

Le paillage des arbres

Espace Oxygène et site des Monts-Gardés
Claye-Souilly (77)



PROGRAMME

Mardi 20 octobre 2009

- 8 h 30** **Accueil des participants**
- 9 h 00** **Ouverture de la rencontre**
Yves ALBARELLO - Député Maire de Claye-Souilly
Dominique SATIAT- Président du CAUE 77 - Conseiller Général de Seine-et-Marne.
- 9 h 15** **Objectifs cultureux du paillage**
Philippe VAN LERBERGHE, IDF Toulouse
- 10 h 15** **Impact du paillage sur la biodiversité du sol**
Charles GERS, CNRS Toulouse
- 11 h 15** **Biodégradabilité : définition, réglementation, labels et normes**
Guy CESAR, SERPBIO
- 12 h 15** **Déjeuner**
- 14 h 00** **Présentation du site d'essais de paillage**
Agnès SOURISSEAU, Paysagiste D.P.L.G., Paris
- 14 h 30** **Bois Raméaux Fragmentés et Pédogénèse**
Jacky DUPETY, Agriculteur, praticien du BRF
- 15 h 30** **Départ pour la visite de terrain sur le site des Monts Gardés**
- 16 h 00** **Efficacité biologique des paillis biodégradables sur la croissance**
Philippe VAN LERBERGHE, IDF Toulouse
- 17 h 00** **Démonstration de broyage**
Tadeusz DRUZBA, DRUZBA PAYSAGE, Laon
- 17 h 30** **Fin de l'ArboRencontre**

Méthode d'épandage direct du Broyat frais sur le sol

Que se passe-t-il ?

L'utilisation directe du B.R.F., sans passer par le processus du compostage, permet une substantielle économie de moyens, en conséquence elle permet d'envisager la réhabilitation de sol, tant forestier qu'agricoles, sur une grande échelle. Deux techniques de base permettent cette économie de moyen : la technique du mulch qui consiste à laisser le B.R.F. se décomposer en surface et la technique de l'incorporation superficielle qui permet d'activer son intégration au sol mais nécessite le contrôle de différents paramètres. Le choix de la technique la plus adéquate dépend de la culture et des conditions climatiques. Le B.R.F. est considéré comme un amendement et un engrais susceptible d'amener au sol nutriments, structure et énergie, sa spécificité vient de son action sur la vie du sol, ce matériau semble en effet susciter un ensemble de chaînes trophiques complexes qui structurent le sol, gèrent les nutriments, limitent les pathogènes. Ce rôle pédogénétique peut aller jusqu'à la création d'un sol fertile au départ de cailloux (observé à la ferme de M. Carrier, Québec). L'origine biologique des mécanismes en cause lors de son intégration au sol implique une grande influence de la température, plus la température sera élevée plus les bénéfices de la méthode seront rapidement acquis... et perdus si le traitement n'est pas entretenu (nouvelle application). Les organismes impliqués forment une chaîne complexe dont il faut se garder de briser un maillon essentiel ; d'où une grande sensibilité de la méthode à l'utilisation de pesticides, herbicides et surtout de fongicides. La question de l'énergie est d'importance, le B.R.F. peut fournir de l'énergie chimique, du combustible à la vie du sol, et ce sous forme de noyaux benzéniques polymérisés (lignine), d'hémicellulose, de cellulose et de sucres. La lignine est très difficile à digérer : seuls certains organismes en sont capables (essentiellement des champignons, appelés pourritures blanches en raison de leur aspect), sa digestion nécessite une importante énergie d'activation. Ce "carburant" accessible à ou par eux seuls, donne à ces champignons un pouvoir structurant : Ils peuvent sécréter des antibiotiques qui limitent les populations bactériennes ; leur action rend la cellulose du B.R.F. accessible aux micro-organismes ; ils alimentent aussi de leurs mycéliums des microarthropodes dont les déjections nourrissent d'autres organismes. En somme, l'apport de B.R.F. permet une reconstruction durable de l'écosystème sol, autour d'une source d'énergie disponible dans le moyen terme. Un écosystème sol régulé et bénéfique remplace donc l'écosystème sol cataclysmique, susceptible de dégrader l'humus au lieu de le constituer. On peut aussi examiner le processus d'un point de vue biochimique : Les champignons responsables de la digestion du bois passent d'abord par un état dit de "métabolisme primaire" qui se caractérise par la construction de la machine biologique de digestion du bois. Durant cette phase le champignon synthétise ses protéines (= usines biochimiques + matériaux de construction). Or pour fabriquer des protéines il faut de l'azote et de l'énergie (exsudats racinaires). Durant cette phase, l'azote vient naturellement à manquer dans le sol, si cet effet n'est pas compensé ou intégré convenablement dans le cycle de culture il en résultera un effet très négatif sur les cultures de la première année. La deuxième phase, appelée "métabolisme secondaire" se caractérise par la digestion de la lignine et de tous les constituants du bois. Cette phase est déclenchée par la pénurie d'azote accessible au champignon. Une fois enclenchée cette phase entraîne la libération contrôlée, au profit de la plante, de l'azote et d'autres nutriments. C'est à ce moment que l'on observe une augmentation spectaculaire des rendements de la culture. Seront aussi observés, l'accumulation durable de matières humiques stables, l'accroissement de la résistance à la sécheresse, la résistance à certaines maladies, l'amélioration qualitative des cultures.

EFFETS DES MATERIAUX BIODEGRADABLES DE PAILLAGE SUR LA CROISSANCE JUVENILE DU MERISIER (*PRUNUS AVIUM* L.)¹

Ph. Van Lerberghe ⁽¹⁾ et É. Le Boulengé ⁽²⁾

⁽¹⁾ Institut pour le Développement Forestier, suif CNPPF, Maison de la Forêt – 7, chemin de la Lacade 31320 Auzeville-Tolosane, France. Tél. : +33 (0)5 61 75 45 00
fax : +33 (0)5 61 75 45 09, courriel : philippe.vanterberghe@cnpff.fr

⁽²⁾ Université catholique de Louvain – Faculté des Sciences, Département de Biologie, Unité d'Ecologie et de Biogéographie, 5, Croix du Sud 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

RÉSUMÉ

Cet essai a pour but d'évaluer l'efficacité de matériaux de paillage biodégradables sur la croissance initiale du merisier (*Prunus avium* L.). Une large sélection de paillis a été testée sur une friche herbacée de Seine-et-Marne (77) au moyen d'un dispositif statistique en blocs aléatoires complets de 14 traitements et 48 répétitions. Les traitements d'un mètre carré peuvent être divisés en 7 catégories : feuilles de plastique noir, couches minérale ou de bois déchiqueté, feutres de fibres végétales, feuilles de bioplastique ou de papier sulfuré, dalles de paillage en comparaison avec un herbicide (glyphosate) et un témoin non désherbé. Le suivi de cet essai durant 3 ans (2004-2006) montre que la mortalité du merisier est négligeable. Si la plupart des paillis biodégradables influencent positivement la croissance en hauteur et diamètre du merisier, le résultat le plus significatif a été obtenu avec le broyat de bois composté. Ce paillis biodégradable est une alternative prometteuse en raison de son efficacité herbicide comparable au glyphosate ou aux paillis plastiques et de son innocuité vis-à-vis de l'environnement.

Mots-clés : paillage, bois déchiqueté, bioplastique, glyphosate, *Prunus avium*.

SUMMARY

BIODEGRADABLE MULCHING MATERIALS IMPROVE EARLY GROWTH OF WILD CHERRY SEEDLINGS

This test aims at assessing the effectiveness of biodegradable mulching materials on early growth of wild cherry (*Prunus avium* L.). A large selection of mulches was tested on a herbaceous fallow land in the Seine-et-Marne (77) using a statistical randomized complete blocks design of 14 treatments and 48 repetitions. The one-square metre treatments can be roughly divided into 7 categories: black plastic sheets, mineral and shredded hardwood layers, natural mixed fibres felts, new bioplastic and paper sheets, organic mulching slabs which were compared to a herbicide (glyphosate) and an untreated control plot. Monitoring of the trial over a 3-year period (2004-2006) showed that mortality was negligible. While most biodegradable mulches positively influence wild cherry height and diameter growth, the most significant increment is achieved with composted shredded hardwood chips layer. It appears to be a promising alternative since it is as efficient as glyphosate or plastic mulches while being eco-friendly.

Keywords: mulching, woodchips, bioplastic, glyphosate, *Prunus avium*.

¹ Ce papier est présenté lors de la 2^{ème} Conférence (AFPP) sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres zones non agricoles à Angers – 28 et 29 octobre 2009

INTRODUCTION

Pour réussir une plantation de feuillus précieux sur une ancienne terre agricole, il est souvent indispensable d'envisager la suppression maximale de la végétation herbacée préexistante, notamment les graminées qui exercent une forte concurrence pour l'eau et les éléments minéraux (Davies, 1987; Frochot *et al.*, 2002; Coll *et al.*, 2004), en raison de leur système racinaire abondant dans les premiers centimètres du sol (Nambiar et Sands, 1993). La perte de croissance de l'arbre est d'autant plus forte que l'herbe est proche du plant (Frochot, 1984). Afin de ne pas gêner la reprise et le développement des jeunes ligneux, une surface désherbée minimale d'un mètre de diamètre à la base du plant est habituellement préconisée pendant au moins les deux à trois premières années après la plantation (Davies, 1988b ; Richardson *et al.*, 1996 ; Rose et Rosner, 2005).

La lutte contre la concurrence des adventices sur friches herbacées s'effectue classiquement par désherbage chimique. Cette solution peu coûteuse (McDonald et Helgerson, 1990) permet d'intervenir efficacement et de manière localisée avant que la compétition herbe - arbre n'ait commencé et quelles que soient la pente ou la surface de la parcelle. Aujourd'hui, le forestier doit faire face à la diminution programmée de l'arsenal phytosanitaire utilisable en forêt et à l'impopularité croissante des herbicides chimiques auprès du public (Wagner *et al.*, 1998) due à la valeur sentimentale associée à la forêt et à un manque de connaissances techniques (Guynn *et al.*, 2004; Fortier *et al.*, 2005). Les systèmes mondiaux de certification de la gestion forestière découragent aussi l'emploi des herbicides en zones certifiées (MCPFE, 1998; Forest Stewardship Council, 2002).

La technique du paillage est une alternative intéressante car susceptible de répondre à la préoccupation croissante du public pour l'environnement (Van Lerberghe, 2004). Selon Slick et Curtis (1985), un paillis est « un matériau inorganique ou organique déposé à la surface du sol comme aide temporaire à sa stabilisation structurale et à l'amélioration de ses conditions microclimatiques, favorables à l'installation des végétaux ». Les avantages potentiels du paillage sont connus depuis des décennies (Buclon, 1971). Son utilisation dans les projets de végétalisation au moyen d'espèces ligneuses (boisement de terres agricoles, plantation de haies, reverdissement de massifs, parterres et plates-bandes en zone urbaine, de délaissées en milieu autoroutier, ferroviaire ou industriel) est croissante.

Les films plastiques noirs sont les produits de paillage les plus couramment utilisés en raison de leur faible coût, de leur grande durabilité et de leur efficacité biologique sur la survie et la croissance des arbres. De nombreuses études ont montré leur impact positif pour différentes espèces feuillues (Frochot et Lévy, 1980, 1986 ; Davies, 1988a ; Adam, 1997). Une fois usées, les matières plastiques fabriquées à partir de ressources non renouvelables (pétrole) deviennent des déchets qui doivent être éliminés conformément au Code de l'environnement. L'abandon, l'enfouissement ou la mise en tas, ainsi que la combustion sauvage sont interdits. La seule alternative non polluante consiste à les collecter puis, les recycler mais cette solution a un coût prohibitif et entièrement à la charge du forestier, ce qui encourage les pratiques d'élimination illégales (Van Lerberghe et Six, 2004).

Au cours de la dernière décennie, les paillis biodégradables à base de bois, de liège ou de fibres agricoles (lin, chanvre, sisal, coco) ont acquis une grande popularité en France en raison de leur innocuité environnementale et d'une offre qualitative croissante (Van Lerberghe, 2004). Des produits beaucoup plus récents, appelés « plastiques biodégradables » ou « bioplastiques » apparaissent progressivement sur le marché européen. Ils sont constitués de matériaux d'origine naturelle (polysaccharides, protéines...) ou issus de la biotechnologie (fermentation par des bactéries) ; d'autres sont de nouveaux polymères obtenus par synthèse industrielle (Féuilletoy *et al.*, 2001). Leur utilisation est également prometteuse. Selon les fabricants, ces paillis biodégradables, dits de « longue durée », auraient des qualités semblables voire supérieures aux produits synthétiques en termes d'efficacité biologique sur la survie et la croissance des arbres. Néanmoins, peu de recherches (Samyn et de Vos, 2002) visant à les comparer ont été réalisées.

En Europe tempérée, le merisier (*Prunus avium* L.) est une essence forestière très recherchée pour la valeur commerciale de son bois utilisé en ameublement, tant en massif qu'en placages (meubles et sièges de style). Cette espèce est connue pour être sensible à la compétition herbacée (Frochot et Lévy, 1986 ; Collet et Frochot, 1992 ; Collet *et al.*, 1993 ; Balandier *et al.*, 2008). C'est donc une essence idéale pour quantifier et hiérarchiser l'efficacité biologique sur la survie et la croissance aérienne des principaux paillis biodégradables actuels.

MATERIEL ET METHODES

SITE EXPERIMENTAL

L'expérience est située dans le nord de la France (Claye-Souilly, Seine-et-Marne, 77; lat. 48°56'57" Nord, long. 2°42'52" Est, à 71 m d'altitude), à environ 30 km à l'est de Paris. Propriété de la Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF), le site de plantation est une ancienne terre agricole d'une superficie totale d'environ 35 ha et située à proximité de la LGV Est européenne Paris - Strasbourg. Le site est traversé par une série de tranchées archéologiques parallèles, distantes de 20 m et orientées NNW-SSE. La pente est faible (< 2 %) et perpendiculaire à cette orientation. Sa limite SSE est un remblai de chemin de fer de 4 à 5 m de haut. L'intégration de l'infrastructure ferroviaire dans le paysage devenant obligatoire, cet essai fait partie d'un vaste programme de réhabilitation de cette ancienne terre agricole par plantation forestière paysagère (Sourisseau, 2004).

Le climat est tempéré avec une température moyenne annuelle de 11,3°C (1974-2003) et des valeurs maximales et minimales de 15,1°C et 7,5°C, respectivement. Les précipitations moyennes sont de 700,2 mm, assez équitablement répartis sur l'année. Les températures annuelles sont légèrement supérieures à la moyenne trentenaire en 2004 (11,7°C), 2005 (11,9°C) et 2006 (12,2°C). Les précipitations annuelles sont proches de cette moyenne trentenaire en 2006 (706,6 mm) et passablement inférieures en 2004 (624,8 mm) et 2005 (525,7 mm), avec plusieurs périodes de sub-sécheresse ($P < 3T$) (février, juin, juillet et septembre 2004 ; mai, juillet à octobre 2005 ; avril, juin, juillet, septembre à octobre 2006).

Le sol est de type Calcisol (Baize et Girard, 1998). Ce sol brun est caractérisé par la présence d'un horizon calcaire Sca faisant effervescence à HCl (pH eau = 8,3) reposant sur une roche-mère calcaire située à une profondeur variable (entre 40 et 60 cm). Il est surmonté d'un horizon organo-minéral LAca labouré, également calcaire, et ayant un faible taux de matière organique (2,4 % ; C/N = 9,88). Au début de l'été 2003, les principales espèces herbacées sont la picride fausse-vipérine (*Picris echinoides* L.), le cirse chevelu (*Cirsium vulgare* [Savi] Ten.) et le cirse des champs (*Cirsium arvense* [L.] Scop.), l'épilobe à petites fleurs (*Epilobium parviflorum* Schreber), la petite ciguë (*Aethusa cynapium* L.), l'orobanche réticulée (*Orobanche reticulata* Wallr.), le sarrasin commun (*Fagopyrum esculentum* Moench) et l'agrostide stolonifère (*Agrostis stolonifera* L.). La hauteur moyenne de la végétation est d'environ 60 cm. Une préparation complète du terrain a été réalisée au début de l'automne 2003. Le gyrobroyage des adventices a été suivi par un sous-solage à 50 cm de profondeur. Les mottes de sol ont été brisées au chisel afin d'aplanir le sol et faciliter ainsi la mise en place des produits de paillage.

MATERIEL VEGETAL

La plantation a été réalisée courant décembre 2003. Les plants de merisier (*Prunus avium* L.; origine PAV901-France) d'un an (1-0) à racines nues ont été achetés dans une pépinière commerciale du nord ouest de la France. Ils ont été plantés manuellement à espacement de 3 x 3 m. Mesurés immédiatement après plantation, la hauteur des plants variait de 35 cm à 76 cm et leur diamètre de 4 mm à 9 mm, avec une moyenne de $54,4 \pm 6,7$ cm (\pm S.E.) et de $5,7 \pm 0,9$ mm, respectivement.

TRAITEMENTS

L'expérience visait à comparer 14 traitements, divisés en 7 catégories (Tableau 1). Les paillis individuels d'un mètre carré de surface ont été fixés, juste après plantation, au moyen de 4 ou 5 agrafes métalliques (20 x 20 x 20 cm) afin de réduire les dommages liés au vent.

Le désherbage chimique (Tchao Plus EV; 2,5 kg m.a. ha⁻¹ de glyphosate) a été réalisé au moyen d'un pulvérisateur à dos au début des mois de mai 2004 et 2005. Des protections abri-serre (h : 120 cm et Ø : 14 cm) semi-rigides en plastique noir à mailles carrées (< 3 mm) ont été installées en même temps que les paillis. Elles visent à protéger les jeunes plants de merisier contre les dégâts d'abrouissement et de frottis du chevreuil.

Tableau 1 : Traitements

N°	Catégorie	Descriptif	Abréviation
1	-	Placette non désherbée	Témoin
2	Feuille plastique	Film (80 µ) non tressé et imperméable, en polyéthylène noir (76 g/m ²), stabilisé UV	Film plast
3		Voile (105 µ) tressé et perméable, en polypropylène noir (105 g/m ²), stabilisée UV	Voile plast
4	Fluide minéral ou organique	Ballaste (15 cm) : roche dure de type magmatique, plutonique composée de silicate d'alumine. Calibre : 55 mm	Ballaste
5		Traverses (15 cm) de chemin de fer broyées et compostées. Bois (chêne) imprégné de créosote. Calibre : 10-25 mm	Traverse
6		Broyat (15 cm) composté de bois feuillus. Calibre : 10-25 mm	Bois déch
7	Feutre organique	Feutre (8 mm) à base de fibres de jute (50 %) recyclées et d'étoupes de chanvre (50 %) sur film bioplastique (20 g/m ²)	Chanvre10
8		Feutre (8 mm) à base de fibres de jute (70 %) recyclées et d'étoupes de chanvre (30 %) sur film bioplastique (20 g/m ²)	Chanvre14
9		Feutre (12 mm) à base de fibres de jute (50 %) recyclées et de coco (50 %) sur film bioplastique (20 g/m ²)	Coco10
10	Feuille organique	Voile (120 µ) à base de fibres de papier sulfurisé (144 g/m ²)	Papier sulf
11		Film (80 µ) non tressé et imperméable, en résine bioplastique (à base d'amidon) noire (76 g/m ²), stabilisé UV	Bioplast
12	Dalle organique	Dalle (8 mm) carrée (2 demi-plaques ; 2160 g/m ²) en fibres (95 %) de bois (pin) gainées par fine pellicule de bitume (5 %)	Dalle bois
13		Dalle (3 mm) carrée (2 demi-plaques ; 1350 g/m ²) à base de granulés de liège. Liant synthétique (0,5 % du volume)	Dalle liège
14	Chimique	Désherbage chimique localisé au glyphosate	Désherbé

PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental est une grille de 12 lignes par 56 colonnes, avec un arbre planté à chacun de ses 672 nœuds. Ces lignes de plantation (orientées NNO-SSE) sont parallèles aux tranchées archéologiques et divisées verticalement (OSO-ENE) en 6 bandes de 2 lignes chacune. L'ensemble des 56 colonnes est divisé en 4 groupes de 14 colonnes chacun. L'intersection d'une bande de 2 lignes avec un groupe de 14 colonnes est considérée comme un bloc expérimental ; le dispositif compte 24 blocs. Les 14 traitements ont été attribués aléatoirement aux 14 arbres de chaque ligne. Ce dispositif peut être considéré comme un essai en blocs aléatoires complets dont les principes sous-jacents à sa construction sont discutés dans Kuehl (2000).

MESURES

Les mesures de mortalité et de croissance ont été prises durant trois ans (2004-2006). La mortalité a été enregistrée au début de chaque saison de végétation (avril). Les arbres ont été inspectés visuellement et marqués en tant que plant « mort » ou « vivant ». L'effet des traitements sur la croissance de l'arbre a été déterminé par la mesure de la hauteur totale (au cm près) des plants et du diamètre basal (mesuré à 10 cm au-dessus du sol, au mm près) à la fin de chaque saison de végétation (fin octobre à Décembre).

Ces effets sont souvent masqués par la variabilité de la taille initiale des plants. Aussi, nous avons choisi de calculer 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 la 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 ($t2 - t1 = 1$).

ANALYSES STATISTIQUES

Les questions d'intérêt concernent les effets des facteurs (traitements) sur les valeurs moyennes des réponses (croissance en hauteur et en diamètre des plants). Après vérification des conditions de normalité et d'homoscédasticité des échantillons, la méthodologie statistique la mieux adaptée a été la modélisation linéaire. Des précautions appropriées ont été prises concernant la recherche préalable des valeurs aberrantes, la transformation de données et le choix du modèle d'analyse. Les principes de sélection de ces modèles et d'inférence statistiques sont expliqués notamment dans Molenberghs et Verbeke (2000, chap. 9) et Littell *et al* (1996, chap. 2 et 6).

Pour préciser les effets des traitements sur la croissance des arbres, on les a traduits en une série de comparaisons pertinentes et indépendantes. Quatorze traitements autorisent au maximum treize telles comparaisons, appelées contrastes orthogonaux (Kuehl, 2000, Ch. 3). Avec treize contrastes orthogonaux, on extrait toute l'information relative à la comparaison de ces 14 moyennes. Chaque contraste pose la question de l'égalité des réponses moyennes sous deux groupes de traitements. Les contrastes choisis sont énoncés ci-dessous (Tableau II). Il faut comprendre « A = B » comme : « la réponse sous le groupe de traitements A est égale à celle sous le groupe de traitements B ». Cette égalité est l'hypothèse nulle relative à ce contraste, qui pose l'absence de différence.

Tableau II : Treize contrastes orthogonaux pour la comparaison des moyennes.

1. Témoin (1) = Traités (traitements 2 à 14)
2. Désherbé (14) = Paillés (2 à 13)
3. Plastiques (2, 3) = Autres (minéral ou organiques : 4 à 13)
4. Film plast (2) = Voile plast (3)
5. Fluides (Ballaste, Couches bois : 4 à 6) = Consolidés (Feutres, Feuilles, Dalles : 7 à 13)
6. Ballaste (4) = Couches bois (5, 6)
7. Traverse (5) = Bois déchiqueté (6)
8. Feutres (7, 8, 9) = Feuilles et Dalles (10 à 13)
9. Feutres chanvre (7, 8) = Feutre coco (9)
10. Chanvre (7) = Chanvre (14)
11. Feuilles (10, 11) = Dalles (12, 13)
12. Feuille papier (10) = Feuille bioplastique (11)
13. Dalle bois (12) = Dalle liège (13)

Les résultats de comparaisons des réponses moyennes des traitements sont illustrés pour chaque caractéristique de croissance (hauteur et diamètre) en donnant pour chaque question (contraste) la différence de moyennes qui y répond ainsi que son intervalle de confiance au niveau $P = 0,95$. Tout intervalle de confiance (barres verticales dans les figures 1 et 2) qui n'intercepte pas la valeur 0 indique une différence significative pour la comparaison concernée, à condition cependant que l'effet global des traitements ait été jugé crédible (significatif).

Des tests de comparaisons multiples de moyennes de Tukey ont aussi été réalisés pour une aide à l'interprétation (Figures 3 et 4). D'autre part, l'inférence sur les taux de mortalité était basée sur des modèles logit-linéaires. Dans certains cas simples, des tests Chi-2 d'homogénéité des proportions ont été appliqués. La gestion des données et les analyses statistiques simples ont été principalement effectuées sous SAS/JMP (version 6) et les analyses inférentielles ont été effectuées à l'aide de la procédure SAS/MIXED (SAS version 9.1).

RESULTATS

MORTALITE

La mortalité globale (après 3 ans) du merisier est négligeable, soit 1,3 % (intervalles de confiance de 0,7 % à 2,7 %). La mortalité annuelle est de 0,1 % en 2004, 0,5 % en 2006 et 0,7 % en 2006. Elle n'est pas significativement différente d'une année à l'autre ($p = 0,3624$) et entre les traitements ($p = 0,4481$). Elle est très souvent nulle, en particulier dans le « Témoin » non désherbé.

CROISSANCE EN HAUTEUR ET DIAMETRE

Les analyses des 13 contrastes pour les 2 facteurs de croissance étudiés (hauteur et diamètre) ont clairement mis en évidence les différences qui peuvent exister ou non entre les catégories de traitement testés après 3 années d'observation.

(1) Fin 2006, les méthodes d'entretien (« Traités ») ont significativement ($p < 0,0001$ pour les 2 facteurs) amélioré la croissance du merisier : en moyenne, gain de $42,1 \pm 3,8$ cm (S.E.) en hauteur (Figure 1) et de $10,5 \pm 0,9$ mm en diamètre (Figure 2). Les plants non désherbés (« Témoin ») sont les plus petits ($p < 0,0001$) et les plus fins ($p < 0,0001$) ; leur croissance moyenne en hauteur a été de $113,4 \pm 3,9$ cm (Figure 3) et de $11,2 \pm 1,1$ mm (Figure 4) en diamètre. (2) La croissance cumulée des plants traités chimiquement (« Désherbé ») est significativement plus élevée ($p < 0,0001$ pour les 2 facteurs) que celle des plants « Paillés » : gain de $23,4 \pm 3,7$ cm en hauteur (Figure 1) et de $4,8 \pm 0,9$ mm (Figure 2) en diamètre. Cette différence est imputable aux plants sous feuilles biodégradables (« Bioplast » et/ou « Papier sulf ») et sous feutres de fibres naturelles dont les croissances en hauteur sont les plus faibles (Figure 3) ; aux plants sous feuille papier pour la croissance en diamètre (Figure 4). La croissance aérienne des plants sous « Désherbé » et ceux sous feuilles plastique (« Film plast » et « Voile plast »), sous paillis minéral (« Ballaste ») ou organiques (« Couches bois » et « Dalles ») sont similaires (Figure 3 et Figure 4). (3) Il n'y a pas de différences de croissance entre plants sous « Plastiques » et les « Autres » types de paillis (minéral ou organiques) ni (4) entre les plants sous « Film plast » et « Voile plast ».

(5) La croissance cumulée mesurée sur les jeunes arbres sous paillis « Fluides (Bois et Minéral) » est significativement plus élevée ($p < 0,0001$ pour les 2 facteurs) que celle des plants sous paillis « Consolidés (Feutres, Feuilles et Dalles) » : gain de $23,4 \pm 3,7$ cm en hauteur et de $4,8 \pm 0,9$ mm en diamètre. (6) Il en est de même ($p = 0,026$ et $p < 0,0001$) entre les plants sous couches de « Bois (Traverse et Bois déch) » par rapport aux plants sous « Ballaste » (gain de $14,2 \pm 4,7$ cm et de $5,3 \pm 1,2$ mm, respectivement), ainsi que (7) pour les plants sous « Traverse » comparés aux plants sous « Bois déch » (gain de $12,7 \pm 5,1$ cm et de $4,2 \pm 1,3$ mm). De plus, il n'y a pas de différence de croissance cumulée en hauteur et en diamètre entre (8) les plants sous « Feutres » et ceux sous « Feuilles et Dalles » ; (9) entre les plants sous « Feutres chanvre » et ceux sous feutre « Coco » ; (10) entre les plants sous « Chanvre10 » et « les plants sous « Chanvre14 ». En revanche, (11) la croissance cumulée des plants sous « Feuilles » est significativement plus faible ($p = 0,0001$ et $p = 0,0006$) que celle des plants sous « Dalles » : perte de $13,9 \pm 3,5$ cm en hauteur et de $3,2 \pm 0,9$ mm en diamètre ; (12) il en est de même pour la croissance ($p = 0,0118$ et $p = 0,0049$) des plants sous « Papier sulf » par rapport aux plants sous film « Bioplastique » : perte de $12,7 \pm 4,9$ cm pour la hauteur et de $3,7 \pm 1,3$ mm. Enfin, (13) il n'y a pas de différences significatives entre les plants sous « Dalle bois » et les plants sous « Dalle liège ».

La comparaison de l'intensité de la réponse de chaque modalité d'entretien par rapport au « Témoin » non désherbé pour les facteurs étudiés (Figure 3 et Figure 4) est aussi intéressante à analyser. Les croissances les plus significatives ont été mesurées chez « Traverse » ($177,8 \pm 3,9$ cm, soit un gain de 57 % en hauteur et $28,5 \pm 1,1$ mm, soit un gain de 155 % en diamètre), « Désherbé » (+ 56 % et + 133 %), « Bois déch » (+ 46 % et + 117 %), « Ballaste » (+ 39 % et + 89 %), « Voile plast » (+ 38 % et + 94 %), « Dalle liège » (+ 37 % et + 95 %), « Film plast » (+ 36 % et + 98 %) et « Dalle bois » (+ 35 % et + 89 %).

Les croissances les plus faibles ont été mesurées chez « Coco » (+ 34 % et + 86 %), « Bioplast » (+ 29 % et + 80 %), « Chanvre14 » (+ 29 % et + 68 %), « Chanvre10 » (+ 29 % et + 74 %) et « Papier sulf » ($134 \pm 3,8$ cm, soit un gain de 18 % en hauteur et $16,4 \pm 1,1$ mm, soit un gain de + 47 % en diamètre). Enfin, des analyses réalisées séparément par année ont montré que les différences de croissance annuelle en hauteur (Figure 3) et en diamètre (Figure 4) entre chaque modalité d'entretien et le « Témoin » non désherbé sont clairement visibles avant la fin de la première saison de croissance ($p = 0,0004$ et $p < 0,0001$, respectivement) ainsi qu'en 2005 ($p < 0,0001$ pour les 2 facteurs) et en 2006 ($p < 0,0001$ pour les 2 facteurs).

Figure 1 : Différence de croissance cumulée (après 3 ans) en hauteur du merisier : moyenne ajustée \pm intervalles de confiance (95 %) pour 13 comparaisons de modalités de contrôle de la végétation adventice.

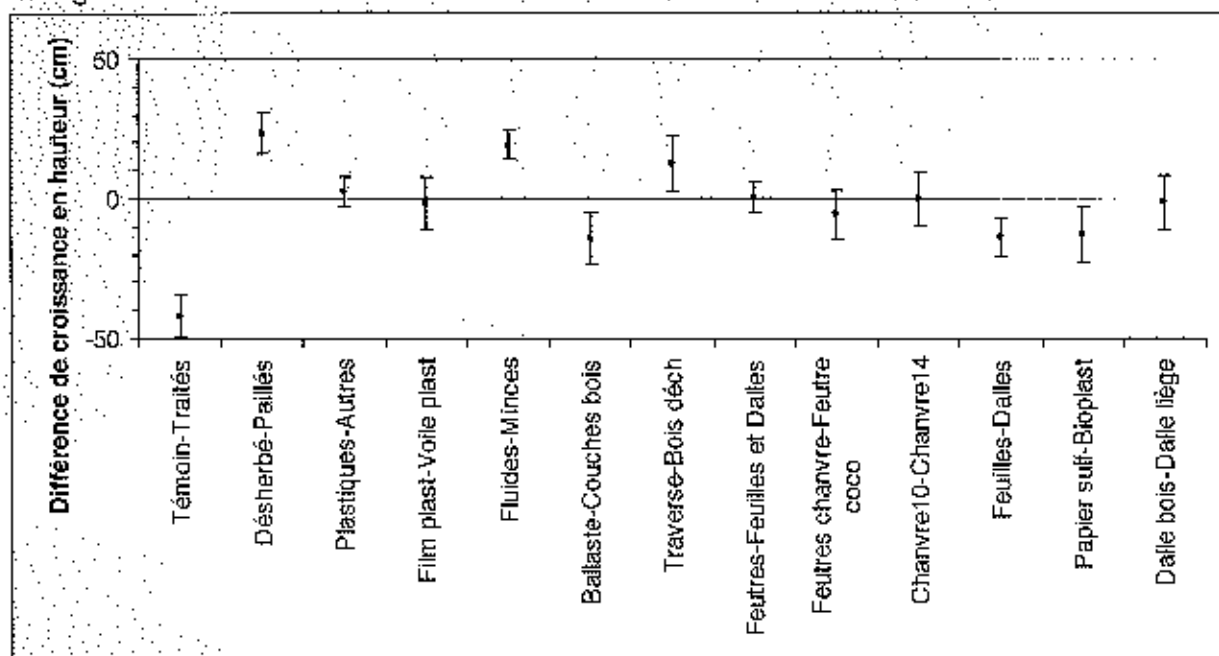


Figure 2 : Différence de croissance cumulée (après 3 ans) en diamètre du merisier : moyenne ajustée \pm intervalles de confiance (95 %) pour 13 comparaisons de modalités de contrôle de la végétation adventice.

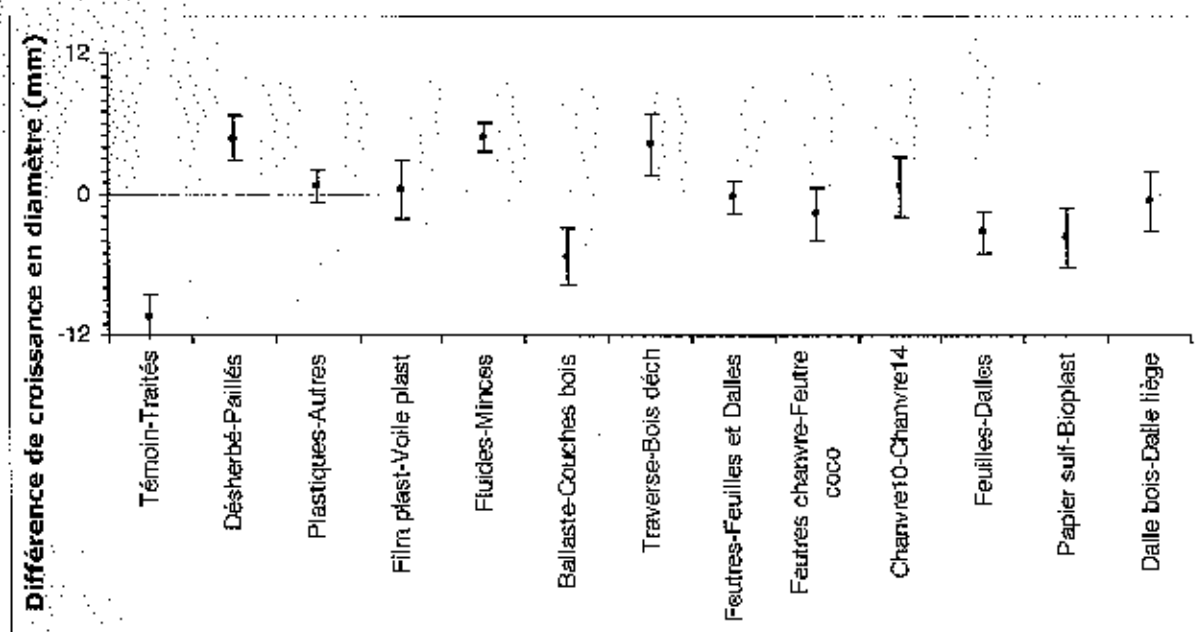


Figure 3 : Croissance cumulée (après 3 ans) en hauteur du merisier : moyenne ajustée \pm erreur standard (S.E.). Les valeurs marquées avec des lettres différentes sont significativement différentes à $p = 0,05$, selon le test de Tukey.

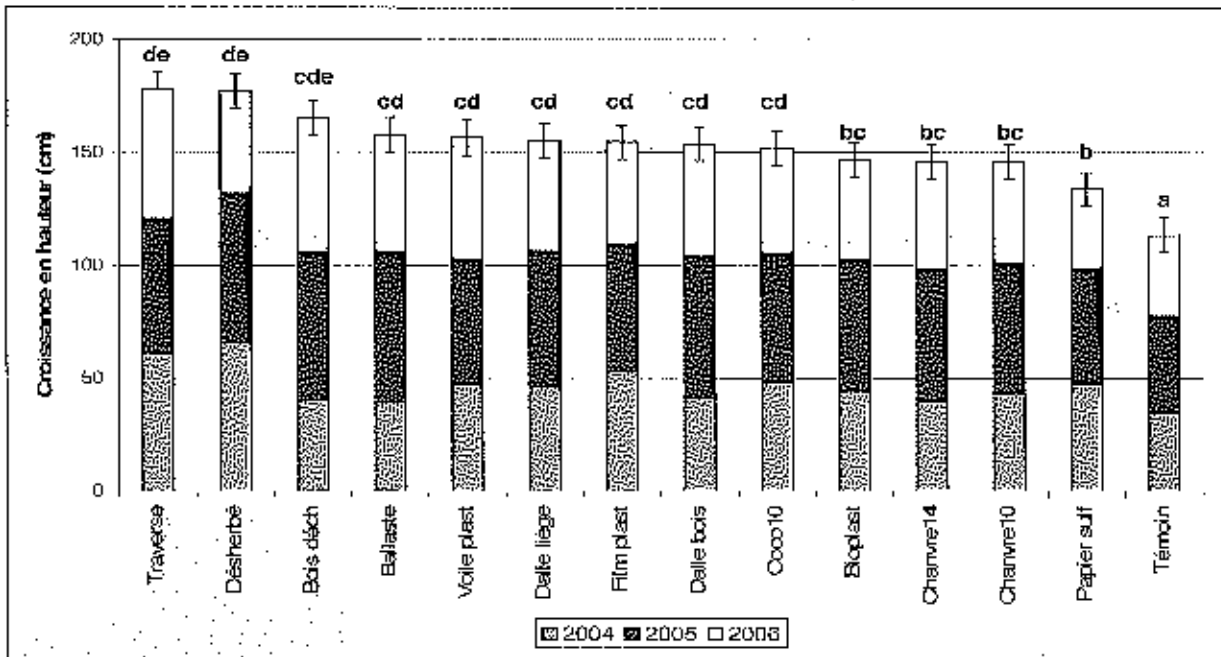
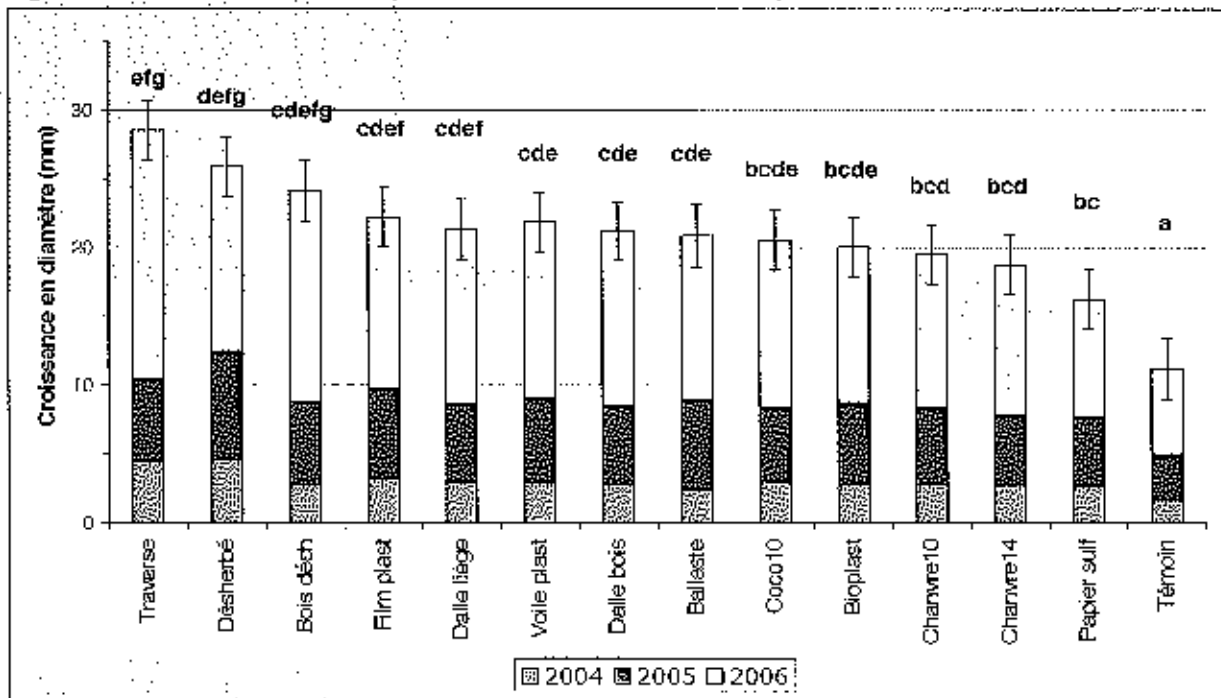


Figure 4 : Croissance cumulée (après 3 ans) en diamètre du merisier : moyenne ajustée \pm erreur standard (S.E.). Les valeurs marquées avec des lettres différentes sont significativement différentes à $p = 0,05$, selon le test de Tukey.



DISCUSSION

Si la croissance des arbres sur friches herbacées est presque invariablement réduite par les adventices (Balandier *et al*, 2006), leur survie est diminuée quand les plants sont de mauvaise qualité ou soumis à un stress supplémentaire : mauvaises conditions de transport, de stockage et de plantation et en particulier, exposition des racines au vent et au soleil entraînant leur déshydratation, faible fertilité du sol ou sécheresse climatique (Davies, 1987).

Malgré plusieurs périodes de sub-sécheresse durant les 3 années d'étude, l'absence de mortalité des jeunes plants, en parfait état sanitaire et correctement plantés, dans les placettes non désherbées indiquent une compétition faible de la végétation herbacée à base de dicotylédones peu couvrantes et moins compétitrices pour l'eau que les graminées (Frochot *et al.*, 2002). Les besoins élevés en lumière du merisier (Franc et Ruchaud, 1996) n'ont pas non plus été réduits par ces herbacées, très vite dominées en hauteur par des jeunes arbres qui ont réussi à croître dès la 1^{ère} saison de végétation. Ce démarrage précoce contraste avec celui d'essences moins vigoureuses comme le chêne pour lesquelles les différences de croissance n'apparaissent pas avant la 2^{ème} année (Frochot et Lévy, 1980 ; Davies, 1987). Selon Balandier *et al.* (2008), le merisier est une essence vigoureuse qui émet plutôt un petit nombre de racines qui poussent très rapidement alors que les herbacées émettent un nombre élevé de racines mais, qui poussent lentement. Il est probable que ces jeunes arbres ont été capables de coloniser des horizons de sol peu ou pas encore colonisés par les mauvaises herbes et d'y trouver l'eau nécessaire à leur métabolisme.

L'élimination des adventices a eu un effet très significatif (contrastes n°1) sur la croissance du merisier (Balandier *et al.*, 2008) ; en particulier, avec le désherbage chimique (contrastes n°2) dont l'efficacité herbicide varie néanmoins selon les essences et la fréquence d'application (Davies, 1987 ; Adams, 1997 ; Harper *et al.*, 1998 ; Siipilehto, 2001). Si l'efficacité du paillage plastique a été largement démontrée (Frochot et Lévy, 1980, 1986 ; Davies, 1987 ; McDonald et Helgerson, 1990 ; McDonald *et al.*, 1994 ; Green *et al.*, 2003 ; Geyer *et al.*, 2006), la perméabilité d'un voile tressé n'induit pas nécessairement des gains supérieurs de croissance (contrastes n°4) par rapport à un film imperméable. Il est possible que l'écoulement préférentiel de l'eau pluviale au niveau du collet des arbres par l'entaille de plantation pratiquée au centre des films ait compensé l'absence de pénétration sous le reste du plastique.

Le paillage favorise aussi la croissance du merisier en hauteur et surtout, en diamètre, l'intensité de la réponse étant dépendante du type de paillis. Le fait de déposer, au sol et au pied de jeunes plants, un matériau, formant écran, induit un effet paillage dont l'impact, souvent positif, dépend de l'essence (Lambert *et al.*, 1994 ; Green *et al.*, 2003), du niveau de compétition herbacée (Davies, 1988b), de la fertilité du sol (Green *et al.*, 2003) et de la surface paillée (Davies, 1988b ; Richardson *et al.*, 1996 ; Rose et Rosner, 2005) mais aussi, des caractéristiques techniques du mulch telles que sa durabilité, sa perméabilité à l'eau, ses propriétés optiques et thermiques qui influencent fortement l'humidité et la température du sol (Iles et Dosmann, 1999 ; Khan *et al.*, 2000).

L'impact d'un paillis organique ou minéral sur la croissance aérienne d'un jeune plant ligneux peut être similaire ou même supérieur à celui d'un paillis plastique (contrastes n°3) et d'un désherbage chimique localisé (Adams, 1997 ; Haywood, 1999 ; Samyn et de Vos, 2002 ; Van Sambeek et Garrett, 2004). Les performances supérieures des fluides (couches de bois déchiqueté et minérale) comparées aux autres paillis biodégradables (contrastes n°5), des fluides de bois par rapport au fluide minéral (contrastes n°6) et des traverses broyées par rapport au broyat composté de bois feuillus (contrastes n°7) s'expliqueraient par la durabilité élevée de ces paillis et par leur perméabilité à l'eau pluviale. Quant aux gains des croissances supplémentaires induits par les traverses broyées par rapport au broyat de bois feuillus, ils pourraient s'expliquer par l'effet phytocide éventuel de la créosote, sans doute libérée lors de la décomposition biologique progressive des copeaux. Cette huile d'imprégnation et de conservation du bois est obtenue par la distillation du goudron de bois (en particulier du bois de hêtre) ; elle contient des phénols et des créosols dont l'effet herbicide n'a pourtant jamais été démontré.

La bonne durabilité (3 années minimum) d'un fluide organique ou minéral est largement dépendante de l'épaisseur de la couche déposée à la surface du sol (English, 1994) et qui garantit l'opacité du paillis à la lumière.

Une couche de 15 cm empêche efficacement l'émergence d'adventices qui pourraient germer sous sa surface. Une telle épaisseur évite aussi une application répétée après la 2^{ème} saison de croissance, parfois nécessaire dans le cas d'un broyat de bois composté. Une épaisseur de 10 cm serait une valeur minimale pour garantir un effet paillage suffisant, sachant que celui-ci est directement conditionné par la densité et la texture des matériaux utilisés (Van Sambeek et Garrett, 2004 ; Saebo et Ferrini, 2006).

L'efficacité des fluides s'expliquerait aussi par leur capacité à améliorer les conditions d'humidité du sol, contrairement aux autres types de paillis (Gers, communication personnelle). La limitation des pertes en eau du sol et la conservation d'un sol frais est d'ailleurs un objectif essentiel visé par le paillage (Van Lerberghe et Gallois, 1997a ; Khan *et al*, 2000). Lapeyre (2007) a établi que les valeurs d'humidité relative mesurées sous copeaux sont supérieures aux autres types de paillis. La cohésion imparfaite de cette couche de matériaux lignifiés permet aux précipitations d'atteindre le sol sans les absorber et l'incorporation progressive des copeaux en contact direct avec la surface permet de diminuer les taux d'évaporation et de garder un sol humide sur le long terme (Athy *et al*, 2006 ; Jordan *et al*, 2006).

Les dalles organiques ont une efficacité supérieure aux feuilles biodégradables (contrastes n°11) dont la durée de vie est plus courte (Cf. plus loin) et similaire au broyat de bois et aux feuilles plastiques. Leur efficacité s'explique aussi par leur durabilité élevée et liée à leur forte densité et leur parfaite opacité à la lumière pendant minimum 3 ans (Van Lerberghe et Gallois, 1997b ; Van Lerberghe et Six, 2004). Si les 2 modèles de dalle ont un impact identique sur les croissances du merisier (contrastes n°13), la capacité de la dalle en fibres de bois à s'imbibber de l'eau de pluviale, à perdre progressivement sa rigidité par humectation et à ainsi, à mieux épouser la surface du sol constitue un avantage appréciable sur site venté.

A contrario, les croissances aériennes des plants sous feutres sont moindres, sans être différentes des feuilles et dalles organiques (contrastes n°8). Selon Lapeyre (2007), l'humidité relative sous un feutre est significativement plus faible que celle mesurée sous une couche de copeaux de bois. Du fait de sa forte capacité d'absorption et de rétention de l'eau pluviale (que nous appellerons « effet buvard »), le feutre ne restituerait au sol qu'une partie de l'eau absorbée, la différence étant évaporée dans l'atmosphère par les radiations solaires. Faire varier le type de fibres utilisées (contrastes n°9), leur pourcentage et la densité du feutre (contrastes n°10) n'a pas permis de discriminer clairement les trois types de feutres testés.

Enfin, les croissances des plants sous feuilles organiques sont parmi les plus faibles de ce comparatif, même si elles sont significativement plus élevées que celles des plants non désherbés. Cette efficacité moindre est certainement due à leur décomposition biologique plus rapide et suivie de l'envahissement progressif par les adventices des pieds de plants initialement paillés. Alors que la plupart des paillis sont globalement restés intacts durant 3 ans, le film bioplastique s'est décomposé au cours de la 2^{ème} saison de végétation et la feuille de papier a disparu après 12 mois de présence sur site. L'impact (non significativement) supérieur du paillis bioplastique comparé à la feuille de papier sulfurisé (contrastes n°12) serait dû à leur durée de vie différente. La capacité de ces paillis à limiter le développement des adventices compétitrices et réduire les pertes en eau du sol s'est amenuisée avec la décomposition progressive du produit. La durabilité du plastique biodégradable à base d'amidon ne dépasse pas actuellement 18 mois (Minuto *et al*, 2008 ; Van Lerberghe, 2008). Rares sont les paillis en fibres de papier à atteindre une durabilité de 2 ans (Adams, 1987), à moins d'un renforcement préalable des fibres de papier par une induction de paraffine (Frochot et Lévy, 1986) ou de bitume (Haywood, 1999).

CONCLUSION

Le désherbage a clairement favorisé la croissance du merisier alors que tous les paillis biodégradables (à base de fibres naturelles ou de résine bioplastique) sélectionnés ont significativement amélioré les performances de croissance en hauteur et surtout, en diamètre de cette essence vigoureuse mais, sensible à la compétition herbacée pour l'eau du sol. L'usage d'un paillis fluide de bois déchiqueté composté est recommandé car il constitue une alternative efficace au désherbage chimique par le glyphosate et aux films ou voiles plastiques polluants. Les avantages économiques des produits de paillage doit être évalué en tenant compte de leur coûts d'achat, d'installation et de maintenance. Les produits biodégradables testés dans cette étude ne nécessitent pas de coûts supplémentaires de recyclage contrairement aux feuilles plastiques synthétiques.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le « Réseau Ferré de France » (projet « Structures Végétales Ecologiques - EO 2845 ») et le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche (dans le cadre du projet de recherche « Rétablissement et conservation des ressources forestières ») pour leur soutien financier. Nous sommes reconnaissants à Catherine Collet et Philippe Balandier pour leurs commentaires pertinents sur ce manuscrit et à Agnès Sourisseau, Pierre Gonin, Jérémy Paulus et Michel Chartier pour leur participation à la conception, l'installation et le suivi de terrain de cet essai.

BIBLIOGRAPHIE

- Adams J.C., 1997 - Mulching improve early growth of four oak species in plantation establishment. *S.J.A.F.*, 21, 1: 44-46.
- Athy E.R., Keiffer C.H., Stevens M.H., 2006 - Effects of mulches on seedlings and soil on a closed landfill. *Restoration Ecology*, 14, 2: 233-241.
- Baize D. et Girard M.C., 1998 - *Référentiel Pédologique*. Edition Quae, Paris, 406 p.
- Balandier P., De Montard F.X., Curt T., 2008 - Root competition for water between trees and grass in a silvopastoral plot of ten-year-old *Prunus avium*. In : *Ecological basis of agroforestry*, D.R. Batishi, R.K. Kohli, S. Jose and H.P. Singh, eds., CRC Press, Boca Raton, FL, USA, Chapter 13, 253-270.
- Balandier P., Collet C., Miller J.H., Reynolds P.E., Zedaker S.M., 2006 - Designing forest vegetation management strategies based on the mechanisms and dynamics of crop tree competition by neighbouring vegetation. *Forestry*, 79, 1: 3-27.
- Buclon F., 1971 - Bilan de 10 années de recherche et d'application de paillage plastique en France et dans le monde. *Plasticulture*, 10: 13-30; 11: 10-38.
- Chaar H., Mechergui T., Khouaja A., Abib H., 2008. Effects of treeshelters and polyethylene mulch sheets on survival and growth of Cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings planted in north western Tunisia. *Forest Ecology and Management*, 256: 722-731.
- Coll L., Balandier P., Picon-Cochard C., 2004 - Morphological and physiological responses of beech seedlings to grass-induced belowground competition. *Tree Physiol.*, 24: 45-54.
- Collet C., Frochot H., 1992 - Effet d'un abri latéral artificiel sur le développement de jeunes merisiers (*Prunus avium* L.) installés en pépinière. *Rev. For. Fr.*, 44: 85-90.
- Collet C., Ferhi A., Guehl J.M., Frochot H., 1993 - Growth, gas exchange and carbon isotope discrimination in young *Prunus avium* trees growing with or without individual lateral shelters. *Annals of Forest Science*, 50 (4): 353-362.
- Davies R.J., 1987 - *Trees and weeds: weed control for successful tree establishment*. Forestry Commission Handbook 2, 36 p.

Davies R.J., 1988a - Sheet mulching as an aid to broadleaved tree establishment. I. The effectiveness of various synthetic sheets compared. *Forestry*, 61, 2: 89-105.

Davies R.J., 1988b - Sheet mulching as an aid to broadleaved tree establishment. II. Comparison of various sizes of black polythene mulch and herbicide treated spot. *Forestry*, 61, 2: 107-124.

English B., 1994 - Biobased, biodegradable geotextiles: USDA Forest Service research Update. In: Steiner PR, comp. *Proceedings of the 2d Pacific Rim bio-based composites symposium*; November 6-9; Vancouver, Canada. Vancouver, B.C.: University of British Columbia, 2004-2012.

Feuilletoy P., Labiée J.-L., Mirabelle J.-F., Calmon A., 2001 - Matériaux biodégradables définition, classification, origines, mesure et contrôle de leur biodégradabilité. In: *Colloque Biomatériaux en Agriculture*, Auray, 14 et 15 juin, 11 p.

Forest Stewardship Council A.C., 2002 - FSC Principles and Criteria of Forest Stewardship, FSC-STD-01-001 (version 4-0) EN, first approved 1993; amended 1996, 1999, and 2002.

Fortier J., Messier C., Coll L., 2005 - La problématique de l'utilisation des herbicides en foresterie : le cas du Québec. *Vertigo - La revue électronique en sciences de l'environnement*.

Franç A., Ruchaud F., 1996 - *Autécologie des feuillus précieux : frêne commun, merisier, érable sycomore, érable plane*. Coll. Études du Cemagref, Gestion des territoires, 18, 170 p.

Frochot H., 1984 - Influence de *Festuca pratensis* sur le développement de jeunes peupliers. *7ème Coll. Int. Ecologie, Biologie et Systématique des Mauvaises Herbes*, COLUMA-EWRS : 307-313.

Frochot H., Lévy G., 1980 - Limiting factors of the juvenile growth of a wild cherry (*Prunus avium* L.) plantation on a calcareous soil. *Annales des Sciences Forestières*, 37, 3: 239-248.

Frochot H., Lévy G., 1986 - Facteurs du milieu et optimisation de la croissance initiale en plantations de feuillus. *Rev. For. Fr.*, 38, 3: 301-306.

Frochot H., Armand G., Gama A., Nouveau M., Wehrén L., 2002 - La gestion de la végétation accompagnatrice: état et perspective. *Rev. For. Fr.*, 54, 6: 505-520.

Geyer A.A., Atchison R.L., Carlisle J., 2006 - Evaluation of synthetic mulches on the establishment and growth of cottonwood. *Journal of Sustainable Agriculture*, 28, 1: 145-155.

Green D.S., Kruger E.L., Stanosz G.R., 2003 - Effects of polyethylene mulch in a short-rotation, poplar plantation vary with weed-control strategies, site quality and clone. *Forest Ecology and management*, 173: 251-260.

Guynn D.C., Guynn S.T., Wigley B., Miller D.A., 2004 - Herbicides and Forest Biodiversity: What Do We Know and Where Do We Go from Here? *Wildlife Society Bulletin*, 32, 4: 1085-1092.

Harper G.J., Comeau P.G., Biring B.S., Reid W.J., Fielder P., 1998 - A comparison of mulch mat and herbicide treatments for reducing grass competition in the IDFww. British Columbia, Ministry of Forests Research Program. *Extension Note*, 27, 7 p.

Haywood J.D., 1999 - Durability of selected mulches, their ability to control weeds, and influence growth of loblolly pine seedlings. *New Forests*, 18: 263-276.

Iles J.K. and Dosmann M.S., 1999 - Effect of organic and mineral mulches on soil properties and growth of Fairview Flame red maple trees. *Journal of Arboriculture*, 25, 3: 163-167.

Jordan K.K. and Jones S.C., 2006 - Invertebrate diversity in newly established mulch habitats in a Midwestern urban landscape. *Urban Ecosyst*, 10: 87-95.

Khan A.R., Chandra D., Quraishi S., Sinha R.K., 2000 - Soil aeration under different soil surface conditions. *J. Agronomy & Crop Science*: 185-112.

Kuehl R.O., 2000 - *Design of Experiments: Statistical Principles of Research Design and Analysis*. 2nd Edition. Pacific Grove, Calif.: Duxbury Press. XVI + 666 p.

Lambert F., Truax B., Gagnon D., Chevrier N., 1994 - Growth and N nutrition, monitored by enzyme assays, in hardwood plantation: effects of mulching and glyphosate application. *Forest Ecology and Management*, 70: 231-244.

Lapeyre B., 2007 - Evaluation de la biodiversité de la faune sous différents types de paillage de haies. Mémoire de DESUPS. Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 76 p.

Littell R.C., Milliken G.A., Stroup V.M., Wolfinger R.D., 1996 - *SAS® System for Mixed Models*. Cary, NC: SAS Institute.

McDonald P.M., Helgerson O.T., 1990 - Mulches aid in regenerating California and Oregon forest: past, present, future. *USDA Forest Service General Technical Report PSW-123*, Pacific Southwest Research Station.

McDonald P.M., Fiddler G.O., Harrison H.R., 1994 - Mulching to regenerate a harsh site: effect on Douglas-fir seedlings, forbs, grasses, and ferns. *Res. Paper PSW-RP-222*. Albany; Pacific South-west Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture: 10 p.

MCPFE, 1998 - Pan-European Operational Level Guidelines for Sustainable Forest Management: Annex 2 of the Resolution L2. *Third Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe*, 2-4 June, Lisbon/Portugal.

Minuto G., Pisi L., Guerrini S., Versari M., Capurro M., 2008 - Weed control with biodegradable mulch in vegetable crops. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 801, 291-298.

Nambiar E.K.S. and Sands R., 1993 - Competition for water and nutrients in forests. *Can. J. For. Res.*, 23, 10: 1955-1968.

Richardson B., Davenport N., Coker G., Ray J., Vanner A., Kimberley M., 1996 - Optimizing spot weed control: first approximation of the most cost effective spot site. *N. Z. J. For. Sci.*, 26: 265- 275.

Rose R. and Rosner L., 2005 - Eight-year response of Douglas-fir seedlings to area of weed control and herbaceous versus woody weed control. *Ann. For. Sci.*, 62: 481-492.

Saebo A. and Ferrini F., 2006 - The use of compost in urban green areas - A review for practical application. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4:159-169.

Samyn J. and de Vos B., 2002 - The assessment of mulch sheets to inhibit competitive vegetation in tree plantations in urban and natural environment. *Urban For Urban Green*, 1:25-37.

Siipilehto J., 2001 - Effect of weed control with fibre mulches and herbicides on the initial development of spruce, birch and aspen seedlings on abandoned farmland. *Silva Fennica*, 35, 4, 403-414.

Slick B.M. and Curtis W.R., 1985 - A guide for the use of organic materials. As mulches in reclamation of coal minesoils in the eastern United States. U.S. Department of Agriculture. *General technical Report NE-98*, 144 p.

Sourisseau A., 2004 - L'IDF teste des paillis biodégradables pour la SNCF. *Forêt-entreprise*, 157: 44-46.

Van Lerberghe P. et Gallois F., 1997a - Les objectifs cultureux du paillage et ses conséquences. *Forêt-entreprise*, 116 : 26-30.

Van Lerberghe P. et Gallois F., 1997b - Les différents types de paillis. *Forêt-entreprise*, 116 : 31-33.

Van Lerberghe P., 2004 - Le paillage des plantations ligneuses, une alternative au désherbage chimique. *Forêt-entreprise*, 157: 22-26.

Van Lerberghe P., Six S., 2004 - Devenir des fournitures plastiques à usage forestier. *Forêt-entreprise*, 157: 27-30.

Van Lerberghe P., 2004 - Les matériaux biodégradables manufacturés pour le paillage des arbres. *Forêt-entreprise*, 157: 31-34.

Van Lerberghe P., 2008 - Evaluation de produits de paillage biodégradables pour l'entretien des plants ligneux en végétalisation de dépendance autoroutière ASF. *IDF Toulouse, rapport final de convention*, 57 p.

Van Sambeek J.W. and Garrett H.E., 2004 - Ground cover management in walnut and other hardwood plantings. In: Michler C.H., Pijut P.M., Van Sambeek J.W., Coggeshall M.V., Seifert J., Woeste K., Overton R., Ponder F. Jr., eds. *Proceedings of the 6th Walnut Council Research Symposium*; Gen. Tech. Rep. NC-243. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station: 85-100.

Verbeke G. and Molenberghs G., 2001 - *Linear mixed models for longitudinal data*. Springer-Verlag New-York.