Mesures réalisées	8
4. Résultats de la deuxième campagne de mesures.....	13
4.1. Hauteur, diamètre, croissance.....	13
4.2. Bilan des observations racinaires	17
4.2.1. Paramètres agissant sur la hauteur des plants ou évoluant avec le temps.....	18
4.2.2. Autres paramètres.....	34
4.3. <i>Courbure basale, écart à la verticalité et stabilité</i>	38
4.3.1 L'écart à la verticalité.....	38
4.3.2 La courbure basale	39
4.3.3 La stabilité.....	40
4.4. <i>Observations complémentaires</i>	42
5. Analyse critique du protocole et prochaine campagne de mesures	45
5.1. Pertinence des paramètres relevés	45
5.2. <i>Avantages et limites du protocole</i>	46
5.3. <i>Propositions pour la dernière campagne de 2010</i>	47
6. Conclusion.....	48
Bibliographie	49
Annexes	52

Index des graphiques

Graphique 1 : Hauteur des plants arrachés en 2008 en fonction du diamètre.....	13
Graphique 2 : Hauteur moyenne en 2008 des plants arrachés et de l'ensemble des placettes pour chaque série.....	14
Graphique 3 : Hauteur moyenne en 2008 des plants arrachés de pins sylvestres en godets 200cc pour des plantations de différents âges.	14
Graphique 4 : Hauteur et croissance moyenne entre 2006 et 2008 des plants arrachés pour chaque série.....	15
Graphique 5 : Boîte à moustache représentant la répartition de la hauteur des plants de pins sylvestres de 4 ans en godets de 200cc suivant qu'ils présentent des racines avec la forme du godet (1) ou non (0).	19
Graphique 6 : Hauteur des plants arrachés de pins sylvestres de 4 ans élevés en godets 200cc en fonction du diamètre du pivot ou de la grosse racine plongeante de l'agglomérat.....	21
Graphique 7 : Nombre moyen de racines par horizon pour chaque série	25
Graphique 8 : Profondeur moyenne de prospection des racines pour chaque série	25
Graphique 9 : Hauteur moyenne des plants arrachés en fonction du nombre de racines dans la zone A.....	26
Graphique 10 : Nombre de racines de premier ordre par horizon en 2006 pour chaque série	26
Graphique 11 : Nombre moyen de racines tournées en face externe en 2008, pour chaque série.....	27
Graphique 12 : Hauteur des plants de pins sylvestres de 8 ans élevés en godets 200cc en fonction de la profondeur maximale d'apparition des racines tournées	28
Graphique 13 : Nombre moyen de racines incluses visibles pour chaque série.....	29
Graphique 14 : Hauteur des plants de pins sylvestres élevés en godets 200cc en fonction du nombre de racines incluses pour chaque âge.....	30
Graphique 15 : Nombre moyen de racines colonisatrices pour chaque série.....	31
Graphique 16 : Hauteur moyenne des plants en fonction du nombre de racines colonisatrices pour chaque série	31
Graphique 17 : hauteur moyenne des plants suivant la distribution des racines sur 360°.....	33
Graphique 18 : Nombre de plants présentant un agglomérat de racines dans chaque série en 2008	34

Graphique 19 : Hauteur moyenne des plants en fonction de la spiralisation de leurs racines pour chaque série	36
Graphique 20 : Nombre moyen de racines remontantes pour chaque série	37
Graphique 21: Nombre moyen de racines croisées ou entrelacées pour chaque série.....	37
Graphique 22 : Ecart moyen à la verticalité pour chaque série	38
Graphique 23 : Courbure basale moyenne pour chaque série.....	39
Graphique 24 : Stabilité moyenne des plants (moment) en fonction d'un angle d'inclinaison de 10° et de 20° pour chaque série	40
Graphique 25 : Moment pour incliner les plants de 20° par rapport à la verticale en fonction du moment pour incliner les plants de 10° par rapport à la verticale	41

1. Contexte et objectifs de l'étude

En Alsace, depuis une dizaine d'années, des pins sylvestres élevés en petits godets (100 et 200 cm³) sont plantés en quantités importantes. Diverses observations effectuées sur des plantations ont permis de déceler des déformations racinaires souvent très importantes sur ces plants. C'est dans ce contexte que le Service de la Forêt, du Bois et de la Chasse-Alsace (SFBC-Alsace) a décidé d'étudier l'incidence de la qualité des plants forestiers sur la pérennité des boisements et, en particulier, l'effet du volume du godet sur leur architecture racinaire. La première phase de l'étude prévoyait :

- de déterminer et de caractériser, en collaboration avec l'ONF et la forêt privée, les situations « types » de boisements et reboisements réalisés avec des plants forestiers élevés en godets et de les cartographier ;
- d'installer, sur ces situations « types » identifiées, des placettes permanentes permettant le suivi des peuplements ;
- de mettre en place et de suivre un dispositif expérimental permettant d'étudier plusieurs modalités de culture des plants (volume et conception du godet) et de types de reboisements (godets, racines nues, semis).

4 placettes permanentes ont été identifiées et rajoutées à l'étude à l'automne 2006.

A présent, la phase 2, objet de ce rapport, consiste à :

- remettre en état les placettes, deux années après leur installation : pose de nouvelles étiquettes de numérotation pour chaque plant, mise en place de peinture rouge sur les piquets pour faciliter leur repérage, etc. ;
- poursuivre les mesures des 16 placettes permanentes ;
- observer l'architecture racinaire de 10 plants par placette, après mesures et arrachage ;
- dégager d'éventuelles corrélations, par exemple entre des déformations racinaires observées et le volume des godets ou le type de reboisement utilisé.

La dernière campagne de mesures des placettes permanentes doit avoir lieu avant le débourrement de 2010. En plus de répondre aux points mentionnés précédemment, la synthèse des trois campagnes permettra de :

- diminuer au maximum le risque de déformations racinaires, pour assurer au mieux la pérennité des peuplements ;
- conforter le choix de la définition des critères d'éligibilité des plants forestiers élevés en godets aux aides publiques.



* S= Différence, supériorité ou infériorité significative à au moins 95 % de chance

2. Choix des plantations «types»

Le choix des plantations «types» s'est fait en fonction de la représentativité de l'essence au niveau de son utilisation sous forme de godets sur le massif forestier de Haguenau. En effet, sur ce massif 83,9 % des plants livrés en godets sont des pins sylvestres et 12,6 % des chênes sessiles. Ce choix s'est fait également en fonction du type de stations boisées ou reboisées principalement en godets. Il s'agit en général des stations 7 et 8 pour le Chêne sessile et des stations 9 et 10 pour le Pin sylvestre.

Ensuite, pour déterminer les plantations « types », une sélection a été réalisée en fonction :

- de l'essence en premier lieu,
- du volume du godet (110cc, 200cc, 320cc, 400cc) et de sa conception (à paroi pleine (Cp) ou ajourée (Ca)),
- de l'année de plantation, généralement en lien avec le volume du godet,
- de la station, en choisissant les plantations présentes sur les stations 7, 8, 9 et 10 de la typologie des peuplements forestiers de Haguenau,
- et enfin de la provenance.

Les placettes ont été choisies en fonction de la modalité représentée et de sa fréquence au sein du massif de Haguenau. D'autres facteurs, comme l'âge du plant à la plantation, ont également été pris en compte.

De plus, deux placettes issues de plants en racines nues ont également été retenues, bien que l'objet de cette étude porte prioritairement sur les plants en godets, afin d'observer les éventuelles déformations racinaires induites lors de la plantation.

Quant à l'implantation de placettes en semis naturels, l'objectif est de pouvoir observer, a priori, des systèmes racinaires ne faisant l'objet d'aucune déformation induite, hormis d'éventuelles déformations liées à un travail du sol.

Les parcelles ainsi retenues sont présentées dans le tableau page suivante :

Tableau 1 : choix des parcelles

Essence	Ajoutées en 2007	Type	Type de godets	Année plantation	Epoque de plantation	Age à l'hiver 05/06 (ans)	Age à l'hiver 07/08 (ans)	Station	Age du plant à la plantation (an)	Travail du sol	Forêt	Parcelle
Pin sylvestre	*	G 110 cc	Plein	1996	Automne	10	12	7?	1	Aucun - plantation en fente	Haguenau	1244
		G 220 cc	Ajouré. Section carrée	2001	Printemps	6	8	10	1	Aucun	Haguenau	1020
		G 220 cc	Ajouré. Section carrée	2001	Printemps	6	8	9	1	?	Haguenau	130
		G 200 cc	Ajouré. Section carrée	2003	Printemps	4	6	9	1	Mise en andain et labour sommaire	Haguenau	96
		G 200 cc	Ajouré ?	2004	Automne	2	4	7	1	Potet	Koenigsbruck	13
		G 320cc	Plein	2003	Automne	3	5	9	1	Labour sommaire	Haguenau	68
		G 320cc	Plein	2004	Automne	2	4	10a	1	Labour sommaire	Haguenau	243
		G 200 cc	Polystyrène. Section circulaire	2005	Printemps	2	4	10	1	Mise en andain et labour sommaire	Haguenau	14
		G 200 cc	Ajouré. Section carrée	2005	Automne	1	3	10	1	Mise en andain et labour sommaire	Haguenau	55
		Racines nues		2004	Printemps	4	6	10 (9)	2 praliné	Mise en andain et labour sommaire	Haguenau	1030
	*	Racines nues		2003	Printemps	4	6	9	1	Mise en andain et labour sommaire	Haguenau	95
		Semis naturels		(2005 - 2006)		0-1	2-3	9 et 10a		Labour sommaire et nivellement avec un rail de chemin de fer traîné par un tracteur	Haguenau	1028
		Semis naturels		(2005 - 2006)		0-1	2-3				Haguenau	1028
		Semis naturels		(2005 - 2006)		0-1	2-3				Haguenau	1028
		Semis naturels		(2005 - 2006)		0-1	2-3				Haguenau	1028
	*	Semis artificiels		1996		9	11	9 et 10a		Passage d'un rotovateur (fraise horizontale) sur 8 à 10 cm de profondeur + travail manuel des lignes à la pioche avant semis	Haguenau	54
Chêne sessile		G 400 cc	Plein	1997	?	10	12	7	2	Labour	Haguenau	1227
		G 200 cc	Plein	2000	Printemps	7	9	?	1	Potet sans dessouchage	Ingwiller (Wimennau)	132
		G 200 cc	Plein	2000	Printemps	7	9	?	11	Potet sans dessouchage	Ingwiller (Wimennau)	132
		Racines nues		2006	Janvier	2	4	7	1	Potet travaillé.	Haguenau	156

3. Mesures réalisées

Chaque placette correspond à une zone de forme rectangulaire, la plupart du temps, représentative de l'ensemble de la plantation comprenant **100 plants vivants**,.

Sur tous les plants de la placette, il a été relevé :

- la survie,
- la croissance en hauteur H et en diamètre D,
- l'état sanitaire.

Lors de chaque campagne de mesures, 10 plants de chaque placette sont arrachés afin d'étudier leur architecture racinaire. Le choix de ces 10 plants est effectué par tirage au sort des numéros de plant (un plant par ligne). Les 10 numéros choisis au hasard sont les mêmes pour toutes les placettes.

Au préalable, sur les 10 plants arrachés, il est noté :

- l'écart à la verticalité (avant arrachage),
- la courbure basale (avant arrachage),
- la stabilité du plant (avant arrachage),

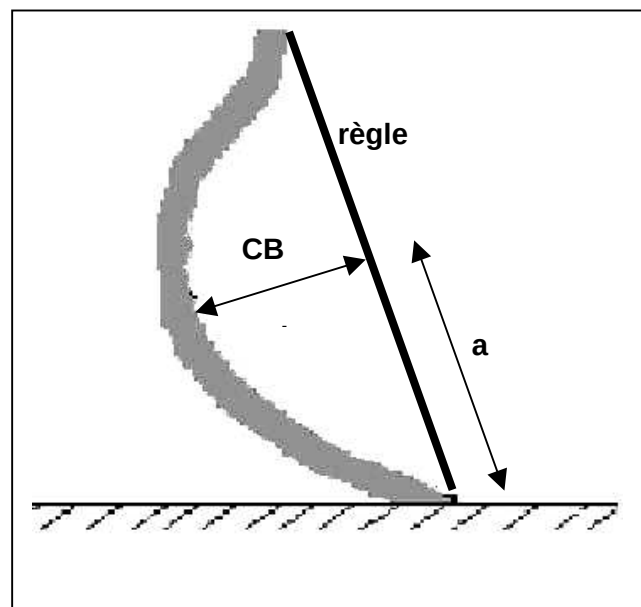
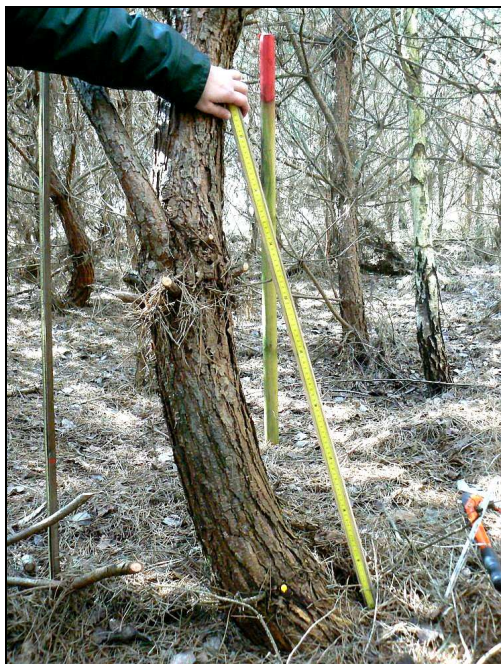
Puis, l'analyse de l'architecture racinaire est réalisée en laboratoire.

Définition:

- La courbure basale :

Selon la littérature, et plusieurs de nos observations faites sur le terrain, la courbure basale du plant pourrait être liée à l'architecture racinaire. (P. BALLEUX, 2009)

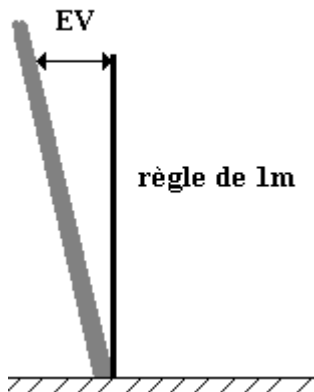
Elle a été mesurée au niveau de la plus forte courbure, de la façon suivante :



On positionne une première règle du départ de la courbure (la base étant du collet jusqu'à 20 cm pour être au niveau de la base) jusqu'à sa fin (retour dans la direction « normale » de la tige, la tige n'étant pas nécessairement droite). On mesure la distance b au niveau de la courbure maximale et on obtient la courbure basale en cm. On peut la convertir en angle selon la formule suivante : $\tan \alpha = b/a$.

- L'écart à la verticalité :

Il s'agit d'une distance (cm) entre la verticale au collet et l'arbre à 1 m du sol, on peut cette fois aussi convertir cette mesure en angle grâce à la formule précédente.

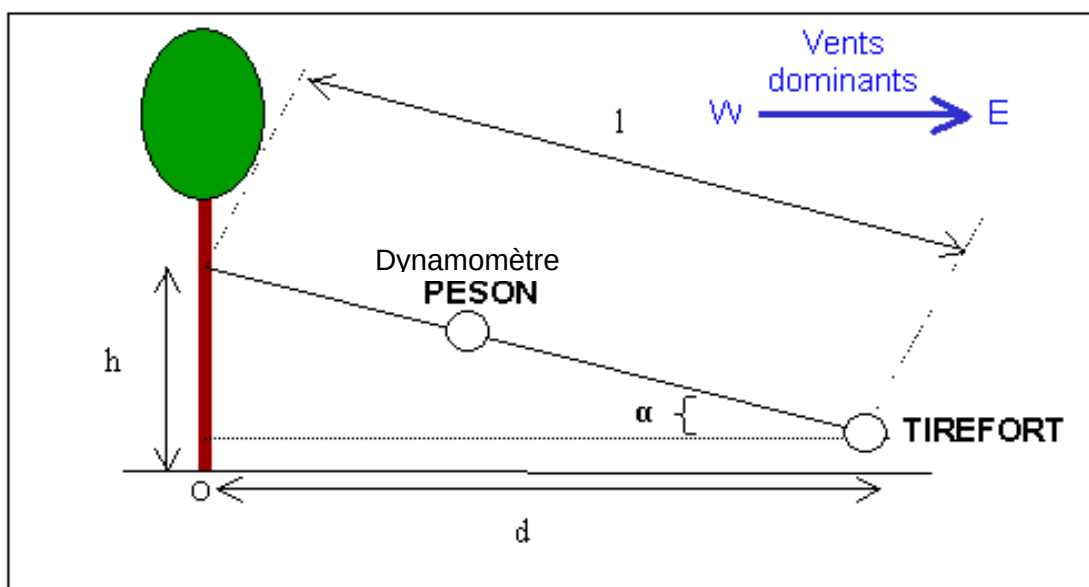


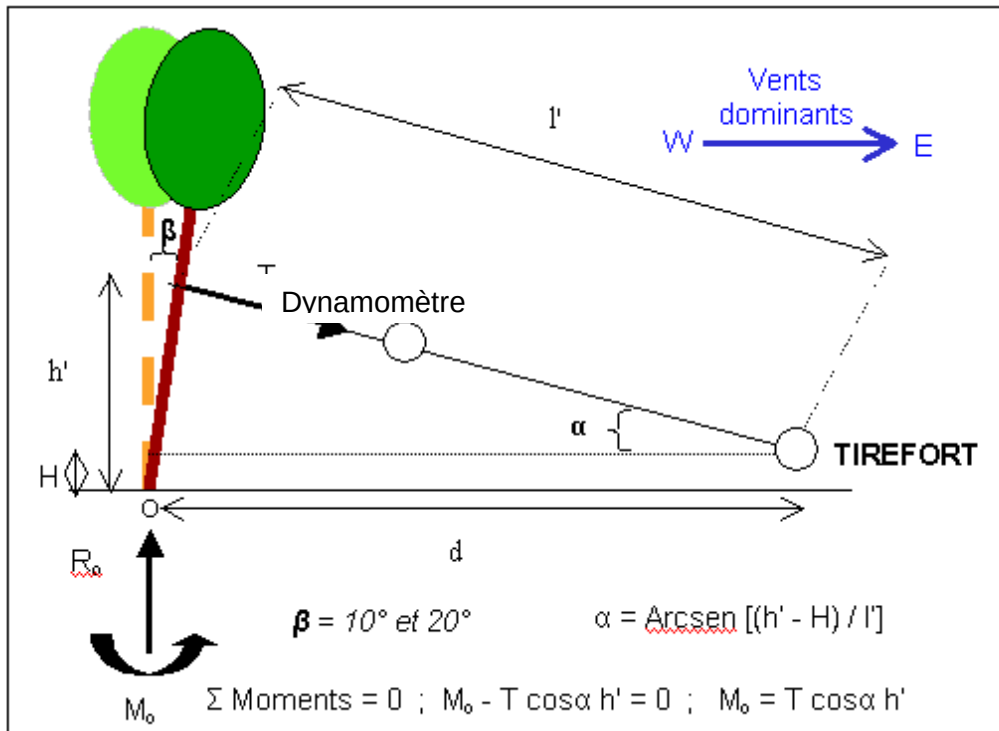
- La stabilité :

Comme les deux mesures précédentes, la mesure de la stabilité a été effectuée sur les plants d'au moins 8 ans et destinés à être extraits du sol. Pour les plants plus jeunes, le risque est de mesurer davantage la flexibilité de la tige que sa stabilité.

Une force est exercée sur le plant, à l'aide d'un "tirefort", dans le sens du vent dominant ($W \rightarrow E$), de façon à l'incliner d'un certain angle β (10° et 20°).

La force exercée est mesurée grâce à un dynamomètre :





La hauteur h de fixation du câble est fonction des dimensions du plant, mais elle est toujours inférieure à 1 m et le plus bas possible pour limiter les effets de la flexibilité.

L'angle d'inclinaison β est mesuré à 20 cm du sol pour limiter l'erreur due à la flexibilité du plant. Deux angles d'inclinaison sont testés : $\beta = 10^\circ$ et $\beta = 20^\circ$.

En fonction de la force exercée, le moment au point O (voir schémas précédents) est calculé selon la formule : $M_o = T \cos \alpha h$.

D'après la littérature, le moment serait lié à la surface couverte par les racines. Ainsi, plus le moment est élevé, plus le plant est stable et bien ancré dans le sol.

Il est important, au cours de cette manipulation, de ne pas endommager le système racinaire.

- L'architecture racinaire :

Les plants les plus jeunes ont été extraits du sol à la pioche, à 40 cm de profondeur et 25 cm de la tige.

Les plants de 6 ans et plus ont été arrachés grâce à l'« Extirpe plants » Becker (photos ci-contre), à 50 cm de profondeur et à 25 cm de la tige.



Au regard des analyses de 2006, seuls les principaux critères de déformations racinaires ont été gardés. A cela, ont été ajoutées des nouvelles mesures (en gras).

Après le nettoyage des racines à l'eau, les observations suivantes ont ainsi été relevées :

1) aspect général du système racinaire,

2) ensemble des racines principales en forme de L (plantation à la pioche),

3) racines de la forme du godet,

4) présence d'un "agglomérat",

"Agglomérat" : ensemble des racines incluses et/ou soudées sous le collet.

5) "agglomérat" en forme de L incliné,

6) effet « coup de talon »,

Application d'un coup de talon lors de la plantation entraînant la déformation des racines du plant.

7) effet "tournevis",

Plant vrillé lors de la plantation

8) nombre de racines primaires tournées en face externe (> 90°),

9) nombre de racines primaires ou secondaires remontantes,

10) nombre de racines croisées et entrelacées,

En 2006, il avait été noté seulement la présence/absence de racines croisées et de racines entrelacées. En 2008, ces deux paramètres difficilement dissociables, pour des systèmes racinaires de plus de six ans, ont été regroupés et quantifiés.

11) nombre de racines incluses visibles,

12) nombre de racines colonisatrices,

13) distribution des racines sur 360°,

14) absence de racines principales structurales sur plus de 120° en continu :
1 = Oui / 0 = Non,

15) spiralisation (plan horizontal) ou enroulement d'au moins une racine de plus de 3 mm de diamètre autour du pivot ou de l'agglomérat.

16) profondeur du pivot,

17) diamètre du pivot,

18) aspect du pivot

19) si pas de pivot, présence d'une grosse racine plongeante de l'agglomérat,

20) profondeur d'apparition de la grosse racine plongeante de l'agglomérat,

21) profondeur de la grosse racine plongeante de l'agglomérat,

22) diamètre de la grosse racine plongeante de l'agglomérat,

23) diamètre de la plus grosse racine de premier ordre,

En 2006, toutes les racines de premier ordre avaient été mesurées, ce qui constituait un travail très long et répétitif et pas forcément bien interprétable.

24) nombre de racines dans la zone A (0 à 10 cm),

25) nombre de racines dans la zone B (11 à 20 cm),

26) nombre de racines dans la zone C (21 à 30 cm),

27) nombre de racines dans la zone D (> 30 cm).

4. Résultats de la deuxième campagne de mesures

Rappelons que la taille réduite de l'échantillon permet principalement de mettre à jour des tendances, sur lesquelles pourront éventuellement s'appuyer les gestionnaires et financeurs de la filière bois pour prendre leurs décisions.

Les premières données obtenues en 2006 ont été utilisées au mieux afin de créer une vision dynamique de l'évolution des déformations racinaires.

Les résultats de l'observation du système racinaire de chaque placette sont présentés en annexe 3. Les résultats présentés ont été organisés en "série". Une "série" correspond à une essence, un âge et une modalité de plantation. Cette nomenclature permet ainsi d'avoir une vision dynamique, avec des modalités de plantation similaires, mais à des âges différents. Cela permet également de comparer, pour un âge donné, deux modalités de plantation.

La modalité de plantation la plus représentée dans l'échantillon est celle des pins sylvestres élevés en godets 200cc, objet principal de l'étude. En effet, ce volume de conteneurs est le plus utilisé depuis quelques années.

- Les différentes "séries" présentes :

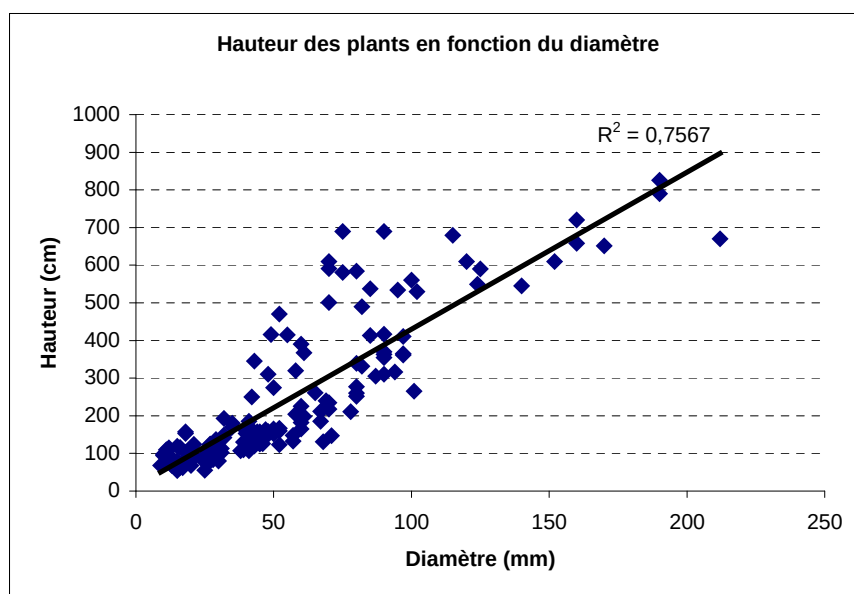
Essence	Pin Sylvestre										Chêne Sessile		
Age	3		4		5	6		8	11	12	4	9	12
Modalité de plantation	G 200	SN	G 200	G 320	G 320	G 200	RN	G 200	SA	G 110	RN	G 200	G 400
Nombre de plants	10	10	18	9	10	10	20	19	10	10	10	9	10

4.1. Hauteur, diamètre, croissance

On s'intéressera le plus souvent à la hauteur des plants pour noter l'impact d'une déformation racinaire.

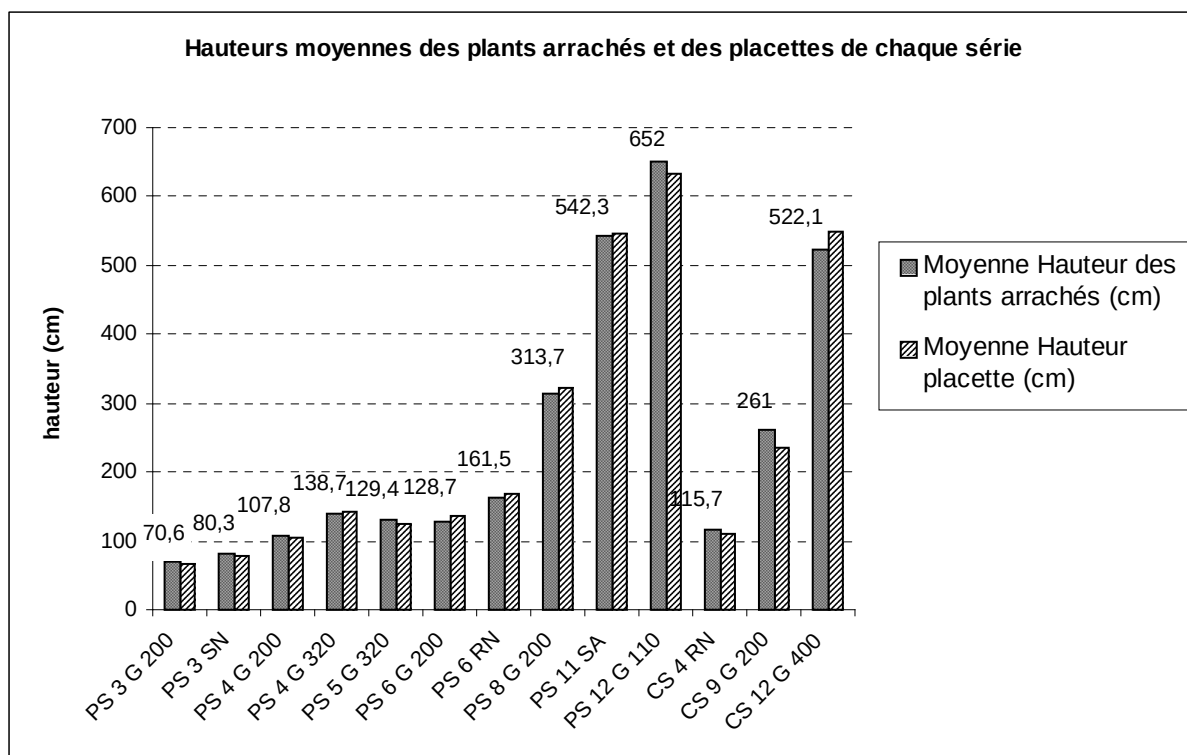
Il est à noter, comme le montre le graphique ci-dessous, que le diamètre est très fortement corrélé à la hauteur, ce qui était prévisible. Le coefficient de corrélation (r) entre la hauteur et le diamètre est de 0,87. Ainsi, on retiendra comme paramètre principal la hauteur.

Aussi, pour les prochaines campagnes, il ne sera plus nécessaire de prendre le diamètre au collet, la hauteur étant suffisante. De plus, c'est une donnée facile à prendre sur le terrain et qui présente un faible risque d'effet notateur.



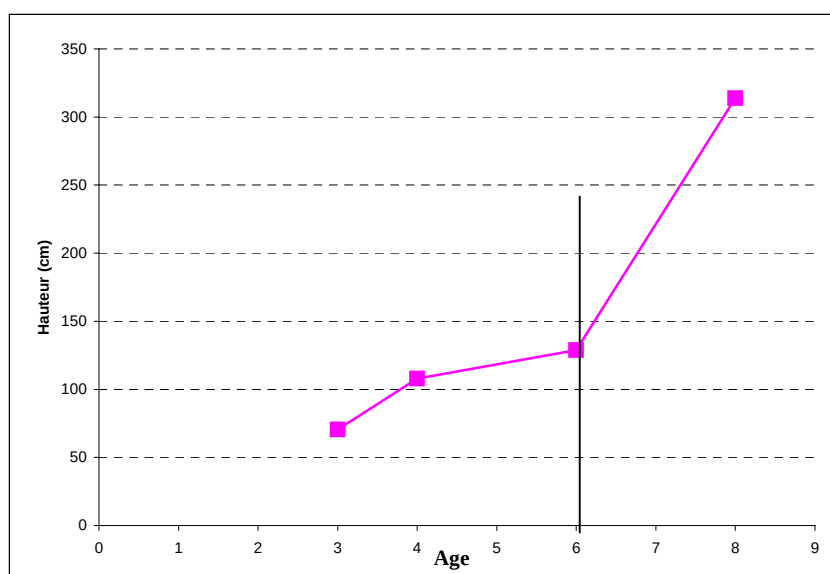
Graphique 1 : Hauteur des plants arrachés en 2008 en fonction du diamètre

Le graphique ci-dessous permet de comparer la hauteur moyenne des plants arrachés en 2008 et la hauteur moyenne sur l'ensemble des placettes de chaque série. On peut voir que l'échantillon sur lequel les observations racinaires ont été effectuées est représentatif de l'ensemble des plants de la série.



Graphique 2 : Hauteur moyenne en 2008 des plants arrachés et de l'ensemble des placettes pour chaque série

En ce qui concerne notre "série" de référence, à savoir les pins sylvestres élevés en godets 200cc, voici l'évolution de la hauteur des plants au cours du temps.



Graphique 3 : Hauteur moyenne en 2008 des plants arrachés de pins sylvestres en godets 200cc pour des plantations de différents âges.

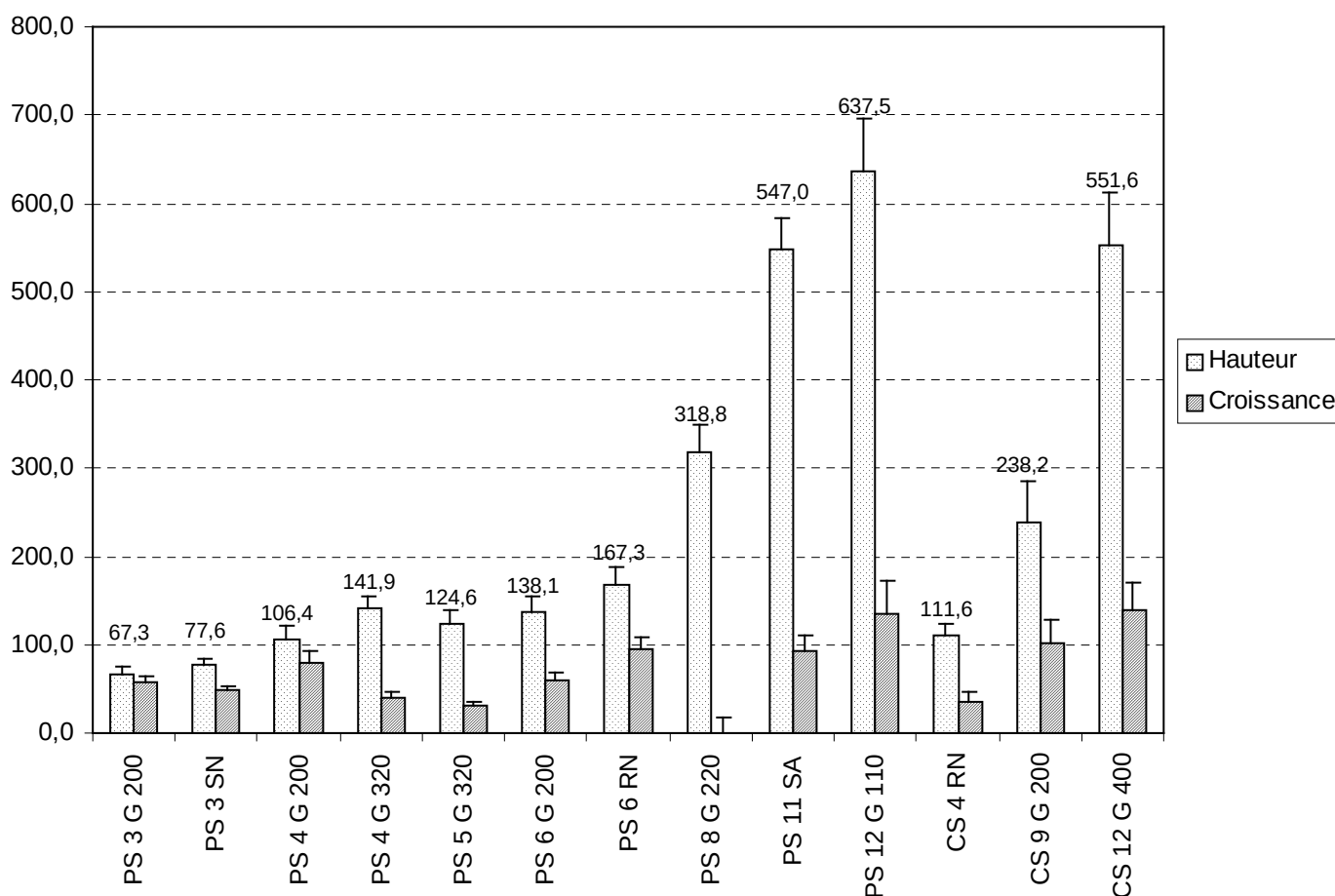
Il est intéressant de voir qu'à partir de l'âge de 6 ans les plants semblent présenter une augmentation de croissance. Est-ce qu'à partir de cet âge le plant a pu s'adapter aux contraintes stationnelles ?

Bien sûr, ces données sont des tendances, avec ici un échantillon de 4 placettes. Il sera opportun de voir si cette augmentation de la croissance se confirme à 10 ans et de vérifier si l'on observe ce phénomène au niveau des sites expérimentaux.

Le graphique 4 présente la hauteur et la croissance de chaque série. La croissance est comprise entre 35 et 135 cm entre 2006 et 2008 et, de manière générale, elle augmente avec l'âge des plants.

Pour la période 2006-2008, la croissance des plants de pins sylvestres élevés en godets 200cc est souvent plus élevée que celle des autres modalités, exceptée vis-à-vis des racines nues à 6 ans. Malgré cela, il faut noter que les plants élevés en godets 200cc, à âge égal, ont toujours une hauteur inférieure aux autres modalités.

A 6 ans, les plants en racines nues ont eu, entre 2006 et 2008, une croissance supérieure à celle des plants élevés en godets 200cc. Une fois la crise de transplantation passée, les plants en racines nues ont peut-être une croissance plus rapide par la suite ? Encore une fois, ces hypothèses seront à vérifier lors de la prochaine campagne de mesures des placettes et des sites expérimentaux.



Graphique 4 : Hauteur et croissance moyenne (cm) entre 2006 et 2008 des plants arrachés pour chaque série

NB : PS 3 G 200 = Pin Sylvestre de 3 ans en Godet 200cc ; CS 4 RN = Chêne sessile de 4 ans en racines nues

Le tableau suivant reprend les données de croissance et de hauteur pour les plants en godets 200cc et la modalité du même âge. Que ce soit pour la croissance ou la hauteur, les différences sont toutes significatives.

Série	Hauteur (cm)	Croissance (cm)
PS 3 G 200	67,3	56,4
PS 3 SN	77,6 S*	47,8 S
PS 4 G 200	106,4	78,6
PS 4 G 320	141,9 S	40,2 S
PS 6 G 200	138,1	59,3
PS 6 RN	167,3 S	95,0 S

Si les plants en godet 200cc ont eu une croissance supérieure à 3 et 4 ans par rapport aux autres modalités, leur hauteur reste néanmoins inférieure à toutes les autres modalités à âge égale. Pour la modalité des pins de 6 ans, les racines nues présentent en plus une croissance plus importante comme nous l'avons vu.

En 2008, aucun problème sanitaire n'a été constaté. Seuls 16 individus (1 % des plants arrachés) présentent un jaunissement, il s'agit aussi bien de semis naturels que de plants en godets 200cc. Sur l'ensemble des placettes, 25 plants ont été retrouvés morts en 2008. 14 sont des chênes sessiles plantés en racines nues. Les 11 plants restants sont répartis dans chaque "série".

* S= Différence, supériorité ou infériorité significative à au moins 95 % de chance

4.2. Bilan des observations racinaires

Au cours de cette étude, nous avons dégagé plusieurs types de paramètres intervenant dans les déformations racinaires :

- Les paramètres évoluant dans le temps. Dans ce cas, on comparera par exemple, pour une même espèce et une même modalité de plantation, des âges différents (PS **G 200cc** à 3, 4, 6 et 8 ans) afin d'obtenir une vision dynamique. On utilisera également les données de 2006 si celles-ci sont disponibles. Ainsi, on pourra noter l'évolution des déformations (au sein d'une même série).
- Les paramètres qui semblent avoir un impact sur la croissance des plants.
- Et enfin, les paramètres qui traduisent une déformation, mais qui n'ont pas forcément d'impact sur la hauteur des plants ou qui sont trop peu représentés pour être pris en compte. Dans ce cas là, on se contentera de donner le résultat des observations partant du principe qu'une déformation est susceptible, à un moment donné, d'avoir un impact sur le plant, lors notamment d'aléas climatiques (coups de vent, sécheresse, etc).

Pourcentage de déformations de chaque essence, tout âge confondu, en fonction des modalités de plantation en 2008 :

Pourcentage de plants présentant	Pin sylvestre			Chêne sessile	Total
	Racines nues	Godets	Total		
Ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	25,00 %	6,98 %	8,73 %	10,34 %	9,03 %
Racines en forme de godet	-	27,91 %	19,84 %	3,45 %	16,77 %
Agglomérat	75,00 %	46,51 %	43,65 %	58,62 %	46,45 %
Agglomérat en forme de L incliné	15,00 %	4,65 %	5,56 %	6,90 %	5,81 %
Effet talon	15,00 %	2,33 %	3,97 %	10,34 %	5,16 %
Effet tournevis	10,00 %	-	1,59 %	-	1,29 %
Absence de racines principales structurales sur plus de 120° en continu	55,00 %	53,49 %	53,17 %	48,28 %	52,26 %

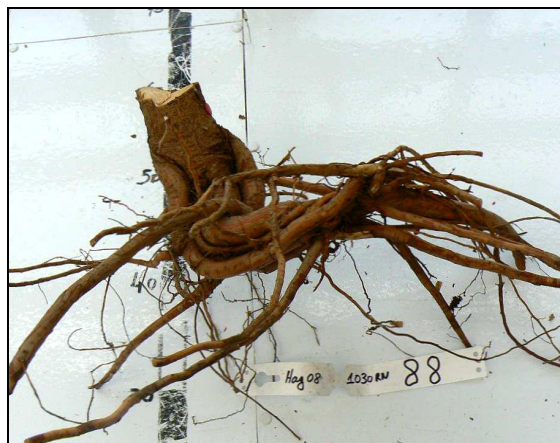
Ainsi, sur l'échantillon étudié :

- **25% des plants en racines nues** présentent des racines **en forme de L**. Ces plants sous-exploitent donc une partie du sol (résistance au vent ?) ;
- presque **un tiers des plants élevés en godets conserve la forme de celui-ci** par la suite ;
- **15% des plants en racines nues** ont subi un **coup de talon** abusif lors de la plantation ;
- **plus de la moitié des plants**, quelle que soit la modalité, présente **une absence de racines principales structurales sur plus de 120° en continu**.

4.2.1. Paramètres agissant sur la hauteur des plants ou évoluant avec le temps

- Racines principales en forme de L

Cette déformation touche principalement les plants en racines nues et dans une moindre mesure les plants en godets (7 %). En revanche, les semis ne sont pas touchés. Ce phénomène est donc lié à la plantation.



Impact de la déformation sur la hauteur :

Dans l'ensemble, les individus qui présentent des racines principales en forme de L, ont une **hauteur légèrement moins importante** que les autres. Cette remarque est valable pour le Pin sylvestre comme pour le Chêne sessile.

Impact de la déformation des racines en forme de L sur la hauteur en 2008 des pins sylvestres de 6 ans en fonction de leurs modalités de plantation

Série	Données 2008	Ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche) (1=oui ; 0=non)		
		1	0	
PS 6 RN	Hauteur max. (cm)	185,0	225,0	NS***
	Hauteur moyenne (cm)	160,4	161,8	
	Hauteur min (cm)	133,0	73,0	
	Ecart type hauteur	24,0	42,7	
	Nbre de plants	5	15	
PS 6 G 200	Hauteur max. (cm)	107,0	165,0	AS**
	Hauteur moyenne (cm)	96,5	136,8	
	Hauteur min (cm)	86,0	89,0	
	Ecart type hauteur	14,8	29,8	
	Nbre de plants	2	8	
		S*	AS	

L'écart de hauteur entre les plants en godets présentant des racines en forme de L, et ceux qui en sont exempts, est beaucoup plus important que celui observé pour les plants en racines nues. On peut se demander si on constate ici seulement l'impact des racines en forme de L ou également l'impact du godet (volume, déformations) ?

Il est difficile de noter l'évolution au cours du temps de cette déformation étant donné que nous ne possédons qu'une seule placette de plants en racines nues pour chaque essence.

* S= Différence, supériorité ou infériorité significative à au moins 95 % de chance

**AS= Différence, supériorité ou infériorité significative à 90-95 % de chance

***NS= Différence, supériorité ou infériorité non significative (< 90 % de chance)

Comparaison avec les données de 2006 :

Les plants de pins sylvestres en racines nues présentait déjà en 2006 des déformations en "L" induites lors de la plantation. La hauteur de ces plants est inférieure à la hauteur moyenne du peuplement (83.07 cm), ainsi qu'aux plants non déformés. Le pourcentage de plants déformés a diminué avec le temps.

Impact des racines en forme de L sur la hauteur en 2006 des pins sylvestres de 4 ans en racines nues :

Ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)
(1=oui ; 0=non)

Série	Données 2006	1	0	
PS 4 RN	Hauteur max. (cm)	88,0	124,0	
	Hauteur moyenne (cm)	69,7	84,9	S
	Hauteur min (cm)	43,0	33,0	
	Ecart type hauteur	14,2	23,1	
	Nbre de plants	9	11	

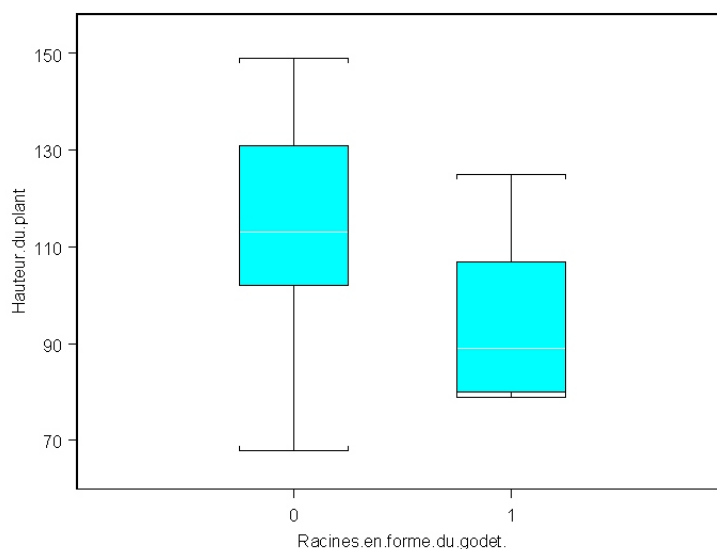
Cette analyse montre que les racines principales en forme de L semble affecter la croissance des plants durant les premières années. Ce point sera à regarder lors de la prochaine campagne de mesures.

- Racines en forme de godet

27 % des plants de pins sylvestres élevés en godets sont touchés par cette déformation.

Impact de la déformation sur la hauteur :

Les plants présentant cette déformation ont une **hauteur inférieure à celle des plants non déformés.**



Graphique 5 : Boîte à moustache représentant la répartition de la hauteur des plants de pins sylvestres de 4 ans en godets de 200cc suivant qu'ils présentent des racines avec la forme du godet (1) ou non (0).

Impact de la déformation des racines en forme de godet sur la hauteur en 2008 des pins sylvestres de 4 ans en fonction du volume du godet

Série	Données 2008	Racines en forme du godet (1=oui ; 0=non)			Peuplement
		1	0		
PS 4 G 200	Hauteur max. (cm)	125,0	149,0		
	Hauteur moyenne (cm)	96,0	112,4	AS	105,4
	Hauteur min (cm)	79,0	68,0		
	Ecart type hauteur	19,7	24,0		
	Nbre de plants	5	13		
PS 4 G 320	Hauteur max. (cm)	158,0	163,0		
	Hauteur moyenne (cm)	120,3	147,8	AS	141,9
	Hauteur min (cm)	82,0	123,0		
	Ecart type hauteur	38,0	18,9		
	Nbre de plants	3	6		
		NS	S		S

Comparaison de la modalité de plantation :

Pour l'instant, il n'y a pas de réelle différence au niveau du taux de déformation entre les volumes de godets, avec un taux de déformation d'environ 30 % pour les godets 200cc et 320cc. On note néanmoins une différence de hauteur de peuplement en fonction du volume du godet. L'étude des sites expérimentaux permettra d'intégrer et de comparer les godets 200cc avec la modalité godets 400cc, où les différences seront peut-être plus importantes.

Evolution du phénomène dans le temps :

Ce type de déformation n'apparaît plus dans les stades plus âgés ; à partir de 6 ans, on ne retrouve plus de racines en forme de godet. L'hypothèse est que ce type de déformation évolue en agglomérat.

Comme le montre le paragraphe sur les agglomérats (4.2.2.), les observations tendent vers ce résultat. En effet, pour les pins sylvestres élevés en godets, 78 % des plants de 8 ans et 100 % des plants de 12 ans présentent un agglomérat.

Chez le chêne, un seul individu est concerné par ce type de déformation, il est donc difficile de confirmer cette tendance.

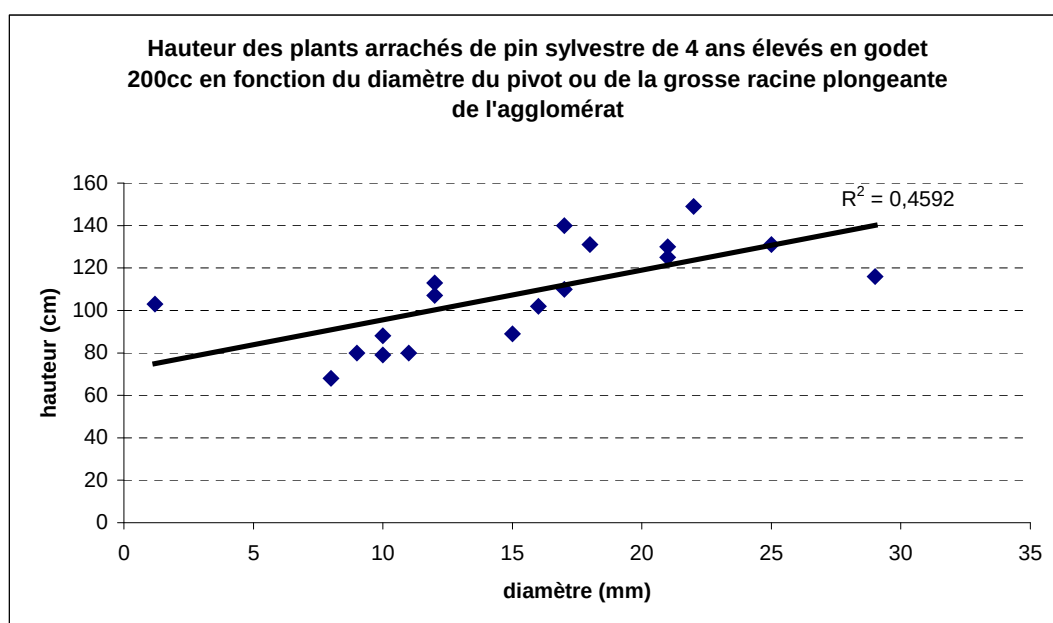
On constate donc que la **déformation des racines en forme de godet**, qui s'observe uniquement chez les jeunes plants (avant d'évoluer en agglomérat), **affecte la hauteur** des plants concernés.

Enfin, on constate, à âge égal, une **hauteur supérieure pour les godets 320cc** par rapport aux godets 200cc, avec une différence sur la hauteur moyenne de **36,5 cm**, ce qui peut correspondre à **l'économie d'un dégagement**.

- Diamètre du pivot ou de la plus grosse racine plongeante de l'agglomérat

Impact du phénomène sur la hauteur :

On constate une corrélation assez nette entre le diamètre du pivot ou de la plus grosse racine plongeante et la hauteur de chaque plant.



Graphique 6 : Hauteur des plants arrachés de pins sylvestres de 4 ans élevés en godets 200cc en fonction du diamètre du pivot ou de la grosse racine plongeante de l'agglomérat

Les plants avec un diamètre de pivot ou de grosse racine plongeante supérieur au diamètre médian affichent clairement une hauteur supérieure, à l'exception des plants de pins sylvestres de 8 ans en godet 200cc.

Hauteur moyenne en 2008 des pins sylvestres en fonction du diamètre du pivot ou de la grosse racine plongeante :

Série	Données 2008	Diamètre < Médiane	Diamètre > Médiane
PS 6 G 200	Hauteur moyenne (cm)	113,6	143,8
	Nbre de plants	5,0	5,0
PS 6 RN	Hauteur moyenne (cm)	151,2	171,7
	Nbre de plants	10,0	10,0
PS 8 G 200	Hauteur moyenne (cm)	324,0	304,5
	Nbre de plants	9,0	10,0

Comparaison entre les différents types de plants :

Que l'on prenne en compte le diamètre du pivot ou de la grosse racine plongeante, ou encore la corrélation entre ce diamètre et la hauteur du plant, on note que celle-ci est légèrement meilleure pour les plants élevés en godets que pour les plants en racines nues ou pour les plants en semis naturels.

De même, **le volume du godet semble jouer un effet positif**, puisque les plants de pins sylvestres de 4 ans élevés en godets 320cc ont un diamètre plus important et affichent une meilleure corrélation entre le diamètre du pivot ou de la grosse racine plongeante et la hauteur que les plants en godets 200cc.

Ainsi, **les godets d'un plus gros volume favoriseraient les pivots d'un plus grand diamètre**, ce qui se répercute logiquement sur la croissance des pins sylvestres. Il sera intéressant de confirmer ou non cette observation lors des prochaines campagnes de mesures des placettes permanentes et des sites expérimentaux.

Toutes ces remarques semblent également valables pour le chêne sessile.

Coefficients de corrélation entre la hauteur des plants en 2008 et le diamètre du pivot ou de la grosse racine plongeante pour chaque modalité :

	3 G 200 PS	SN PS	4 G 200 PS	G 320 PS	5 G 320 PS	6 G 200 PS	RN PS	8 G 200 PS	11 SA PS	12 G 110 PS	4 RN CS	9 G 200 CS	12 G 400 CS
Diamètre du pivot ou de la plus grosse racine plongeante (mm)	0,43	/	0,68	0,73	0,51	0,70	0,35	-0,20	0,54	0,44	0,52	0,76	0,65

Série	Diamètre médian (mm) du pivot ou de la grosse racine plongeante en 2008
PS 3 G 200	12,5
PS 3 SN	12
PS 4 G 200	15,5
PS 4 G 320	20
PS 5 G 320	16,5
PS 6 G 200	16
PS 6 RN	15
PS 8 G 200	27
PS 11 SA	65
PS 12 G 110	55,5
CS 4 RN	13
CS 9 G 200	20
CS 12 G 400	34,5

Evolution du phénomène dans le temps :

Si on s'intéresse au diamètre du pivot, on peut dire qu'il ne cesse d'augmenter ; en revanche, pour la corrélation entre celui-ci et la hauteur, de 0 à 6 ans, elle suit la même logique. Après 6 ans, cette tendance s'estompe.

En 2006, ces observations n'avaient pas été relevées, on ne peut donc pas voir l'évolution de ce paramètre avec l'âge du plant.

Influence des déformations racinaires sur le diamètre du pivot ou de la racine plongeante de l'agglomérat :

Elle a été testée sur la série des pins sylvestres de 4 ans élevés en godets 200cc, série qui affiche une bonne corrélation entre ce diamètre et la hauteur des plants.

		Ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche) (1=oui ; 0=non)	
Série	Données 2008	1	0
PS 4 G 200	Diamètre moyen du pivot ou de la plus grosse racine plongeante (mm)	8,6	16,1
	Ecart type	10,5	6,2
	Nbre de plants	2	16
		Racines en forme du godet (1=oui ; 0=non)	
Série	Données	1	0
PS 4 G 200	Diamètre moyen du pivot ou de la plus grosse racine plongeante (mm)	13,8	15,8
	Ecart type	4,4	7,6
	Nbre de plants	5	13
		Absence de racines principales structurales sur plus de 120° en continu (1=oui ; 0=non)	
Série	Données	1	0
PS 4 G 200	Diamètre moyen du pivot ou de la plus grosse racine plongeante (mm)	12,6	19,4
	Ecart type	6,5	5,3
	Nbre de plants	11	7

En plus de ces déformations, le diamètre du pivot ou de la grosse racine plongeante présente une forte corrélation avec le nombre de racines colonisatrices ($r = 0.77$) et une corrélation négative avec le nombre de racines remontantes ($r = 0.73$).

L'absence de pivot ou d'une grosse racine plongeante de l'agglomérat affecte fortement la hauteur des plants concernés. De même, le diamètre de pivot ou de la grosse racine plongeante influe sur la hauteur des plants, au moins jusqu'à 6 ans. Après 6 ans, cette tendance s'estompe.

La corrélation entre le diamètre du pivot ou de la plus grosse racine plongeante et la hauteur est plus significative pour les plants en godets que pour les plants en racines nues ou les semis. Les godets, et notamment ceux de gros volume, favoriseraient le développement de pivot puissant favorable à la croissance des plants.

Les déformations racinaires comme les racines en forme de L, de godet, le nombre de racines remontantes ou encore l'absence de racines sur plus de 120°, affectent le développement du pivot ou de la grosse racine plongeante.

Un nombre important de racines colonisatrices favorise le diamètre du pivot ou de la grosse racine plongeante de l'agglomérat.

- Diamètre de la plus grosse racine de premier ordre

Impact du diamètre sur la hauteur :

De manière très nette, les plants avec une racine de premier ordre ayant un diamètre supérieur à la médiane ont **une hauteur supérieure aux autres plants**.

Cette constatation qui peut paraître évidente, confirme l'intérêt d'avoir des racines principales à l'optimum de leur développement.

Hauteur moyenne en 2008 des pins sylvestres en fonction du diamètre de la plus grosse racine de premier ordre :

Série	Données 2008	Diamètre < Médiane	Diamètre > Médiane	
PS 4 G 200	Hauteur moyenne (cm)	91,1	124,6	S
	Nbre de plants	9,0	9,0	
PS 4 G 320	Hauteur moyenne (cm)	112,8	159,4	S
	Nbre de plants	4,0	5,0	
		AS	S	

Comparaison entre les différents types de plants :

Le tableau ci-dessous montre que la corrélation entre le diamètre de la plus grosse racine de premier ordre et la hauteur des plants est plus importante chez les plants élevés dans des godets de gros volume (voir les plants de pins sylvestres de 4 ans).

Coefficients de corrélation entre la hauteur des plants en 2008 et le diamètre de la plus grosse racine de premier ordre pour chaque modalité :

grosse racine de premier ordre pour chaque modante :													
	3		4		5	6		8	11	12	4	9	12
	G 200	SN	G 200	G 320	G 320	G 200	RN	G 200	SA	G 110	RN	G 200	G 400
	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	CS	CS	CS
Diamètre de la plus grosse racine de premier ordre (mm)	0,25	0,22	0,83	0,95	0,69	0,66	0,58	0,55	0,67	0,58	0,61	0,85	0,49

Les plants en semis et les plants en racines nues présentent une corrélation inférieure aux plants en godets de même âge. Peut-être que cette corrélation augmentera avec l'âge ou que ces plants s'appuieront sur un nombre de racines plus important ?

Evolution du phénomène dans le temps :

A partir de 4 ans, le diamètre de la plus grosse racine de premier ordre est supérieur à un cm pour l'ensemble des modalités.

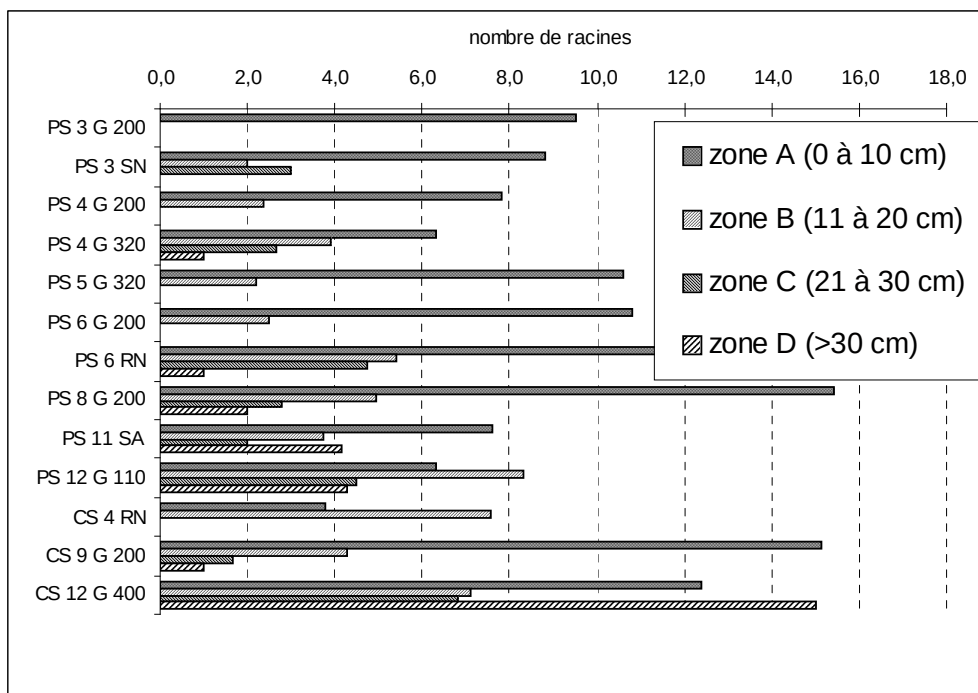
Le diamètre de la plus grosse racine de premier ordre est un paramètre qui semble significatif d'un système racinaire vigoureux et bien développé. Il existe une excellente corrélation positive entre ce diamètre et la hauteur des plants. Les godets de plus gros volume semblent favoriser le développement de ces racines de premier ordre.

Série	Diamètre médian de la plus grosse racine de premier ordre en 2008	
PS 3 G 200	9	
PS 3 SN	7	
PS 4 G 200	9	S
PS 4 G 320	13	
PS 5 G 320	13,5	
PS 6 G 200	17	NS
PS 6 RN	19	
PS 8 G 200	30	
PS 11 SA	43	
PS 12 G 110	52	
CS 4 RN	6,5	
CS 9 G 200	18	
CS 12 G 400	31	

- Profondeur de prospection des racines et nombre de racines dans les 10 premiers cm

La profondeur de prospection varie davantage en fonction de l'âge des plants que du nombre de racines primaires par horizon. Si on prend la zone A (0 à 10 cm), le nombre de racines est compris entre 6 et 16 en moyenne, toutes modalités confondues, mais il n'y pas vraiment d'augmentation du nombre de racines en fonction de l'âge.

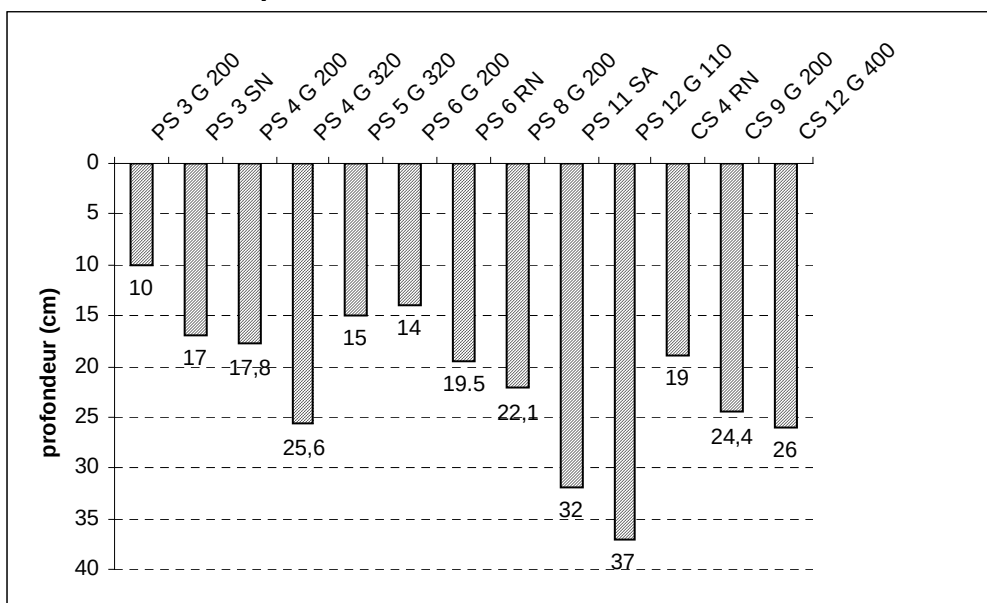
En revanche, à l'âge de **3 ans**, les racines des pins sylvestres plantés en godets **200cc ne prospectent pas en dessous de 10 cm** ; à **4 ans**, elles ne **descendent pas au-dessous de 20 cm**. Ce n'est qu'à partir de 8 ans qu'elles colonisent jusqu'à 40 cm de profondeur.



Graphique 7 : Nombre moyen de racines par horizon pour chaque série

Comparaison entre les différents types de plants :

Il faut également noter que par rapport aux plants en godets 200cc, les semis naturels, les plants en racines nues et les plants en godets de gros volume **ont une meilleure colonisation en profondeur du sol**.

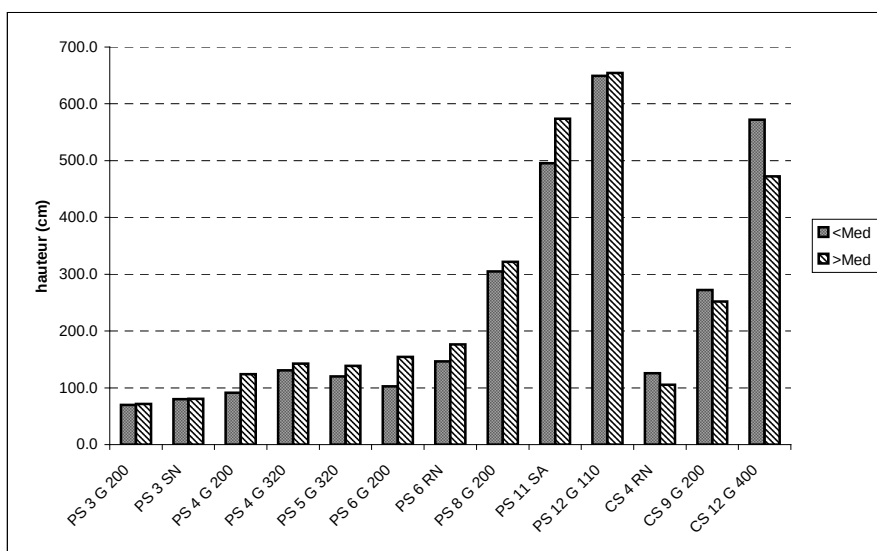


Graphique 8 : Profondeur moyenne de prospection des racines pour chaque série

Impact du nombre de racines dans les 10 premiers cm sur la hauteur :

Le nombre de racines dans la zone A semble jouer un rôle certain sur la hauteur des plants de pins sylvestres. Les plants avec un nombre de racines supérieur à la médiane dans ces 10 premiers centimètres ont une hauteur supérieure aux autres.

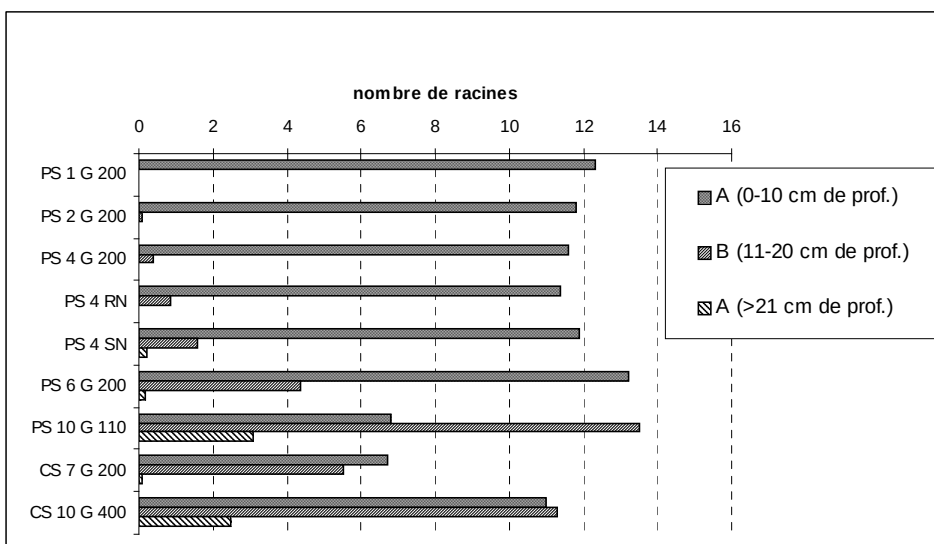
Pour les chênes sessiles, la logique semble complètement inversée



Graphique 9 : Hauteur moyenne des plants arrachés en fonction du nombre de racines dans la zone A

Comparaison avec les données de 2006 :

Les observations de 2006 présentent le même constat que celles de 2008. Dans l'horizon A, le nombre de racines de premier ordre n'évolue ni en fonction de l'âge, ni en fonction du type de plant. En revanche, dans les horizons inférieurs, la colonisation augmente avec l'âge. La comparaison des observations, entre les modalités de plantation, montre que les plants en godets 200cc ne sont pas les plus rapides pour coloniser le sol en profondeur.



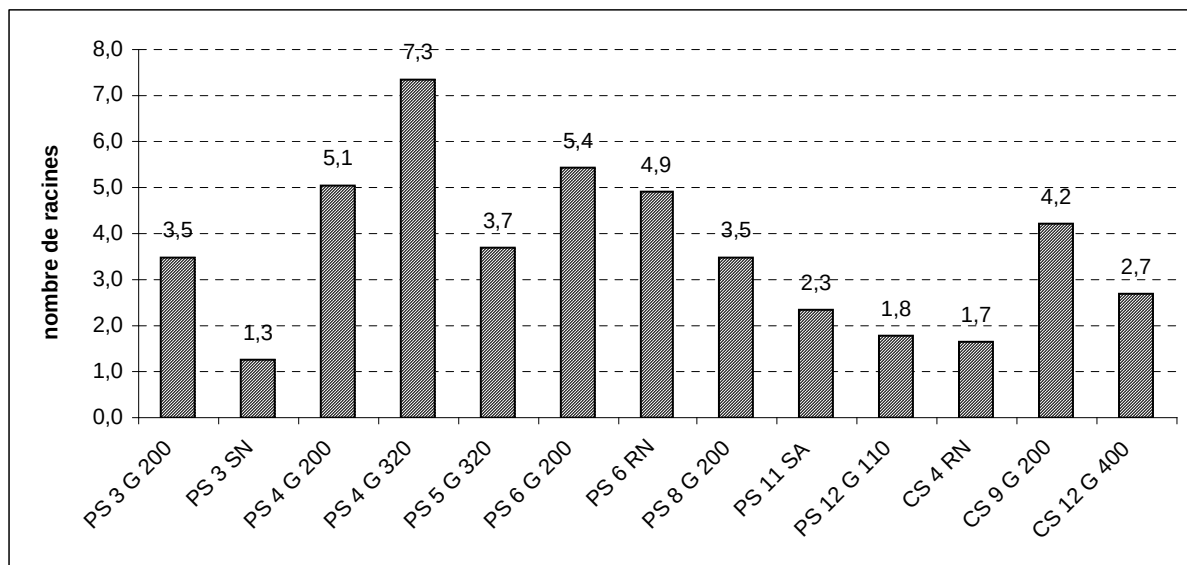
Graphique 10 : Nombre de racines de premier ordre par horizon en 2006 pour chaque série

Le paragraphe précédent montrait que les plants en racines nues développaient des racines de premier ordre de plus petit diamètre que les plants en godets, mais ils se développent avec un nombre de racines plus important que les plants en godets. **Les semis naturels, eux, semblent privilégier la rapidité de colonisation des horizons inférieurs.**

- Racines tournées en face externe

Cette déformation correspond à des racines tournant à plus de 90°, peut-être dû à une paroi de sol lissée ou à un problème lors de la plantation.

En moyenne, les semis naturels sont moins touchés que les autres modalités par des racines tournées en face externe. Les semis révèlent seulement 30 à 40 % de plants présentant cette déformation contre 60 à 100 % pour les autres modalités. L'accentuation de ce phénomène apparaît donc sûrement lors de la plantation pour les plants en racines nues ou par la nature de conteneur pour les plants en godets.



Graphique 11 : Nombre moyen de racines tournées en face externe en 2008, pour chaque série

Impact de la déformation sur la hauteur :

Dans les jeunes âges, il est difficile de montrer que ce paramètre influe sur la hauteur des plants. Cependant, à partir de 5-6 ans, ce paramètre semble avoir un impact sur la hauteur des plants, comme le montre le tableau ci-dessous.

Coefficients de corrélation entre la hauteur des plants en 2008 et le nombre de racines tournées en face externe :

	3 G 200 PS	3 SN PS	4 G 200 PS	4 G 320 PS	5 G 320 PS	6 G 200 PS	6 RN PS	8 G 200 PS	11 SA PS	12 G 110 PS	4 RN CS	9 G 200 CS	12 G 400 CS
Nombre de racines primaires tournées (>90°) en face externe	0,06	0,11	0,00	0,16	-0,23	0,17	-0,58	-0,69	0,11 trop peu d'individus touchés	-0,53	0,33	-0,42	-0,55

Comparaison entre les différents types de plants :

On peut noter que les plants de pins sylvestres de 6 ans en racines nues, même s'ils sont autant touchés que les plants en godets, ont en moyenne un nombre de racines tournées en face externe inférieur. Cependant, en ce qui concerne l'échantillon étudié, les coefficients de corrélation entre la hauteur et le nombre de racines tournées montrent que pour les plants en godets, cette déformation ne semble pas avoir d'influence, alors que pour les plants en racines nues, celle-ci est négative pour la croissance.

Il sera intéressant de noter, lors de la prochaine campagne de mesures, si, pour ces plants en godets, une corrélation entre les racines tournées et la hauteur apparaît.

Evolution du phénomène dans le temps :

Si le nombre de racines tournées en face externe semble diminuer avec le temps, probablement dû au fait qu'on les distingue moins, la corrélation avec la hauteur, en revanche, devient de plus en plus significative avec l'âge. Cette corrélation montre que les racines tournées en face externe semblent avoir un impact de plus en plus important sur la hauteur des plants avec l'âge.

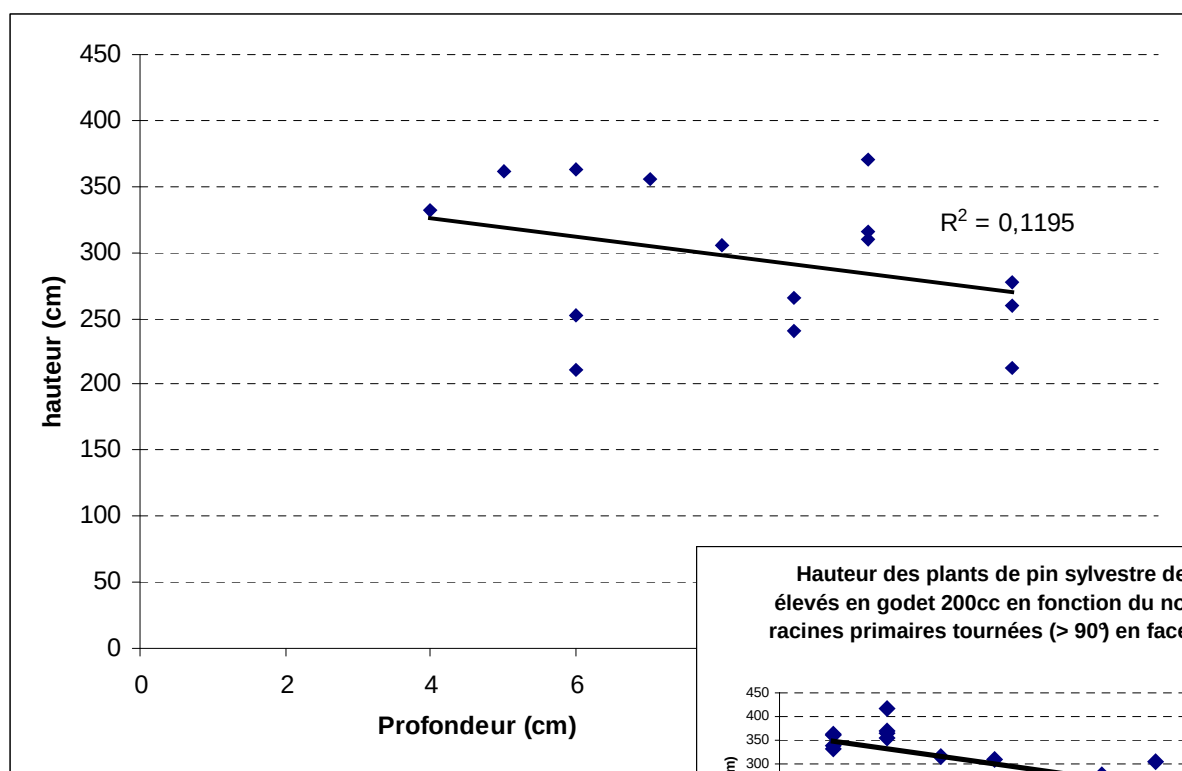
Comparaison avec les données de 2006 :

En 2006, le nombre de racines tournées en face externe a été observé seulement pour les plants de la série "PS 4 RN" ("PS 6 RN" en 2008). Tous les plants présentaient au moins une racine tournée en face externe et la moyenne sur la série était de 4.5 racines tournées. Le coefficient de corrélation entre la hauteur et le nombre de racines tournées était de 0.42 ; deux ans plus tard, il est de - 0.58.

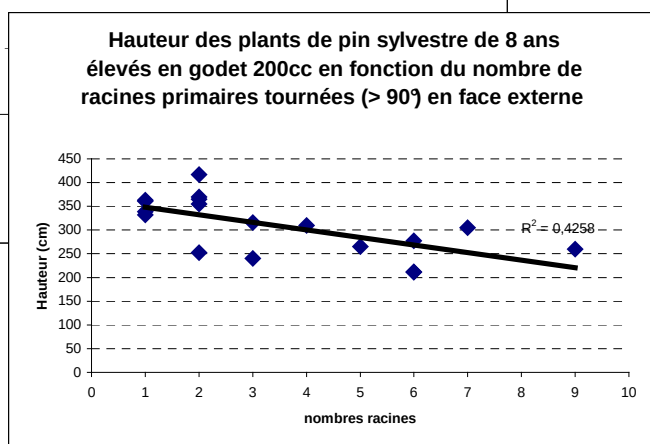
On passe d'une situation où les racines tournées en face externe ne semblaient pas jouer de rôle à une situation où celles-ci se répercutent sur la hauteur des arbres.

Profondeur d'apparition des racines tournées en face externe :

La profondeur d'apparition des racines tournées ne semble pas jouer de rôle sur la hauteur des arbres. En effet, la corrélation de ces deux paramètres est très mauvaise comme le montre l'exemple ci-dessous avec des pins sylvestres en godets 200cc de 8 ans.



Graphique 12 : Hauteur des plants de pins sylvestres de 8 ans élevés en godets 200cc en fonction de la profondeur maximale d'apparition des racines tournées

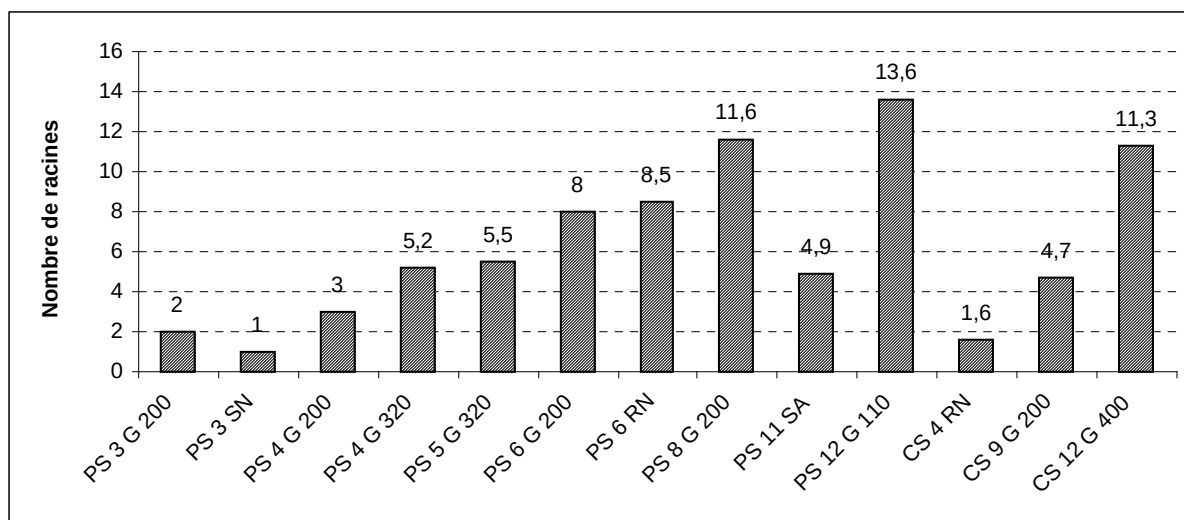


Ainsi, la présence de racines tournées en face externe semble influencer négativement sur la hauteur à partir de 5-6 ans. En revanche, la profondeur d'apparition de cette déformation ne semble jouer aucun rôle vis-à-vis de la croissance.

Racines incluses visibles

Les racines incluses visibles apparaissent chez les plants avec l'âge. Avant 3 ans, les racines sont simplement entrecroisées.

A 3 ans, selon le type de plant, entre 60 et 80 % des plants n'ont pas de racines incluses visibles. Par contre, comme on le verra dans le paragraphe sur les racines entrecroisées, à 3 ans, 100 % des plants de pins sylvestres élevés en godets 200cc présentent des racines entrecroisées.



Graphique 13 : Nombre moyen de racines incluses visibles pour chaque série

Impact de la déformation sur la hauteur :

Les racines incluses semblent avoir plutôt un impact positif sur la croissance des pins sylvestres, les plants qui présentent un nombre d'inclusions supérieur à la moyenne ont une hauteur largement supérieure aux autres plants. Les coefficients de corrélation entre le nombre d'inclusions et la hauteur des plants vérifient cette tendance, qu'on ne retrouve pas chez le chêne.

Coefficients de corrélation entre la hauteur des plants en 2008 et le nombre de racines incluses :

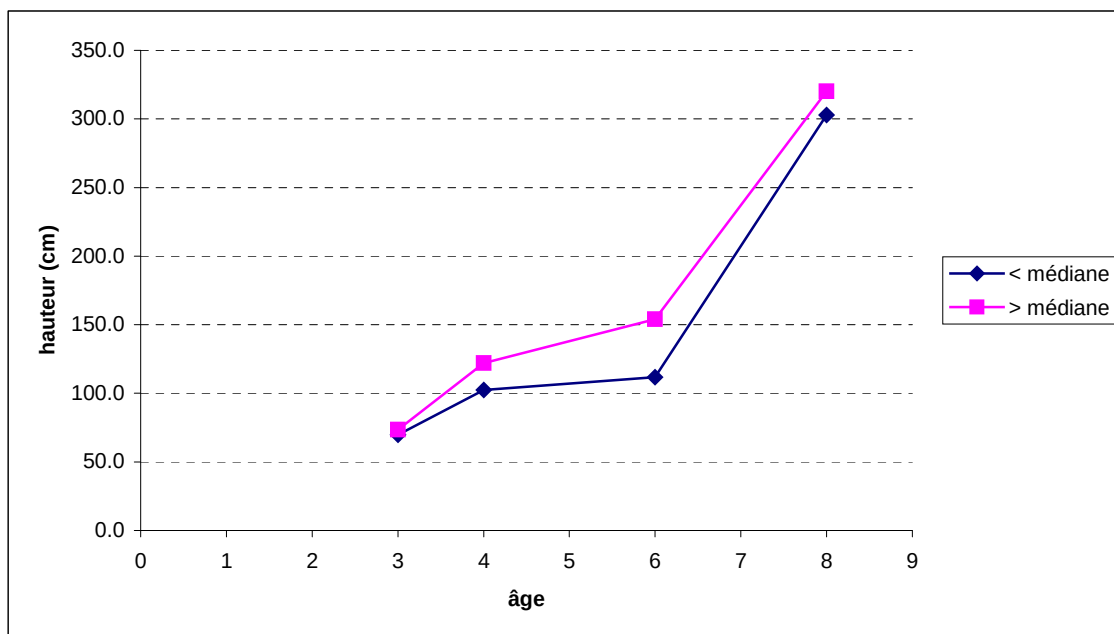
	3		4		5		6		8		11		12		4		9		12
	G 200	SN	G 200	G 320	G 320	G 200	RN	G 200	SA	G 110	RN	G 200	G 400						
	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	CS	CS	CS						
Nombre de racines incluses visibles	0,33	0,59	0,56	0,74	0,51	0,61	0,59	0,51	0,71	0,31	0,16	0,49	0,18						

Comparaison entre les différents types de plants :

Les semis présentent beaucoup moins de racines incluses que les autres modalités. Les racines nues pour les pins sylvestres de 6 ans en présentent plus que les plants en godets. On notera aussi que les pins sylvestres de 4 ans en godets de gros volumes ont plus de racines incluses que ceux en godets de faible volume. Dans tous les cas, notre échantillon montre un effet non négatif, voire même positif, des racines incluses sur la hauteur de certaines séries. Ainsi, la présence de racines incluses ne semble pas être un facteur limitant pour la croissance des plants, voire au contraire.

Evolution du phénomène dans le temps :

Le nombre de racines incluses visibles augmente avec l'âge du plant, mais la corrélation entre la hauteur et le nombre de racines incluses ne suit pas cette logique. Si l'effet des ces racines parait positif, aucune tendance n'est visible quant à son évolution dans le temps. On peut se demander si cet effet positif ne va pas s'inverser au bout de quelques années avec l'apparition de nécroses au niveau de ces inclusions.



Graphique 14 : Hauteur des plants de pins sylvestres élevés en godets 200cc en fonction du nombre de racines incluses pour chaque âge

Comparaison avec les données de 2006 :

Le nombre de racines incluses augmente clairement avec l'âge. Par exemple, en 2006 les pins sylvestres de 4 ans élevés en godets 200cc avaient en moyenne 1.5 racine incluse par plant et en 2008 ce nombre est passé à 7.

Série	Nombre médian de racines incluses
PS 4 G 200	1,5
PS 6 G 200	7

Données 2006

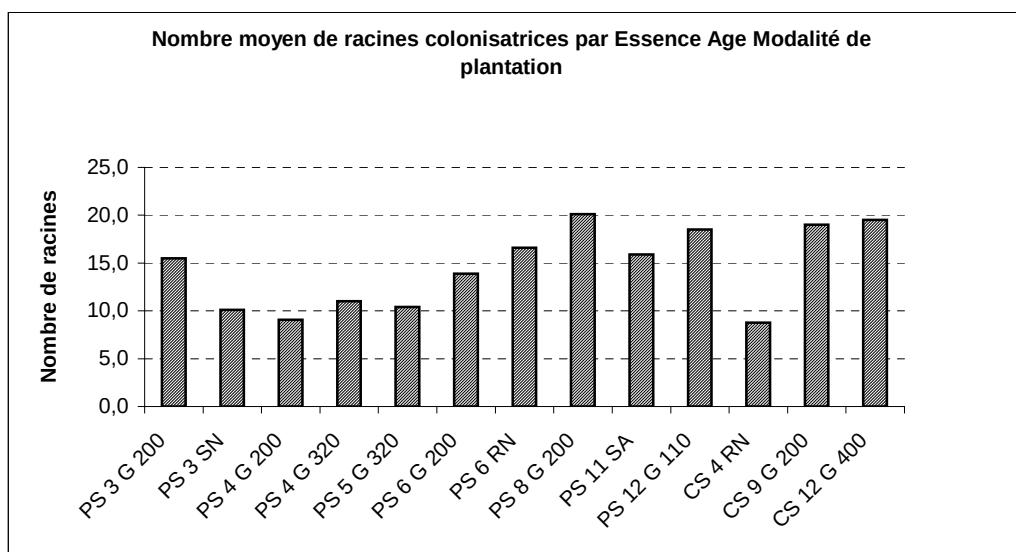
Ce phénomène d'évolution des racines croisées et entrelacées, qui évolue en racines incluses et augmente donc dans le temps, semble avoir un impact plutôt positif sur la hauteur des plants.

Cependant, les semis naturels ne présentent pas ce type de déformation, on peut donc se demander si ce paramètre restera bénéfique pour le plant au cours du temps.

En effet, nous ne disposons d'aucune donnée concernant l'évolution dans le temps de ces inclusions, source potentielle de nécroses. Aucune information n'est disponible par exemple sur la résistance mécanique de ces zones (capacité de résistance au vent ?). A ce titre, il serait intéressant de mener des études sur le sujet.

- Racines colonisatrices

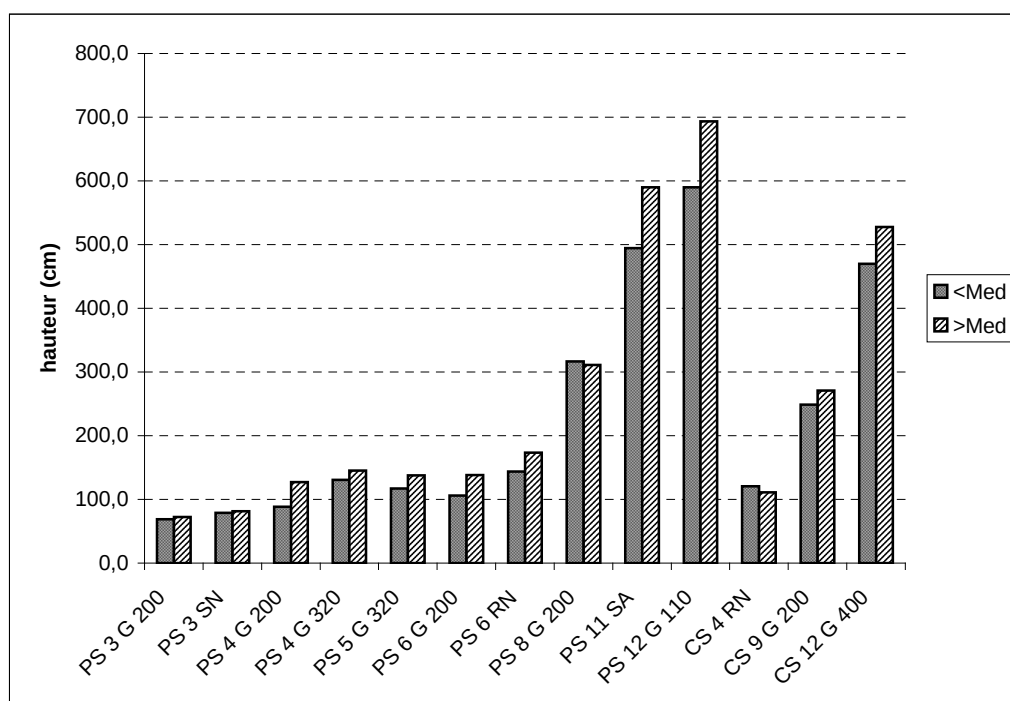
Quasiment tous les plants présentent des racines colonisatrices ; leur nombre, compris ici entre 2 et 28, varie selon l'âge, le type de plant et l'espèce.



Graphique 15 : Nombre moyen de racines colonisatrices pour chaque série

Impact de la déformation sur la hauteur :

Les plants avec un nombre de racines colonisatrices supérieur à la médiane ont également une hauteur supérieure.



Graphique 16 : Hauteur moyenne des plants en fonction du nombre de racines colonisatrices pour chaque série

Toutefois, on ne peut pas dire que l'impact de ce paramètre sur la hauteur soit vraiment significatif, car la corrélation n'est pas assez forte. Pour certaines modalités, le nombre de racines colonisatrices semble jouer clairement un rôle sur la hauteur, notamment pour les godets 200c de 4 ans et de 6 ans.

Coefficients de corrélation entre la hauteur des plants en 2008
et le nombre de racines colonisatrices

	3		4		5	6		8	11	12	4	9	12
	G 200	SN	G 200	G 320	G 320	G 200	RN	G 200	SA	G 110	RN	G 200	G 400
	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	CS	CS	CS
Nombre de racines colonisatrices	0,36	0,11	0,86	0,63	0,13	0,65	0,18	0,03	0,23	0,58	-0,23	0,44	0,15

Comparaison entre les différents types de plants :

Les semis naturels possèdent en moyenne, à 3 ans, un nombre de racines colonisatrices inférieur aux plants en godets, privilégiant, comme on l'a vu, une prospection en profondeur.

En revanche, les plants de pins sylvestres de 4 ans élevés dans des godets de 320cc possèdent plus de racines colonisatrices que les plants en godets 200cc. Cependant, le tableau ci-dessus montre que cela n'apporte pas forcément un effet spécialement positif sur la hauteur.

A 6 ans, les plants de pins sylvestres en racines nues ont également plus de racines colonisatrices que les plants en godets 200cc, mais, ici aussi, l'effet sur la hauteur est contraire.

On pourrait croire que le nombre de racines colonisatrices joue un rôle positif sur la hauteur, mais cette tendance n'est pas vérifiée, car la corrélation entre le nombre de racines colonisatrices et la hauteur des plants est faible.

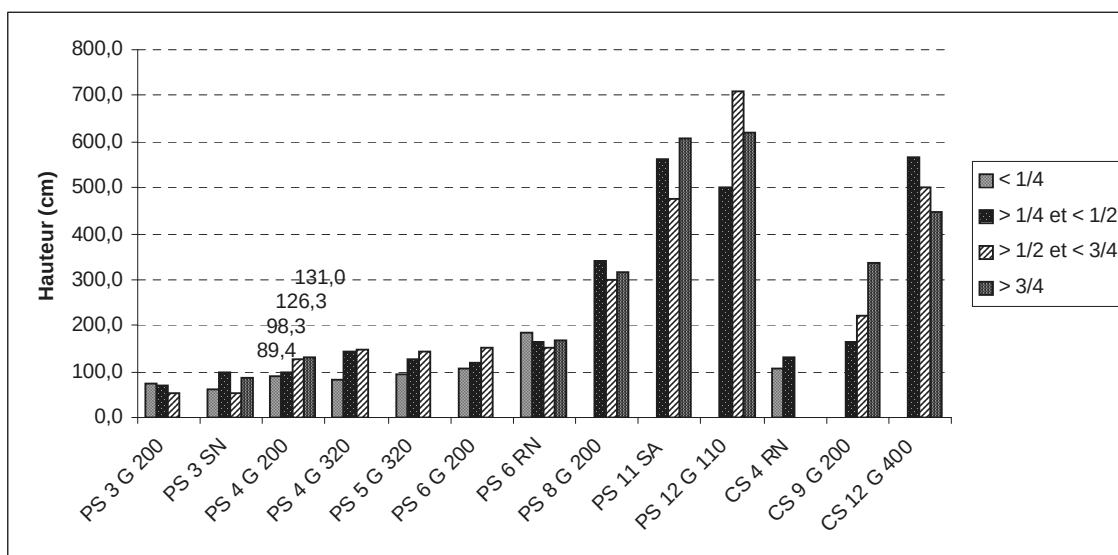
On peut émettre l'hypothèse que ce n'est pas le nombre de racines colonisatrices qui joue un rôle sur la hauteur des plants, mais plutôt le diamètre de ces racines. Lors de la prochaine campagne de mesures, il pourrait être intéressant de relever ces diamètres.

- Distribution des racines sur 360°

En ce qui concerne les plants en godets 200cc, on constate que, **jusqu'à 6 ans**, les plants ont une **couverture d'à peine 180°**. Les **semis naturels** ont eux, **dès 3 ans**, occupé quasiment **les trois quarts des 360°** colonisables.

Impact de la déformation sur la hauteur :

Si on regarde la série des pins sylvestres de 4 ans en godets 200cc, la distribution semble avoir clairement un impact sur la hauteur des plants. Cependant, cette tendance ne se vérifie pas avec les autres séries.



Graphique 17 : hauteur moyenne des plants suivant la distribution des racines sur 360°

Comparaison de la modalité de plantation :

Les résultats de la comparaison des modalités de plantation, pour des séries du même âge, sont très intéressants. Par exemple, la distribution des racines sur 360° est en moyenne plus importante pour des semis de 3 ans que pour des plants en godets. Il en est de même pour les plants de 6 ans en racines nues qui ont une distribution supérieure à ceux en godets. En revanche, le volume du godet ne semble pas apporter une meilleure distribution (série "PS 4 G200 et 320cc"). Cependant, notons que la différence de volume entre 200cc et 320cc n'est peut-être pas suffisante pour voir des variations et que la comparaison avec des godets 400cc dans le cadre du suivi des sites expérimentaux apportera peut-être des informations complémentaires.

	Distribution moyenne
PS 3 G 200	1,4
PS 3 SN	2,9
PS 4 G 200	2,2
PS 4 G 320	1,0
PS 5 G 320	2,2
PS 6 G 200	2,2
PS 6 RN	2,5
PS 8 G 200	2,9
PS 11 SA	3,0
PS 12 G 110	3,3
CS 4 RN	1,4
CS 9 G 200	3,2
CS 12 G 400	2,7

Distribution moyenne des racines sur 360° ($\underline{1}<1/4$, $1/4<\underline{2}<1/2$, $1/2<\underline{3}<3/4$, $\underline{4}>3/4$) pour chaque série en 2008 :

Evolution du phénomène dans le temps :

On peut noter que la distribution moyenne des plants augmente avec l'âge. Si on prend la série des pins sylvestres plantés en godets 200cc, leur distribution passe de 1,4 en moyenne à 3 ans à 2,9 à 8 ans. La distribution des racines sur 360° pour les plants en godets est inférieure à celle des plants en racines nues et des semis. La distribution des racines semble néanmoins augmenter et se corriger avec l'âge. Cependant, ces résultats soulignent la **vulnérabilité des plants dans le jeune âge qui couvrent moins de $\frac{3}{4}$ des 360° disponibles jusqu'à l'âge de 8 ans**.

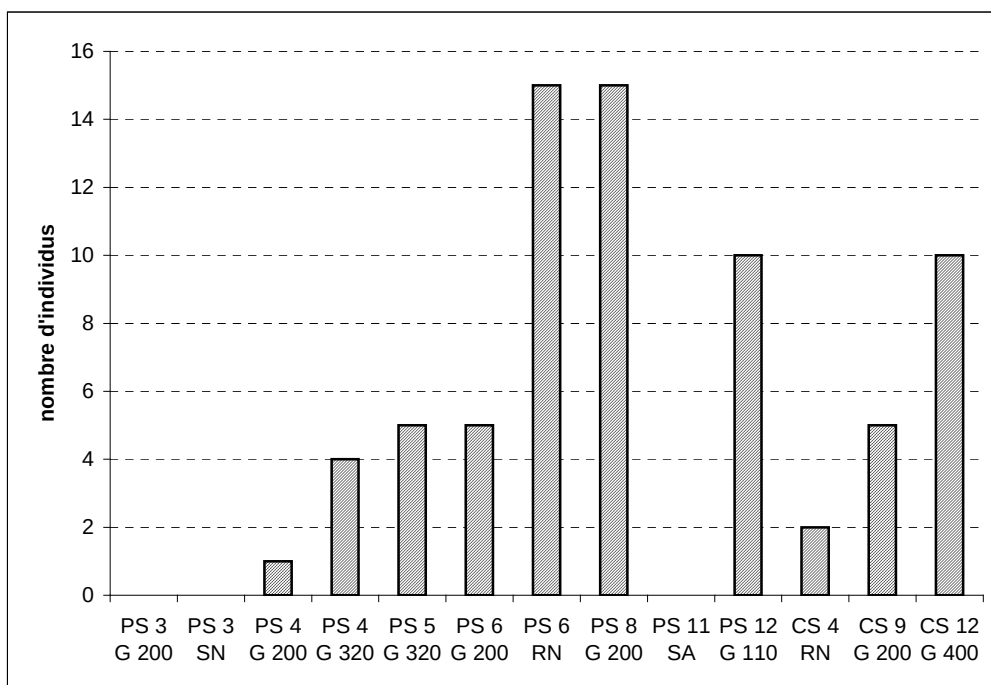
4.2.2. Autres paramètres

- Agglomérat

Les agglomérats sont très présents, avec plus de 45 % des plants concernés. Avec l'âge, le pourcentage de plants touchés ne cesse de croître : 50 % des pins sylvestres de 6 ans élevés en godets sont touchés, 78 % des pins de 8 ans et enfin 100 % de ceux de 12 ans. Le chêne suit la même logique.

Cette mesure semble être une évolution des racines « en forme de godet » ou des plants qui avaient, dans tous les cas, un système racinaire très entrecroisé et enchevêtré. C'est pour cela qu'on ne trouve quasiment pas d'individu présentant un agglomérat chez les jeunes plants et qu'à l'inverse les racines en forme de godet sont très difficilement observables après quelques années.

Il est également intéressant de voir que les semis ne présentent pas ce type de déformation qui doit donc être lié à la plantation et à la culture en godets.



Graphique 18 : Nombre de plants présentant un agglomérat de racines dans chaque série en 2008

- Agglomérat en L

Cette déformation du système racinaire est très peu observée, avec moins de 10 individus concernés sur l'ensemble des plants arrachés. Cela concerne principalement les plants en racines nues. Ainsi, la série de pins sylvestres de 6 ans en racines nues présente, avec 15 % des plants, le plus fort pourcentage.

- Effet « talon », effet « tournevis »

Ces deux paramètres sont peu représentés, avec 5 % de plants concernés pour l'effet « talon » et 1.5 % pour l'effet « tournevis ». Pour l'effet talon, ce sont les plants en racines nues qui sont les plus touchés (60 % des plants présentant cette déformation ont été plantés en racines nues). Cependant, quelques plants en godets ont dû subir également ce mode de plantation. Nous ne pouvons néanmoins pas trouver de tendance au vu de la faible taille de l'échantillon.

On observe cependant, dans le tableau ci-dessous, que dans les séries PS 4 G 200, les deux plants avec un coup de talon ont une hauteur moyenne inférieure, de près de 20 cm, à la hauteur moyenne du reste de l'échantillon. Cette différence est non négligeable.

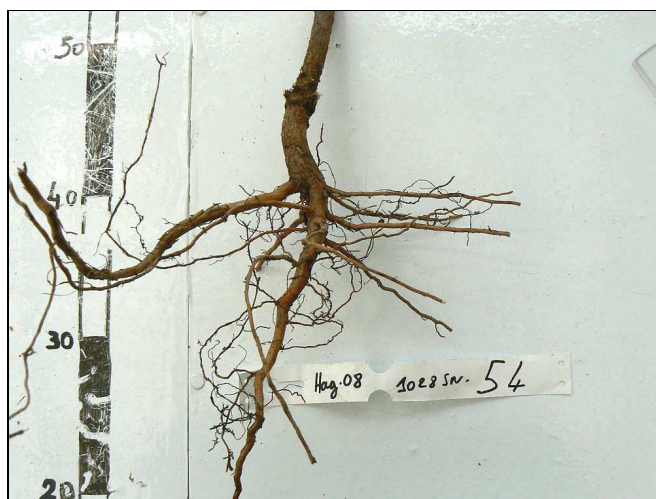
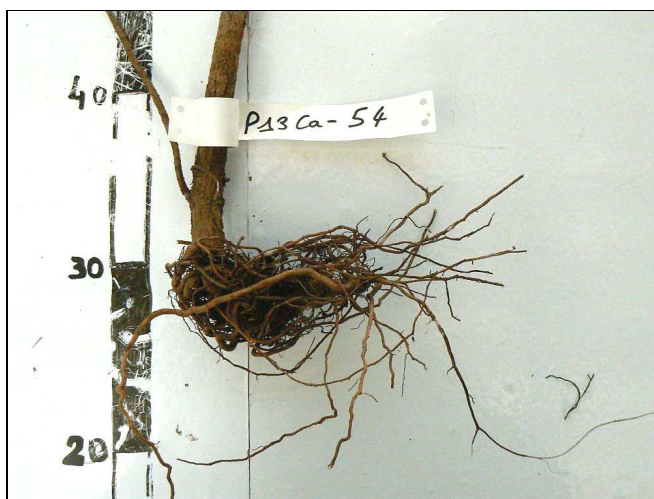
Série	Données 2008	Effet talon		
		0	1	
PS 4 G 200	Hauteur moyenne (cm)	110	90,5	AS
	Nbre de plants	16	2	

NB : Le coup de talon est une mesure difficile à relever, cette déformation s'observe d'autant mieux que les racines sont en L.

- Absence de racines sur plus de 120° en continu

Cette déformation est répartie équitablement entre toutes les modalités de plantation. En moyenne, 52 % des plants sont touchés par ce phénomène. Pour les plants de pins sylvestres de 6 ans en racines nues, cela vient très probablement du nombre important de racines en forme de L. D'autres modalités, comme les pins sylvestres de 12 ans élevés en godets 110cc, affichent 100 % de plants avec une absence de racines sur plus de 120° et présentent également 100 % de plants avec des agglomérats. Ici, la taille du godet est peut-être en cause.

Notons que cette asymétrie du système racinaire pourrait avoir un impact sur la capacité de résistance au vent des plants affectés, ainsi que sur leur alimentation en eau.



A gauche, plant G200cc de 4 ans en forme de L, avec absence de racines sur au moins 120°.

A droite, semis naturel de 3 ans avec racines réparties sur 360°

- Spiralisation des racines

Il est difficile de noter une tendance dans le temps vis-à-vis de ce paramètre qui semble ne pas varier avec l'âge des plants.

Les semis ne présentent quasiment pas de racines spiralées, ce qui pouvait être attendu. Cette déformation est très certainement induite par le manque de porosité du substrat et éventuellement par le mode de plantation.

*Spiralisation moyenne des racines sur 360°,
(1=pas de spiralisation, 1°<2<179°, 180°<3<359°, 4>+360°) en 2008 :*

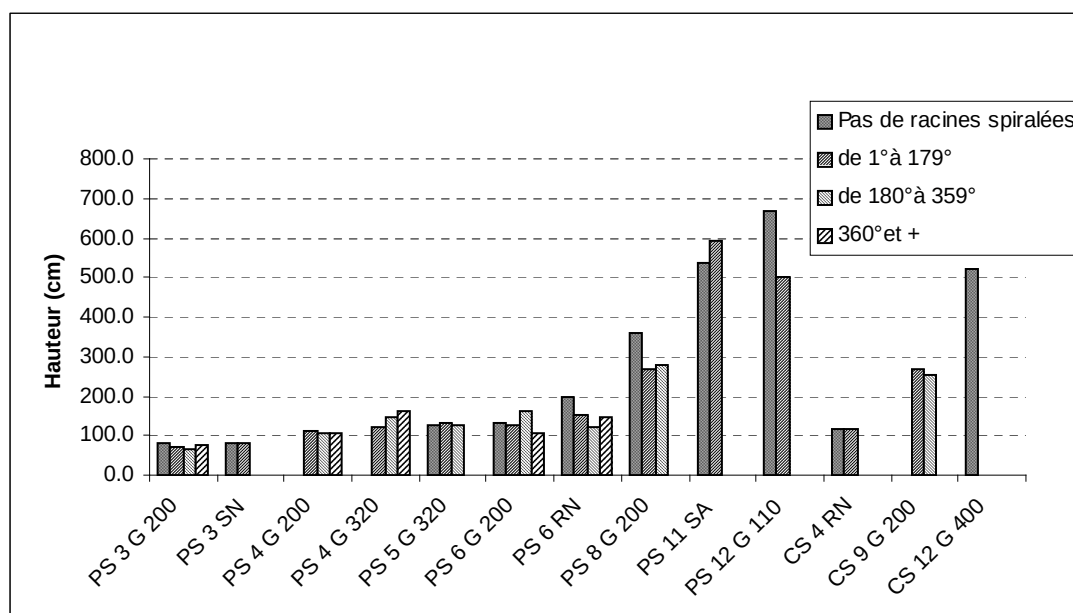
Série	Spiralisation moyenne
PS 3 G 200	2,5
PS 3 SN	1,1
PS 4 G 200	2,7
PS 4 G 320	2,8
PS 6 G 200	2,7
PS 6 RN	2

Les plants en racines nues sont moins touchés que les plants en godets. Le volume du godet dans cet échantillon ne semble pas jouer positivement sur ce phénomène. Encore une fois, il sera intéressant de savoir si ceci se confirme ou pas avec les godets de 400cc installés sur les sites expérimentaux.

Comme le montre l'exemple ci-dessous, avec les pins sylvestres de 8 ans élevés en godets, l'impact de la spiralisation des racines sur la croissance des plants n'est pas évident. Néanmoins, les plants ne présentant pas de spiralisation ont une hauteur supérieure à ceux présentant une spiralisation.

Spiralisation (plan horizontal) ou enroulement d'au moins une racine de plus de 3 mm de diamètre autour du pivot ou de l'agglomérat

Série	Données 2008	Pas de racines spiralées	de 1° à 179°	de 180° à 359°	360° et +
PS 8 G 200	Hauteur moyenne (cm)	362,0	267,6	276,7	
	Nbre de plant	9	7	3	

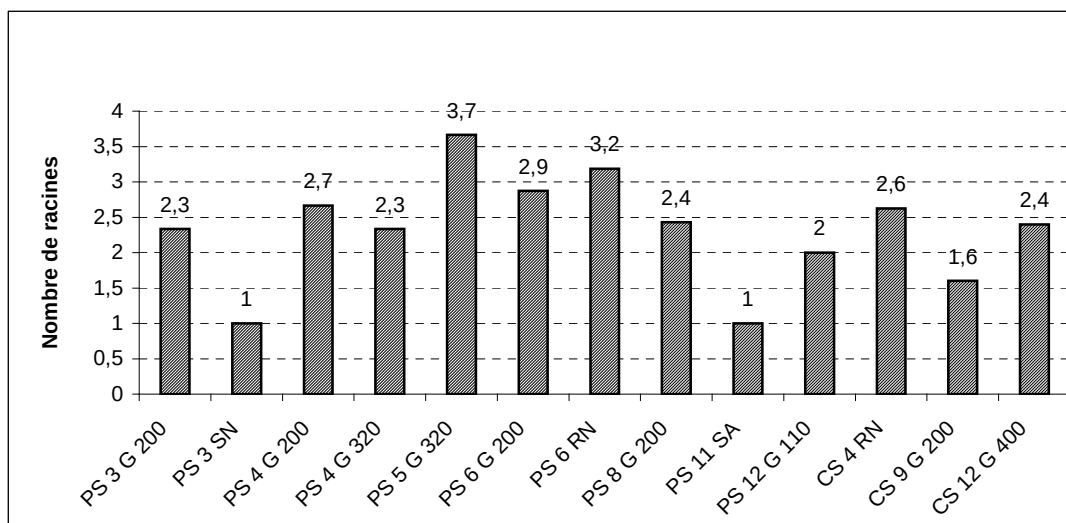


Graphique 19 : Hauteur moyenne des plants en fonction de la spiralisation de leurs racines pour chaque série

A partir de 8 ans, on ne retrouve plus de plants avec des racines spiralées à plus de 360°. Ce phénomène vient du fait, qu'à partir de cet âge, les racines forment un agglomérat et l'enroulement des racines autour du pivot n'est plus visible.

- Racines remontantes

Le nombre de racines remontantes varie entre 0 et 8 par plant. Les semis ont un nombre de racines remontantes inférieur aux autres séries. Plusieurs facteurs sont responsables de cette déformation. Les godets peuvent induire ce type de déformation et également la plantation. Ce phénomène ne semble pas influencer la hauteur des plants puisque, par exemple, les plants de pins sylvestres en racines nues présentant le plus de racines remontantes ont une hauteur supérieure par rapport aux plants qui en ont le moins.



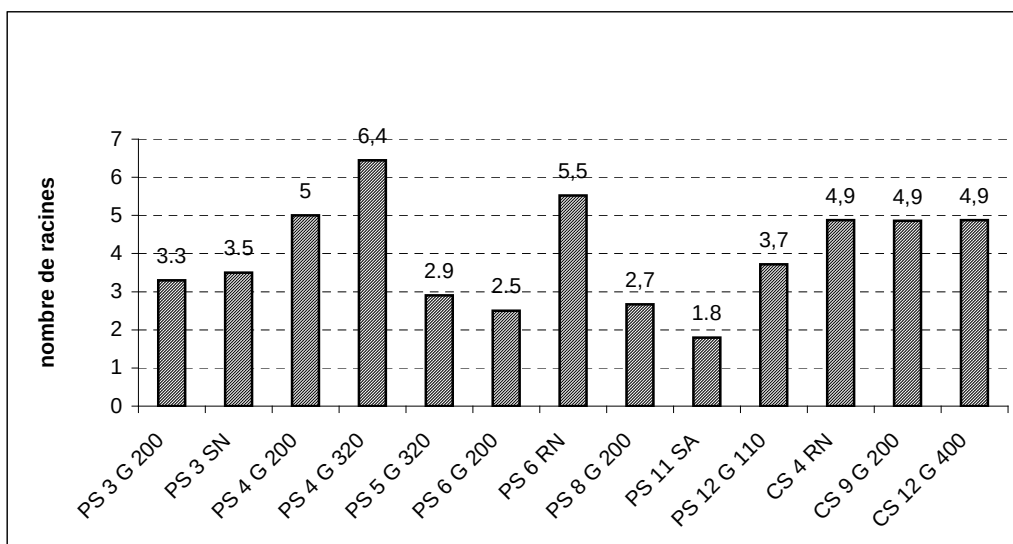
Graphique 20 : Nombre moyen de racines remontantes pour chaque série

Série	Données 2008	Nombre de racines remontantes	
		< Médiane	> Médiane
PS 6 RN	Hauteur moyenne (cm)	159,4	162,8
	Nbre de plants	8	12

- Racines croisées ou entrelacées

Le nombre de racines croisées ou entrelacées est compris pour chaque plant entre 0 et plus de 10. Cette déformation semble surtout toucher les plants les plus jeunes. Nous avons vu, dans un paragraphe précédent, que ce type de déformation évolue en soudure. Par contre, ce phénomène touche toutes les modalités de plantation même le semis naturels. A ce stade, ce phénomène ne semble pas avoir d'impact sur la hauteur des plants.

Les racines incluses qui sont l'évolution des racines croisées ou entrelacées, sont intéressantes à étudier, car il y a une réelle évolution dans le temps et un impact plus important sur la hauteur des plants.

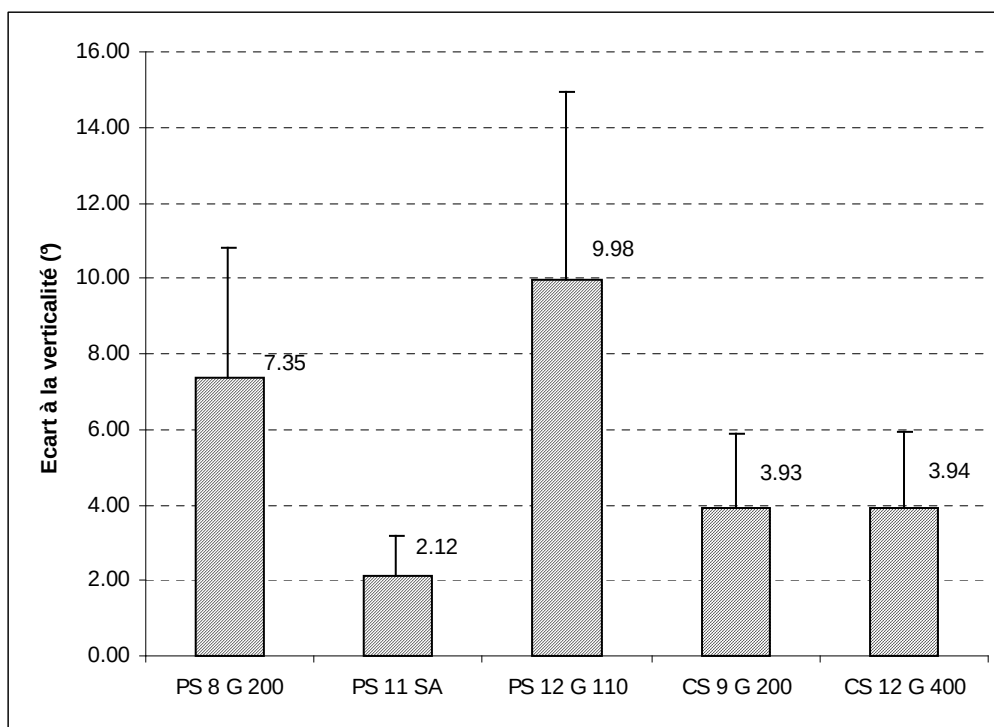


Graphique 21:
Nombre
moyen de
racines
croisées ou
entrelacées
pour chaque
série

4.3. Courbure basale, écart à la verticalité et stabilité

4.3.1 L'écart à la verticalité

L'écart à la verticalité moyen chez les semis de pins sylvestres est beaucoup moins important que celui des autres modalités. Si on suppose que l'écart à la verticalité ne varie plus à partir d'un certain âge, on peut voir que le volume du godet joue un rôle sur cet écart. Un volume réduit de godet augmente l'écart à la verticalité. On observe également que l'écart à la verticalité des chênes sessiles est inférieur à celui des pins sylvestres.



Graphique 22 : Ecart moyen à la verticalité pour chaque série

L'impact de ce phénomène sur la hauteur semble réduit au vu des coefficients de corrélation de ces deux paramètres :

Coefficients de corrélation entre la hauteur des plants en 2008 et l'écart à la verticalité :

	8 G 200 PS	11 SA PS	12 G 110 PS	9 G 200 CS	12 G 400 CS
Angle de l'écart à la verticalité (°)	0,13	0,26	-0,27	-0,26	-0,36

Au niveau des déformations racinaires, rien de significatif ne permet de formuler une hypothèse sur l'origine de cet écart à la verticalité.

Cependant, les plants présentant un agglomérat montrent un écart à la verticalité plus important que les autres :

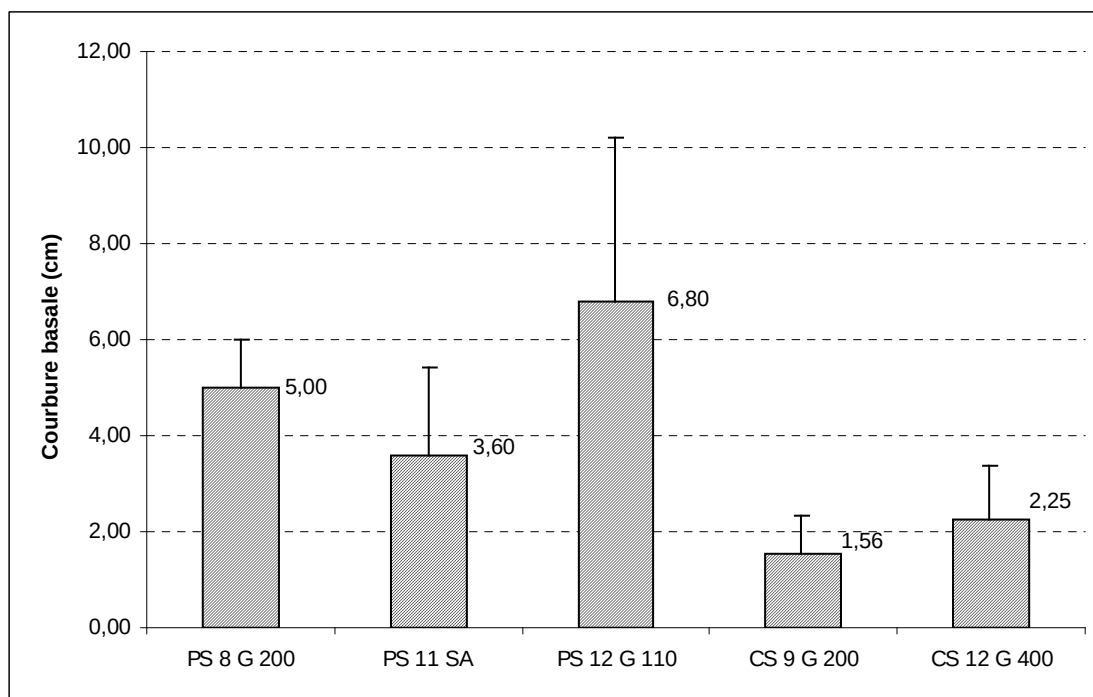
Série	Données 2008	Agglomérat		
		1	0	
PS 8 G 200	Angle moyen de l'écart à la verticalité (°)	8,2	4,3	NS
	Nbre de plants	15	4	

4.3.2 La courbure basale

Comme pour l'écart à la verticalité, la courbure basale des semis de pins sylvestres est moins importante que celle de plants en godets.

La courbure basale des plants élevés en godets de plus gros volume est moins importante que celle des plants élevés en petit volume, même si toutefois la courbure basale n'évolue plus à partir d'un certain âge.

De manière générale, la courbure est moins importante chez les chênes que chez les pins sylvestres.



Graphique 23 : Courbure basale moyenne pour chaque série

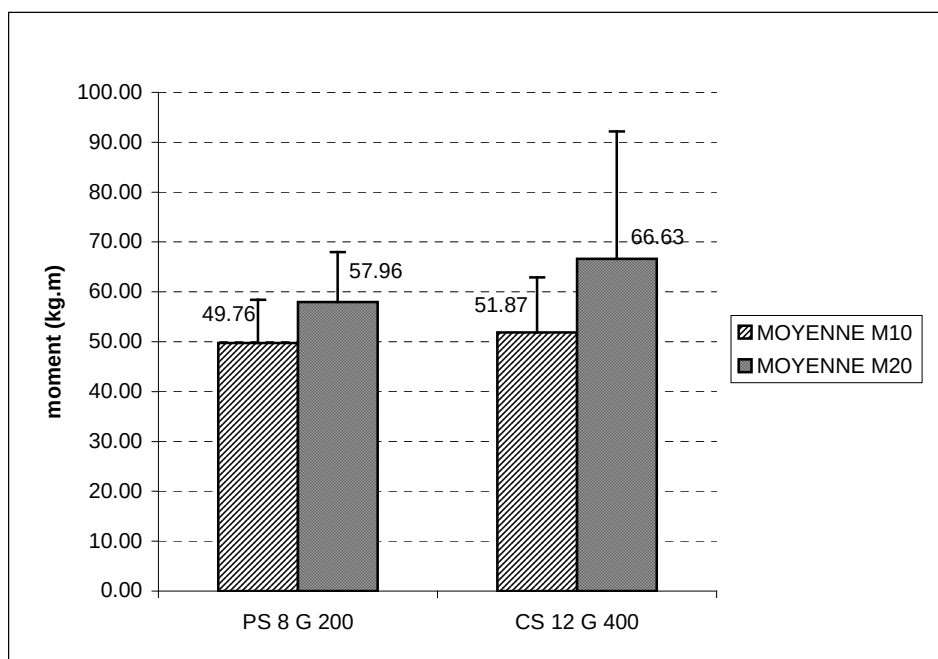
L'impact de la courbure basale sur la hauteur est difficile à appréhender. Pour les plants de pins sylvestres de 8 ans élevés en godets 200cc, il y a un effet antagoniste entre la courbure basale et la hauteur, alors que pour les plants de pins sylvestres de 12 ans en godets 110cc, l'effet de la courbure est lui plutôt positif.

Coefficients de corrélation entre la hauteur des plants en 2008 et la courbure basale :

	8 G 200 PS	11 SA PS	12 G 110 PS	9 G 200 CS	12 G 400 CS
Courbure basale, flèche (cm)	-0,42	-0,52	0,86	0,37	-0,51

Il n'a pas été relevé de corrélation entre les déformations racinaires et la courbure basale observée pour le Pin sylvestre, comme pour le Chêne sessile.

4.3.3 La stabilité



Graphique 24 : Stabilité moyenne des plants (moment) en fonction d'un angle d'inclinaison de 10° et de 20° pour chaque série

La force nécessaire pour incliner les arbres est assez bien corrélée avec leur hauteur (cf. tableau ci-dessous). Cela peut s'expliquer à la fois par la rigidité des plants les plus hauts et donc souvent de plus gros diamètre et également par un système racinaire probablement mieux ancré dans le sol.

Coefficients de corrélation entre la hauteur des plants en 2008 et le moment pour pencher les arbres de 10 et 20°

	8 G 200 PS	12 G 400 CS
M (Kg*m) $\beta = 10^\circ$	0,54	0,72
M (Kg*m) $\beta = 20^\circ$	0,53	0,74

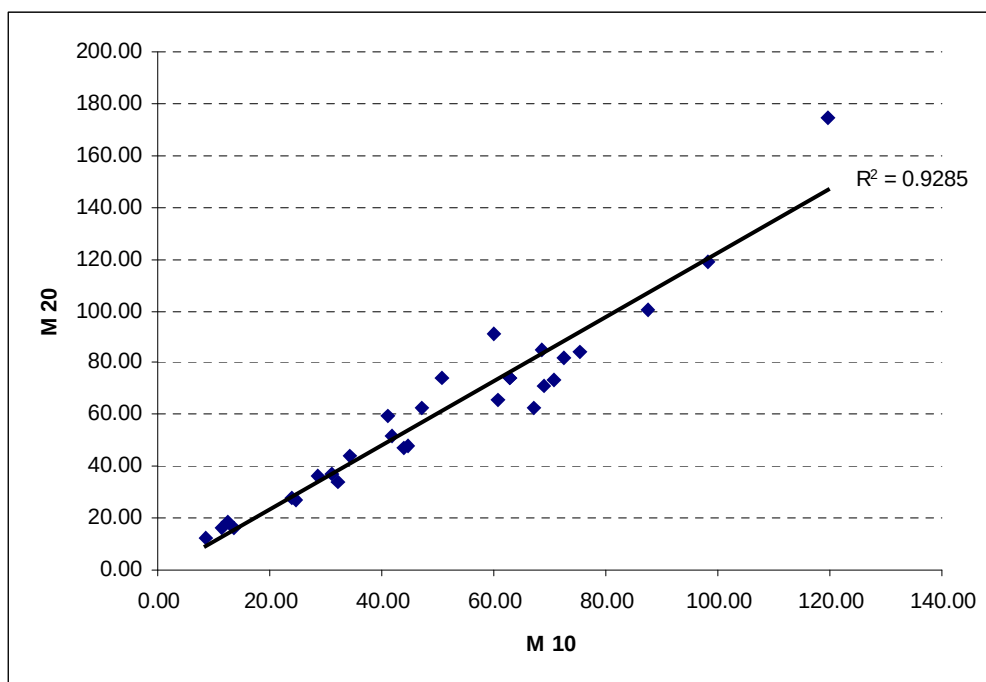
Contrairement à la courbure basale ou l'écart à la verticalité, la force nécessaire pour incliner les arbres est assez bien corrélée avec certains paramètres observés sur le système racinaire.

Par exemple, les racines tournées en face externe et les racines remontantes ont un effet négatif sur la stabilité des plants. En revanche, le nombre de racines colonisatrices et le diamètre de la plus grosse racine de premier ordre ont un effet positif sur la stabilité des arbres.

Coefficients de corrélation entre le moment appliqué pour incliner les plants de 20° en 2008 et :

		Nombre rac. Tournées face externe	Nombre rac. Remontantes	Nombre rac. Croisées et entrelacées	Nombre rac. Incluses	Nombre rac. Colonisatrices	Nombre de rac. A	Diamètre plus grosse racine de premier ordre	Diamètre pivot ou grosse racine plongeante	Profondeur pivot ou grosse racine
PS 8 200	M20	-0,27	-0,56	0,00	0,29	0,55	0,05	0,47	0,15	-0,07
PS 12 G110	M20									
CS 12 G400	M20	-0,51	-0,10	-0,07	0,36	0,33	-0,46	0,56	0,63	0,05

La corrélation entre les deux paramètres (M10 et M20) étant très bonne, comme le montre le graphique ci-dessous, on se basera donc uniquement sur le moment à appliquer au plant pour l'incliner de 20°.



Graphique 25 : Moment pour incliner les plants de 20° par rapport à la verticale en fonction du moment pour incliner les plants de 10° par rapport à la verticale

Il est également intéressant de noter qu'il ne semble pas y avoir de corrélation entre la courbure basale, l'écart à la verticalité et le moment à appliquer pour incliner les plants de 20°.

En effet, la stabilité d'un plant est souvent mise en lien à sa courbure basale ou à son écart à la verticalité. Ces deux derniers paramètres reflètent peut-être davantage une réadaptation du plant après un problème lors de la plantation (courbure basale) ou un état qui ne peut être compensé totalement (écart à la verticalité).



Mesure de la stabilité des plants.

On incline l'arbre à l'aide d'un « tirefort » jusqu'à atteindre une inclinaison, ici de 20°. La force nécessaire est mesurée à l'aide d'un dynamomètre (au centre).

4.4. Observations complémentaires

- Test sur les individus *a priori* déformés

Au sein d'une placette, il a été testé si les individus que l'on considère *a priori* déformés (aspect général du système racinaire) sont effectivement touchés d'un point de vue croissance. Cependant, cette analyse n'a rien apporté. Il est très difficile de juger, par l'apparence générale, si les déformations d'un système racinaire ont un impact sur la croissance. Il a également été tenté de créer un « indice de déformation » qui n'a pas donné de résultats.

- Test apparié avec PS 8 G200cc

Pascal Balleux du Centre de Développement agroforestier de Chimay (2009) a proposé, dans un article sur l'instabilité des plants de douglas, un protocole basé sur des couples d'arbres ayant un même appareil végétatif aérien, mais présentant un arbre droit et un arbre « courbé ».

Son protocole se base sur des statistiques appariées. Il s'agit de comparer, par un test paramétrique, le test t de Student, deux échantillons appariés. Il se pose la question suivante : la différence entre la moyenne *d'un phénomène x* des plants stables et celle des plants instables est-elle significative ou non ?

Dans son étude, il pose l'hypothèse que l'instabilité est liée à la courbure basale (qui est en fait l'écart à la verticalité), comme l'avait déjà proposé, en 1994, L. Crerière de l'Afocel Sud-Ouest. Dans notre cas, nous avons mesuré la stabilité au moyen d'un tirefort et d'un dynamomètre. Dans cette étude, nous n'avons pas relevé de corrélation entre ce paramètre et la courbure basale ou l'écart à la verticalité comme nous l'avons mentionné précédemment.

Pour appairer les arbres, il a d'abord été créé des groupes en fonction de la hauteur des plants, ainsi que du diamètre. Une fois les individus regroupés par taille, nous avons dégagé un individu stable (arbre nécessitant une force importante pour être incliné à 20°) et un individu instable (arbre plus facilement inclinable). Ainsi, 8 couples ont été créés. Une fois ces groupes créés, nous avons voulu voir si les déformations étaient significativement plus importantes chez les arbres instables que chez les arbres stables.

L'étude des moyennes laisse penser que plusieurs paramètres jouent un rôle, comme par exemple le diamètre du pivot ou de la plus grosse racine plongeante de l'agglomérat ou encore le nombre de racines colonisatrices.

	Stable	Instable
Moyenne Nombre de racines colonisatrices	21,1	18,6
Moyenne Diamètre du pivot ou de la plus grosse racine plongeante (mm)	30,1	24,8
Moyenne Profondeur pivot ou grosse racine (cm)	28,5	36,9
Moyenne Diamètre de la plus grosse racine de premier ordre (mm)	40,5	30,6

Données 2008 PS 8 G200cc

Même si les déformations citées précédemment jouent probablement un rôle, le seul phénomène observé, significativement différent entre les arbres stables et les arbres instables, est le **diamètre de la plus grosse racine de premier ordre**.

Test d'égalité des espérances : observations paires

	Variable 1	Variable 2
Moyenne	40,5	30,625
Variance	116	45,9821429
Observations	8	8
Coefficient de corrélation de Pearson	0,6621205	
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	7	
Statistique t	3,45726302	
P(T<=t) bilatéral	0,0105867	
Valeur critique de t (bilatéral)	2,36462256	

Données 2008 PS 8 G200cc diamètre plus grosse racine de premier ordre

L'hypothèse que la moyenne du diamètre de la plus grosse racine de premier ordre pour les plants stables et pour les plants instables soit égale, est rejetée (avec un seuil de confiance de 0,01). Il y a une chance sur 100 de se tromper en rejetant cette l'hypothèse.

Ce résultat est d'autant plus intéressant que nous avons vu que le diamètre de la plus grosse racine de premier ordre **augmente avec le volume du godet**.

Il serait donc intéressant, lors de la prochaine campagne de mesures, d'observer, sur les racines des arbres, le diamètre à la base de la racine, de toutes les racines de la zone A. Plus que le nombre de racines, le diamètre joue un rôle significatif sur la stabilité et la croissance des pins.

Remarque : ce test a été également réalisé avec les données 2006, car le diamètre avait été relevé mais, comme la seule série avec laquelle on a pu faire assez de couple est celle de PS 6 G200cc, le résultat n'est pas significatif. A 6 ans, on mesure plus la résistance de la tige à la flexion que la stabilité du plant. Les mesures et les résultats sont donc non significatifs (trop de biais de mesure).

- **Données 2006 et 2008** :

On a voulu voir si on pouvait obtenir des résultats statistiquement plus robustes entre les déformations et la hauteur des plants en concaténant des séries présentes à la fois en 2006 et en 2008. Il s'agit des séries PS 4 G200 et PS 6 G200, avec certaines observations communes.

Cependant, une analyse de la variance de la hauteur entre les relevés de 2008 et ceux de 2006 montre qu'il n'est pas possible de concaténer les données de deux campagnes différentes. En effet, on peut rejeter l'hypothèse que les moyennes de hauteur entre les séries identiques, mais relevées des années différentes, sont égales avec une confiance de 2.10^{-4} , c'est à dire avec 2 chances sur 10 000 de se tromper pour PS 4 G200 et $4,7.10^{-3}$ pour PS 6 G200.

Cependant, comme ces moyennes de hauteur restent proches, on peut noter que certaines déformations, réparties au sein de chaque parcelle, impactent fortement la hauteur des plants :

Série	Données 2006-2008	Agglomérat		
		0	1	
PS 4 G 200	Hauteur moyenne (cm)	108,1	87,3	S
	Nbre de plants	17	11	

Série	Données 2006-2008	Agglomérat en L		
		0	1	
PS 4 G 200	Hauteur moyenne des plants	102,7	83,3	AS
	Nbre de plants	24	4	

Série	Données 2006-2008	Absence de racines sur plus de 120° en continu		
		1	0	
PS 4 G 200	Hauteur moyenne des plants	115,0	92,8	S
	Nbre de plants	9	19	
PS 6 G 200	Hauteur moyenne des plants	175,2	153,6	NS
	Nbre de plants	16	14	

5. Analyse critique du protocole et prochaine campagne de mesures

5.1. Pertinence des paramètres relevés

Avec deux campagnes de mesures, l'expérience nous a montré que certains paramètres relevés jouent un rôle très important au niveau du système racinaire et de son impact sur le développement des plants. D'autres paramètres sont plutôt descriptifs d'un système racinaire déformé ou non et enfin, certains n'ont pas montré d'intérêts spécifiques au cours des différentes analyses.

Voici un tableau récapitulatif de l'intérêt des différents paramètres :

Pertinents	Moyennement utiles	Pas nécessaires à relever
Racines en forme de L	Absence de racines sur plus de 120°	Diamètre des plants
Racines en forme du godet	Spiralisation	Aspect général du système racinaire
Présence et diamètre du pivot ou d'une grosse racine plongeante	Agglomérat	Effet tournevis
Profondeur de colonisation du système racinaire	Agglomérat en forme de L	Profondeur maximale des racines tournées en face externe
Diamètre de la plus grosse racine de premier ordre	Effet talon	Aspect du pivot
Racines tournées en face externe	Racines incluses	Profondeur d'apparition de la grosse racine plongeante
Racines colonisatrices	Racines remontantes	M 10°
Distribution sur 360°	Racines croisées ou entrelacées	
	Ecart à la verticalité	
	Courbure basale	

5.2. Avantages et limites du protocole

Les quatre années de recul depuis la mise en place de ce protocole et du suivi de placettes permanentes, pour l'étude de l'incidence de la qualité des plants forestiers sur la pérennité des boisements et reboisements en Alsace, nous ont permis de dégager les points forts de cette démarche ainsi que les limites.

➤ Avantages :

- grande diversité de mesures sur le système racinaire ;
- ensemble de placettes présentant une part importante des modalités de plantation rencontrées, et ceci à différents âges ;
- suivi des placettes sur plusieurs campagnes de mesures qui permet de voir l'évolution des déformations au cours du temps.

➤ Limites :

- Du fait de la diversité des modalités et des âges de plantation, l'échantillon d'arbres, sur lequel ont été réalisées les mesures, est réduit. On a donc une faible représentativité statistique de la population. Les résultats obtenus sont donc des tendances ou des observations.
- L'analyse des résultats des campagnes de mesures a permis de montrer que certains paramètres ne présentent pas un intérêt suffisant pour continuer à les relever.
- L'échantillon ne comprend pas de godets 400cc (maximum 320cc). Les différences, avec les godets 200cc par exemple, auraient peut-être été plus significatives. L'étude des sites expérimentaux permettra cette comparaison.

Ainsi, pour la prochaine et dernière campagne de mesures des placettes permanentes (hiver 2009-2010), nous proposons d'affiner le protocole afin d'obtenir des résultats toujours plus significatifs et pertinents.

De plus, il est intéressant de profiter de l'analyse critique de ce protocole pour, d'une part, tenir compte des résultats de cette analyse pour la prochaine campagne de mesures des placettes permanentes et, d'autre part, celle des sites expérimentaux, qui bénéficieront de ces constats réalisés. En effet, au vu du temps nécessaire pour réaliser l'ensemble des mesures et de la taille de l'échantillon des sites expérimentaux (plus de 9 000 plants), il est important de cibler les paramètres à relever.

Si les placettes montrent quelques limites au niveau de la significativité des résultats (échantillon de petite taille), les sites expérimentaux, eux, permettront d'avoir des résultats statistiques robustes, grâce à un échantillonnage très important et au dispositif adapté à l'expérimentation. Ces deux études sont donc très complémentaires.

5.3. Propositions pour la dernière campagne de 2010

Durant l'hiver 2009-2010, nous proposons d'axer les mesures et les arrachages sur 10 placettes. Ceci permettra de travailler sur les séries suivantes :

PS 5 G200cc PS 5 SN	PS 6 G200cc (x2) PS 6 G 320cc	PS 8 G200cc PS 8 RN (x2)	PS 10 G 220cc (x2)
------------------------	----------------------------------	-----------------------------	--------------------

Ces séries correspondent aux placettes d'Haguenau numéros : 55, 1028, 14, 13, 243, 96, 1030, 95, 1020, 130.

L'intérêt de diminuer le nombre de placettes, tout en en gardant assez afin de conserver une vision dynamique, est d'arracher un plus grand nombre de plants au sein de chaque série. Si en plus, de diminuer le nombre de placettes et d'augmenter l'échantillon, on cible les mesures sur les paramètres constatés comme essentiels, on arrive au même nombre de mesures prises lors des précédentes campagnes.

Les mesures à relever pour les prochaines campagnes de mesures sont donc :

- **racines en L (forme de L et agglomérat en L),**
- **racines en forme de godet,**
- **racines en agglomérat,**
- **nombre de racines déformées par plantation ou à cause du godet :** racines tournées en face externe, remontantes, etc.
- **nombre de racines incluses,**
- **racines spiralées,**
- **diamètre du pivot ou de la racine plongeante,**
On ne relèvera pas la profondeur de cette racine, car la technique d'arrachage à partir d'un certain âge enlève toute significativité.
- **diamètre de chaque racine de premier ordre dans la zone A,**
- **profondeur de prospection :** *profondeur de la dernière racine de premier ordre,*
- **distribution des racines sur 360°,**
- **absence ou non de racines principales structurales sur plus de 120° en continu,**
- **directions occupées par l'ensemble des racines : Est, Ouest, Nord, Sud,**
Il sera possible de comparer cela au sens de la plantation.
- **courbure basale, écart à la verticalité et leurs orientations,**
Afin de voir s'il existe un lien avec les vents dominants ou la ligne de plantation.
- **moment nécessaire pour incliner le plant de 20°,**
On abandonne l'inclinaison de 10°, car les deux mesures sont bien corrélées et, avec une inclinaison à 20°, on mesure probablement moins la flexibilité de la tige.

On passerait donc d'environ 160 plants à arracher à 210 plants, mais on diminuerait le nombre de mesures et affinerait certaines, comme le diamètre de chaque racine de premier ordre dans la zone A.

On pourrait également conserver une ou deux placettes de chênes, dont on sortira des informations exclusivement descriptives, sans pousser l'analyse aussi loin que pour les pins sylvestres, majoritairement présents sur l'ensemble des placettes et objet de l'étude.

6. Conclusion

Cette étude portait sur les données relevées lors de la deuxième campagne de mesures des placettes permanentes. Durant cette campagne, plus de 1 600 relevés de hauteur, de diamètre et d'état sanitaire ont été réalisés. Il faut ajouter, à cela, 58 relevés d'écart à la verticalité, 58 courbures basales mesurées et 64 moments pour incliner les arbres, de plus de 8 ans, de 10° et 20°. Et enfin, 155 systèmes racinaires ont été observés et mesurés en fonction de 29 paramètres préétablis.

L'analyse de ces relevés a permis de sortir un descriptif des déformations pour chaque placette et, en plus, avec un échantillonnage réduit, de dégager des tendances entre ces déformations racinaires et la croissance des arbres.

Cette étude a également montré les avantages et les limites du protocole, et l'intérêt d'avoir mis en place, parallèlement à cette étude, des sites expérimentaux sur lesquels l'échantillonnage sera plus important, représentatif de la population. Cette étude permet également de faire évoluer le protocole afin d'établir les paramètres de description racinaire les plus intéressants à relever sur les sites expérimentaux.

L'objectif de ces deux dispositifs est de définir la présence et la nature des déformations racinaires sur les godets 200cc, leurs éventuelles incidences, et de comparer cela avec des godets de 400cc à moyen terme (> 6ans).

La prochaine campagne de mesures des placettes permanentes (qui sera également la dernière) et la deuxième campagne de mesures des sites expérimentaux vont peut-être permettre de confirmer certaines tendances dégagées dans ce rapport et ainsi permettre de mieux aider les gestionnaires et autres financeurs dans une démarche de qualité et de pérennité des plantations.

Bibliographie

Concernant le système racinaire :

Drénou C. et al., 2006. "Les Racines Face cachée des arbres". Institut du Développement Forestier CNPPF : 336 pages.

Gagnaire-Michard J., Riedacker A., 1974-75. Compte rendu des séminaires du groupe d'étude des racines (23-24-25 octobre 1975, Grenoble). Tomes 2 et 3.

Concernant la stabilité des plants :

BALLEUX P., 2009. "Instabilité et courbure basale des jeunes peuplements de Douglas : Evaluation du rôle exercé par le système racinaire". Forêt wallonne n°98

Ackzell L., 1993. "A comparison of planting, sowing and natural regeneration for *Pinus sylvestris* (L.) in boreal Sweden". Forest Ecology and Management 61 : p. 229-245.

Auberlinder V., 1983. "De l'instabilité du Pin maritime". Annales de recherches sylvicoles de l'AFOCEL 1982, p. 139-176.

Chapman K. A., Colombo S. J., Challen L. D., Zhang S. Y., 2003. "Tree instability in jack pine plantations". Forest Research Information Paper - Ontario Forest Research Institute 155 : p. 151-153.

Cucchi V., Meredieu C., Stokes A., Berthier S., Bert D., Najar M., Denis A., Lastennet R., 2004. "Root anchorage of inner and edge trees in stands of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) growing in different podzolic soil conditions". Trees 18 : p. 460-466.

Hulten H., Jansson K. A., 1982. "Stability and root deformation of Pine plants (*Pinus sylvestris*)", p. 145-150, in : Proceedings of root form of planted trees symposium (Victoria, British Columbia, may 16-19, 1978) / Edited by Evert Van Eerden, James M. Kinghorn (Victoria, Québec) : British Columbia Ministry of Forests, Canadian Forestry Service. – 3 pages.

Nörr R., 2003. "Root deformation - a risk for stand stability ?" (Foreign Title: Wurzeldeformationen - ein Risiko für die Bestandesstabilität ?). Forstliche Forschungsberichte München 195.

Nörr R., Mössmer R., 2003. "Part 1: 12 years of root research at the LWF: Planting - a risk for stand stability?" (Foreign Title: Teil 1: 12 Jahre Wurzelforschung der LWF: Pflanzung - ein Risiko für die Bestandesstabilität ?). AFZ/Der Wald, Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge 58 : p. 252-254.

Nörr R., 2003. "Ground rules for root-sensible planting. Part 2: planting - a risk for stand stability?" (Foreign Title: Grundsätze einer wurzelgerechten Pflanzung. Teil 2: Pflanzung - ein Risiko für die Bestandesstabilität ?). AFZ/Der Wald, Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge 58 : p. 314-316.

Pampe A. et al., 2003. "Root development of beech grown in containers with firm walls" (Foreign Title: "Wurzelentwicklung von Buchen aus Hartwandcontainern"). AFZ/Der Wald, Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge 58 : 256-259.

Riou Nivert Ph. et al., 2001. "Dossier Stabilité des peuplements". Forêt-entreprise 139 : p. 13-52.

Sheedy G., 1989. "Instructions concernant l'observation, le mesurage et l'échantillonnage des plantations pour évaluer la stabilité des plants et la qualité de leur système racinaire".

Gouvernement de Québec. Ministère de l'énergie et des ressources. Direction de la recherche et du développement. Rapport interne n°3 15.

Sheedy G., 1996. "La stabilité des plantations : résultats des évaluations réalisés en 1989 et 1994 dans six plantations de pins gris de l'Abitibi". Note de recherche forestière n°69.

Silva G., Ruel J.-C., Samson M., Pin D. 1998. "Influence de quelques défauts externes sur la stabilité des arbres face à une simulation mécanique de l'action du vent". Can. J. For. Res. 28 : p. 123-131.

Stokes A., 1999. "Strain distribution during anchorage failure of *Pinus pinaster* Ait. at different ages and tree growth response to wind-induced root movement". Plant and soil 217 : p. 17-27.

Stokes A., Salin F., Dupuy L., Cucchi V., 2004. "Que savons-nous de la biomécanique racinaire ?". Forêt-entreprise 156 : p. 23-27.

Watson A., 2000. "Wind-induced forces in the near-surface lateral roots of radiata pine". Forest Ecology and Management 135 : p. 133-142.

Concernant les conteneurs :

CEMAGREF Division P.F.C.I., 1981. "Enracinement du Cèdre dans différents types de conteneurs. Projet de protocole de méthode d'observation du système racinaire". Cemagref Aix-en-Provence, 6 pages.

CEMAGREF, 1987. "Plants forestiers en conteneurs". Informations techniques du Cemagref, n°6 cahier 7, 4 pages.

Champ J. de, 1978. "Influence de divers conteneurs sur l'enracinement de quelques résineux plantés en France", p. 119-132, in : Proceedings of root form of planted trees symposium (Victoria, British Columbia, may 16-19, 1978) / Edited by Evert Van Eerden, James M. Kinghorn (Victoria, Québec) : British Columbia Ministry of Forests, Canadian Forestry Service. – 5 pages.

Gringas B.-M. et al., 2002. "Performance de cinq ans en plantations comparatives de plants résineux de fortes dimensions et de feuillus cultivés dans des récipients à parois ajourées". Mémoire de recherche forestière n°141. (Québec).

Halter M. R., Chanway C. P., Harper, G. J., 1993. "Growth reduction and root deformation of containerized lodgepole pine saplings 11 years after planting". Forest Ecology and Management 56 : p. 131-146.

Lindström A. et al., 1999. "Root deformation in plantations of container-grown Scots pine trees: effects on root growth, tree stability and stem straightness". Plant and soil 217 : p. 29 - 37.

Marien J.N., Drouin G., 1978. "Etudes sur les conteneurs à parois rigides (leur action sur les végétaux)". Annales de recherches sylvicoles de l'AFOCEL 1977, p. 137-161.

Marien J.N., 1979. "Les dangers cachés des plants en conteneurs". Informations Forêt n°1, fascicule 100, p. 25-42.

Ortega U. et al., 2006. "Field Performance of *Pinus radiata* D. Don Produced in Nursery with Different Types of Containers". New Forests 31 : p. 97-112.

Riedacker A., 1978. "Etude de la déviation des racines horizontales ou obliques issues de boutures de peuplier qui rencontrent un obstacle : applications pour la conception de conteneurs". Ann. Sc. Forest. 35 (1) : p. 1-18.

Sheedy G., 1984. "Measurement of and observations on containerized and bare rooted *Pinus banksiana*, three years after planting". (Foreign Title: Mesures et observations de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) en contenant et à racines nues, trois ans après la plantation.). Note, Service de la Recherche (Terres et Forêts), Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, n°21.

Sundström E. et al, 1999. "Root architecture, early development and basal sweep in containerized and bare-rooted Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*)". Plant and soil 217 : p. 65–78.

Vergier S., Ginisty C., 1995. "Plants résineux en conteneurs pour la zone tempérée". Bulletin Technique ONF n°28, p. 9-19.

Concernant les déformations racinaires :

Deleporte P., 1981. "Premiers résultats de trios essais de déformations racinaires". Annales de recherches sylvicoles de l'AFOCEL 1980, p. 165-228.

Franclet A., Najar M., 1979. "Conséquences différées des déformations racinaires chez le Pin maritime". Annales de recherches sylvicoles de l'AFOCEL 1978, p. 177-203.

Gagnaire-Michard J., Cavat C., Bonicel A., 1981. "Variation des concentrations glucidiques dans les tiges induites par les déformations racinaires." Annales de recherches sylvicoles de l'AFOCEL 1980, p. 255-271

Halter M.R., Chanway C. P., 1993. "Growth and root morphology of planted and naturally-regenerated Douglas fir and Lodgepole pine". Annales des Sciences Forestières 50 : p. 71 - 77.

Harrington C.A., Brissette J.C., Carlson W.C., 1989. "Root system structure in planted and seeded Loblolly and Shortleaf Pine". Forest Science 35 : p. 469-480.

Hay R.L., Woods F.W., 1975. "Distribution of carbohydrates in deformed seedling root systems". Forest Science 21 (3) : p. 263-267.

Khuder H., 2003. "Ancrage et architecture racinaire de jeunes pins maritimes (*Pinus pinaster* Ait.) issus de semis et de boutures". Mémoire de stage DEA Biologie forestière. Laboratoire de Rhéologie du Bois (INRA Bordeaux).

Marien J.N., 1979. "Rétablissement de l'activité racinaire à la suite de malformations induites". Annales de recherches sylvicoles de l'AFOCEL 1978, p. 205-225.

Permingeat J., 1999. "Conséquences des déformations racinaires provoquées lors de la plantation du Douglas en racines nues". Fiche Informations-Forêt de l'AFOCEL n°2-1999 : fiche n°589, 6 pages.

Touzet G., 1974. "Forme des racines et réussite des plantations". Informations Forêt n°2, fascicule 23, p. 1-6.

Concernant l'étude de la qualité des plants forestiers :

Aussenac G., Guehl J.M., Kaushal P., Granier A., Grieu Ph., 1988. "Critères physiologiques pour l'évaluation de la qualité des plants forestiers avant plantation". Revue Forestière Française septembre 1988 : p. 131–138.

Concernant le Pin sylvestre :

Courbet F., Zegers J.P., 1983. "Contribution à l'amélioration génétique du Pin sylvestre « vigueur, forme, qualité du bois ». Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, 1983 : 69 pages.

Annexes

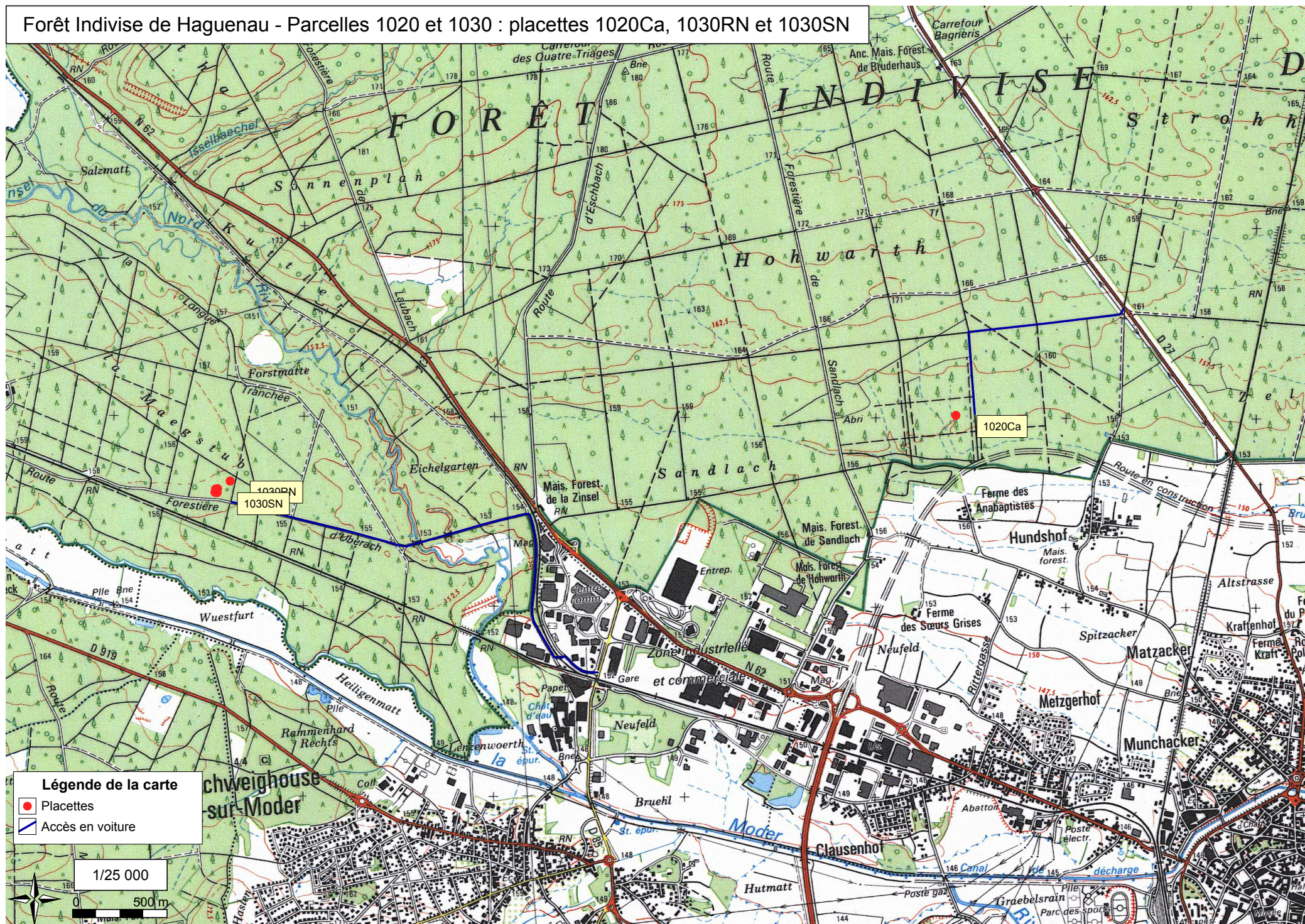
Annexe n°1 : Plan de localisation et d'accès des 16 placettes permanentes

Annexe n°2 : Tableaux récapitulatif des observations racinaires.

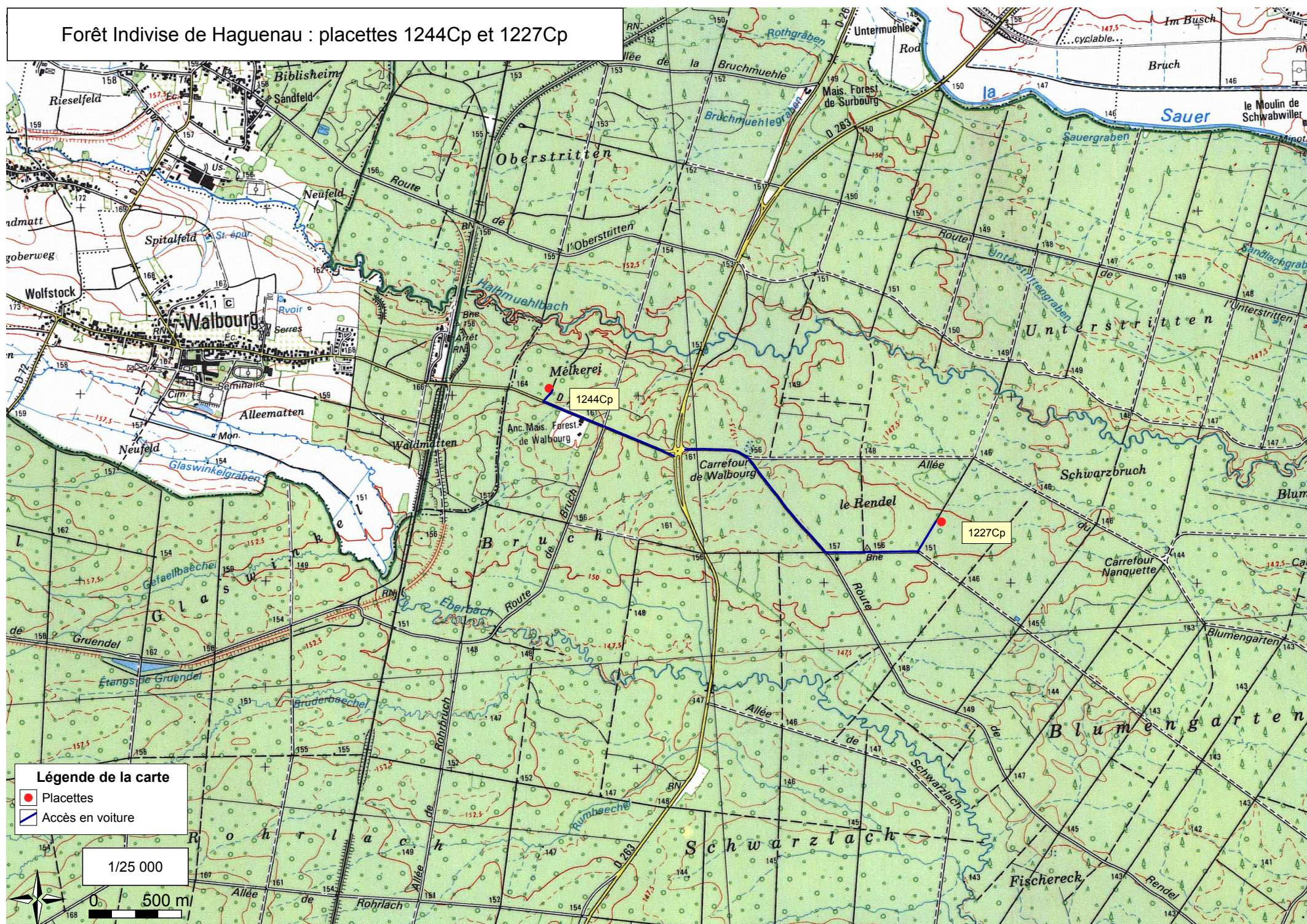
Annexe n°3 : Fiches de synthèse des résultats par placette

Annexe n°1 : Plan de localisation et d'accès des 16 placettes permanentes

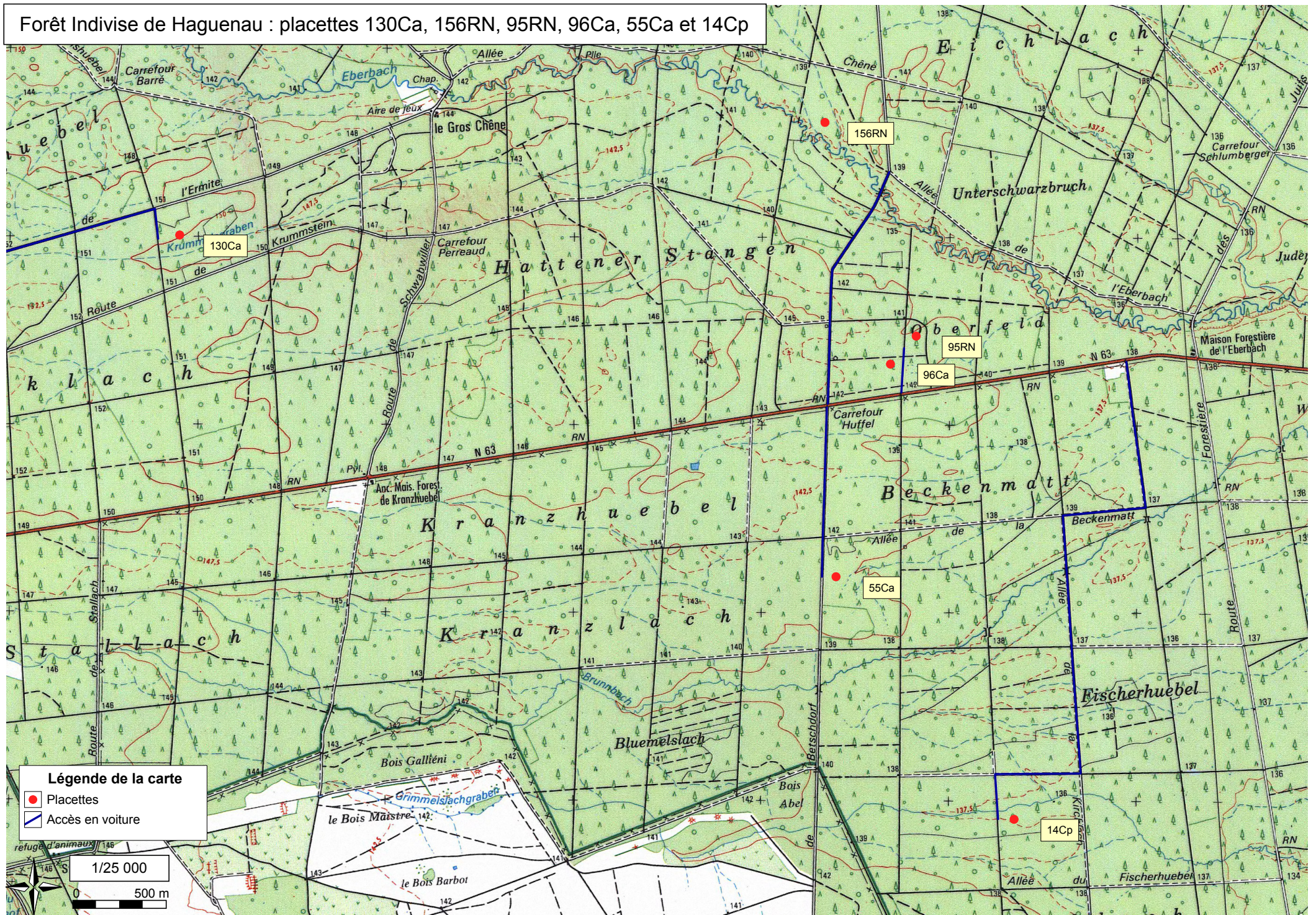
Forêt Indivise de Haguenau - Parcelles 1020 et 1030 : placettes 1020Ca, 1030RN et 1030SN



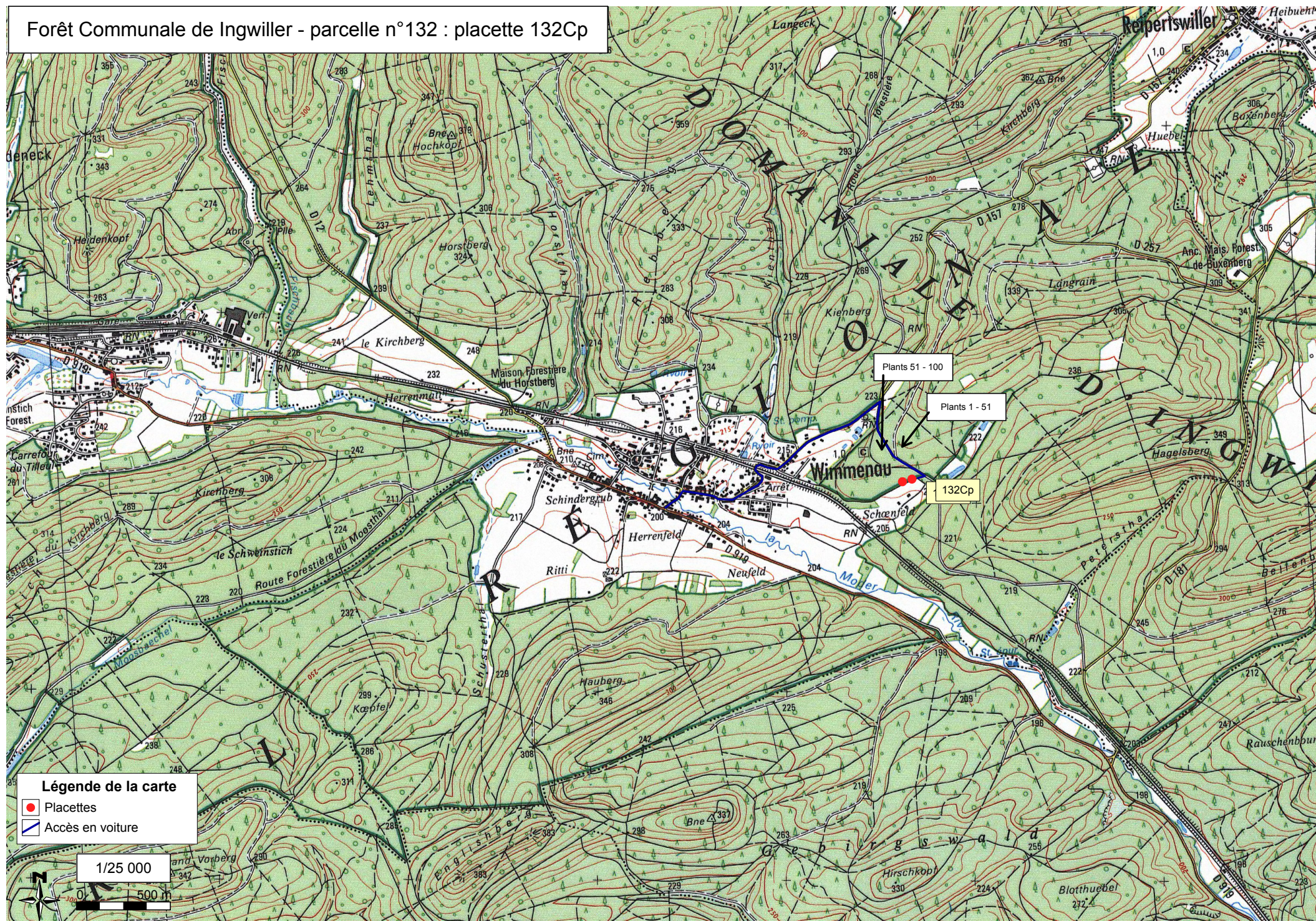
Forêt Indivise de Haguenau : placettes 1244Cp et 1227Cp



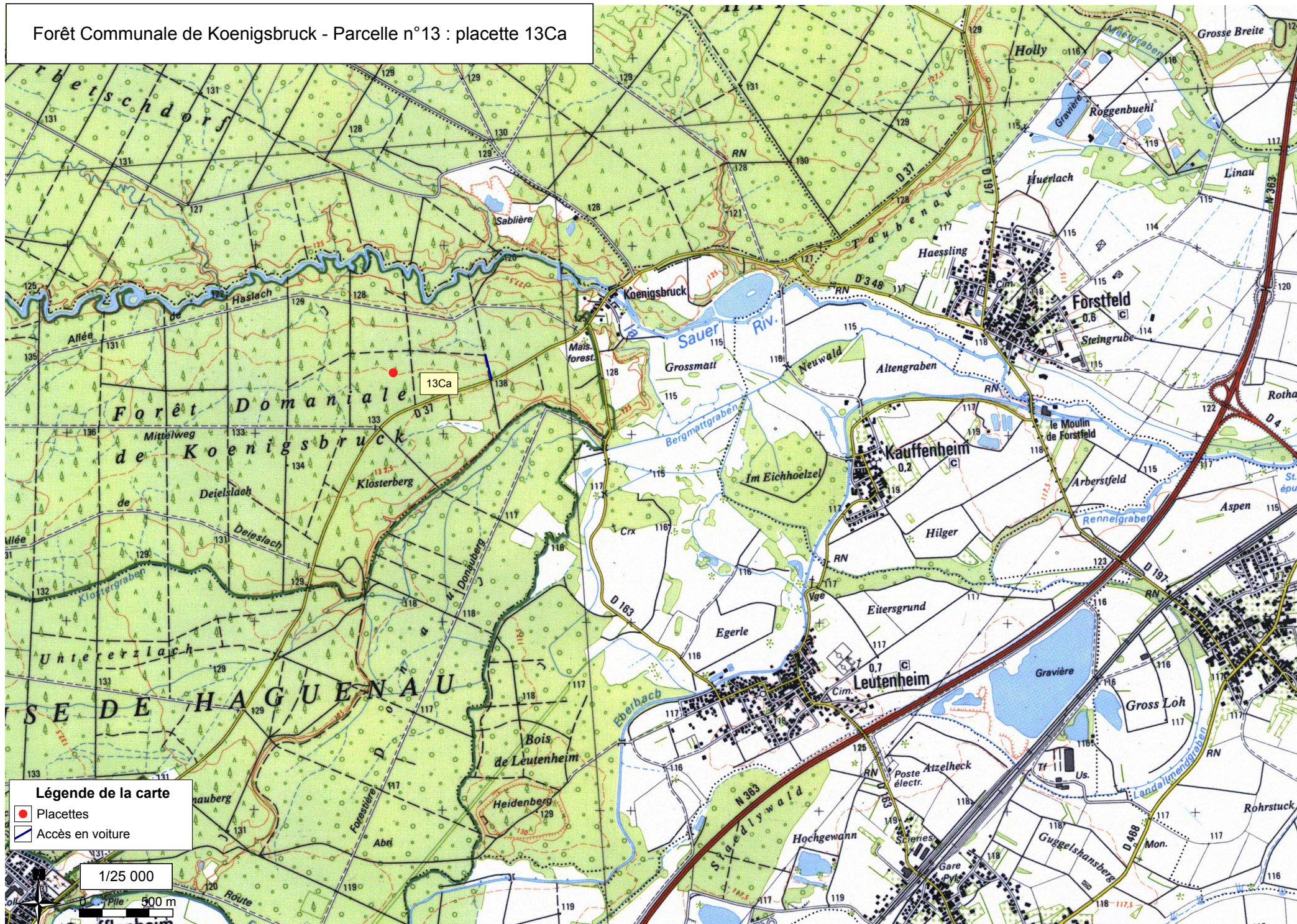
Forêt Indivise de Haguenau : placettes 130Ca, 156RN, 95RN, 96Ca, 55Ca et 14Cp



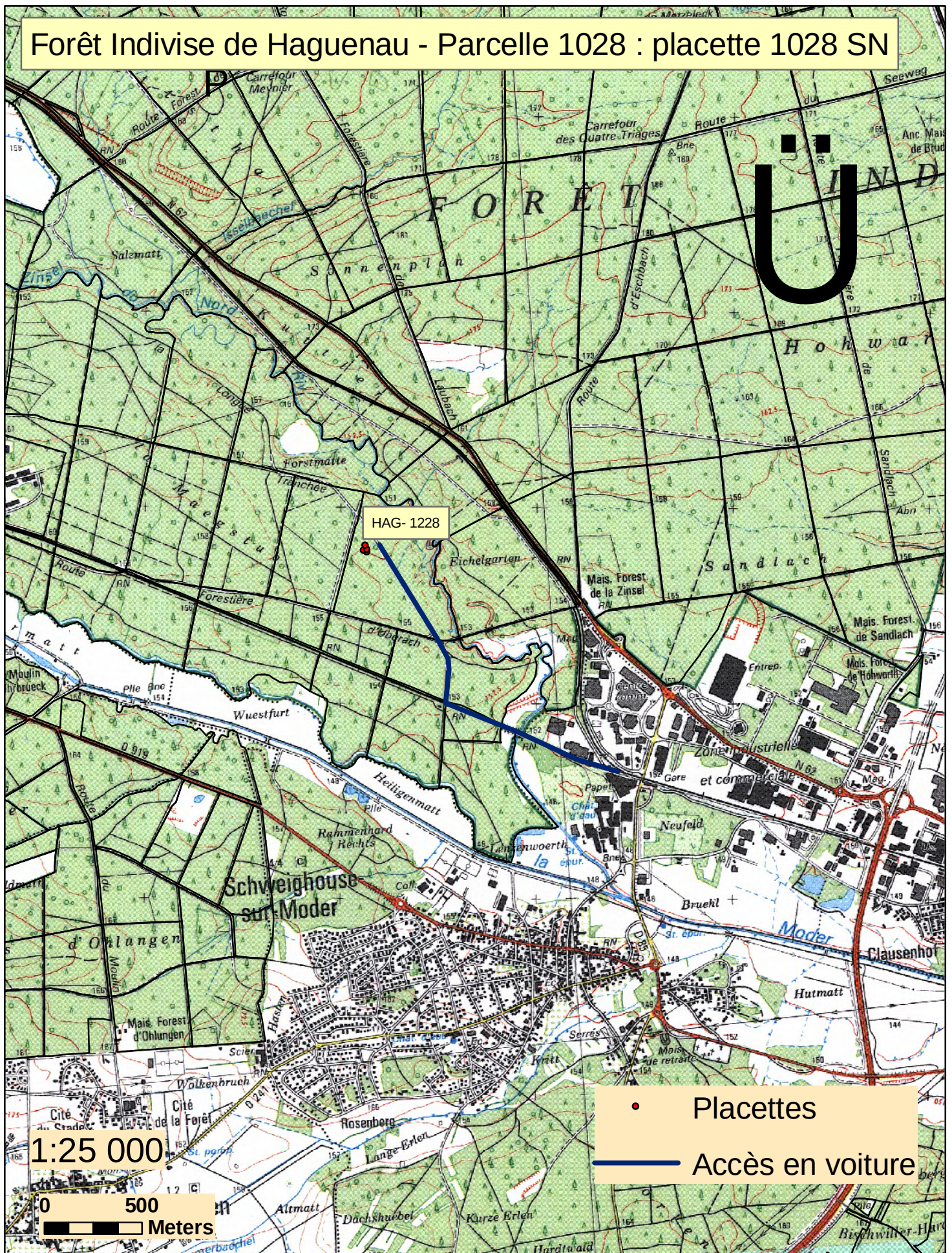
Forêt Communale de Ingwiller - parcelle n°132 : placette 132Cp

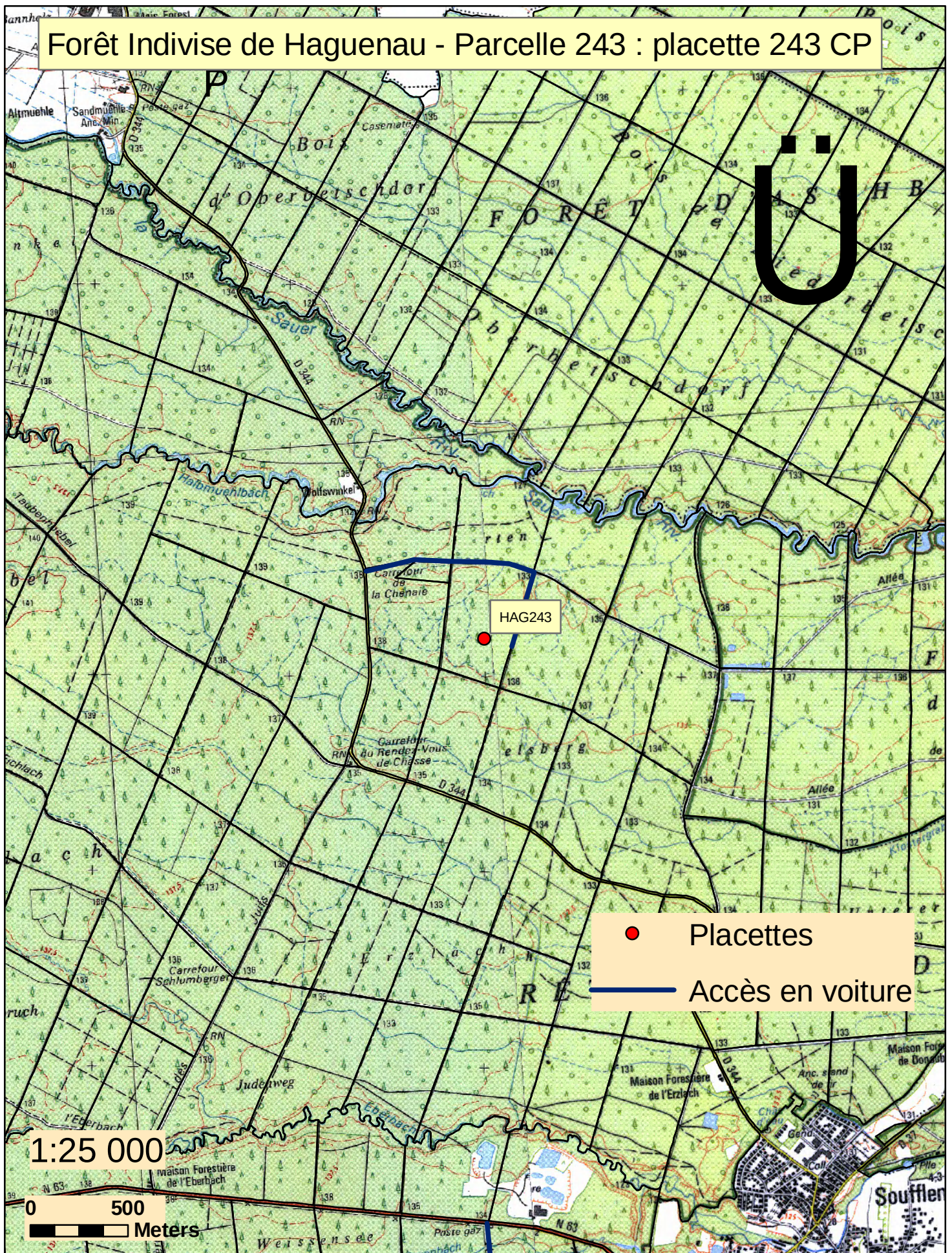


Forêt Communale de Koenigsbruck - Parcelle n°13 : placette 13Ca

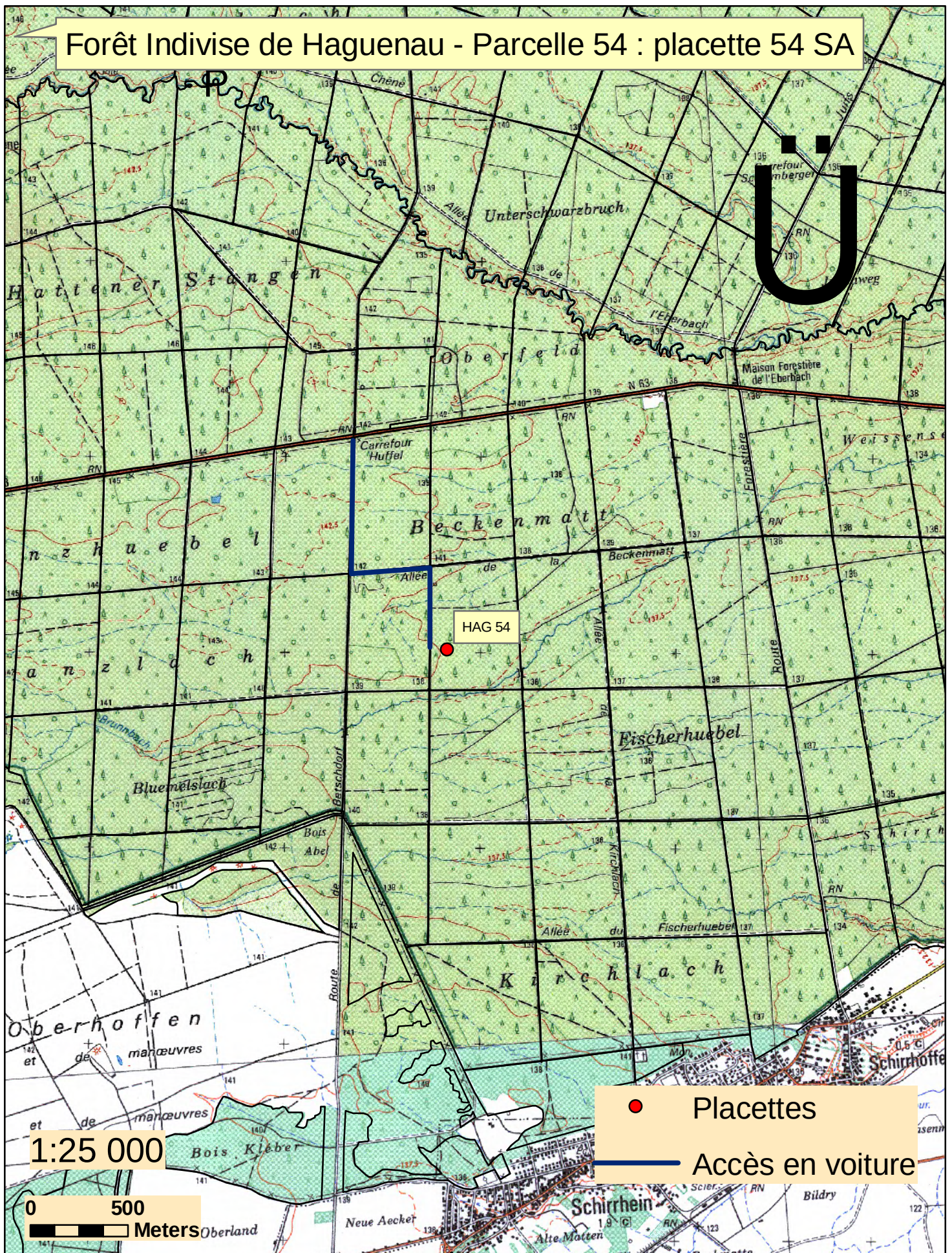


Forêt Indivise de Haguenau - Parcelle 1028 : placette 1028 SN



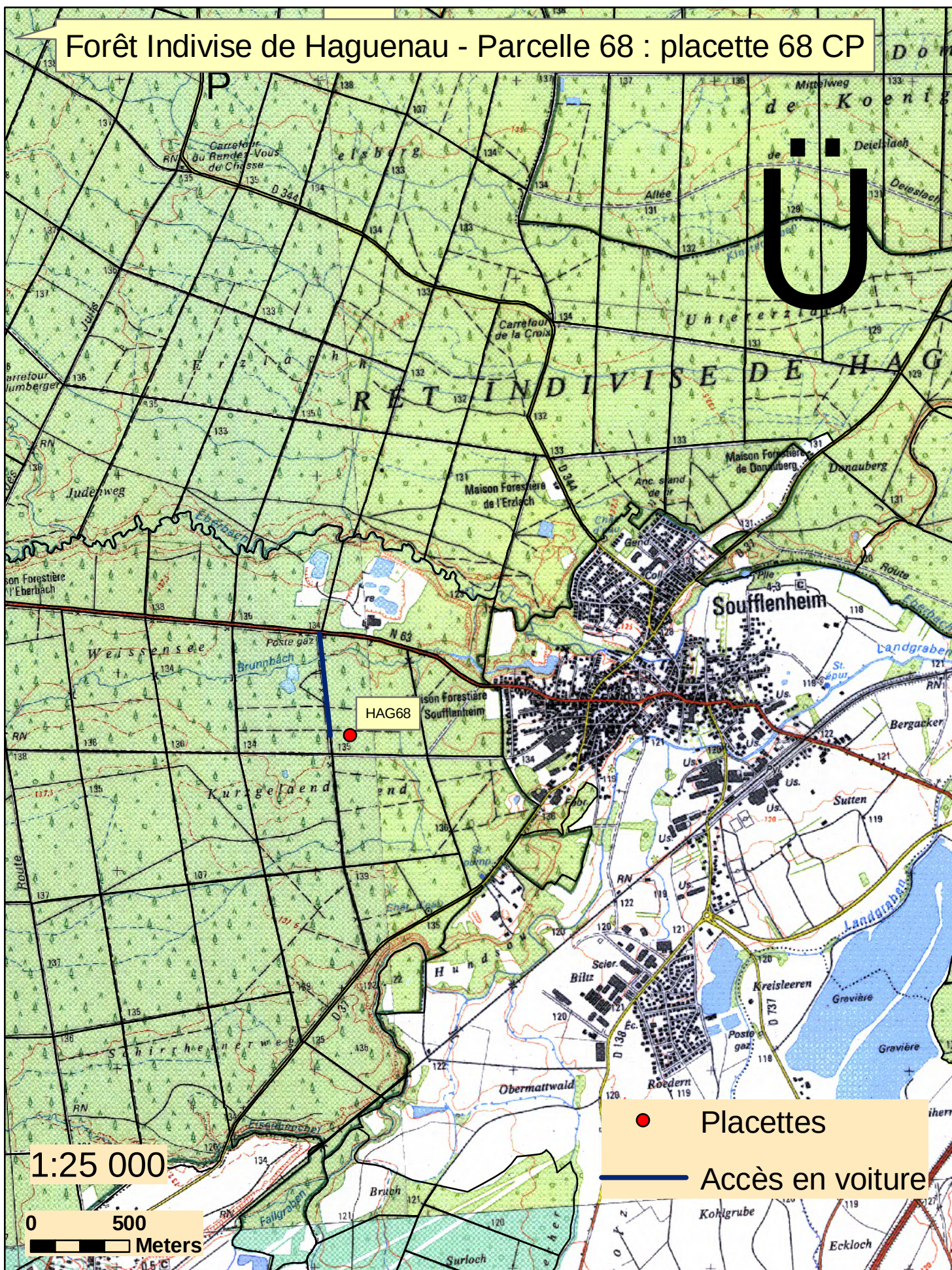


Forêt Indivise de Haguenau - Parcelle 54 : placette 54 SA



Forêt Indivise de Haguenau - Parcelle 68 : placette 68 CP

U



Annexe n°2 : Tableaux récapitulatif des observations racinaires.

Tableaux récapitulatifs des observations racinaires :

Données 2008 pour le Pin sylvestre

Nombre de plants présentant	PS 3 G 200	PS 3 SN	PS 4 G 200	PS 4 G 320	PS 5 G 320	PS 6 G 200	PS 6 RN	PS 8 G 200	PS 11 SA	PS 12 G 110
Ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)			2	1	1	2	5			
Racines en forme du godet	7		5	3	3	6				
Agglomérat			1	4	5	5	15	15		10
Agglomérat en forme de L incliné			2				3	2		
Effet talon			2				3			
Effet tournevis							2			
Absence de racines principales structurales sur plus de 120° en continu	7	3	11	5	6	4	11	3	7	10
Présence d'une grosse racine ou d'un pivot	10	9	18	9	9	10	15	18	10	10
Nombre d'individus	10	10	18	9	10	10	20	19	10	10

Données 2008 pour le Chêne sessile

Nombre de plants présentant	CS 4 RN	CS 9 G 200	CS 12 G 400
Ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	3		
Racines en forme du godet		1	
Agglomérat	2	5	10
Agglomérat en forme de L incliné	2		
Effet talon	3		
Effet tournevis			
Absence de racines principales structurales sur plus de 120° en continu	9	2	3
Présence d'une grosse racine ou d'un pivot	10	9	10
Nombre d'individus	10	9	10

Données 2008 pour le Pin sylvestre

Données	PS 3 G 200	PS 3 SN	PS 4 G 200	PS 4 G 320	PS 5 G 320	PS 6 G 200	PS 6 RN	PS 8 G 200	PS 11 SA	PS 12 G 110
Nombre moyen de racines primaires tournées en face externe	3,5	1,3	5,1	7,3	3,7	5,4	4,9	3,5	2,3	1,8
Nombre moyen de racines primaires ou secondaires remontantes	2,3	1,0	2,7	2,3	3,7	2,9	3,2	2,4	1,0	2,0
Nombre moyen de racines croisées et entrelacées	3,3	3,5	5,0	6,4	2,9	2,5	5,5	2,7	1,8	3,7
Nombre moyen de racines incluses visibles	2,0	1,0	3,0	5,2	5,5	8,0	8,5	11,6	4,9	13,6
Nombre moyen de racines colonisatrices	15,5	10,1	9,1	11,0	10,4	13,9	16,6	20,1	15,9	18,5
Nombre moyen de racines dans la zone A (0 à 10 cm)	9,5	8,8	7,8	6,3	10,6	10,8	11,4	15,4	7,6	6,3
Nombre moyen de racines dans la zone B (11 à 20 cm)		2,0	2,4	3,9	2,2	2,5	5,4	4,9	3,8	8,3
Nombre moyen de racines dans la zone C (21 à 30 cm)		3,0		2,7			4,8	2,8	2,0	4,5
Nombre moyen de racines dans la zone D (>30 cm)				1,0			1,0	2,0	4,2	4,3

Données 2008 pour le Chêne sessile

Données	CS 4 RN	CS 9 G 200	CS 12 G 400
Nombre moyen de racines primaires tournées en face externe	1,7	4,2	2,7
Nombre moyen de racines primaires ou secondaires remontantes	2,6	1,6	2,4
Nombre moyen de racines croisées et entrelacées	4,9	4,9	4,9
Nombre moyen de racines incluses visibles	1,6	4,7	11,3
Nombre moyen de racines colonisatrices	8,8	19,0	19,5
Nombre moyen de racines dans la zone A (0 à 10 cm)	3,8	15,1	12,4
Nombre moyen de racines dans la zone B (11 à 20 cm)	7,6	4,3	7,1
Nombre moyen de racines dans la zone C (21 à 30 cm)		1,7	6,8
Nombre moyen de racines dans la zone D (>30 cm)		1,0	15,0

Données 2008

Données	PS 8 G 200	PS 11 SA	PS 12 G 110	CS 9 G 200	CS 12 G 400
Angle moyen de l'écart à la verticalité (°)	7,4	2,1	10,0	3,9	3,9
Coubure basale moyenne (cm)	5,0	3,6	6,8	1,6	2,3
Moment moyen (Kg*m) $\beta = 10^\circ$	49,8		25,2		51,9
Moment moyen (Kg*m) $\beta = 20^\circ$	58,0		73,9		66,6

Annexe n°3 : Fiches de synthèse des résultats par placette

Principales caractéristiques de la plantation

Plantation					Travail du sol	AGE (hiver 07/08)	
Année	Epoque	Type de plant	Orientation lignes	Espacements (m)		plantation	plants
1996	Automne	G 110 ? en 1-0	120g - 320g	2 x 1,5	Aucun. Plantation en fente	11 ans	12 ans

Données concernant les 100 plants mesurés

Disposition et plan de mortalité :

71									
72									
x									
73									
90	74	70		31					
91	89	75	69	51	50	32	30	11	10
92	88	x	68	52	49	33	29	12	9
93	x	76	x	53	48	34	28	13	8
94	87	x	67	54	47	35	27	14	7
95	86	x	66	55	46	36	26	15	6
96	85	77	65	56	45	37	25	16	5
97	84	78	64	57	44	38	24	17	4
98	83	x	63	58	43	x	23	18	3
99	82	79	62	59	42	39	22	19	2
100	81	80	61	60	41	40	21	20	1

x = Plants morts avant 2006

■ = Plants arrachés en 2006

■ = Plants arrachés en 2008

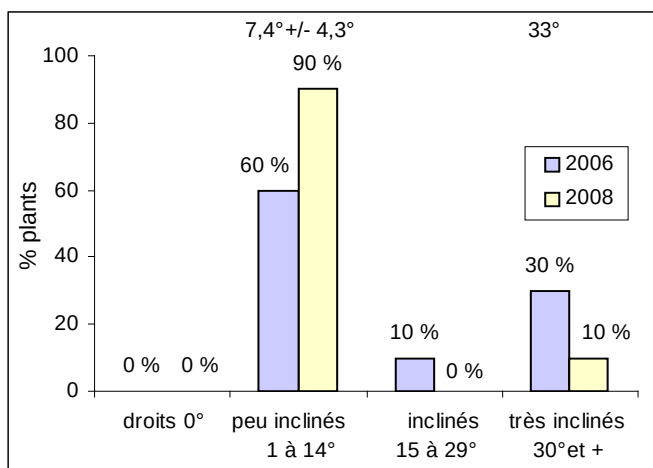
Caractéristiques de la plantation :

		2006	2008
Taux de reprise (%)		93	-
Taux de mortalité (%)		-	0
H moyenne (cm)		500 +/- 75	633 +/- 120
D moyen au collet (mm)		125 +/- 36	138 +/- 46
D moyen à x cm (mm)		79 +/- 24	98 +/- 33
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)			65 +/- 40
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)			12 +/- 3
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	0	0
	dégâts insectes	2	0
	jaunissement	0	0
	descente de cime	1	0

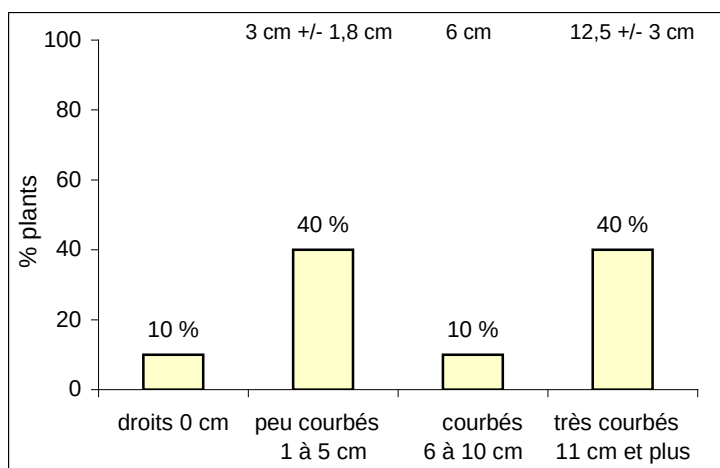
Résultats concernant les 10 plants arrachés

Analyse de la stabilité des plants

Ecart vertical :



Courbure basale :



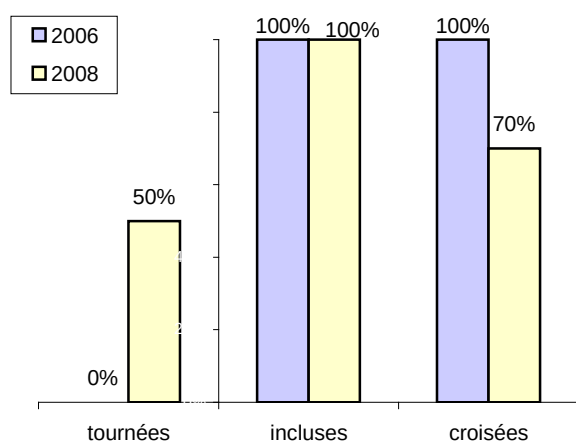
Analyse du système racinaire

Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :

% plants avec ...	2006	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	10	0
un "agglomérat" en forme de L incliné	20	0
effet talon	-	0
effet tournevis	-	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	40 (2 +/- 1,41)	20 (2 +/- 1,4)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :



% plants avec ...	2006	2008
forme de godet	-	0
agglomérat	100	100

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2006	2008
tournées	0	1,8 +/- 0,8
incluses	5,5 +/- 1,4	11,8 +/- 4,5
croisées	-	3,7 +/- 2

Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

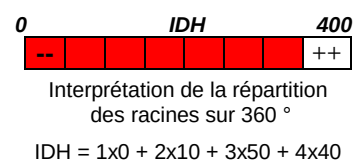
		2006	2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	60	40
	Avec une grosse racines plongeante à la sortie de l'agglomérat*	-	60
Profondeur moyenne du pivot (cm)		-	91 +/- 28
Ø moyen du pivot (mm)		41	67 +/- 25
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)			60 +/- 18
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		38	51 +/- 17
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t			16 +/- 2

* pour les plants qui n'ont pas de pivot



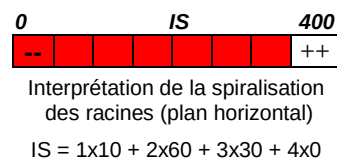
Distribution horizontale des racines sur 360° :

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2006	0	10	50	40	330	40
2008	0	10	50	40	330	100

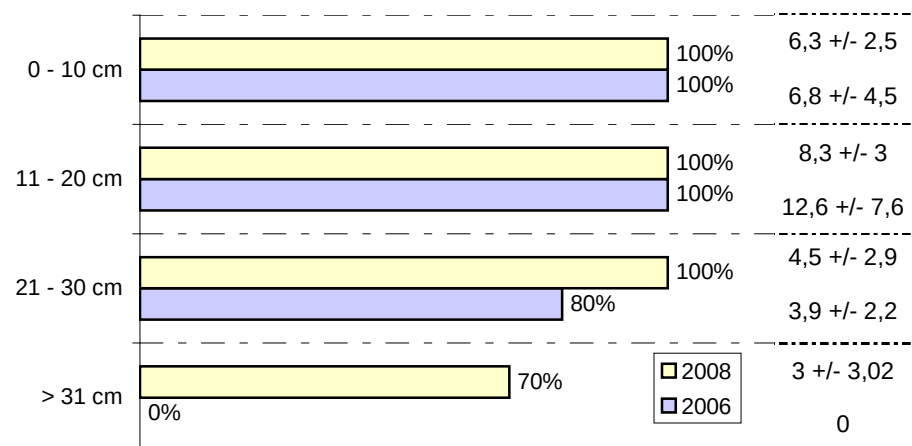


Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

année	% des plants avec une ou plusieurs racines ($\varnothing > 3$ mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2006	10	60	30	-	220
2008	0	0	10	90	390



Développement des racines principales selon la profondeur du sol :



Diamètre moyenne de la plus grosse racine de premier ordre (mm)

50,40 +/- 23,5

Plantation					Travail du sol		AGE (hiver 07/08)	
Principales caractéristiques de la plantation								
Année	Epoque	Type de plant	Orientation lignes	Espacements (m)		plantation	plants	
2001	Printemps	G 220 en 1-0	100g - 300g	2 x 1,5	Aucun	7 ans	8 ans	

Données concernant les 100 plants mesurés

Disposition et plan de mortalité :

[illegible]

x = Plants morts avant 2006
 = Plants arrachés en 2006
 = Plants arrachés en 2008

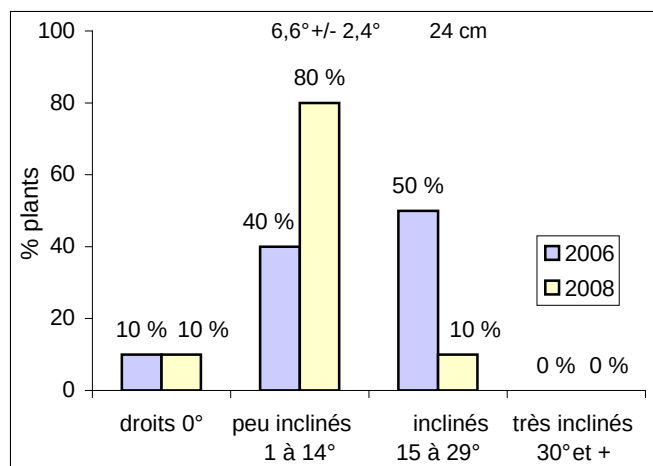
Caractéristiques de la plantation :

Caractéristiques de la plantation :		2006	2008
Taux de reprise (%)		85	
Taux de mortalité (%)			0
H moyenne (cm)		207 +/- 37	363 +/- 49
D moyen au collet (mm)		57 +/- 13	88 +/- 15
D moyen à 1 m (mm)		45 +/- 11	61 +/- 11
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)			77 +/- 16
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)			30 +/- 9
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	0	0
	dégâts insectes	0	0
	jaunissement	1	0
	descente de cime	0	0

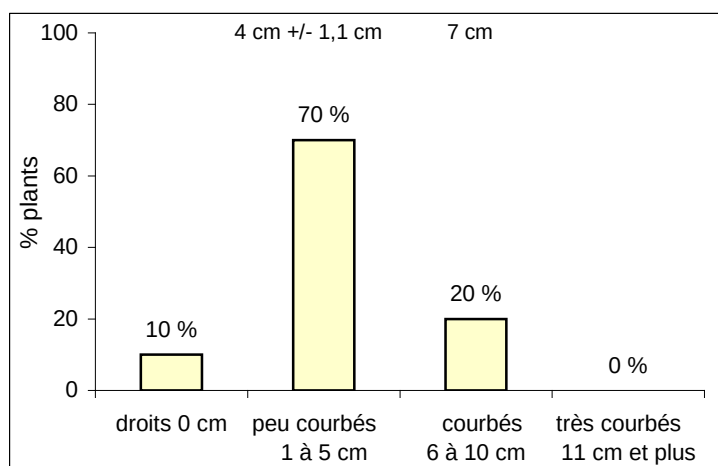
Résultats concernant les 10 plants arrachés

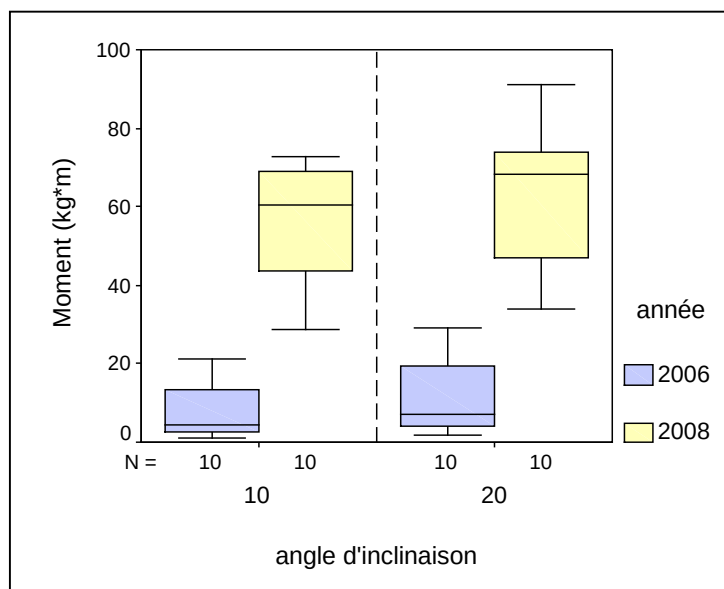
Analyse de la stabilité des plants

Ecart vertical :



Courbure basale :





Moment moyen (kg*m) en 2008	
10°	20°
55 +/- 16	64 +/- 19

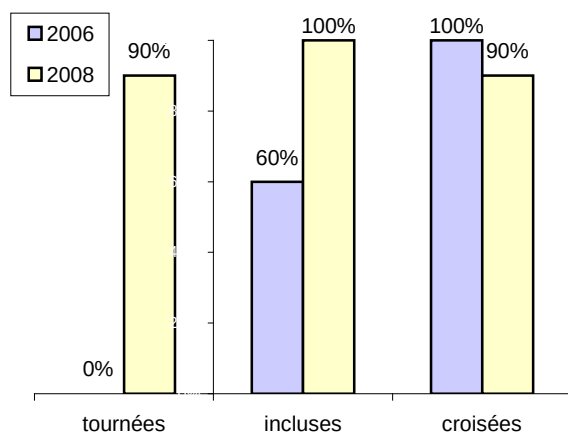
Analyse du système racinaire

Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :

% plants avec ...	2006	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	20	0
un "agglomérat" en forme de L incliné	80	10
effet talon	-	0
effet tournevis	-	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	0	20 (2 +/- 1,4)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :

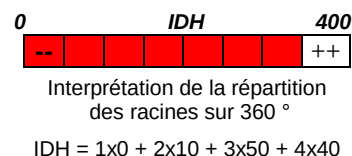


% plants avec ...	2006	2008
forme de godet	-	0
agglomérat	100	100

Nb moyenne de racines...	2006	2008
tournées	0	1,7 +/- 0,7
incluses	2,8 +/- 1	12,4 +/- 5,2
croisées	-	2,3 +/- 1,1

Distribution horizontale des racines sur 360° :

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2006	-	20	50	30	310	40
2008	-	50	40	10	260	10



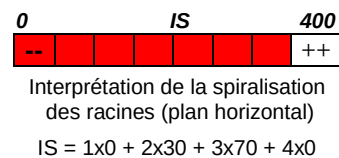
Orientation dominante des racines structurales et pivot :

		2006	2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	60	0
	Avec une grosse racine plongeante à la sortie de l'agglomérat*	-	90
Profondeur moyenne du pivot (cm)		-	-
Ø moyen du pivot (mm)		13,7	-
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)		-	41 +/- 17
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		11,8	26 +/- 7
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t			12 +/- 3

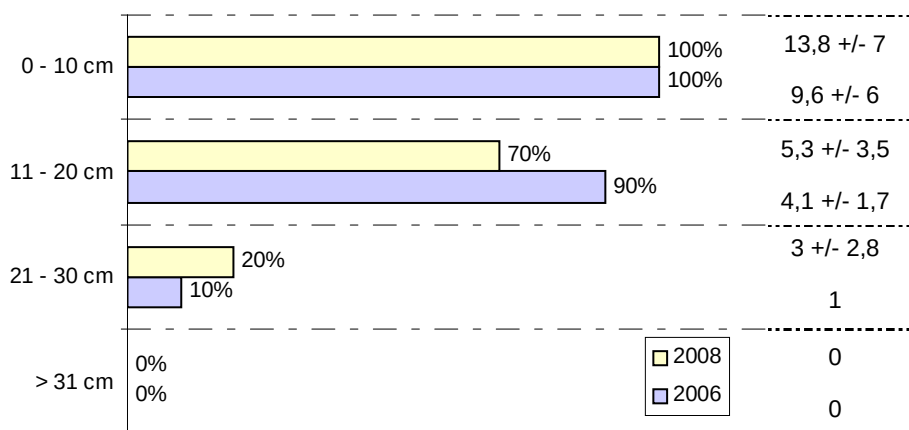


Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2006	-	30	70	-	270
2008	-	-	20	80	380



Développement des racines principales selon la profondeur de sol :



**Diamètre moyenne
de la plus grosse
racine de premier
ordre (mm)**

38,6 +/- 10,2

Données concernant les 100 plants mesurés

Plantation					Travail du sol	AGE (hiver 07/08)	
Année	Epoque	Type de plant	Orientation lignes	Espacements (m)		plantation	plants
2003	automne	G 320cc ? en 1-0	134g – 334g	1 x 1,2	labour sommaire ?	4 ans	5 ans

Caractéristiques de la plantation :

peuplement adulte	encore 1 ligne de plantation				
					21
					22
					23
		60	x	20	
	100	61	24	19	
	99	62	60	x	18
	98	63	59	25	17
	97	64	58	26	16
	96	65	57	27	15
	95	66	56	28	14
	94	67	55	29	13
	93	68	54	30	12
	92	x	53	31	11
	91	69	52	32	x
	90	70	51	33	10
	89	71	50	34	9
	88	72	49	35	8
	87	73	48	x	7
	86	74	47	36	6
	85	75	46	x	x
	84	76	45	37	5
	83	77	44	x	4
	x	78	43	38	3
	82	79	42	39	2
	81	80	41	40	1
	encore 1 ligne de plantation				
bande vide de 5 m de large (molinie et un peu d'accrus ligneux)					
à nouveau 6 lignes de plantation					
peuplement adulte					

Caractéristiques de la plantation :		2007	2008
Taux de reprise (%)		-	-
Taux de mortalité (%)		8,3	0
H moyenne (cm)		102 +/- 17	142 +/- 24
D moyen au collet (mm)		29 +/- 6,6	39 +/- 9
D moyen à x cm (mm)		24 +/- 5,6	35 +/- 8,5
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)			40 +/- 11
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)			10,5 +/- 5
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	0	0
	dégâts insectes	0	0
	jaunissement	8	1
	descente de cime	0	0

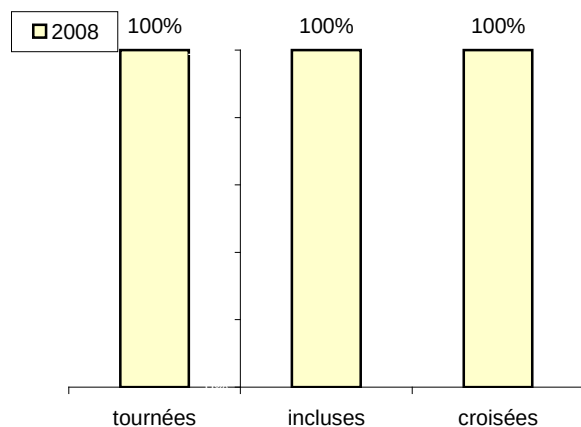
 = Plants arrachés en 2008

Analyse du système racinaire

Déformations racinaires strictement liées au godet :

% <i>plants avec ...</i>	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	11
un "agglomérat" en forme de L incliné	0
effet talon	0
effet tournevis	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	67 (2,3 +/- 2,3)

Disposition des racines :



% plants avec ...	2008
forme de godet	33
agglomérat	44

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2008
tournées	6,2 +/- 2,4
incluses	4 +/- 2,7
croisées	4 +/- 2,5

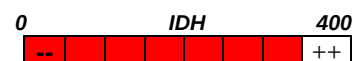
Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

	2008
% plants	
Avec pivot (clairement identifié)	100
Avec une grosse racine plongeante à la sortie de l'agglomérat*	0
Profondeur moyenne du pivot (cm)	27 +/- 14
Ø moyen du pivot (mm)	24 +/- 10
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)	-
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)	-
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t	-

* pour les plants qui n'ont pas de pivot

Distribution horizontale des racines sur 360°

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2008	11	44	44	0	233	56



Interprétation de la répartition des racines sur 360 °

$$IDH = 1 \times 0 + 2 \times 10 + 3 \times 50 + 4 \times 40$$

Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

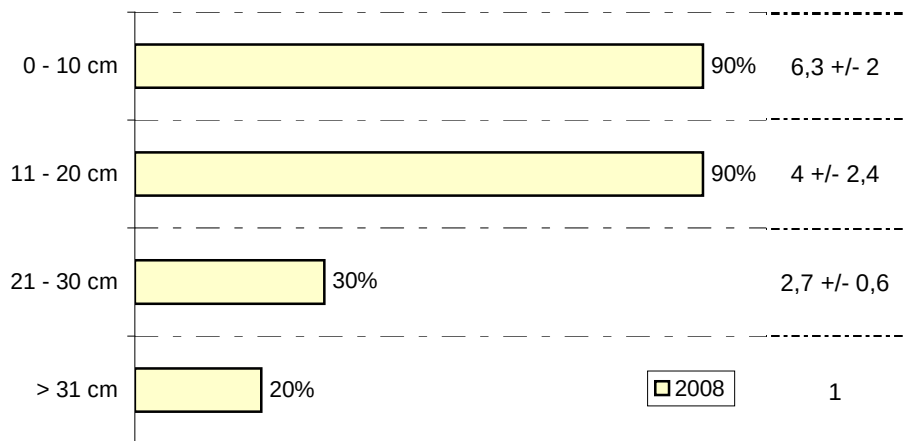
année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2008	0	44	33	22	222



Interprétation de la spiralisation des racines (plan horizontal)

$$IS = 1 \times 10 + 2 \times 60 + 3 \times 30 + 4 \times 0$$

Développement des racines principales selon la profondeur du sol :



*Diamètre moyenne
de la plus grosse
racine de premier
ordre (mm)*

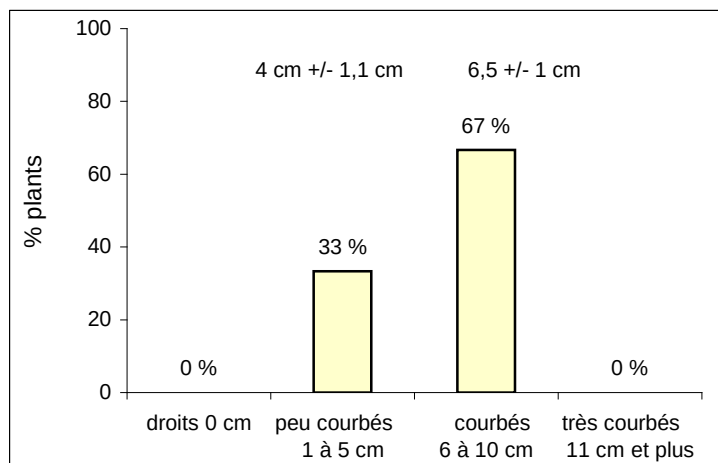
12,8 +/- 3,7

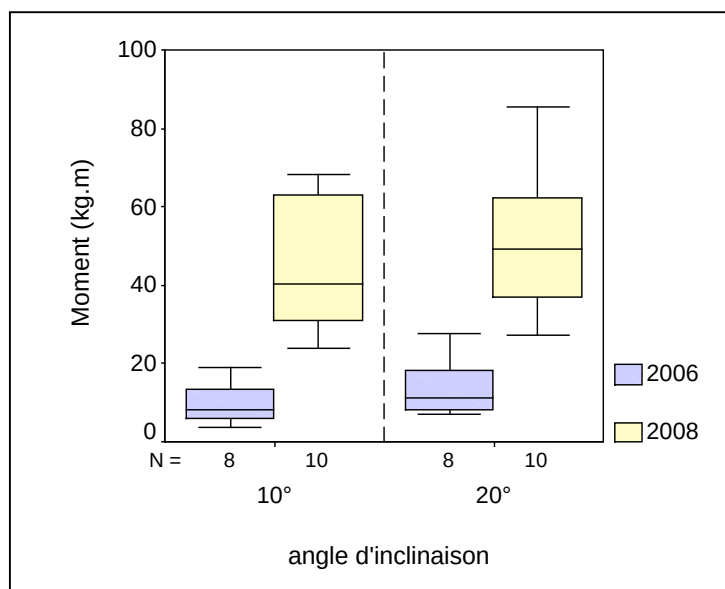
Données concernant les 100 plants mesurés

x = Plants morts avant 2006
 = Plants arrachés en 2006
 = Plants arrachés en 2008

Analyse de la stabilité des plants

Courbure basale :





Moment moyen (kg*m) en 2008	
10°	20°
44 +/- 17	51 +/- 19

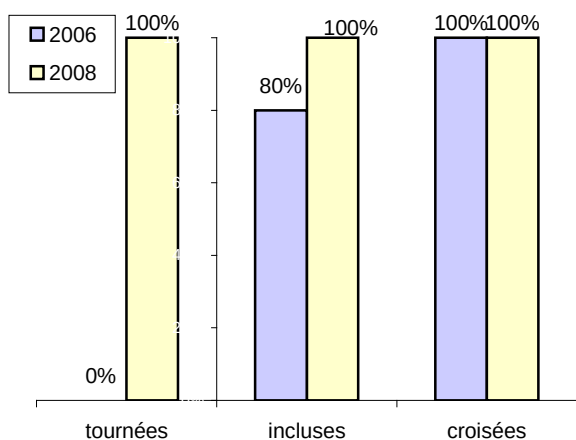
Analyse du système racinaire

Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :

% plants avec ...	2006	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	20	0
un "agglomérat" en forme de L incliné	80	11
effet talon	-	0
effet tournevis	-	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	60 (1 +/- 0,4)	89 (2,6 +/- 1,5)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :



% plants avec ...	2006	2008
forme de godet	-	0
agglomérat	90	56

Nb moyenne de racines...	2006	2008
tournées	0	5,3 +/- 2,1
incluses	3,7 +/- 1,7	5,2 +/- 4,6
croisées	-	3 +/- 1,1

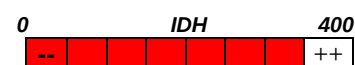
Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

		2006	2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	40	56
	Avec une grosse racines plongeante à la sortie de l'agglomérat*	-	44
Profondeur moyenne du pivot (cm)		-	43,4 +/- 23,4
Ø moyen du pivot (mm)		18	40,4 +/- 12
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)		-	41 +/- 11
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		14	20 +/- 6
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t			12 +/- 4

* pour les plants qui n'ont pas de pivot

Distribution horizontale des racines sur 360° :

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2006	0	30	40	30	300	60
2008	0	0	67	33	333	22



Interprétation de la répartition des racines sur 360 °

$$IDH = 1 \times 0 + 2 \times 10 + 3 \times 50 + 4 \times 40$$

Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

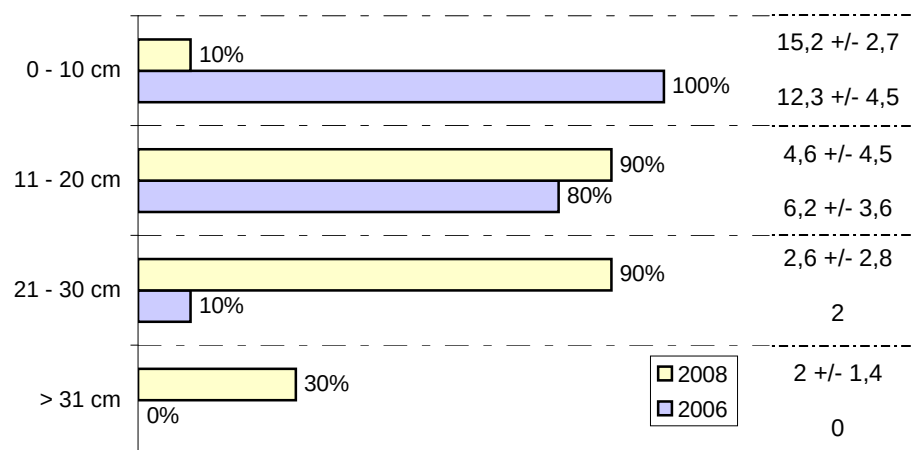
année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2006	-	70	30	-	230
2008	-	-	20	80	380



Interprétation de la spiralisation des racines (plan horizontal)

$$IS = 1 \times 0 + 2 \times 70 + 3 \times 30 + 4 \times 0$$

Développement des racines principales selon la profondeur de sol :



Diamètre moyenne de la plus grosse racine de premier ordre (mm)

30 +/- 6,7

Station : 9
Pin sylvestre

Placette permanente n° : 96Ca

Forêt Indivise de Haguenau
plantation en godets

Plantation					Travail du sol	AGE (hiver 07/08)	
Principales caractéristiques de la plantation							
Année	Epoque	Type de plant	Orientations lignes	Espacements (m)		plantation	plants
2003	Printemps	G 220 en 1-0	90g - 290g	1,5 x 1,5	Mise en andain et labour	5 ans	6 ans

Données concernant les 100 plants mesurés

Disposition et plan de mortalité :

11									
x									
x									
x									
12								91	
x								92	
			50						
10	13	30	49					90	93
9	14	29	31	48	51			89	x
8	x	x	32	47	52			71	x
7	x	28	x	46	53	70	72	88	x
6	15	27	33	45	54	69	73	x	x
5	16	26	34	x	55	68	74	87	x
x	17	x	35	x	56	67	75	86	95
4	18	25	36	44	57	66	76	85	96
3	x	x	x	43	58	65	77	x	97
x	x	24	37	42	59	64	78	84	98
2	x	23	38	x	x	63	x	83	99
x	19	22	39	x	x	62	79	82	x
1	20	21	40	41	60	61	80	81	100

x = Plants morts avant 2006
 = Plants arrachés en 2006
 = Plants arrachés en 2008

Caractéristiques de la plantation :

		2006	2008
Taux de reprise (%)		76	-
Taux de mortalité (%)		-	1,1
H moyenne (cm)		80 +/- 21	137 +/- 32
D moyen au collet (mm)		23 +/- 7	44 +/- 13
D moyen à x cm (mm)		19 +/- 6	39 +/- 11
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)			29 +/- 10
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)			21 +/- 8
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	3	0
	dégâts insectes	0	0
	jaunissement	0	30
	descente de cime	0	0



Résultats concernant les 10 plants arrachés (campagne 2006)

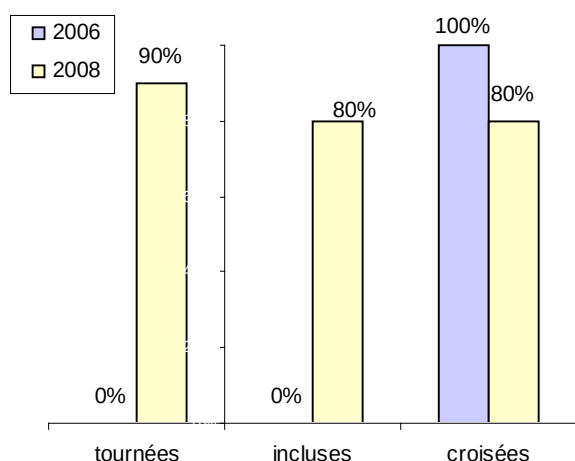
Analyse du système racinaire

Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :

% plants avec ...	2006	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	-	20
un "agglomérat" en forme de L incliné	20	0
effet talon	-	0
effet tournevis	-	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	90 (4 +/- 1,12)	80 (2,8 +/- 1,6)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :



% plants avec ...	2006	2008
forme de godet	-	60
agglomérat	100[b1] ????	50

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2006	2008
tournées	-	5,4 +/- 1,2
incluses	0	6,9 +/- 4,2
croisées	-	2,5 +/- 1,2

Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

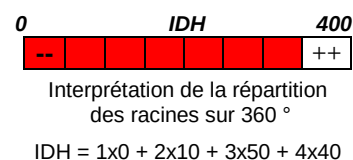
	2006	2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	
	70	80
% plants	Avec une grosse racine plongeante à la sortie de l'agglomérat*	
	-	20
Profondeur moyenne du pivot (cm)		
-		
28,3 +/- 13,6		
Ø moyen du pivot (mm)		
8		
18 +/- 6,5		
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)		
-		
25 +/- 5,6		
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		
7		
8,5 +/- 2		
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t		
-		
8,5 +/- 5		

* pour les plants qui n'ont pas de pivot



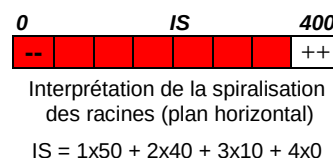
Distribution horizontale des racines sur 360° :

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2006	0	50	20	30	280	80
2008	10	60	30	-	220	50

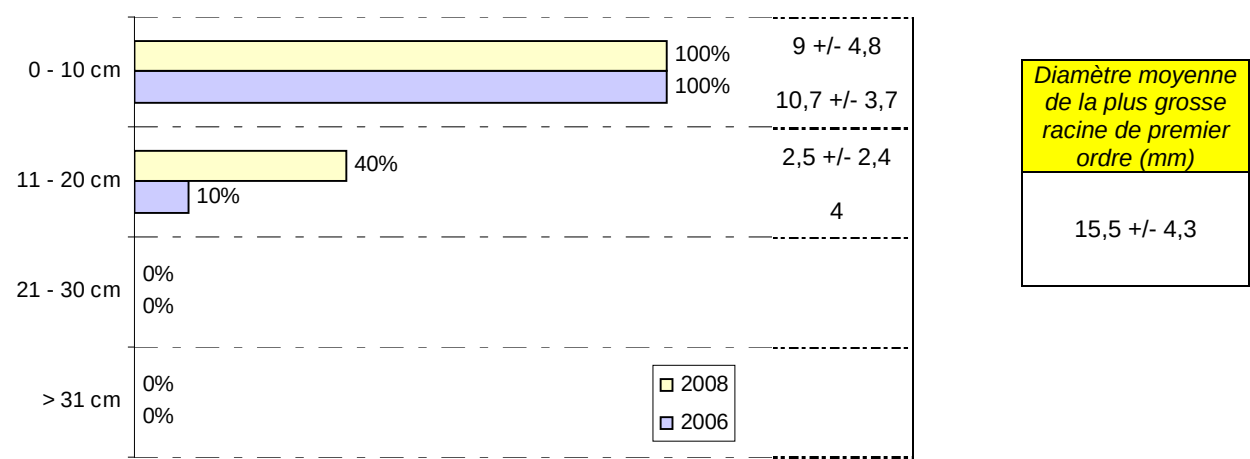


Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2006	50	40	10	0	160
2008	10	40	20	30	230



Développement des racines principales selon la profondeur de sol :



Principales caractéristiques de la plantation

Plantation					Travail du sol	AGE (hiver 07/08)	
Année	Epoque	Type de plant	Orientation lignes	Espacements (m)		plantation	plants
2003	automne	G 200cc ? en 1-0	106g - 306g	1,3 x 1,5	labour sommaire	4 ans	5 ans

Données concernant les 100 plants mesurés

Disposition et plan de mortalité :

306 gr

[illegible]

x = Plants morts avant 2007

■ = Plants arrachés en 2007

 = Plants arrachés en 2008

Caractéristiques de la plantation :

Caractéristiques de la plantation :		2007	2008
Taux de reprise (%)		-	-
Taux de mortalité (%)		11	1
H moyenne (cm)		95 +/- 22	124 +/- 29
D moyen au collet (mm)		25 +/- 7	35 +/- 11
D moyen à x cm (mm)		23 +/- 7	31 +/- 9,6
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)			30 +/- 14
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)			10 +/- 4,6
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	9	0
	dégâts insectes	0	0
	jaunissement	19	1
	descente de cime	14	0

106 gr

Résultats concernant les 10 plants arrachés

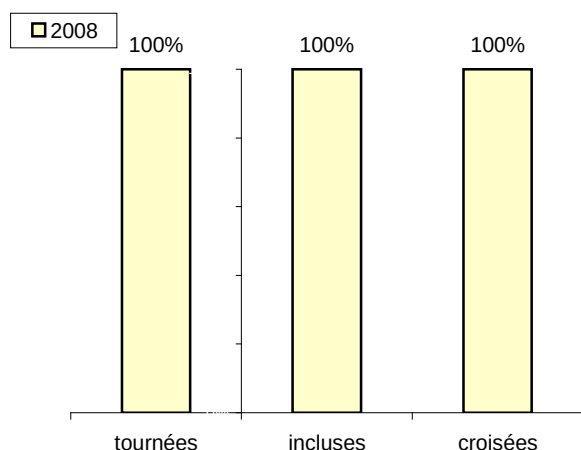
Analyse du système racinaire

Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :

% <i>plants avec ...</i>	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	10
un "agglomérat" en forme de L incliné	0
effet talon	0
effet tournevis	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	90 (3,7 +/- 1,7)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :



% plants avec ...	2008
forme de godet	30
agglomérat	50

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2008
tournées	3,7 +/- 1,8
incluses	5,5 +/- 2,8
croisées	3 +/- 1,5

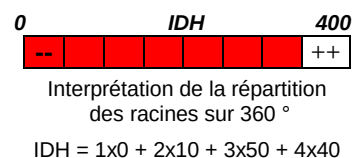
Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

		2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	90
	Avec une grosse racine plongeante à la sortie de l'agglomérat*	0
Profondeur moyenne du pivot (cm)		30 +/- 16
Ø moyen du pivot (mm)		19 +/- 5
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)		-
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		-
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t		-

* pour les plants qui n'ont pas de pivot

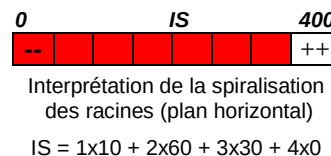
Distribution horizontale des racines sur 360°:

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2008	10	60	30	0	220	60

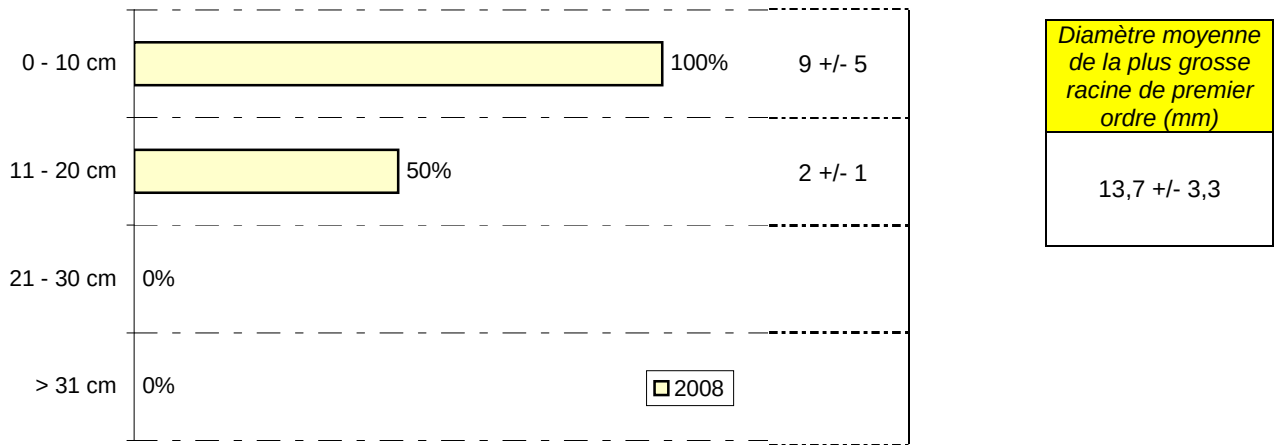


Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2008	20	50	30	0	290



Développement des racines principales selon la profondeur du sol :



Station : 10
Pin sylvestre

Placette permanente n° : 55Ca

Forêt Indivise de Haguenau
plantation en godets

Plantation					Travail du sol	AGE (hiver 07/08)	
Principales caractéristiques de la plantation							
Année	Epoque	Type de plant	Orientation lignes	Espacements (m)		plantation	plants
2005	Automne	G 200 en 1-0	100g - 300g	1,5 x 1,5	Mise en andain et labour	2,5 an	3 an

Données concernant les 100 plants mesurés

Disposition et plan de mortalité :

10	11	30	31	50	51	70	71	90	91
9	12	29	32	49	52	69	72	89	92
8	13	28	33	48	53	68	73	88	93
7	14	27	34	47	54	67	74	87	94
6	15	26	35	46	55	66	75	86	95
5	16	25	36	45	56	65	76	85	96
4	17	24	37	44	57	64	77	84	97
3	18	23	38	43	58	63	78	83	98
2	19	22	39	42	59	62	79	82	99
1	20	21	40	41	60	61	80	81	100

petit cloisonnement

x = Plants morts avant 2006
 = Plants arrachés en 2006
 = Plants arrachés en 2008

Caractéristiques de la plantation :

		2006	2008
Taux de reprise (%)		100	-
Taux de mortalité (%)		-	3,3
H moyenne (cm)		11 +/- 2	67 +/- 14
D moyen au collet (mm)		3 +/- 0	16 +/- 3
D moyen à x cm (mm)			13 +/- 3
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)			28 +/- 7
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)			13 +/- 3
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	0	0
	dégâts insectes	0	0
	jaunissement	0	40
	descente de cime	0	0

Résultats concernant les 10 plants arrachés

Analyse du système racinaire

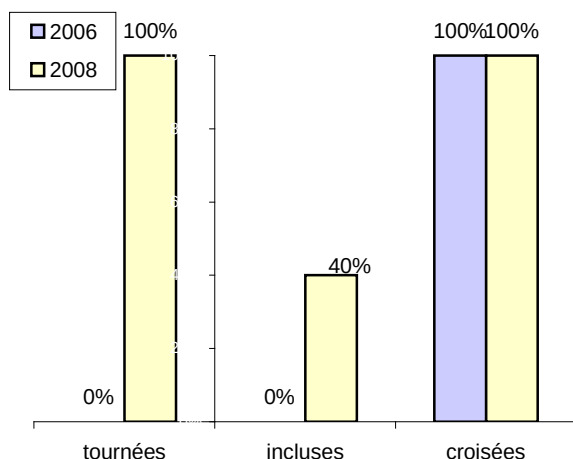


Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :

% plants avec ...	2006	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	0	0
un "agglomérat" en forme de L incliné	0	0
effet talon	-	0
effet tournevis	-	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	80 (2,6 +/- 0,9)	90 (2,3 +/- 1)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :



% plants avec ...	2006	2008
forme de godet	-	70
agglomérat	40	0

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2006	2008
tournées	0	3,5 +/- 1
incluses	0	2 +/- 1
croisées	-	3,3 +/- 1,9

Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

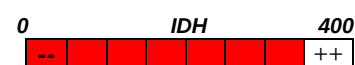
	2006	2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	
	100	100
% plants	Avec une grosse racine plongeante à la sortie de l'agglomérat*	
	-	0
Profondeur moyenne du pivot (cm)		
-		
Ø moyen du pivot (mm)		
2		
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)		
-		
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		
-		
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t		
-		

* pour les plants qui n'ont pas de pivot



Distribution horizontale des racines sur 360° :

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2006	0	0	30	70	370	10
2008	70	20	10	0	140	70



Interprétation de la répartition des racines sur 360 °

$$IDH = 1 \times 0 + 2 \times 10 + 3 \times 50 + 4 \times 40$$

Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

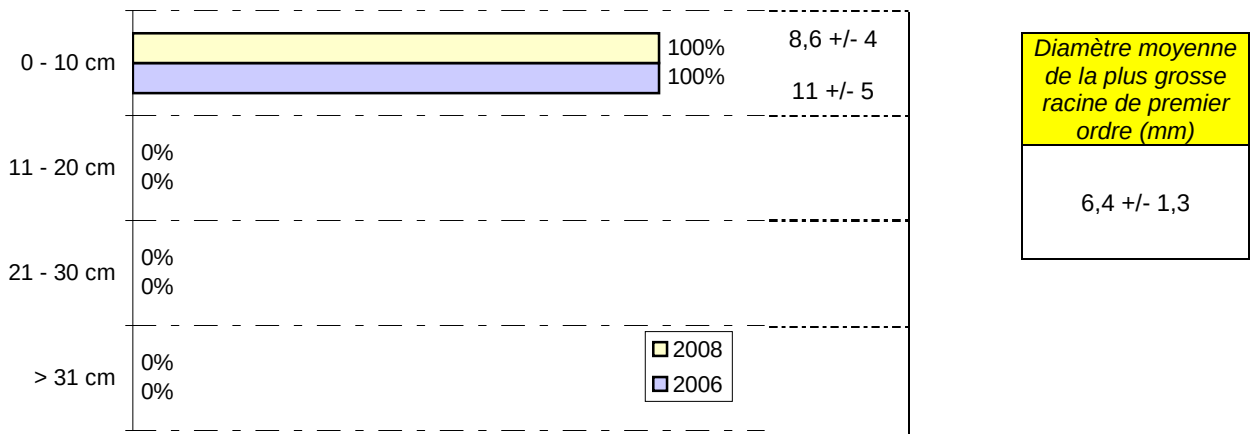
année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2006	0	50	50	0	280
2008	10	40	40	10	250



Interprétation de la spiralisation des racines (plan horizontal)

$$IS = 1 \times 0 + 2 \times 50 + 3 \times 50 + 4 \times 0$$

Développement des racines principales selon la profondeur de sol :



Station : 10
Pin sylvestre

Placette permanente n° : 14Cp

Forêt Indivise de Haguenau
plantation en godets

Plantation					Travail du sol		AGE (hiver 07/08)
Principales caractéristiques de la plantation							
Année	Epoque	Type de plant	Orientation lignes	Espacements (m)		plantation	plants
2005	Printemps	G 200 en 1-0	100g - 300g	1,5 x 1,5	Mise en andain et labour	3 an	4 ans

Données concernant les 100 plants mesurés

Disposition et plan de mortalité :

91	90	71	70	51	50	31	30	11	10
92	89	72	69	52	49	32	29	12	9
93	88	73	68	53	48	33	28	13	8
94	87	74	67	54	47	34	27	14	7
95	86	75	66	55	46	35	26	15	6
96	85	76	65	56	45	36	25	16	5
97	84	77	64	57	44	37	24	17	4
98	83	78	63	58	43	38	23	18	3
99	82	79	62	59	42	39	22	19	2
100	81	80	61	60	41	40	21	20	1

Cloisonnement 3 lignes

- x = Plants morts avant 2006
- = Plants arrachés en 2006
- = Plants arrachés en 2008

Caractéristiques de la plantation :

		2006	2008
Taux de reprise (%)		100	-
Taux de mortalité (%)		-	0
H moyenne (cm)		30 +/- 13	132 +/- 20
D moyen au collet (mm)		7 +/- 4	40 +/- 9
D moyen à x cm (mm)			32 +/- 6
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)			51 +/- 8,5
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)			26,5 +/- 7,4
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	2	0
	dégâts insectes	0	0
	jaunissement	7	17
	descente de cime	0	0

Résultats concernant les 10 plants arrachés

Analyse du système racinaire

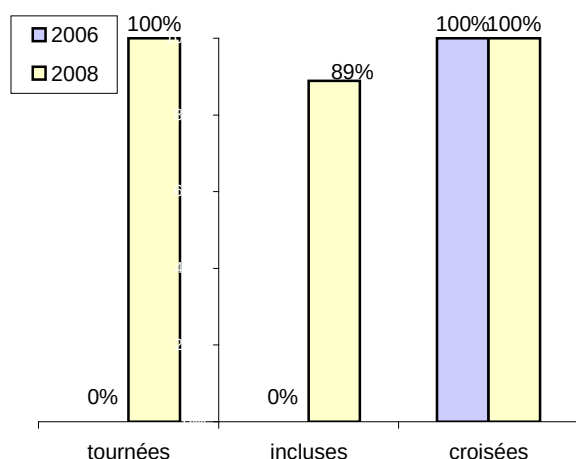
Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :



% plants avec ...	2006	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	0	0
un "agglomérat" en forme de L incliné	50	0
effet talon	-	0
effet tournevis	-	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	40 (2 +/- 0,8)	44 (1)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :



% plants avec ...	2006	2008
forme de godet	-	11
agglomérat	60	0

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2006	2008
tournées	0	5 +/- 1,8
incluses	0	3,3 +/- 2,1
croisées	-	3,7 +/- 2,3

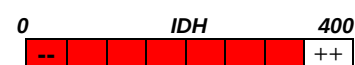
Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

	2006	2008
% plants		
Avec pivot (clairement identifié)	100	100
Avec une grosse racines plongeante à la sortie de l'agglomérat*	-	0
Profondeur moyenne du pivot (cm)	-	22 +/- 4
Ø moyen du pivot (mm)	8	20 +/- 5
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)	-	-
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)	-	-
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t	-	-



Distribution horizontale des racines sur 360°:

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2006	0	40	40	20	280	70
2008	0	11	67	22	311	22



Interprétation de la répartition des racines sur 360 °

$$IDH = 1 \times 0 + 2 \times 10 + 3 \times 50 + 4 \times 40$$

Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

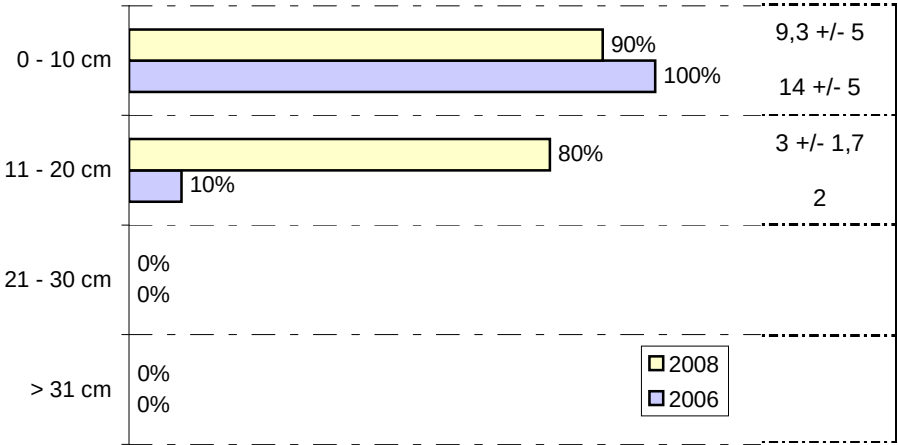
année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2006	0	20	80	0	280
2008	0	56	33	11	244



Interprétation de la spiralisation des racines (plan horizontal)

$$IS = 1 \times 10 + 2 \times 60 + 3 \times 30 + 4 \times 0$$

Développement des racines principales selon la profondeur de sol :



Diamètre moyenne
de la plus grosse
racine de premier
ordre (mm)

12 +/- 2,4

Station : 7
Pin sylvestre

Placette permanente n° : 13Ca

Forêt communale de Koenigsbruck
plantation en godets

Plantation					Travail du sol		AGE (hiver 07/08)	
Principales caractéristiques de la plantation								
Année	Epoque	Type de plant	Orientation lignes	Espacements (m)		plantation	plants	
2003	Automne	G 220 en 1-0	0g - 200g	1 x 0,8	Potet	4 ans	5 ans	

Données concernant les 100 plants mesurés

Disposition et plan de mortalité :

		75	
25	26	74	76
24	27	73	77
23	28	72	78
22	29	71	79
21	30	70	80
Cloisonnement 6 lignes			
20	31	69	81
19	32	68	82
18	33	67	83
17	34	66	84
16	35	65	85
15	36	64	86
14	37	63	87
13	38	62	88
12	39	61	89
11	40	60	90
Cloisonnement 2 lignes			
10	41	59	91
9	42	58	92
8	43	x	93
7	44	57	94
6	45	56	95
5	46	55	96
4	47	54	97
3	48	53	98
2	49	52	99
1	50	51	100

x = Plants morts avant 2006
 = Plants arrachés en 2006
 = Plants arrachés en 2008

Caractéristiques de la plantation :

		2006	2008
Taux de reprise (%)		99	-
Taux de mortalité (%)		-	4,5
H moyenne (cm)		25 +/- 8	79 +/- 17
D moyen au collet (mm)		6 +/- 1	15 +/- 4
D moyen à x cm (mm)			13 +/- 4
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)			27 +/- 7
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)			9 +/- 4
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	0	0
	dégâts insectes	0	0
	jaunissement	0	0
	descente de cime	0	0



Résultats concernant les 10 plants arrachés

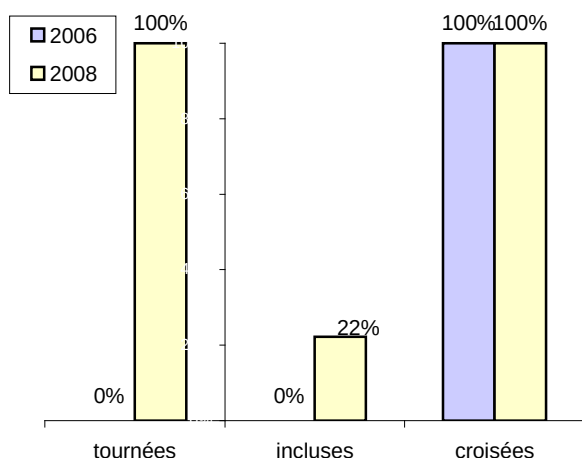
Analyse du système racinaire

Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :

% plants avec ...	2006	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	0	22
un "agglomérat" en forme de L incliné	40	22
effet talon	-	22
effet tournevis	-	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	100 (3 +/- 1)	89 (3,5 +/- 2,2)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :



% plants avec ...	2006	2008
forme de godet	-	44
agglomérat	40	11

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2006	2008
tournées	0	4 +/- 2,2
incluses	0	2 +/- 1,4
croisées	-	3 +/- 2,4

Orientation dominante des racines structurales et pivot :

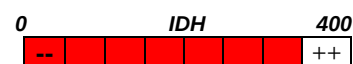
		2006	2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	100	100
	Avec une grosse racine plongeante à la sortie de l'agglomérat*	-	0
Profondeur moyenne du pivot (cm)		-	11,7 +/- 4,4
Ø moyen du pivot (mm)		4	10,2 +/- 4,3
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)		-	-
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		-	-
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)		-	-

* pour les plants qui n'ont pas de pivot



Distribution horizontale des racines sur 360° :

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2006	0	20	40	40	320	30
2008	78	22	0	0	122	100



Interprétation de la répartition des racines sur 360 °

$$IDH = 1 \times 0 + 2 \times 10 + 3 \times 50 + 4 \times 40$$

Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

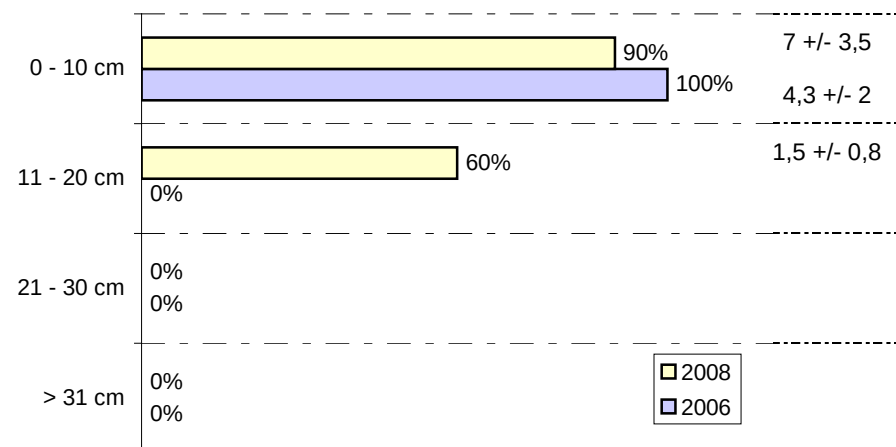
année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2006	30	40	30	0	200
2008	0	44	33	22	222



Interprétation de la spiralisation des racines (plan horizontal)

$$IS = 1 \times 30 + 2 \times 40 + 3 \times 30 + 4 \times 0$$

Développement des racines principales selon la profondeur de sol :



*Diamètre moyenne
de la plus grosse
racine de premier
ordre (mm)*

5 +/- 2

Données concernant les 100 plants mesurés

Caractéristiques de la plantation :

x = Plants morts avant 2006
 = Plants arrachés en 2006
 = Plants arrachés en 2008

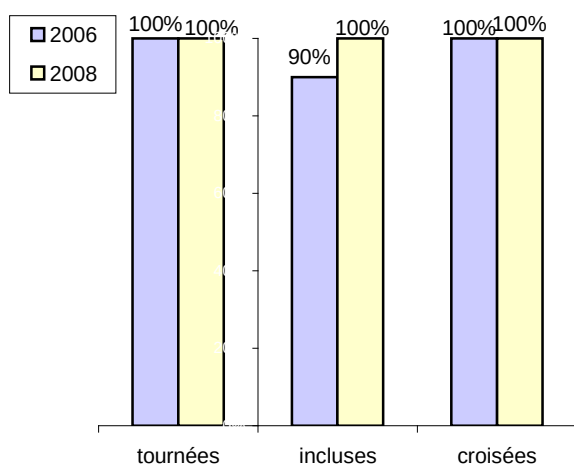
Résultats concernant les 10 plants arrachés

NB : toutes les déformations racinaires analysées ci-après peuvent être liées à la plantation.

Déformations racinaires strictement liées à la plantation :

% <i>plants avec ...</i>	2006	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	90	30
un "agglomérat" en forme de L incliné	80	20
effet talon	-	30
effet tournevis	-	20
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	90 (4,8 +/- 2,8)	80 (4 +/- 1,8)

Disposition des racines :



% plants avec ...	2006	2008
forme de godet	-	0
agglomérat	100	60

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2006	2008
tournées	4,4 +/- 1	4,5 +/- 3
incluses	4,9 +/- 1,5	4,5 +/- 2,7
croisées	-	2,9 +/- 2,9

Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

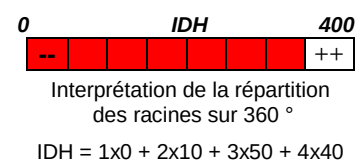
	2006	2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	
	10	40
% plants	Avec une grosse racines plongeante à la sortie de l'agglomérat*	
	-	20
Profondeur moyenne du pivot (cm)		
-		
25 +/- 7		
Ø moyen du pivot (mm)		
9		
16 +/- 5		
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)		
-		
35 +/- 7		
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		
5		
12,5 +/- 2		
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t		
-		
11,5 +/- 12		

* pour les plants qui n'ont pas de pivot



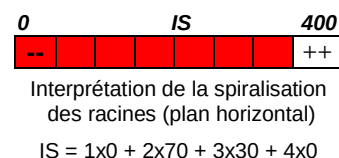
Distribution horizontale des racines sur 360° :

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2006	20	80	0	0	180	40
2008	0	50	40	10	260	60

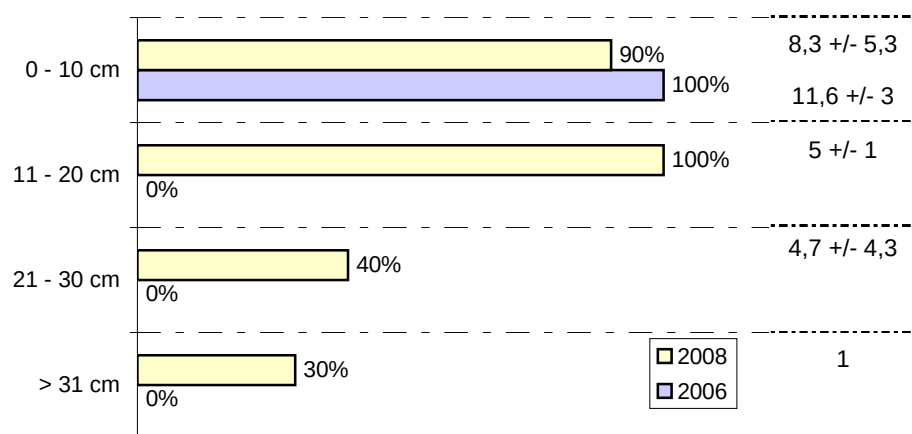


Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2006	10	60	30	0	220
2008	0	70	30	0	230



Développement des racines principales selon la profondeur de sol :



*Diamètre moyenne
de la plus grosse
racine de premier
ordre (mm)*

17 +/- 4,4

Plantation					Travail du sol		AGE (hiver 07/08)	
Principales caractéristiques de la plantation								
Année	Epoque	Type de plant	Orientation lignes	Espacements (m)		plantation	plants	
2003	Printemps	1-0	105g – 305g	1,5 x 1,5	Mise en andain et labour	5 ans	6 ans	

Données concernant les 100 plants mesurés

Disposition et plan de mortalité :

[illegible]

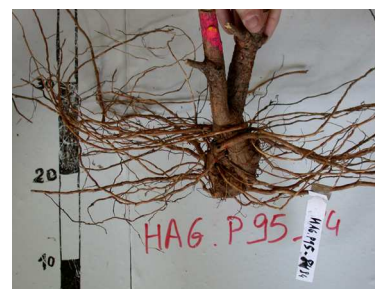
x = Plants morts avant 2006

= Plants arrachés en 2006

= Plants arrachés en 2008

Caractéristiques de la plantation :

Caractéristiques de la plantation :		2006	2008
Taux de reprise (%)		78	-
Taux de mortalité (%)		-	2,2
H moyenne (cm)		83 +/- 22	192 +/- 43
D moyen au collet (mm)		25 +/- 8	51 +/- 15
D moyen à x cm (mm)		19 +/- 7	41 +/- 12
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)			55 +/- 13
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)			25 +/- 9
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	0	0
	dégâts insectes	2	0
	jaunissement	17	2
	descente de cime	3	0



Résultats concernant les 10 plants arrachés

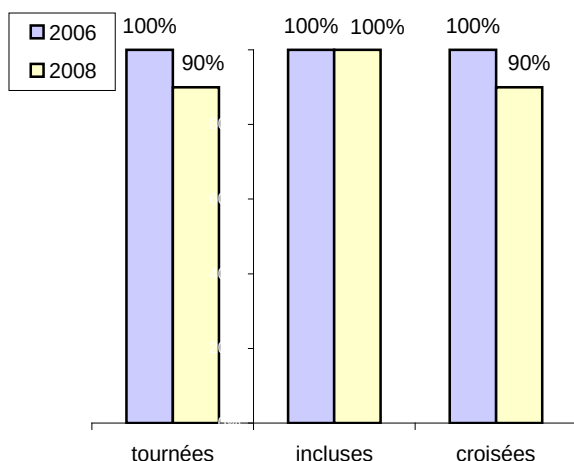
Analyse du système racinaire

NB : toutes les déformations racinaires analysées ci-après peuvent être liées à la plantation.

Déformations racinaires strictement liées à la plantation :

% <i>plants avec ...</i>	2006	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	0	20
un "agglomérat" en forme de L incliné	30	10
effet talon	-	0
effet tournevis	-	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	90 (4,6 +/- 1,7)	60 (3 +/- 2,5)

Disposition des racines :



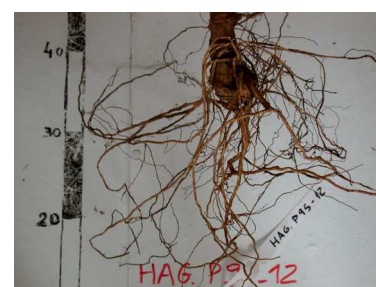
% plants avec ...	2006	2008
forme de godet	-	10
agglomérat	100	90

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2006	2008
tournées	5,3 +/- 1,7	2,1 +/- 0,9
incluses	5,7 +/- 2,2	6,8 +/- 4,9
croisées	-	1,8 +/- 0,7

Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

	2006	2008
% plants		
Avec pivot (clairement identifié)	20	30
Avec une grosse racines plongeante à la sortie de l'agglomérat*	-	60
Profondeur moyenne du pivot (cm)	-	23 +/- 20
Ø moyen du pivot (mm)	10	18 +/- 3,8
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)		30 +/- 9,5
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)	5	18 +/- 8
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t		9,5 +/- 2,3

* pour les plants qui n'ont pas de pivot



Distribution horizontale des racines sur 360° :

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2006	0	30	70	0	270	80
2008	10	50	30	10	240	50



Interprétation de la répartition des racines sur 360 °

$$IDH = 1 \times 0 + 2 \times 10 + 3 \times 50 + 4 \times 40$$

Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

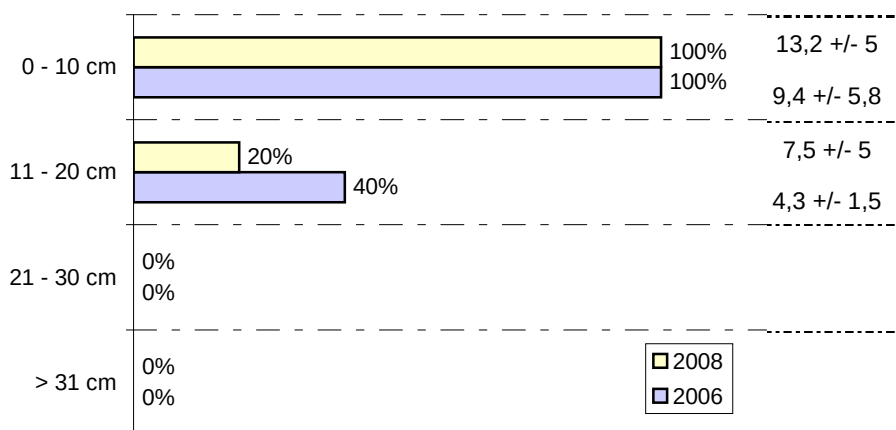
année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2006	20	80	0	0	180
2008	60	30	10	0	350



Interprétation de la spiralisation des racines (plan horizontal)

$$IS = 1 \times 20 + 2 \times 80 + 3 \times 0 + 4 \times 0$$

Développement des racines principales selon la profondeur de sol :



*Diamètre moyenne
de la plus grosse
racine de premier
ordre (mm)*

18,2 +/- 5,4

Principales caractéristiques de la plantation

Plantation					Travail du sol	AGE (hiver 07/08)	
Année	Epoque	Type de plant	Orientation lignes	Espacements (m)		plantation	plants
2005-2006	-	-	-	-	Labour sommaire + nivellement	2 - 3 ans	2 – 3 ans

Données concernant les 100 plants mesurés

Disposition et plan de mortalité : 4 placettes circulaires ; 25 plants étiquetés par placette

Caractéristiques de la plantation :

		2007	2008
Taux de reprise (%)		-	-
Taux de mortalité (%)		-	0
H moyenne (cm)		29 +/- 8	77 +/- 15
D moyen au collet (mm)		15,5 +/- 4	22 +/- 4,6
D moyen à x cm (mm)		- +/- -	18 +/- 4
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)			48 +/- 11
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)			6,6 +/- 4
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	0	0
	dégâts insectes	0	0
	jaunissement	25	0
	descente de cime	0	0

Résultats concernant les 10 plants arrachés

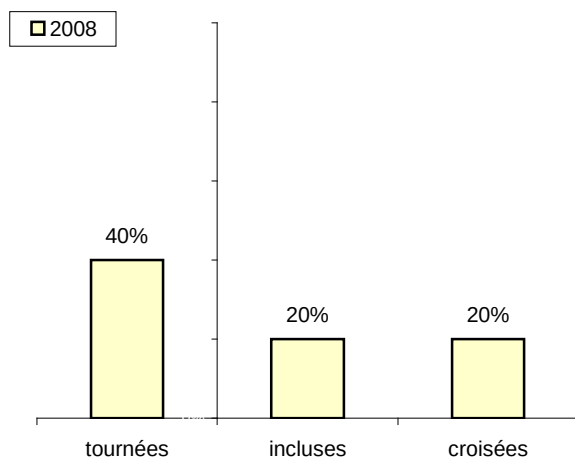
Analyse du système racinaire

Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :

% plants avec ...	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	0
un "agglomérat" en forme de L incliné	0
effet talon	0
effet tournevis	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	20 (1)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :



% plants avec ...	2008
forme de godet	0
agglomérat	0

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2008
tournées	1,2 +/- 0,5
incluses	1
croisées	3,5 +/- 3,5

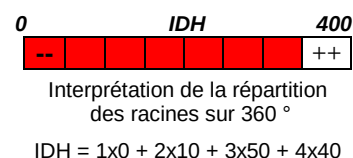
Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

		2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	90
	Avec une grosse racine plongeante à la sortie de l'agglomérat*	0
Profondeur moyenne du pivot (cm)		22 +/- 6
Ø moyen du pivot (mm)		15 +/- 5
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)		-
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		-
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t		-

* pour les plants qui n'ont pas de pivot

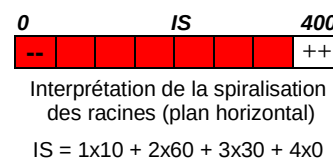
Distribution horizontale des racines sur 360° :

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2008	20	20	10	50	290	30

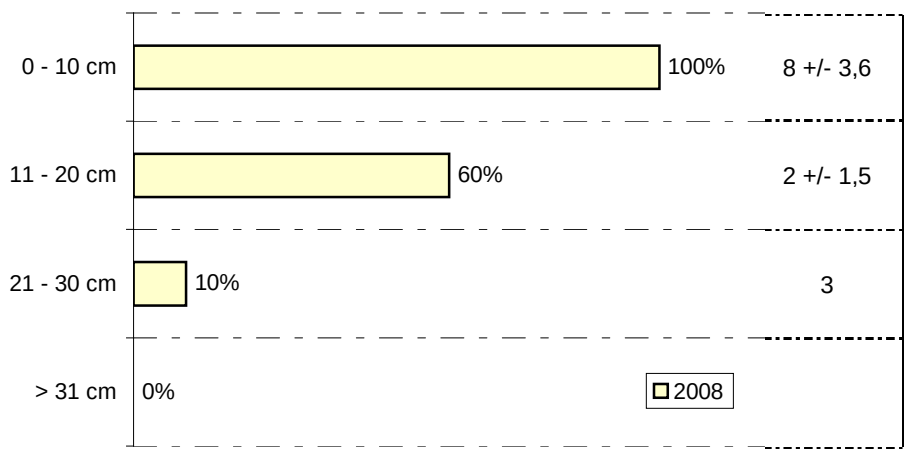


Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2008	90	10	0	0	390



Développement des racines principales selon la profondeur du sol :



*Diamètre moyenne
de la plus grosse
racine de premier
ordre (mm)*

6,5 +/- 2,5

Principales caractéristiques de la plantation

Plantation					Travail du sol	AGE (hiver 07/08)	
Année	Epoque	Type de plant	Orientation lignes	Espacements (m)		plantation	plants
1996	-	-	105g - 305g	-	rotovateur + travail manuel des lignes à la pioche avant le semis	11 ans	12 ans

Données concernant les 100 plants mesurés

Disposition et plan de mortalité :

105 gr

100	81	80	61	60	41	31	30	11	10
99	82	79	62	59	42	32	29	12	9
98	83	78	63	58	43	33	28	13	8
97	84	77	64	57	44	34	27	14	7
96	85	76	65	56	45	35	26	15	6
95	86	75	66	55	46	36	25	16	5
94	87	74	67	54	47	37	24	17	4
93	88	73	68	53	48	38	23	18	3
92	89	72	69	52	49	39	22	19	2
91	90	71	70	51	50	40	21	20	1

305 gr

 = Pas d'arrachages en 2006
 = Plants arrachés en 2008

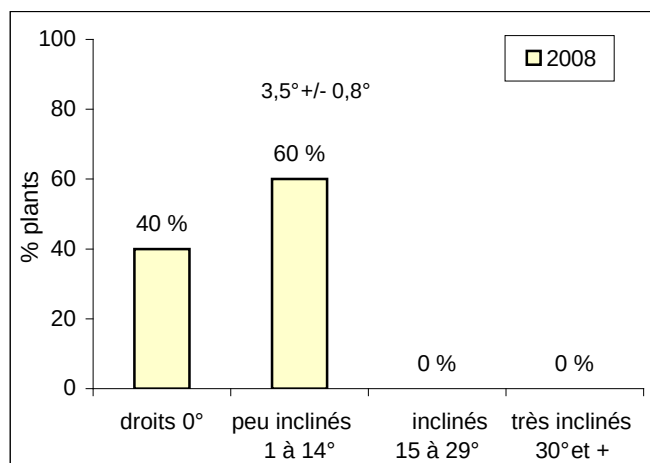
Caractéristiques de la plantation :

		2007	2008
Taux de reprise (%)		100	-
Taux de mortalité (%)		-	0
H moyenne (cm)		454 +/- 61	546 +/- 75
D moyen au collet (mm)		94 +/- 23	98 +/- 26
D moyen à x cm (mm)		66 +/- 18	72 +/- 21
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)			92 +/- 36
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)			4 +/- 12
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	0	0
	dégâts insectes	0	0
	jaunissement	0	0
	descente de cime	0	0

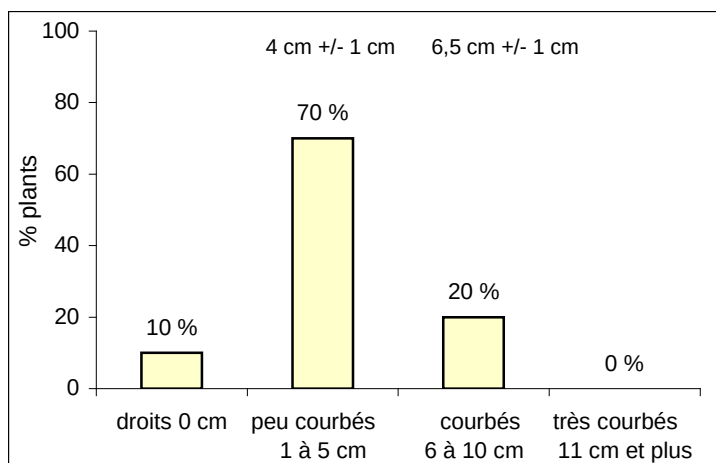
Résultats concernant les 10 plants arrachés

Analyse de la stabilité des plants

Ecart vertical :



Courbure basale :



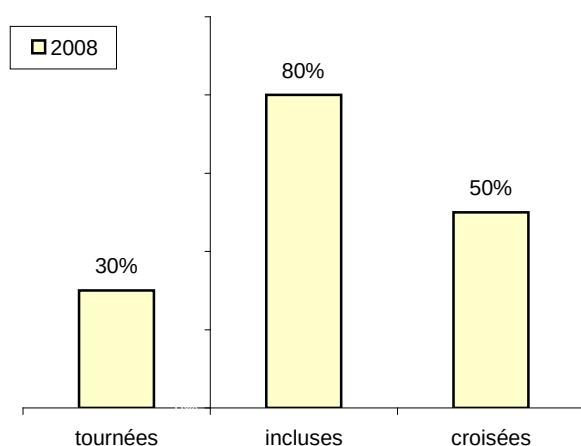
Analyse du système racinaire

Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :

% plants avec ...	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	0
un "agglomérat" en forme de L incliné	0
effet talon	0
effet tournevis	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	20 (1)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :



% plants avec ...	2008
forme de godet	0
agglomérat	0

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2008
tournées	2,3 +/- 1
incluses	5 +/- 2,6
croisées	1,8 +/- 0,5

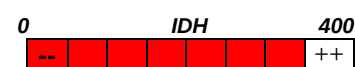
Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

		2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	100
	Avec une grosse racine plongeante à la sortie de l'agglomérat*	0
Profondeur moyenne du pivot (cm)		50 +/- 12
Ø moyen du pivot (mm)		65 +/- 24
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)		-
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		-
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t		-

* pour les plants qui n'ont pas de pivot

Distribution horizontale des racines sur 360° :

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2008	0	30	40	30	300	70

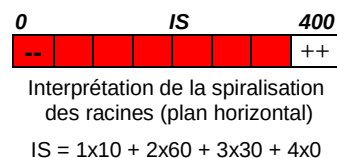


Interprétation de la répartition des racines sur 360 °

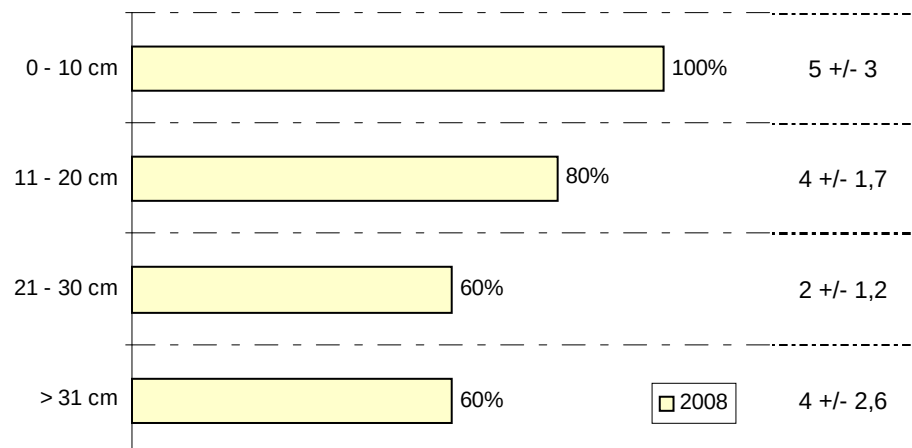
$$IDH = 1 \times 0 + 2 \times 10 + 3 \times 50 + 4 \times 40$$

Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

année	% des plants avec une ou plusieurs racines ($\varnothing > 3$ mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2008	90	10	0	0	390



Développement des racines principales selon la profondeur du sol :



*Diamètre moyenne
de la plus grosse
racine de premier
ordre (mm)*

50,40 +/- 23,5

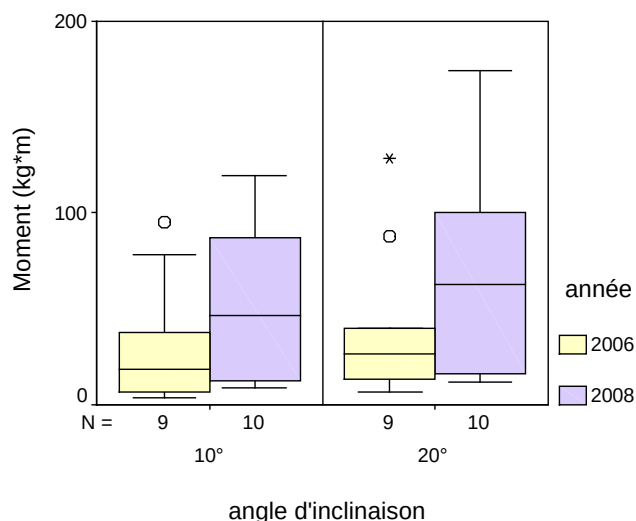
Données concernant les 100 plants mesurés

x = Plants morts avant 2006
 = Plants arrachés en 2006
 = Plants arrachés en 2008



Analyse de la stabilité des plants

Curvature Class	% plants	Mean Curvature (cm)	Standard Deviation (cm)
droits 0 cm	40 %	3,3	1,6
peu courbés 1 à 5 cm	50 %	3,3	1,6
courbés 6 à 10 cm	10 %	6	
très courbés 11 cm et plus	0 %	6	



Moment moyen (kg*m) en 2008	
10°	20°
51 +/- 41	67 +/- 54



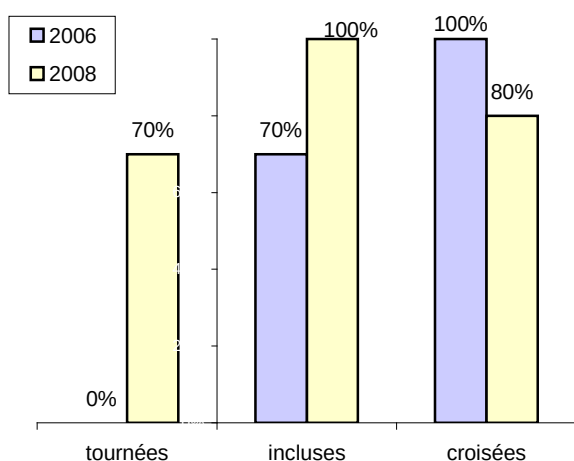
Analyse du système racinaire

Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :

% plants avec ...	2006	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	30	0
un "agglomérat" en forme de L incliné	50	0
effet talon	-	0
effet tournevis	-	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	50 (2 +/- 1,7)	50 (2,4 +/- 1,5)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :



% plants avec ...	2006	2008
forme de godet	-	0
agglomérat	70	100

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2006	2008
tournées	0	2,7 +/- 1,6
incluses	3,4 +/- 1,7	11,3 +/- 3,9
croisées	-	4,9 +/- 3,3

Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

		2006	2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	40	30
	Avec une grosse racines plongeante à la sortie de l'agglomérat*	-	40
Profondeur moyenne du pivot (cm)		-	50 +/- 10
Ø moyen du pivot (mm)		19	36 +/- 1
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)			-
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		16	35 +/- 3,4
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t			11 +/- 2,7

* pour les plants qui n'ont pas de pivot



Distribution horizontale des racines sur 360° :

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2006	0	10	20	70	360	20
2008	0	50	30	20	270	30



Interprétation de la répartition des racines sur 360 °

$$IDH = 1 \times 0 + 2 \times 10 + 3 \times 50 + 4 \times 70$$

Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

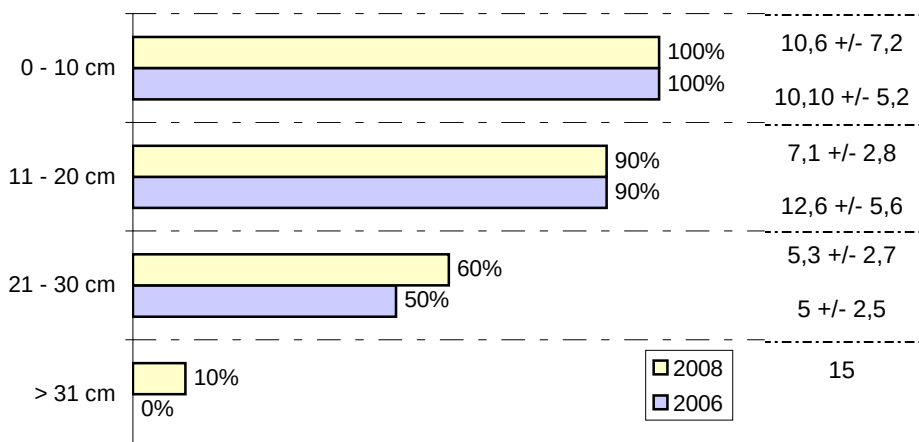
année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2006	0	50	50	0	250
2008	100	0	0	0	400



Interprétation de la spiralisation des racines (plan horizontal)

$$IS = 1 \times 0 + 2 \times 50 + 3 \times 50 + 4 \times 0$$

Développement des racines principales selon la profondeur de sol :



Diamètre moyenne de la plus grosse racine de premier ordre (mm)

29,7 +/- 9,7

Station : ?
Chêne sessile

Placette permanente n° : 132Cp

Forêt communale d'Ingwiller (Wimmenau)
plantation en godets

Plantation					Travail du sol		AGE (hiver 07/08)	
Principales caractéristiques de la plantation								
Année	Epoque	Type de plant	Orientation lignes	Espacements (m)		plantation	plants	
2000	Printemps	G 200 ? en 1-0	170g – 370g	1,5 x 1,5	Potets sans dessouchage	8 ans	9 ans	

Données concernant les 100 plants mesurés

Disposition et plan de mortalité :

100	81	77	61	57	50	x	29	13	10
99	82	x	62	56	49	x	28	14	9
98	83	76	63	55	48	34	27	15	8
97	84	75	64	x	47	35	x	16	7
96	85	x	65	x	46	36	26	17	6
95	86	74	66	x	45	x	25	x	5
94	87	73	67	54	44	37	24	18	4
93	88	x	68	53	43	38	23	x	3
92	89	72	69	52	42	39	22	19	2
91	90	71	70	51	41	40	21	20	1

x = Plants morts avant 2006

■ = Plants arrachés en 2006

■ = Plants arrachés en 2008

Caractéristiques de la plantation :

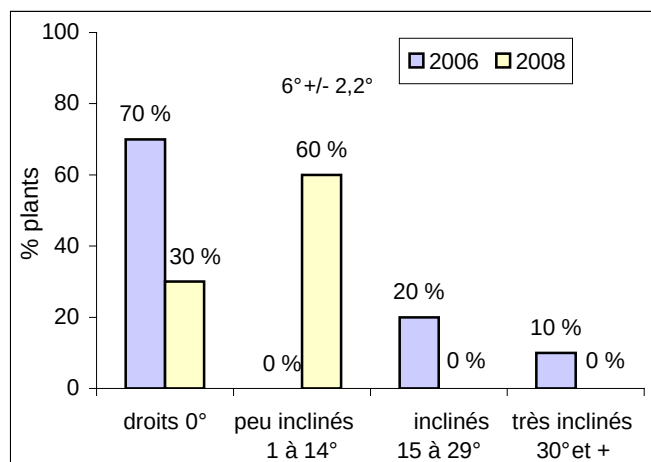
	2006	2008
Taux de reprise (%)	88	-
Taux de mortalité (%)	-	0
H moyenne (cm)	137 +/- 56	258 +/- 84
D moyen au collet (mm)	37 +/- 15	57 +/- 20
D moyen à x cm (mm)	24 +/- 12	31 +/- 12
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)		50 +/- 26
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)		15 +/- 10
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	62
	dégâts insectes	0
	jaunissement	0
	descente de cime	13

Résultats concernant les 10 plants arrachés

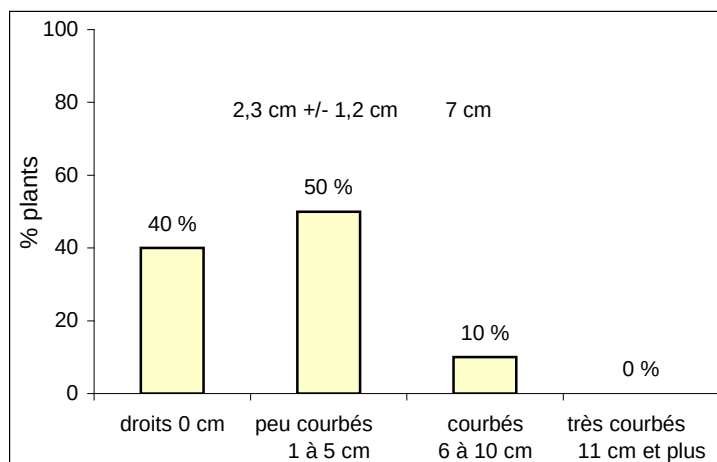
Analyse de la stabilité des plants



Ecart vertical :



Courbure basale :



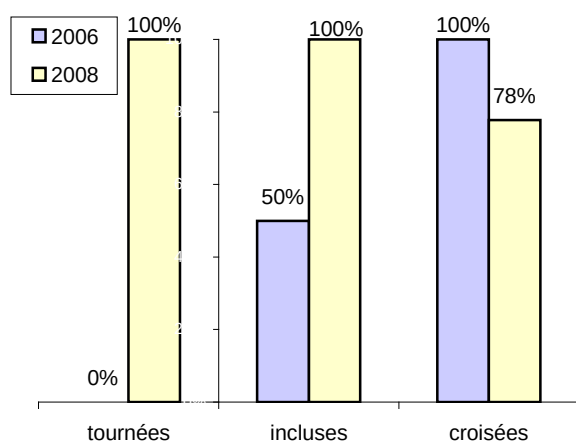
Analyse du système racinaire

Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :

% plants avec ...	2006	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	0	0
un "agglomérat" en forme de L incliné	10	0
effet talon	-	0
effet tournevis	-	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	30 (1,5 +/- 0,7)	56 (1,6 +/- 0,9)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :



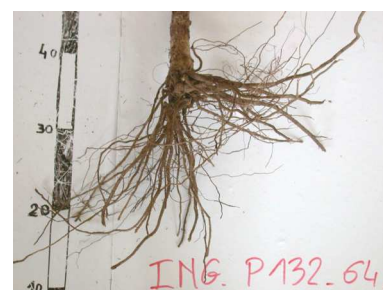
% plants avec ...	2006	2008
forme de godet	-	11
agglomérat	40	56

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2006	2008
tournées	0	4,2 +/- 2
incluses	2,8 +/- 1,6	3,6 +/- 2,2
croisées	-	3,4 +/- 2,4

Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

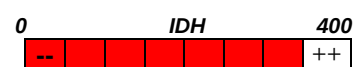
		2006	2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	10	11
	Avec une grosse racines plongeante à la sortie de l'agglomérat*	-	88
Profondeur moyenne du pivot (cm)		-	31
Ø moyen du pivot (mm)		18	26
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)			42 +/- 7,6
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		17	18,5 +/- 6,3
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t			8,2 +/- 2,5

* pour les plants qui n'ont pas de pivot



Distribution horizontale des racines sur 360°:

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2006	0	20	50	30	310	40
2008	0	22	33	44	322	22



Interprétation de la répartition des racines sur 360°

$$IDH = 1 \times 0 + 2 \times 10 + 3 \times 50 + 4 \times 40$$

Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

année	% des plants avec une ou plusieurs racines ($\varnothing > 3 \text{ mm}$) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2006	0	0	50	50	350
2008	0	56	44	0	256

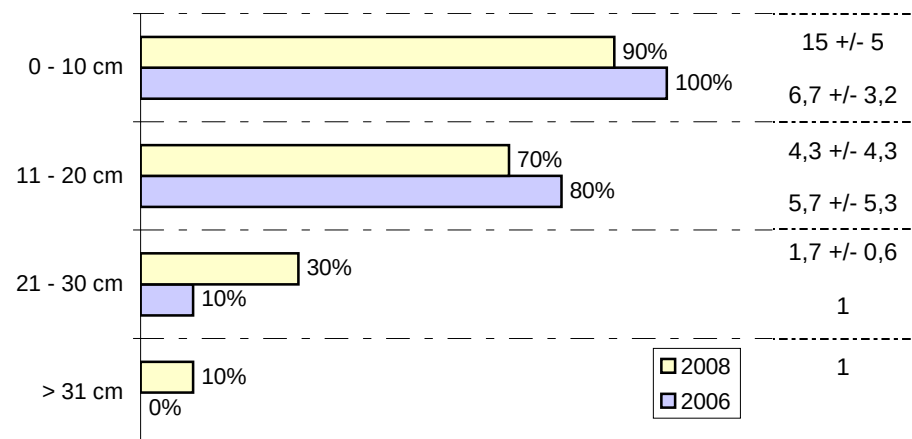
0 IS 400

-- ++

Interprétation de la spiralisation
des racines (plan horizontal)

IS = $1 \times 0 + 2 \times 0 + 3 \times 50 + 4 \times 50$

Développement des racines principales selon la profondeur de sol :



Diamètre moyenne
de la plus grosse
racine de premier
ordre (mm)

17,2 +/- 5,5

Principales caractéristiques de la plantation

Plantation					Travail du sol	AGE (hiver 07/08)	
Année	Epoque	Type de plant	Orientation lignes	Espacements (m)		plantation	plants
2006	janvier	RN 1 + 1	125g - 325g	2 x 2	Broyage + potet travaillé	2 ans	3 ans

Données concernant les 100 plants mesurés

Disposition et plan de mortalité :

10	11	30	31	50	51	70	71	90	91
8	12	29	32	49	52	69	72	89	92
8	13	28	33	48	53	68	73	88	93
7	14	27	34	47	54	67	74	87	94
6	15	26	35	46	55	66	75	86	95
5	16	25	36	45	56	65	76	85	96
4	17	24	37	44	57	64	77	84	97
3	18	23	38	43	58	63	78	83	98
2	19	22	39	42	59	62	79	82	99
1	20	21	40	41	60	61	80	81	100



- = Plants morts en 2008
 = Pas d'arrachages en 2006
 = Plants arrachés en 2008

Caractéristiques de la plantation :

		2008
Taux de reprise (%)		14
Taux de mortalité (%)		-
H moyenne (cm)		110 +/- 27
D moyen au collet (mm)		14 +/- 4
D moyen à x cm (mm)		10 +/- 3
Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm)		16 +/- 12
Croissance annuelle moyenne en diamètre (mm)		
Nb de plants avec...	dégâts de gibier / rongeurs	0
	dégâts insectes	0
	jaunissement	0
	descente de cime	0

Résultats concernant les 10 plants arrachés

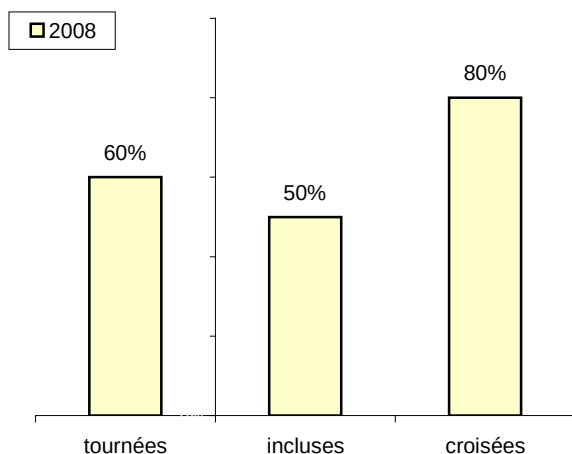
Analyse du système racinaire

Déformations racinaires pouvant être liées à la plantation :

% plants avec ...	2008
l'ensemble des racines principales en forme de L (due à la pioche)	30
un "agglomérat" en forme de L incliné	20
effet talon	30
effet tournevis	0
avec racines remontantes (moyenne de racines remontantes par plant)	67 (2,6 +/- 1,9)

Déformations racinaires strictement liées au godet :

Disposition des racines :



% plants avec ...	2008
forme de godet	0
agglomérat	20

Nb moyenne de racines (sur les plants qui en ont)...	2008
tournées	1,7 +/- 1,2
incluses	1,6 +/- 0,9
croisées	1,1 +/- 0,4

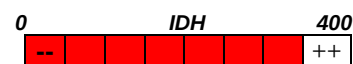
Description du pivot / racine plongeante à la sortie de l'agglomérat :

		2008
% plants	Avec pivot (clairement identifié)	100
	Avec une grosse racine plongeante à la sortie de l'agglomérat*	0
Profondeur moyenne du pivot (cm)		13,6 +/- 4
Ø moyen du pivot (mm)		13,1 +/- 3
Profondeur moyenne de la plus grosse racine plongeante* (cm)		-
Ø moyen de la plus grosse racine plongeante* (mm)		-
Profondeur à laquelle apparaît la grosse racine plongeante (cm)t		-

* pour les plants qui n'ont pas de pivot

Distribution horizontale des racines sur 360° :

année	% des plants avec racines présentes sur de la surface d'un cercle de Ø = 50 cm				Index de distribution spatiale IDH des racines	% plants sans racines principales structurales sur plus de 120° en continu
	< ¼ catégorie 1	> ¼ et < ½ catégorie 2	> ½ et < ¾ catégorie 3	> ¾ catégorie 4		
2008	60	40	0	0	140	90



Interprétation de la répartition des racines sur 360 °

$$IDH = 1 \times 0 + 2 \times 10 + 3 \times 50 + 4 \times 40$$

Spiralisation des racines sur le plan horizontal :

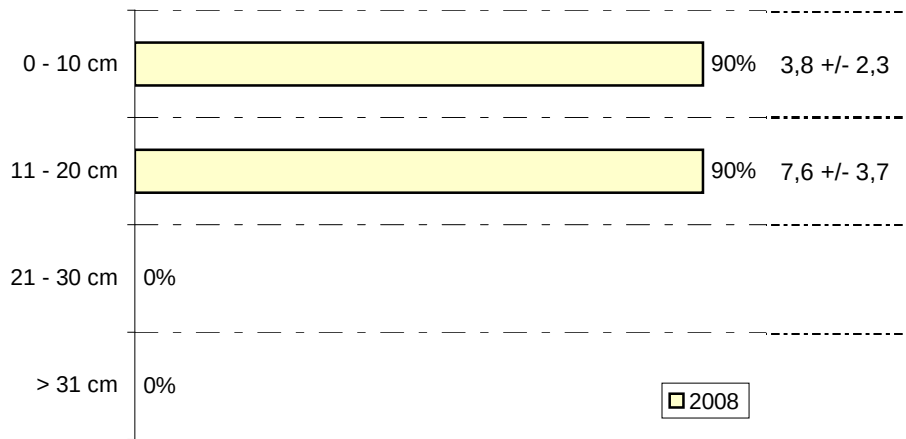
année	% des plants avec une ou plusieurs racines (Ø > 3 mm) spiralées ou tournant ensemble de ...				Index spiralisation IS
	360° et + catégorie 1	180° à 359° catégorie 2	1° à 179° catégorie 3	pas de racines spiralées catégorie 4	
2008	60	40	0	0	140



Interprétation de la spiralisation des racines (plan horizontal)

$$IS = 1 \times 10 + 2 \times 60 + 3 \times 30 + 4 \times 0$$

Développement des racines principales selon la profondeur du sol :



<i>Diamètre moyenne de la plus grosse racine de premier ordre (mm)</i>
7,1 +/- 2,3