

Etude d'impacts des protections mécaniques individuelles contre les dégâts du chevreuil sur la croissance juvénile de l'érable plane

Protocole expérimental



Compte-rendu d'essai

Philippe Van Lerberghe (IDF) et Eric Le Boulengé (UCL)



REMERCIEMENTS

Un grand merci à :

- Christian et Anne-Claude LAVAL (heureux propriétaires à Calès) pour la mise à disposition de la parcelle d'essai et leur coopération active dans la réalisation technique et financière du dispositif expérimental ;
- l'entreprise d'espaces verts CALÈS ENVIRONNEMENT et tout son personnel pour la qualité de leurs prestations forestières ;
- Bhukan PARBHOO et Irina PERRY (TUBEX), Albert FORT et Pascal SOREL (INTERMAS), Alain RECOULES (SOTEXTHO) pour la fourniture des protections individuelles et des dalles de paillage testées ;
- Guillaume de COLOMBELLE et Yanis NIETO (Pépinières NAUDET) pour la fourniture de plants d'érable de qualité ;
- Eric Le BOULEGÉ (UCL) pour l'excellente planification expérimentale d'un protocole d'essai très robuste d'un point de vue statistique ;
- Marine LESTRADE, Jean-Pierre GOUDARD, YANN CLÉMENT et JOHANN HUBELÉ (CRPF Midi-Pyrénées) pour leur appui technique sans faille et leur bonne humeur communicative ;
- Pierre GONIN (IDF - CNPF) pour sa disponibilité et la qualité de son diagnostic stationnel ;
- Grégory SAJDAK et Violette DESOMBRE (IDF - CNPF) pour leur dynamisme, leur écoute et leur travail consciencieux.



De gauche à droite : Philippe¹, Grégory¹, Bernard², Yann³, Johann³, Violette¹, Gaël², Jean-Pierre³ et Christian²
1 : IDF - 2 : Calès Environnement - 3 : CRPF de Midi-Pyrénées

SOMMAIRE

1. Contexte.....	1
2. Hypothèses de travail.....	1
3. Matériel et méthodes	2
3.1. Site expérimental	2
3.1.1 Localisation.....	2
3.1.2 Climat.....	2
3.1.3 Substrat.....	2
3.1.4 Sol.....	3
3.1.5 Station forestière.....	3
3.1.6 Travaux.....	3
3.2. Matériel végétal.....	3
3.3. Traitements	4
3.4. Protocole statistique.....	4
3.5. Stratification des plants avant plantation	7
3.6. Mesures de croissance	8
3.6.1 Accroissement aérien	8
3.6.2 Accroissement racinaire	8
4. Résultats.....	9
4.1. Croissance cumulée en hauteur	9
4.2. Croissance cumulée en diamètre	10
4.3. Croissance cumulée en élancement.....	11
4.4. Contrastes orthogonaux des croissances cumulées en hauteur.....	12
4.5. Contrastes orthogonaux des croissances cumulées en diamètre	13
4.6. Contrastes orthogonaux des croissances cumulées en élancement	14
5. Bibliographie	15
6. Histoire photographique	16
7. Partenaires	17

1. CONTEXTE

Protéger les arbres par des tubes et des gaines grillagées plastiques contre les attaques d'animaux est une pratique d'usage courant dans le secteur forestier, agroforestier et paysager.

Ces techniques ne seraient pas aussi anodines qu'elles y paraissent pour le développement aérien et racinaire des arbres protégés.

En modifiant le microclimat autour de l'arbre, il a déjà été démontré que :

- les tubes à double paroi alvéolaire (tubes non ventilés) induisent un effet de serre préjudiciable à la croissance, à savoir une réduction de la croissance en diamètre de la tige principale et de la biomasse du système racinaire (Dupraz *et al.*, 1993 ; Svihra *et al.*, 1996 ; Dupraz, 1997b) ;
- les tubes plastiques ventilés, c'est-à-dire percés à la base (créant une ventilation de l'intérieur de la protection par effet dit « cheminée »), permettent de palier les modifications de température, de lumière ou d'échanges gazeux autour de l'arbre et de stimuler la croissance en diamètre de l'axe principal (Bergez et Dupraz, 2000). Néanmoins, les arbres protégés par ces tubes présentent toujours des différences de croissance par rapport aux arbres non protégés : malgré une biomasse totale normale des arbres, le déficit racinaire reste inchangé, c'est-à-dire que le ratio biomasse aérienne/biomasse racinaire demeure déséquilibré.

Il est aussi connu que les sollicitations mécaniques exercées sur un arbre (par exemple, par le vent) induisent une réduction de sa croissance en hauteur et une stimulation de sa croissance en diamètre (Jacobs, 1954 ; Mäkelä et Sievanen, 1992). Ce phénomène a été appelé « thigmomorphogénèse » (Jaffe, 1973). Sachant qu'une des caractéristiques des arbres en tube est d'être immobiles, l'hypothèse selon laquelle l'absence de mouvements serait responsable des différences de croissance avec les arbres non protégés a été posée.

Il a été récemment démontré (Coutand *et al.*, 2008) que la protection des arbres au moyen de tubes plastiques empêcherait les sollicitations mécaniques naturelles dues au vent, ce qui modifie la croissance des arbres et en particulier, la distribution de la biomasse entre partie aérienne et partie racinaire.

Si de nombreuses informations sont disponibles dans la littérature scientifique internationale au sujet de l'impact des protections tubulaires sur la croissance aérienne des arbres protégés, peu ou pas de résultats sont disponibles quant à l'impact des tubes abris à effet de serre mais aussi, des gaines brise-vent en grillage plastique sur la croissance racinaire de jeunes plants de feuillus précieux.

2. HYPOTHESES DE TRAVAIL

Nous faisons les hypothèses suivantes :

- les tubes abris à effet de serre empêchent les sollicitations mécaniques naturelles dues au vent et induisent des différences significatives de croissance (en hauteur, diamètre, élancement, biomasse totale et ratio biomasse aérienne/biomasse racinaire) entre les arbres tubés et les arbres non protégés ;
- les différences de croissance observées entre les arbres sous tubes abris à effet de serre et les arbres non protégés sont d'autant plus grandes que le diamètre de la protection est petit ;
- les gaines en grillage à petites mailles (< 3 mm) dites « brise-vent » empêchent les sollicitations mécaniques naturelles dues au vent et induisent des différences significatives de croissance (en hauteur, diamètre, élancement, biomasse totale et en ratio biomasse aérienne/biomasse racinaire) entre les arbres sous manchons et les arbres non protégés ;
- le déficit de biomasse racinaire observé chez les arbres protégés reste inchangé même lorsqu'ils sont paillés ;
- la pose d'un produit biodégradable de paillage au pied des arbres non protégés contribue à augmenter la biomasse totale et racinaire des arbres désherbés.
- les différences de croissance aérienne mesurées sur les arbres protégés se conservent au cours du temps.

3. MATERIEL ET METHODES

3.1. SITE EXPERIMENTAL

3.1.1 Localisation

La parcelle d'essai a été gracieusement mise à disposition de l'IDF à partir du 1^{er} septembre 2010 pour une durée de 64 mois, expirant le 31 décembre 2015. Elle est située dans le sud-ouest de la France (Midi-Pyrénées) sur la commune de Reilhaguet (lat. 44°48'05" Nord, long. 1°29'42" Est, à 159 m d'altitude). Le site de plantation est une ancienne prairie de fauche d'une superficie totale d'environ 1,2 ha et située, en fond de vallée.

3.1.2 Climat

Le site est soumis à un climat océanique aquitain, caractérisé par le balancement des influences atlantiques et méditerranéennes, les **étés chauds et secs** contrastant avec les **hivers doux et humides** (données Météo France à Gourdon, alt. = 259 m, période 1960-90).

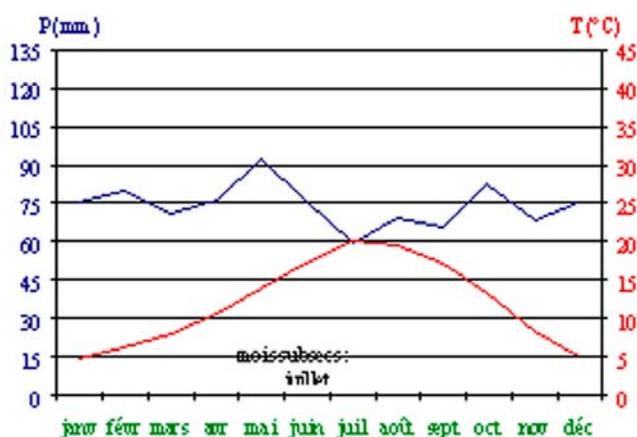


Figure 1 - Diagramme ombrothermique (P = 3T)
Gourdon (Lot ; 1960 - 1990)

La **pluviosité** est **assez faible** : environ 890 mm/an répartis irrégulièrement au cours de l'année, le maximum s'observant au printemps et secondairement à l'automne, le minimum en été. La pluviosité présente de fortes variations interannuelles, comprises entre 700 et 900 mm.

Les **températures** sont **assez élevées** avec une moyenne annuelle de **12,0 °C**, les hivers doux (4,7 °C en janvier) s'opposent aux étés très chauds (20 °C en juillet). Il gèle 35 jours par an.

Les **vents** dominants sont orientés d'ouest à nord-ouest, amenant la pluie.

Bilan hydrique : il n'existe pas de mois secs au sens de Gaussen ($P < 2T$) mais, une faible subsécheresse ($P < 3T$) apparaît en juillet (Figure 1).

L'**ensoleillement** est **très appréciable** avec une moyenne annuelle de 2 058 heures.

3.1.3 Substrat

Le site repose sur les alluvions (Figure 2) des petites vallées secondaires (C-F : Quaternaire, Cailloutis à matrice argileuse 0-10 m).

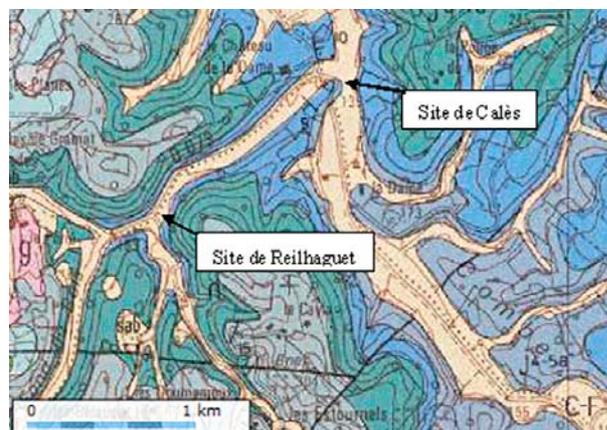


Figure 2 - Carte géologique du site



Figure 3 - Localisation des sondages pédologiques

3.1.4 Sol

Type de sol – profil 1 : CALCOSOL épais (= sol brun calcaire)

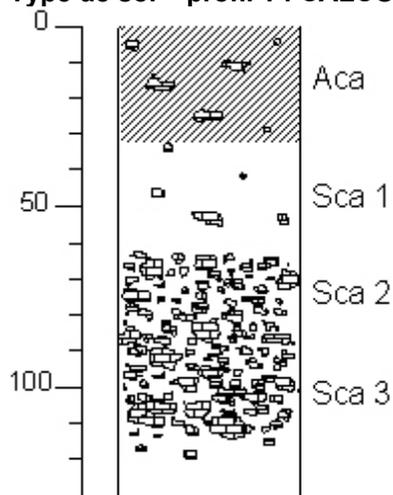


Figure 4 - Profil d'un Calcisol épais

Le profil (Figure 4) est caractérisé par la présence de **calcaire** sur tout le sondage et l'horizon de surface (Aca) est **basique** (pH = 6,8).

La **texture est assez équilibrée** (limon sablo-argileux) avec une **faible charge en graviers calcaires** (< 5%), sauf dans l'horizon **65 - 90 cm** qui a une texture sablo-argileuse et une charge élevée en graviers calcaire (50%, avec quelques cailloux et pierres).

L'horizon de surface Aca est peu compact ; sa structure est grumeleuse.

Les autres horizons sont compacts et leur structure est massive, avec une sur-structure en grands polyèdres dans l'horizon de profondeur.



Le profil est suffisamment **bien drainé** pour ne pas présenter de traces d'hydromorphie.

Variation par rapport au profil 1 :

Les autres sondages réalisés sur la parcelle (Figure 3) révèlent des profils assez semblables, avec le même type de sol.

La seule variation porte sur l'horizon graveleux (Sca2 dans le profil 1), observé plus en surface dans le profil 2 (entre 10 et 55 cm) avec une charge en graviers calcaire plus élevée (70%).



3.1.5 Station forestière

La parcelle est située sur une station de type alluvial calcaire, avec un profil drainé sans hydromorphie (au moins sur le 1^{er} mètre), donc assez favorable à la production forestière. La principale contrainte provient de la présence du calcaire (en particulier pour certaines essences) et de la compacité du sol, avec des risques de sécheresse en année très sèche, en partie limitée par la situation topographique favorable. La parcelle est assez homogène au niveau stationnel, la principale variation portant sur la profondeur de l'horizon graveleux qui pourra entraîner de légères différences au moment de l'installation des plants.

3.1.6 Travaux

Le diagnostic pédologique a été réalisé fin septembre 2010 (Photo 1) afin de choisir une essence bien adaptée à la station. Il a précédé une préparation complète du terrain dès la fin octobre 2010, à savoir un gyrobroyage en plein des adventives (Photo 2) au moyen d'un broyeur à axe horizontal VIGOLO, suivi par un sous-solage en plein, à 50 cm de profondeur, avec un extirpateur NS KIRPY à 7 dents (Photo 3).

La parcelle expérimentale a été clôturée afin de protéger les arbres des dégâts du sanglier et du chevreuil. Des piquets écorcés, sciés (demi-ronds) et époinçés en châtaignier (Ø 8/10 cm ; hauteur 250 cm) ont été posés mi-février 2011 tous les 5 m et la clôture (hauteur 200 cm, maille 10 x 5 cm, Ø des fils 2,5 mm) fin février, dès sa réception (Photo 4). Le piquetage de la plantation a été préalablement effectué dès la mi-février. Des bassins de 160 litres destinés à limiter la croissance racinaire des plants (à déterrer en cours d'essai pour l'étude de la croissance racinaire des arbres) ont été enfouis dans le sol avant plantation (Photo 5).

3.2. MATERIEL VEGETAL

Des plants d'érable plane (*Acer pseudoplatanus* L.; origine APL 901 Nord) d'un an (1-0) et à racines nues (40 – 60 cm) ont été achetés dans une pépinière commerciale du sud ouest de la France. Les jeunes arbres ont été stratifiés (Photo 6) puis, plantés manuellement à espacement de 4 x 2 m et en potet (30 x 30 x 30 cm) ouverts à la bêche. Ils ont été protégés (Photo 7) et paillés (Photo 8) dès la mi-mars.

3.3. TRAITEMENTS

Depuis mars 2011, ces jeunes érables d'un an sont soumis à un double traitement croisé :

- **4 modalités de protection** : (a) arbres soumis au vent librement (témoins), (b) arbres protégés de gaines plastiques en grillage à petites mailles, (c) arbres protégés de tubes plastiques non perforés et (d) arbres protégés de tubes plastiques perforés. Chaque traitement est appliqué sur 108 arbres ;
- **3 modalités de paillage** : (A) arbres non paillés (témoins), (B) arbres paillés avec des dalles en fibres de bois et (C) arbres paillés avec du BRF (Bois Raméal Fragmenté) de noisetier commun (*Corylus avellana* L.). Chaque traitement est appliqué sur 144 arbres.

Chacun des 12 couples de modalités (**Figure 5**) est ainsi appliqué sur 36 arbres.

Les arbres sont protégés par :

- des tubes circulaires en polypropylène, à double paroi alvéolée, de couleur vert clair, translucide, de 120 cm de haut et de 6,5 à 12 cm de large avec (Tubex® « Equilibre » ou « Ventex » ; <http://www.tubexfrance.com/te.pdf>) ou sans trous de ventilation (Tubex® « Standard » ; <http://www.tubexfrance.com/tl.pdf>) à la base du tube ;
- des gaines rigides 4 plis en PEHD, à mailles de 2,5 mm avec renforts tous les 25 mm, de couleur noire, de 120 cm de haut et de 15 cm de large et 190 gr/ml (Nortène Climatic 3* ; <http://www.pepinieres-naudet.com/pdf/climatic.pdf>).

Les arbres sont tuteurés sur des piquets époinés de bois de châtaignier écorcé, de 175 cm de haut et 11 à 13 cm de circonférence. Ils sont installés au nord des arbres afin de réduire les effets d'ombrage.

Les arbres sont paillés par :

- des dalles carrées en fibres de bois, de 100 cm de côté et de 2200 g/m² de masse surfacique (Thoredalle ; <http://www.sotextho.com/produits/thorenap/dalles/6-thoredalle.pdf>) ;
- des copeaux de Bois Raméal Fragmenté de noisetier commun (*Corylus avellana* L.), de calibre 5 à 25 mm, déposé sur une surface d'1 m² et sur 15 cm d'épaisseur.

3.4. PROTOCOLE STATISTIQUE

Le plan expérimental doit résoudre les problèmes suivants :

- assurer un nombre égal d'arbres pour chacune des 12 modalités de traitement mises en œuvre ;
- maintenir cette égalité après prélèvement (pour l'étude de la croissance de la biomasse racinaire) de la moitié des lignes de plantation ;
- permettre un contrôle minimal des hétérogénéités environnementales, si de telles hétérogénéités devaient intervenir dans la croissance des arbres ;
- respecter la limite de 20 lignes x 25 colonnes compte tenu de configuration particulière de la parcelle expérimentale, longue et étroite.

Le dispositif choisi est un **plan en parcelles partagées** (spli-plot design, en anglais). Il suppose que le terrain expérimental est divisé en un ensemble de parcelles dites principales (blocs), lesquelles sont elles-mêmes partagées en sous-parcelles. Les niveaux de l'un des facteurs (A, B, C) sont réparties au hasard entre les parcelles principales (dont toutes les sous parcelles reçoivent le même niveau de ce facteur), les niveaux de l'autre facteur (a, b, c, d) sont répartis au hasard parmi les sous parcelles, indépendamment d'une parcelle principale à l'autre.

Ce plan privilégie la comparaison des protections contre les dégâts du gibier. Il consiste à disposer sur le terrain expérimental (**Tableau 1**) une grille de 6 x 6 blocs de 3 lignes x 4 colonnes chacun. Cette grille occupe donc 18 lignes et 24 colonnes et comporte au total 432 arbres, soit 36 arbres par modalité de traitement. Les 3 lignes de chaque bloc sont considérées comme parcelles principales. Les modalités du facteur « Paillis » sont distribuées parmi ces 3 lignes. Les modalités du facteur « Protection » sont distribuées aux placettes (ou sous parcelles) dans chaque ligne de chaque bloc.

Les arbres situés sur les lignes impaires et les 3 premiers blocs (colonnes 1 à 12) sont plantés dans des conteneurs de 160 litres préalablement enterrés dans le sol.



Photo 1 : Un diagnostic pédologique a pu être réalisé grâce à l'ouverture de fosses au godet sur mini-pelle à chenilles



Photo 2 : Le broyage de la végétation herbacée est réalisé avec un broyeur agricole à axe horizontal



Photo 3 : Le sous-solage en plein à la sous-soleuse agricole à 7 dents a été réalisé jusqu'à 50 cm de profondeur



Photo 4 : Un fossé d'évacuation des eaux pluviales entoure les côtés ouest et sud de la parcelle d'essai



Photo 5 : L'enfouissement préalable de bassins facilitera l'étude de la croissance de la biomasse racinaire des plants



Photo 6 : La stratification vise à obtenir des distributions de hauteur de tige similaires pour les différents traitements



Photo 7 : Pose des protections mécaniques individuelles



Photo 8 : Mise en place du BRF de noisetier



Arbre non paillé et soumis au vent librement (Aa)



Arbre paillé avec 1 dalle de fibres de bois et soumis au vent librement (Ba)



Arbre paillé avec 1 couche de BRF et soumis au vent librement (Ca)



Arbre non paillé et protégé par 1 gaine grillagée (Ab)



Arbre paillé avec 1 dalle de fibres de bois et protégé par 1 gaine grillagée (Bb)



Arbre paillé avec 1 couche de BRF et protégé par 1 gaine grillagée (Cb)



Arbre non paillé et protégé par 1 tube non perforé (Ac)



Arbre paillé avec 1 dalle de fibres de bois et protégé par 1 tube non perforé (Bc)



Arbre paillé avec 1 couche de BRF et protégé par 1 tube non perforé (Cc)



Arbre non paillé et protégé par 1 tube perforé (Ad)



Arbre paillé avec 1 dalle de fibres de bois et protégé par 1 tube perforé (Bd)



Arbre paillé avec 1 couche de BRF et protégé par 1 tube perforé (Cd)

Figure 5 - Couples (12) de modalités de paillage et de protection testés (photos prises en décembre 2011, 9 mois après pose)

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Bc	Ba	Bb	Bd	Ad	Aa	Ab	Ac	Cd	Ca	Cb	Cc	Ac	Aa	Ad	Ab	Cc	Ca	Cb	Cd	Bc	Ba	Bd	Bb
2	Cb	Cd	Cc	Ca	Bb	Bc	Bd	Ba	Ab	Ad	Ac	Aa	Ba	Bd	Bb	Bc	Aa	Ab	Ad	Ac	Ca	Cd	Cb	Cc
3	Aa	Ab	Ad	Ac	Ca	Cb	Cc	Cd	Bc	Bb	Ba	Bd	Cb	Cc	Ca	Cd	Bd	Bc	Ba	Bb	Ab	Ac	Aa	Ad
4	Ca	Cd	Cb	Cc	Aa	Ad	Ab	Ac	Bc	Ba	Bb	Bd	Cc	Ca	Cb	Cd	Bc	Ba	Bd	Bb	Ad	Ab	Ac	Aa
5	Ad	Ab	Ac	Aa	Bd	Bb	Bc	Ba	Ca	Cb	Cd	Cc	Aa	Ab	Ad	Ac	Ca	Cd	Cb	Cc	Ba	Bd	Bb	Bc
6	Bb	Bc	Ba	Bd	Cb	Cc	Ca	Cd	Ad	Ac	Aa	Ab	Bd	Bc	Ba	Bb	Ab	Ac	Aa	Ad	Cb	Cc	Ca	Cd
7	Bd	Bb	Bc	Ba	Ac	Aa	Ad	Ab	Cd	Ca	Cb	Cc	Cc	Ca	Cd	Cb	Bc	Ba	Bd	Bb	Aa	Ab	Ad	Ac
8	Ca	Cd	Cb	Cc	Ba	Bd	Bb	Bc	Ab	Ac	Ad	Aa	Aa	Ad	Ab	Ac	Ca	Cd	Cb	Cc	Bc	Ba	Bb	Bd
9	Ab	Ac	Aa	Ad	Cb	Cc	Ca	Cd	Ba	Bb	Bc	Bd	Bb	Bc	Ba	Bd	Ab	Ac	Aa	Ad	Cd	Cc	Ca	Cb
10	Bd	Ba	Bc	Bb	Ac	Aa	Ad	Ab	Ca	Cd	Cb	Cc	Aa	Ac	Ab	Ad	Ba	Bd	Bb	Bc	Cc	Ca	Cd	Cb
11	Cc	Cb	Cd	Ca	Ba	Bd	Bb	Bc	Ad	Ab	Ac	Aa	Bd	Bb	Bc	Ba	Cb	Cc	Ca	Cd	Aa	Ad	Ab	Ac
12	Ab	Ad	Aa	Ac	Cb	Cc	Ca	Cd	Bb	Bc	Ba	Bd	Cb	Ca	Cd	Cc	Ad	Ab	Ac	Aa	Bb	Bc	Ba	Bd
13	Cc	Ca	Cb	Cd	Ba	Bd	Bb	Bc	Ac	Aa	Ab	Ad	Ad	Aa	Ab	Ac	Ba	Bb	Bd	Bc	Cb	Ca	Cd	Cc
14	Ab	Ad	Ac	Aa	Cd	Cb	Cc	Ca	Bb	Bd	Bc	Ba	Bb	Bc	Bd	Ba	Cc	Ca	Cb	Cd	Ac	Ab	Aa	Ad
15	Ba	Bb	Bd	Bc	Ab	Ac	Aa	Ad	Ca	Cb	Cd	Cc	Ca	Cb	Cc	Cd	Ad	Ac	Aa	Ab	Bd	Bc	Bb	Ba
16	Ac	Aa	Ab	Ad	Ca	Cc	Cb	Cd	Bc	Ba	Bb	Bd	Cc	Ca	Cd	Cb	Bc	Ba	Bd	Bb	Ad	Ab	Ac	Aa
17	Ba	Bb	Bd	Bc	Ad	Ab	Ac	Aa	Cd	Cb	Ca	Cc	Aa	Ad	Ab	Ac	Ca	Cd	Cb	Cc	Ba	Bd	Bb	Bc
18	Cd	Cc	Ca	Cb	Bb	Ba	Bd	Bc	Ab	Ac	Ad	Aa	Bb	Bc	Ba	Bd	Ab	Ac	Aa	Ad	Cb	Cc	Ca	Cd

Bloc ou parcelle principale

Placette ou sous-parcelle

Diamètre Tubex E et S

1 2 3 4

Petit —————> Grand

Tableau 1 - Dispositif expérimental de 6 * 6 blocs de 3 lignes * 4 colonnes d'arbres chacun. Ce dispositif privilégie la comparaison des protections, associées aux sous parcelles. A, B, C : modalités de paillage ; a, b, c, d : modalité de protection



Photo 9 : Tubes abris-serres à section croissante (2 plus petits et 2 plus grands des 5 tubes commercialisés)

L'essai vise aussi à mettre en évidence les éventuelles différences de croissance liées des sections différentes de tubes (**Photo 9**).

3.5. STRATIFICATION DES PLANTS AVANT PLANTATION

Afin de contrôler la variabilité des plants avant plantation (hauteur et diamètre), des distributions similaires en termes de dimensions de tiges pour les différents traitements ont été obtenues par stratification. L'objectif était de constituer pour les 12 traitements (couples de modalités), 12 échantillons de 36 arbres de même distribution en hauteur.

Pour ce faire, nous avons dû :

- prélever 30 plants au hasard (**Photo 10**) dans la fourniture livrée (1 arbre dans chaque sac) ;
- les trier du plus petit au plus grand (**Photo 11**). Préparer un bambou de la taille du 10^{ème} plus petit (bambou n°1) et un bambou de la taille du 20^{ème} plus petit (bambou n°2) ;
- trier l'ensemble des 432 arbres à planter en 3 tas : plus petits que le bambou n°1, plus grands que le bambou n°2, ou entre les deux (144 arbres par tas) ;
- pour chaque traitement, prendre 12 arbres de chacun des 3 tas pour constituer un échantillon de 36 arbres et donner un code à chaque botte : R + abréviation de la modalité avant mise en jauge individuelle (**Photo 12**) ;
- répartir les 36 plants au hasard sur les 36 positions assignées à chaque modalité.

3.6. MESURES DE CROISSANCE

Les mesures de mortalité et de croissance aérienne vont être prises durant 5 ans (2011 – 2015). La mortalité va être enregistrée au début de chaque saison de végétation (avril). Les arbres seront inspectés visuellement et marqués en tant que plant « mort » ou « vivant ».

L'effet des traitements sur la croissance de l'arbre est déterminé par la mesure de la hauteur totale (au ½ cm près) et du diamètre basal (mesuré à 15 cm au-dessus du sol, au mm près) à la fin de chaque saison de végétation (fin octobre à décembre) mais aussi, de la biomasse totale (mesurée), aérienne et racinaire (estimées) à l'issue de 2 saisons de végétation.

3.6.1 Accroissement aérien

La **taille** de la pousse est mesurée (Photo 13) avec une règle (précision $\pm 0,5$ cm). En cas de mort du bourgeon apical, la hauteur du plant sera mesurée sur la nouvelle pousse. Le **diamètre** de chaque arbre est mesuré (Photo 14) avec un pied à coulisse numérique SYLVAC S-Cal PRO à 15 cm de hauteur (Photo 15) au-dessus du collet (précision $\pm 0,01$ cm). Il est facile d'en déduire l'**élancement** de la pousse par le rapport entre sa hauteur et son diamètre.

La **biomasse totale** fraîche du plant a été mesurée avant plantation (Photo 16) au moyen d'une balance KERN 444-45 (précision $\pm 0,1$ g). La **biomasse aérienne** (il s'agit du tronc, les jeunes plants n'étant pas branchus) n'est pas mesurée (car elle implique la destruction préalable du plant) mais, estimée au moyen d'une relation allométrique

Les effets des traitements sur la croissance étant souvent masqués par la variabilité de la taille initiale des plants, nous avons calculé l'accroissement annuel total afin de tenir compte des variations de vigueur entre plants. Il s'agit d'une mesure périodique de type : $(T2 - T1) / (t2 - t1)$, où T1 et T2 sont des mesures de taille (hauteur totale ou diamètre) des plants à des moments différents (t1 et t2). Dans cette étude, ces mesures périodiques de taille de plants ont été réalisées chaque année ($t2 - t1 = 1$).

3.6.2 Accroissement racinaire

La **biomasse racinaire** des arbres à la plantation est estimée indirectement :

- en utilisant une relation allométrique obtenue au moyen de mesures faites sur un échantillon supplémentaire de 36 arbres ; établir cette relation a nécessité le calcul des variables suivantes :
 - connaissant le diamètre de chaque tige à 3 niveaux de chaque plant avant plantation le volume du tronc est calculé comme la somme de 2 cônes tronqués (Figure 6) ;
 - les troncs ont été séparés des systèmes racinaires. Tiges et racines ont été pesées (biomasse fraîche), séchées et pesées à nouveau (biomasse sèche). Le pourcentage d'eau dans les plants à l'état frais peut ainsi être estimé ;
 - la relation entre la biomasse du tronc et le volume du tronc frais est donnée selon une relation linéaire du type : **Biomasse du tronc (g) = α (volume du tronc frais, mm³) - β** .
- en mesurant la biomasse fraîche totale de chaque plant avant plantation ;
- en estimant la biomasse du tronc de chaque plant avant plantation :
 - les dimensions de chaque tronc ont été mesurées [hauteurs et diamètre à 3 niveaux : collet (Photo 17), hauteur médiane et hauteur total (Photo 18)] sous bourgeon terminal afin de calculer le volume du tronc frais ;
 - les biomasses fraîche et sèche du tronc sont alors estimées en utilisant la relation allométrique définie précédemment.

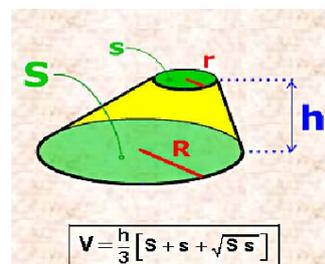


Figure 6 - Calcul du volume d'un cône tronqué

La biomasse racinaire des arbres à la plantation est alors calculée par différence entre la biomasse totale (mesurée) et la biomasse du tronc (estimée par la relation allométrique).

En fin de la 2^{ème} année de croissance, les arbres vont être dépotés. Les feuilles, les branches, le tronc vont être séparés et séchés durant 3 jours à 103°C. Les systèmes racinaires seront nettoyés, séchés et pesés selon la même procédure que les tiges. La production nette en biomasse à l'issue des 2 saisons de végétation sera calculée par différence entre la biomasse des plants à 2 ans et celle des plants à la plantation.

4. RESULTATS

4.1. CROISSANCE CUMULEE EN HAUTEUR

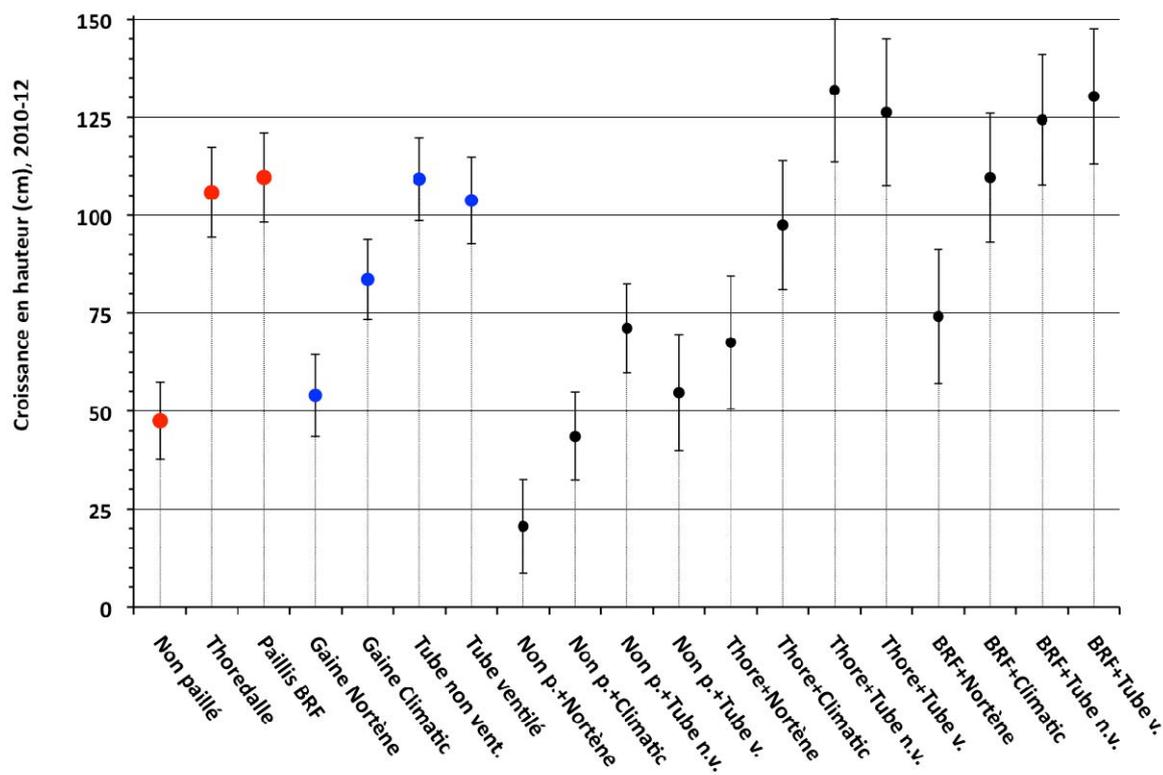


Figure 7 - Croissance moyenne en hauteur (cm) cumulée de 2010 à 2012 et intervalle de confiance au niveau $P=0,95$ par paillis (points rouges), par protection gibier (points bleus) et par combinaison de paillis et de protection gibier (points noirs: moyennes d'interaction)

Les croissances moyennes cumulées en hauteur de 2010 à 2012 diffèrent entre paillis et entre protections gibier. L'interaction entre les deux facteurs n'est pas significative.

La croissance en hauteur des non paillés est très inférieure à celle des paillés. Celle sous témoin non protégé (appelé improprement « gaine Nortène » dans le graphe) est nettement inférieure à celle sous les autres protections gibier.

4.2. CROISSANCE CUMULEE EN DIAMETRE

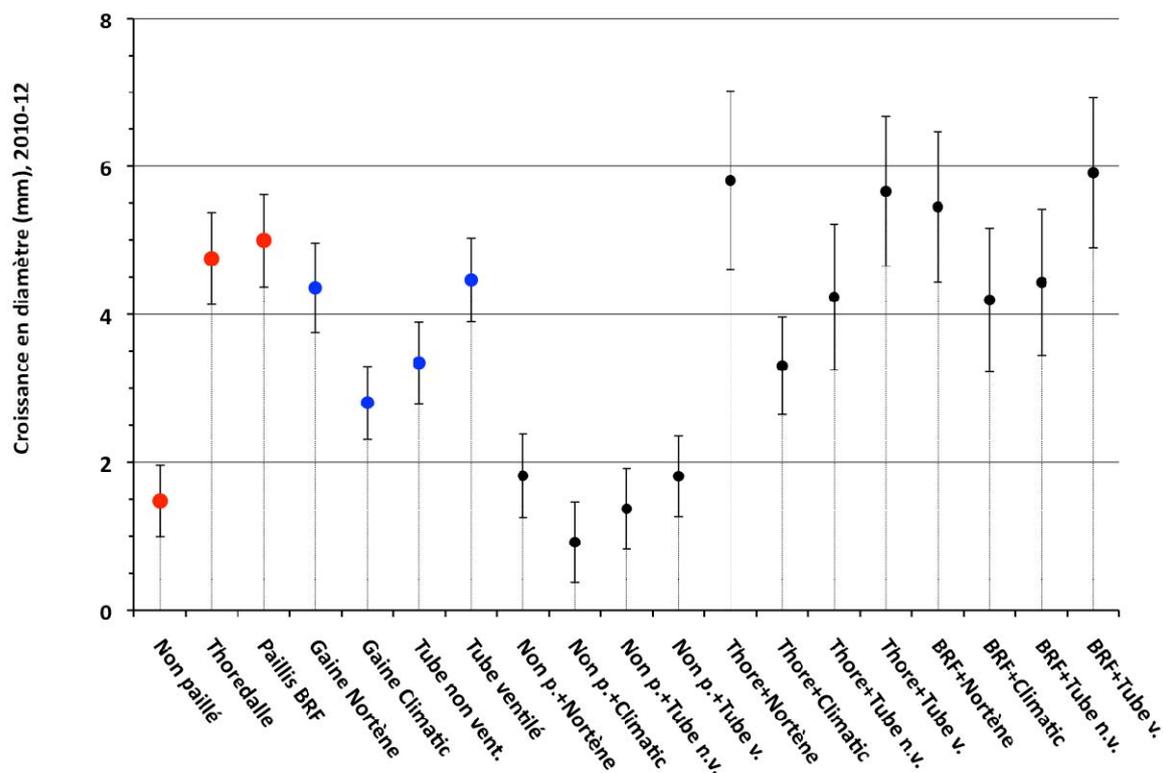


Figure 8 - Croissance moyenne en diamètre (mm) cumulée de 2010 à 2012 et intervalle de confiance au niveau $P=0,95$ par paillis (points rouges), par protection gibier (points bleus) et par combinaison de paillis et de protection gibier (points noirs: moyennes d'interaction)

Les croissances moyennes en diamètre cumulées de 2010 à 2012 diffèrent entre paillis et entre protections gibier. L'interaction entre ces facteurs n'est pas significative.

La croissance en diamètre des non paillés est très inférieure à celle des paillés, quelle que soit la protection gibier. La croissance sous gaine Climatic semble globalement inférieure à celle sous les autres protections gibier.

Par contre, le témoin non protégé (appelé improprement « gaine Nortène » dans le graphe ci-dessus) est avec le tube Tubex ventilé la protection sous laquelle la croissance cumulée en diamètre est la plus élevée.

4.3. CROISSANCE CUMULEE EN ELANCEMENT

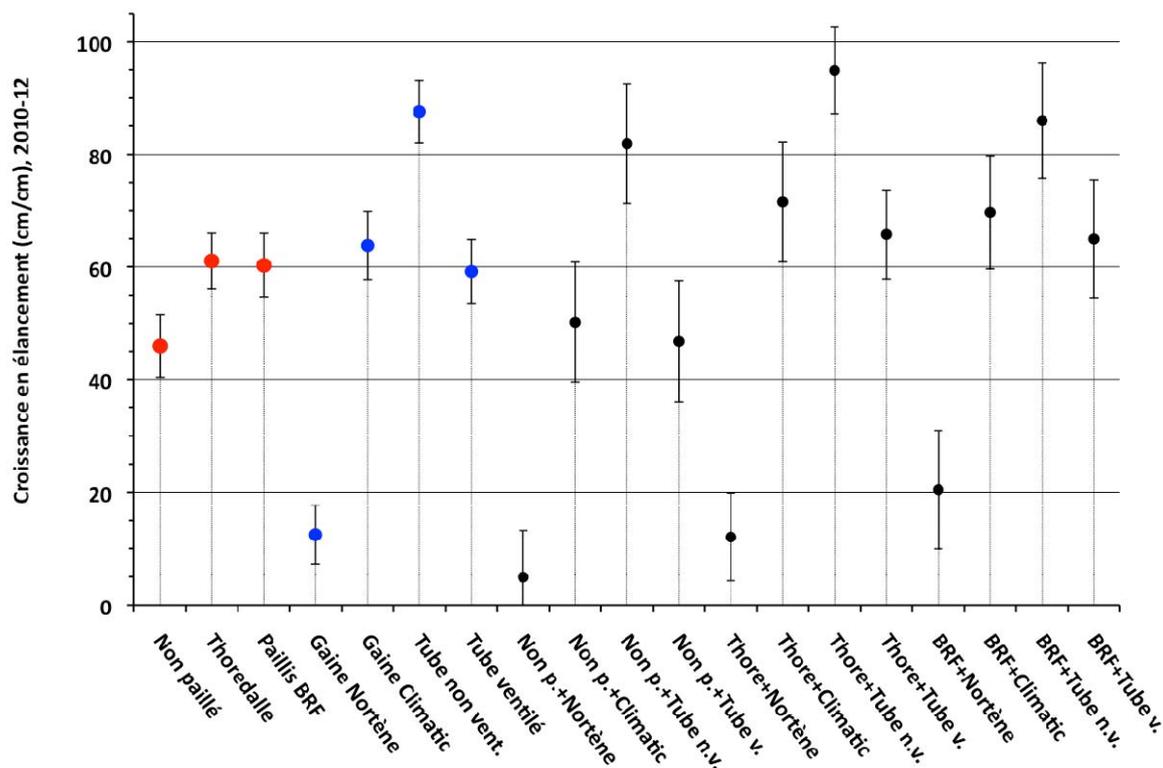


Figure 9 - Croissance moyenne en élancement (cm/cm) cumulée de 2010 à 2012 et intervalle de confiance au niveau P=0,95 par paillis (points rouges), par protection gibier (points bleus) et par combinaison de paillis et de protection gibier (points noirs: moyennes d'interaction)

Les croissances moyennes en élancement cumulées de 2010 à 2012 diffèrent entre paillis et entre protections gibier. L'interaction entre les deux facteurs n'est pas significative.

Le fait le plus frappant est la très nette infériorité de la croissance cumulée en élancement des arbres témoins non protégés (appelé improprement « gaine Nortène » dans le graphe ci-dessus) par rapport aux autres protections gibier. Ce phénomène était déjà visible en 2011, mais est s'accroissant sur l'ensemble de l'essai.

4.4. CONTRASTES ORTHOGONAUX DES CROISSANCES CUMULEES EN HAUTEUR

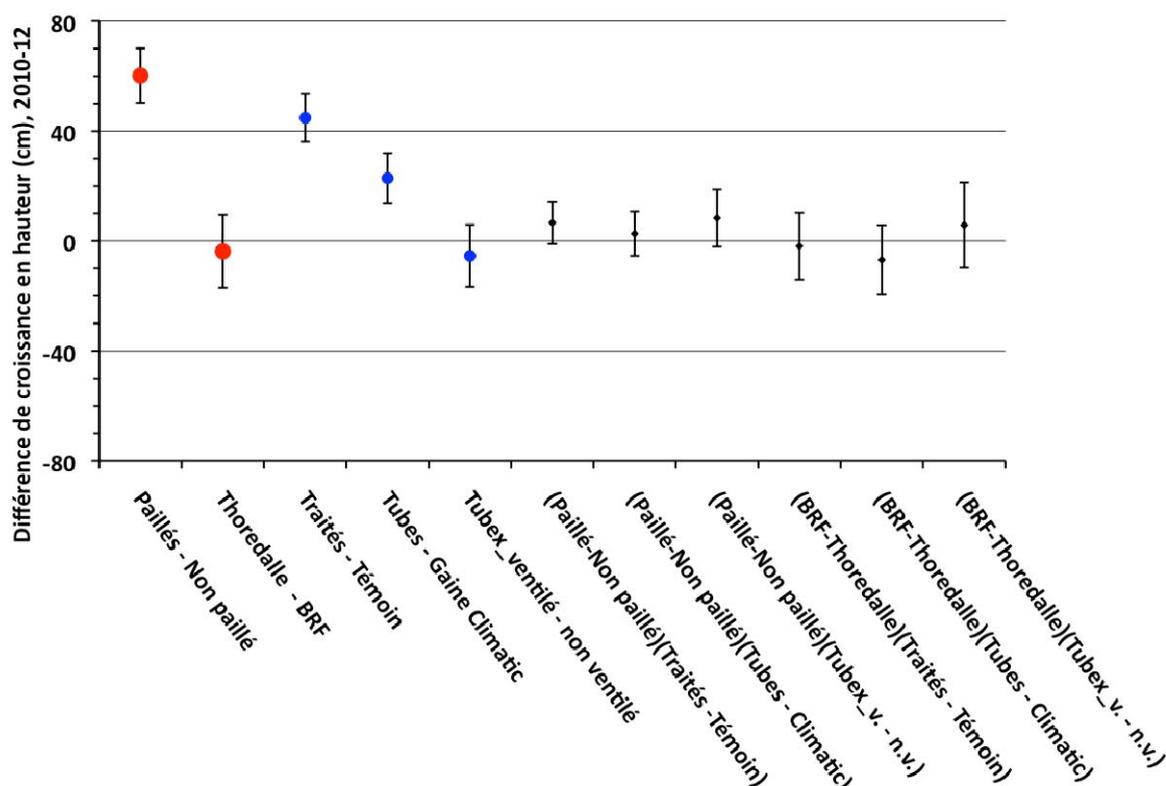


Figure 10 - Différences de croissance moyenne en hauteur (cm) cumulée de 2010 à 2012 et intervalles de confiance au niveau P=0,95 à ces différences. Comparaisons des paillis (points rouges), des protections gibier (points bleus) et contrastes d'interaction (points noirs).

- Les effets Paillage ($p < 0,0001$) et Protection gibier ($p < 0,0001$) sont significatifs, leur interaction pas ($p = 0,3389$).
- Effet Paillage: La croissance en hauteur cumulée de 2010 à 2012 est de 60,2 cm plus élevée parmi les paillés que les non paillés (contraste 1). Il n'y a pas de différence de croissance entre paillis Thoredalle et BRF (contraste 2).
- Effet Protection gibier: La croissance en hauteur cumulée de 2010 à 2012 est de 44,8 cm plus élevée parmi les traités que chez le témoin (contraste 3), elle est de 22,9 cm plus élevée sous Tubes que sous gaine Climatic (contraste 4) et ne diffère pas entre tubes Tubex ventilé et non ventilé (contraste 5).
- Nuances, effet Paillage: Il n'y a rien à ajouter aux effets principaux du paillage, l'interaction n'est pas significative.
- Nuances, effet Protection: Il n'y a rien à ajouter aux effets principaux des protections gibier, l'interaction n'est pas significative.

4.5. CONTRASTES ORTHOGONAUX DES CROISSANCES CUMULEES EN DIAMETRE

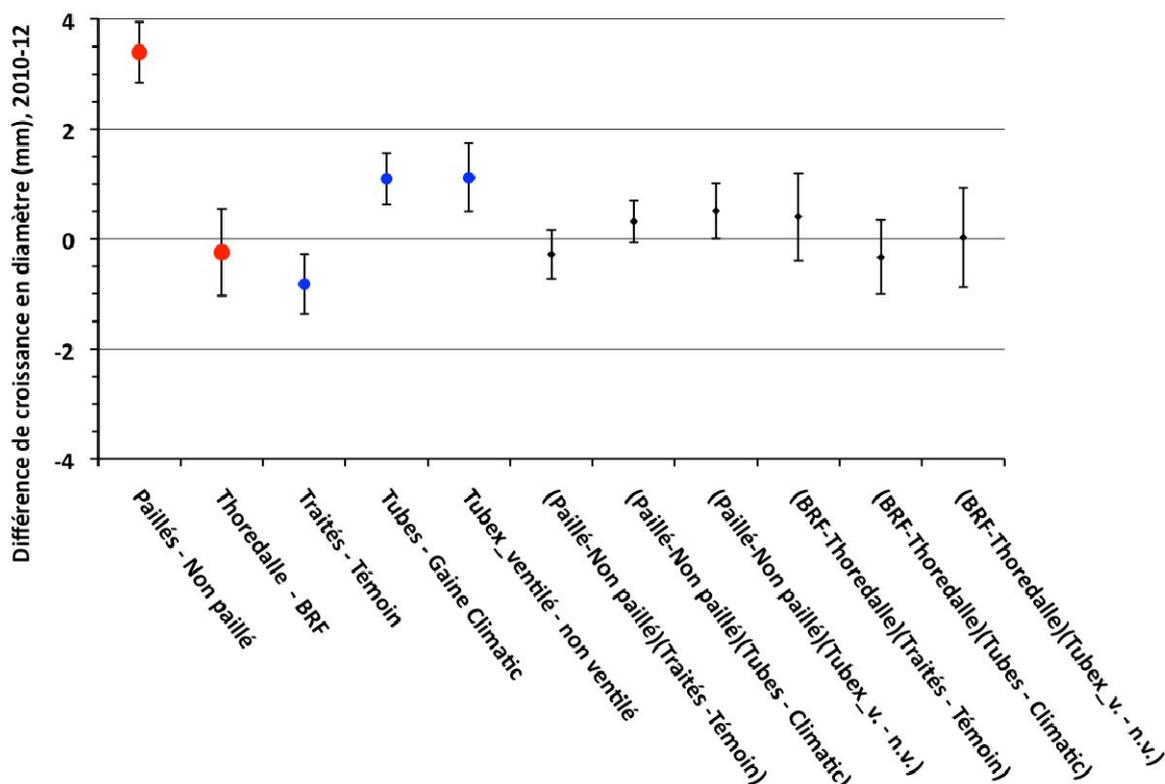


Figure 11 - Différences de croissance moyenne en diamètre (mm) cumulée de 2010 à 2012 et intervalles de confiance au niveau $P=0,95$ à ces différences. Comparaisons des paillis (points rouges), des protections gibier (points bleus) et contrastes d'interaction (points noirs)

- Les effets Paillis et Protection gibier sont significatifs ($p < 0,0001$), leur interaction ne l'est pas ($p = 0,0626$).
- Effet Paillage: La croissance en diamètre en 2012 est de 3,4 mm plus élevée parmi les paillés que les non paillés (contraste 1). Il n'y a pas de différence de croissance entre paillis Thoredalle et BRF (contraste 2).
- Effet Protection gibier: La croissance en diamètre en 2012 est plus faible de 0,8 mm parmi les traités que sous protection témoin (contraste 3), elle est de 1,1 mm plus élevée sous tubes que sous gaine Climatic (contraste 4) et de 1,1 mm plus élevée sous tube Tubex ventilé que non ventilé (contraste 5).
- Nuances, effet Paillage: Il n'y a rien à ajouter aux effets principaux.
- Nuances, effet Protection : Il n'y a rien à ajouter aux effets principaux.

4.6. CONTRASTES ORTHOGONAUX DES CROISSANCES CUMULEES EN ELANCEMENT

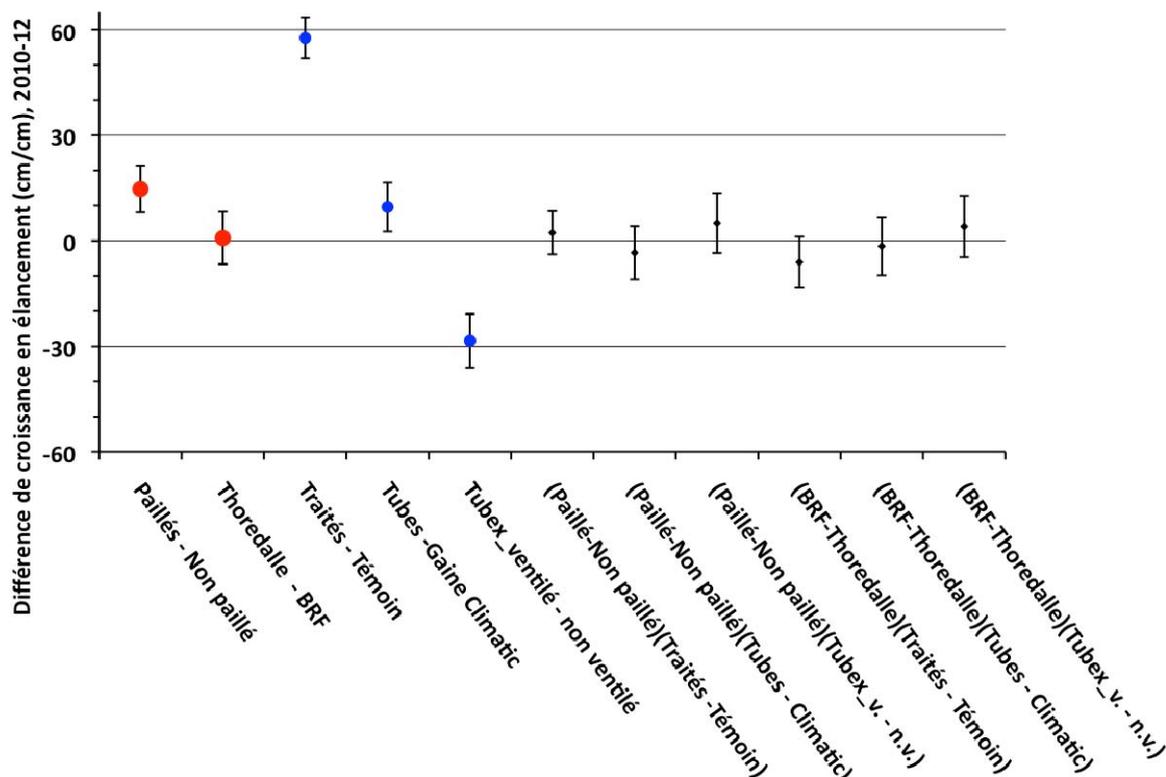


Figure 12 - Différences de croissance moyenne en élancement (cm/cm) cumulée de 2010 à 2012 et intervalles de confiance au niveau $P=0,95$ à ces différences. Comparaisons des paillis (points rouges), des protections gibier (points bleus) et contrastes d'interaction (points noirs)

- Les effets Paillage ($p=0,0002$) et Protection gibier ($p<0,0001$) sont significatifs, leur interaction ne l'est pas ($p=0,3625$).
- Effet Paillage: La croissance en élancement cumulée de 2010 à 2012 est de 14,7 cm/cm plus élevée parmi les paillés que les non paillés (contraste 1). Il n'y a pas de différence de croissance entre paillis Thoredalle et BRF (contraste 2).
- Effet Protection gibier: La croissance en élancement cumulée de 2010 à 2012 est de 57,7 cm/cm plus élevée parmi les traités que chez le témoin (contraste 3), de 9,6 cm/cm plus élevée sous tubes que sous gaine Climatic (contraste 4) et de 28,4 cm/cm plus faible sous Tubex ventilé que sous Tubex non ventilé (contraste 5).
- Nuances, effet Paillage: Il n'y a rien à ajouter aux effets principaux.
- Nuances, effet Protection: Il n'y a rien à ajouter aux effets principaux.

5. BIBLIOGRAPHIE

- BERGEZ JE, DUPRAZ C.** 2000. Effect of ventilation on growth of *Prunus avium* seedlings grown in treeshelters. *Agricultural and Forest Meteorology* **104** : 199-214.
- COUTAND C, DUPRAZ C, JAOUEN G, PLOQUIN S, ADAM B.** 2008. Mechanical stimuli regulate the allocation of biomass in trees : demonstration with young *Prunus avium* trees. *Annals of Botany* **101**: 1421-1432.
- DUPRAZ C.** 1997. Les protections de plants à effet de serre : ce qu'en pensent les arbres. *Revue Forestière Française* **49** : 417-432.
- DUPRAZ C, GUITTON JL, BERGEZ JE, DE MONTARD FX.** 1993. Broadleaved tree plantation on pastures : the treeshelter issue. In : *Proceedings of the 4th International Symposium, Windbreaks and Agroforestry*. Viborg, Denmark : Hedeselskabet, 106-111.
- JACOBS MR.** 1954. The effect of wind sway on the form and development of *Pinus radiata* D. Don. *Australian Journal of Botany* **2** : 35-51.
- JAFFE M.** 1973. Thigmomorphogenesis : the response of growth and development to mechanical stimulation with special reference to *Bryonia dioica*. *Planta* **114** : 143-157.
- MÄKELÄ A, SIEVANEN R.** 1992. Height growth strategies in open-grown trees. *Journal of Theoretical Biology* **159** : 443-467.
- SVIHRA P, BURGER D, HARRIS R.** 1996. Treeshelter effect on root development of redwood trees. *Journal of Arboriculture* **22** : 174-179.

6. HISTOIRE PHOTOGRAPHIQUE



Photo 10 : 32 arbres sont prélevés au hasard dans chaque botte de plants



Photo 11 : Les plants sont triés et divisés en 4 classes de hauteur



Photo 12 : Pour chaque traitement, on prépare 4 bottes de 12 arbres en jauge



Photo 13 : A la plantation, la hauteur totale du plant est mesurée à la règle



Photo 14 : La mesure du diamètre du plant est effectuée au pied à coulisse numérique à 15 cm au dessus du collet



Photo 15 : Avant plantation, un trait de peinture est positionné à 15 cm de hauteur au-dessus du collet



Photo 16 : Pesage des plants avant plantation dans les conteneurs



Photo 17 : La limite du collet se situe au niveau de la zone de changement de coloration de la tige



Photo 18 : La hauteur totale du plant doit être mesurée à partir du collet jusqu'à la base du bourgeon terminal de la tige



7. PARTENAIRES

Projet conduit
avec le soutien
financier de :



En partenariat
avec :



Avec l'appui
technique de :

