

Compte rendu d'installation du dispositif de la Celle d'Auvergne fin 2017 dans le cadre du projet Pilote

Objectifs

En comparaison avec une technique classique de sous-solage, plusieurs préparations de sol sont proposées.

Les objectifs sont de :

- minimiser l'éventuel impact de la compaction du sol par une préparation du sol ;
- observer les effets des travaux sur la végétation spontanée dont la concurrence sera à gérer selon l'ampleur du développement initial notamment la dynamique du genêt à balai ;
- mesurer les effets sur la croissance des plants ;
- limiter la concurrence proche du plant sur 2 ou 3 ans pour certaines techniques.

Données topographique et météorologique

La parcelle se trouve à 800 m d'altitude dont la partie prévue en expérimentation est plane avec une légère déclivité vers le Nord et vers le Sud créant une légère dépression en partie centrale. Il est à noter un talus prononcé au Sud-Ouest et surtout à l'Ouest de la surface parcourue.

Les températures moyennes annuelles sont de 9,4 °C (données Météorologie Nationale Aurehly de 1980 à 2010). La moyenne des températures extrêmes estivales sont voisines de 23 °C pour les mois de juillet et août. Les jours de gel sont supérieurs mensuellement à 15 jours pour les mois d'hiver.

Le cumul des précipitations est de 1020 mm. Il est de 240 mm pour les mois de juillet, août et septembre.

Description du sol



Photo P1050329 : Détail sondage tarière (Auteur C.VIDAL CNPF-IDF)

La texture est limoneuse (limon moyen) sur les 20 à 30 premiers centimètres. Ensuite, la texture limono-sableuse domine avec une apparition du sable (texture sablo-

limoneuse) entre 50 et 70 centimètres de profondeur. La pierrosité est très variable mais faible. Le passage de la tarière pédologique est peu gêné par la pierrosité. La prospection est possible jusqu'à 60 à 80 cm de profondeur. L'arrêt de la tarière est lié à la présence de pierre ou à une plus forte compacité.

Globalement, le terrain est acide. La roche mère est d'origine granitique. Le risque de déficit hydrique est faible étant donné la profondeur du sol. Il se confirme par l'état d'humidité correct du sol fin juin 2015 (même si la chaleur était plus importante pendant le mois de juillet) et les données météorologiques pour l'instant favorables.

La présence notable de limon sensibilise le sol au tassement. La preuve est donnée par l'exploitation récente où des voies de débardage qui traversent la parcelle décrite ont créé des ornières de plus de 50 cm de profondeur. Aucun engorgement du sol n'a été observé lors des différentes prospections à la tarière pédologique sauf pour un sondage où des taches de couleur rouille sont apparues à 70 cm de profondeur. La présence de hêtre confirme également cette absence d'hydromorphie à faible profondeur.

La fertilité est correcte étant donnée la hauteur totale des arbres.

En conclusion, nous nous trouvons sur des sols acides avec une bonne réserve en eau mais très sensible à la compaction.

Description peuplement, souches et rémanents et coupe rase



Photo P1060215 : Vue du peuplement en juin 2015 (Auteur C.VIDAL CNPF-IDF)

La parcelle décrite pour l'expérimentation est occupée par une futaie mélangée de pin sylvestre et de hêtre âgés d'environ 120 ans. Des hauteurs totales voisines de 30 m

sont atteintes. Le chêne pédonculé est présent par endroit. Sur dix sondages, la densité varie de 100 à 550 tiges par hectare avec une proportion équivalente de hêtre et de pin sylvestre. Il y a très peu de rémanents au sol malgré une ou deux grosses billes de chêne à terre tombées probablement lors de la tempête de décembre 1999. La coupe rase a été réalisée manuellement. Elle s'est arrêtée fin décembre 2015. Elle a repris au cours de l'été 2016 et s'est terminée début octobre 2016.



Photo P1060215: Exploitation en cours fin juin 2016 (Auteur C.VIDAL CNPF-IDF)

Après la coupe rase, quelques ornières parfois profondes sont présentes surtout dans la partie Sud de la zone expérimentée. Des inventaires complémentaires après la coupe rase confirment le même nombre de souches à l'hectare mais ils masquent la concentration de souches par bouquet pouvant avoisiner localement 1000 souches par hectare. Les souches exploitées ont une hauteur variable de 0,2 à 1,1 m (jumelles).

Description de la végétation présente avant la coupe rase

Dans l'étage arborescent, de 7 m jusqu'à plus de 20 m, le hêtre domine du fait de sa capacité à se développer à l'ombre.

Dans l'étage arbustif, le houx domine ou est présent dans 6 sondages sur 10 avec un recouvrement de 10 à 60 % de la surface inventoriée sous le couvert parfois dense du hêtre.

Dans la strate herbacée, la ronce des bois et la fougère aigle sont parfois présentes. Un seul point de sondage au nord de la surface inventoriée non loin d'une jeune plantation d'épicéa commun donne une forte présence de fougère (1,5 à 2 m) et de ronce (0,6 m) avec plus de 80 % de recouvrement.

Mises à part la ronce et la fougère aigle qui risquent de s'installer localement après le reboisement, il y a de fortes chances que le genêt à balai colonise la parcelle. Même

si le houx est souvent présent, la mise en lumière va probablement entraîner la diminution de sa dynamique de colonisation.

Proposition de reboisement

Dans la perspective d'un reboisement au printemps 2017, il est proposé une plantation pure en douglas à une densité d'environ 1360 plants par hectare cadastrale soit 1240 plants par hectare en prenant en compte les andains. Les écartements entre les lignes sont de 3,2 mètres et de 2,3 mètres sur la ligne.

L'important orniérage (convergence des chemins de débardage) sur une partie de la parcelle, la présence de souche localement dense et parfois haute n'ont pas permis de proposer une modalité sans nettoyage.

Il est proposé 5 modalités de préparation de sol avec un andainage et un dessouchage au préalable sur une surface de 4 hectares avec une emprise d'environ 5 hectares (voir plan en annexe 1) :

- modalité 1 = sous-solage avec la dent+rateau Bertrandie monté sur une pelle de 27 t avec ses équipements (0,7 hectare) méthode expérimentale non employée par l'entreprise réalisant les travaux;
- modalité 2 = bande travaillée et décompactée (1 hectare) avec un outil récent le Deltasol d'Alliance Forêts Bois (tracteur 160 ch) ;
- modalité 3 = bande décompactée et travaillée avec le Culti 3B (1 hectare) de chez Becker avec un tracteur de 220 ch ;
- modalité 4 = travail localisé à l'endroit des futurs plants au sous-soleur multifonction (1 hectare) de chez Becker monté sur une mini-pelle ;
- modalité 5 = sous-solage avec un sous-soleur double rang (1 hectare) de conception Bertrandie tracté par un tracteur de 220 ch méthode classique utilisée sur la globalité du chantier de reboisement.

Nettoyage



Photo N1443 : Arrachage puis déchetage des souches lors d'un premier passage (Auteur C.VIDAL CNPF-IDF)

Selon la volonté des propriétaires un andainage et un dessouchage ont été réalisés sur une surface de 10 hectares environ par l'entreprise creusoise Bertrandie du 27 septembre au 18 octobre 2016. Cette entreprise a confectionné son propre outil constitué d'une dent de dessouchage de 1,2 m et monté sur une pelle de 25 t. Cette dent arrache les souches et les déchiquette ensuite grâce à une contrelame fixée sur

le balancier. Les souches arrachées sont laissées sur place ou déposées à l'endroit des futurs andains lors d'un premier passage.

L'andainage s'effectue lors d'un deuxième passage grâce au râteau de 2,5 m fixé à l'opposé de la dent. Ce râteau est équipé de 6 dents longues de 1 m environ dont les extrémités sont aplaties pour limiter probablement la pénétration dans le sol. Des andains distants de 21 m d'axe en axe ont été réalisés. Cela correspond à une distance de 17 m du bord de l'andain à l'autre. Cette largeur permet d'installer 6 lignes de plant par interandain. Les andains ont une largeur de 3,9 m et une hauteur totale moyenne de 1,5 m. L'entreprise optimise la portée de la pelle de 9 m pour repousser les branches et les souches de part et d'autre du passage des chenilles. Le passage des chenilles est conservé et centré dans chaque interandain.

Le sol a été fortement ameubli dans les zones de dessouchage. Le râteau n'a pas ratissé au-delà de 10 cm de profondeur. La projection de la terre de part et d'autre des dents donne l'impression d'un sol travaillé sur 20 cm de profondeur.

Ce travail est réalisé pour un montant de 1150 € HT / ha. Même si cette technique est perturbatrice au niveau du sol, elle est nécessaire si le souhait est de sous-soler avec des outils tractés par un tracteur. Dans le cas de l'absence de dessouchage, les systèmes de charrues non-stop ne donnent pas un travail satisfaisant surtout dans le cas de cette parcelle exploitée où le nombre de souches est de 500 à l'hectare. Dans les méthodes d'arasage avec andainage, l'entreprise Bertrandie n'a pour l'instant pas de solution de préparation de sol.



Photo N1443 : Andainage des branches et des souches lors du deuxième passage (Auteur C.VIDAL CNPF-IDF)

Précision sur le chronométrage et les coûts de revient techniques

Le temps de travail du sol sur la ligne de plantation, les tournières et les déplacements pour passer d'un interandain à un autre correspondent au temps de « travail productif » de la machine. C'est la ligne en gras et en rouge dans le tableau de l'annexe

2 et 3. Dans le temps global du chantier s'ajoute au temps de « travail productif » le temps de jalonnement, les petites pauses. (cf annexe protocole de suivi de chantiers de reboisement SH01062017).

Le coût de revient technique (sources P. Ruch FCBA et E. Ulrich ONF) d'une machine comprend les charges fixes de la machine (amortissement, crédit assurances), les frais de fonctionnement de cette machine (carburant, lubrifiant, entretien, réparations frais de transfert entre chantiers) et les frais lié au chauffeur (salaires, charges, frais de déplacement). Le total final des coûts de revient technique prend le temps global du chantier.

Le prix de vente comprend :

- le coût de revient technique de la machine ;
- les frais de structure de l'entreprise (loyer, salaire personnel d'encadrement) ;
- la marge de l'entreprise modulable selon la négociation entre le client et le prestataire.

Comme les coûts horaires des deux tracteurs intervenant dans les préparations de sol sont différents. Il n'y a pas de certitude que les coûts horaires transmis par chaque entreprise utilise un calcul identique au coût de revient technique. Il a été choisi d'appliquer de manière plus ou moins arbitraire le coût de revient technique à 75 € HT. Il est admis que les coûts horaires de 100 € HT pour la pelle de 25t de l'entreprise Bertrandie et de 70 € HT pour la mini-pelle de 3,5t de l'entreprise Frédéric Thévenon sont des coûts de revient techniques.

De la même manière pour les planteurs, il a été appliqué un coût de revient technique de 30 € HT de l'heure. Le temps de « travail productif » correspond au temps de :

- plantation (mise en place du plant, déplacement d'un plant à un autre) ;
- déplacement dans le chantier pour remplir les sacs de plants ;
- habillage des plants.

Dans le temps global du chantier s'ajoute les petites pauses et le jalonnement.

Préparation avec la dent Bertrandie montée sur pelle de 25 t (modalité 1)

Initialement, il était prévu de faire une scarification grâce au râteau d'andainage monté avec la dent Bertrandie. La position du râteau n'était pas l'idéal pour une scarification. L'épaisseur des dents à l'extrémité limitait la pénétration dans le sol.

Le choix a été d'utiliser la dent de dessouchage pour décompacter le sol au niveau des futures lignes plantées. Le travail a été réalisé dans des conditions idéales d'humidité du sol le 11 octobre 2016. Le passage des chenilles centré à chaque interandain servait de repère. Un coup de dent a été donné tous les 1,3 m à une profondeur maximale de 1 m. La progression se fait en marche arrière. Cette dent fait un mouvement en direction de la pelle sur 0,75 m et entraîne un soulèvement de la terre sur les 0,75 m suivants. La pelle de 25 t réalise les 6 lignes en 1 seul passage.

Comme la dent crée des cavités de 0,5 m de long et de 1 m de profondeur, il a été nécessaire de reboucher ces trous en ratissant avec le râteau. L'ancien passage des chenilles est également passé au râteau. La modalité se trouve à l'entrée de la parcelle fortement compactée par les engins d'exploitation.

Après chronométrage, **un temps de « travail productif » par hectare de 3h34** est nécessaire sans prendre en compte les temps de pause. **Le coût de revient technique pour le chantier peut être calculé à 369 € HT / ha.**

Ce coût confirme le choix économique plus opportun par l'entreprise Bertrandie d'opter pour un sous-solage avec un tracteur (voir modalité 5).



Photo N1617: Sous-solage avec la dent Bertrandie (Auteur C.VIDAL CNPF-IDF)

Préparation en bande avec l'outil Deltasol d'Alliance Forêts Bois (modalité 2)

Les travaux ont pu être réalisés le 14 décembre 2016 avec des conditions idéales d'humidité de sol plus propice par rapport aux travaux préparatoires d'octobre 2016. Le Deltasol® est un nouvel outil (sortie juin 2016) plus compact qui remplace la charrue bidisque d'Alliance Forêts Bois. Une dent de sous-solage a été ajoutée à l'avant de l'outil. Deux disques billonneurs créent une bande travaillée de 1 m de large et rebouchent rapidement la raie sous solée. Puis 7 disques émietteurs motorisés retravaillent la partie billonnée et tasse un peu la terre en créant un billon haut de 0,2 m. Les systèmes racinaires de houx et de hêtre s'entrelace parfois dans les disques. Il est parfois nécessaire d'arrêter le tracteur pour débarrasser les racines par une rotation inverse des disques. Tout ce travail se réalise en un seul passage.

Alliance Forêts Bois a affrété un tracteur avec l'outil monté au préalable ainsi qu'un chauffeur expérimenté. Mis à part le temps d'adaptation aux conditions de terrain, il n'y a pas eu de temps d'adaptation à l'outil par le chauffeur.

Pour les mêmes raisons évoquées dans le chapitre suivant au sujet du Culti 3B®, l'outil ne peut travailler que dans l'axe du tracteur. Seules les quatre lignes du milieu de l'interandain ont été travaillées.



Photo N1919: Passage du Deltasol[®] sur la quatrième ligne (Auteur C.VIDAL CNPF-IDF)

Le chronométrage du temps de « travail productif » correspond à un temps de 1h13. Les tournières occupent 30 % du temps de ce travail effectué. Le coût de revient technique du chantier est évalué à **174 € HT par hectare**. Les temps de jalonnement et les déplacements dans le chantier sont inclus.

Le tracteur possède une barre fixée à l'horizontale munie d'une chaîne et d'une barre verticale faisant office de fil à plomb pour repérer la ligne précédente. Dans le cas du chantier andainé, il suffit de refaire l'alignement dans chaque interandain. Comme 4 lignes étaient déjà jalonnées au préalable dans le cadre de l'expérimentation, seul le quart du temps du jalonnement a été pris en compte.

Préparation en bande avec Culti 3B[®] Becker-Grenier&Franco (modalité 3)

Les travaux ont été effectués le 27 octobre 2016. Depuis le 11 octobre 2016, des pluies modérées (10 à 20 mm) ont humidifié le sol surtout en surface. Même si les conditions de sol n'étaient pas l'idéal par un léger patinage des pneus du tracteur surtout au second passage, le travail du sol a bien ameubli la terre dans la partie en billon. Le Culti 3B[®] est un outil adapté pour les sols hydromorphes. Ici le sol est sain et la création du billon n'est pas nécessaire. A des fins expérimentales pour pouvoir comparer avec d'autres sites Pilote utilisant le même outil, le choix a été de réaliser le double passage pour créer le billon. Dans les sols sains, l'outil pourrait être adaptable en changeant l'orientation des disques afin de réaliser un travail du sol à la place du billon lors d'un unique passage.

Le billon a une hauteur d'environ 40 cm de haut, la bande travaillée est large de 1,6 m. L'outil ne pouvant être déporté d'un côté ou de l'autre de l'axe du tracteur, le travail du sol en bord d'andain était trop éloigné de la limite de l'andain. Le tracteur de 220 ch

avait une largeur de 2,7 m au niveau des roues arrière. Le sous-solage était réalisé à un minimum de 1,4 m du bord de l'andain. Seule la première ligne au sud à proximité de l'andain dans le premier interandain de la modalité a été travaillée avec un unique passage.



Photo N1671: Premier passage avec le Culti 3B® (Auteur C.VIDAL CNPF-IDF)

Comme le choix est de planter à 0,5 m du bord de l'andain pour limiter l'écartement entre les lignes de part et d'autre de cet andain à 4,5 m, le travail du sol en bord d'andain s'avère inutile. Il compliquera le travail du planteur car le passage des pneus en bord d'andain se trouve à l'emplacement des futurs plants.

Le choix a été pris de ne travailler que les quatre lignes du milieu de l'interandain.

Le chauffeur de l'entreprise Bertrandie a conduit le tracteur pesant 10 t soit 12.2 t avec le Culti 3B®. Jean Pierre Franco de l'entreprise Grenier et Franco était présent pour le réglage de l'outil et donner les instructions pour un usage optimal du Culti 3B®. Comme préconisé le premier passage a été fait à 3 km/heure et le second à 6 km/heure. Le billon a été correctement réalisé.

Même si le chauffeur a fait quelques arrêts pour relever la dent, la quantité de racines surtout de hêtre et de houx n'a pas gêné le travail du sol.

Les chronométrages ont été ramenés à l'hectare avec 6 lignes travaillées. Les temps de travaux par interandain varient de 1h35 à 2h00 soit un écart de 21 %. Cet écart correspond à une meilleure maîtrise de l'outil par le chauffeur lors du passage dans le deuxième interandain. Le temps en « travail productif » pour les 2 interandains préparés est **de 1h53 par hectare**. En cumulant les temps de passage et de jalonnement, le temps de travail est d'environ 5 h00 par hectare. Cela correspond à un **coût de revient technique par hectare de 377 € HT**. En comparaison avec la fiche technique du Culti 3B® où un temps moyen de 2 hectares par jour est calculé, l'outil a évolué un peu plus lentement dans ce chantier avec 20 % de temps en plus. La fiche technique n'aborde pas les chantiers suite à un andainage où les temps de passage d'un interandain à l'autre sont à prendre en compte.

Préparation en potet au sous-soleur multifonction® Becker (modalité 4)



Photo N1791: Réalisation d'un potet (Auteur C.VIDAL CNPF-IDF)

Les travaux ont été réalisés les 06 et 07 décembre 2016 dans de bonnes conditions d'humidité de sol par l'entreprise Frédéric Thévenon. Un temps anticyclonique avec des brouillards givrants pouvant descendre à des températures de - 4°C à - 7°C s'est installé depuis une semaine. La dissipation du brouillard ces derniers jours a permis d'avoir des températures positives en cours de journée. La surface du sol étant sèche, il n'y a pas eu de phénomènes de croûtes gelées en surface qui aurait pu nuire à la qualité du travail du sol.

La mini-pelle a travaillé en même temps sur deux lignes pour confectionner les potets de 1m². Il n'était pas possible de travailler sur trois lignes étant donné l'écartement entre les lignes légèrement supérieur à 3 m. De plus, il n'y a pas de gain de temps entre le travail sur deux lignes et celui sur trois lignes. Le gain de temps en déplacement pour la deuxième méthode est perdu dans la confection des potets sur 3 lignes qui sont plus pénibles à réaliser par le balancement latéral de la cabine. Le temps de « travail productif » est **de 8h00 par hectare**. En prenant en compte le jalonnement réalisé par le chauffeur selon la progression de la machine le temps passé sur le chantier est de 11h00 soit un **coût de 769 € HT par hectare**. Le temps de jalonnement fait au préalable est également pris en compte pour la moitié du temps.

Préparation en ligne au sous-soleur 2 rangs Bertrandie (modalité 5)



Photo P1060867: Passage sous-soleur 2 rangs Bertrandie au bord de l'andain (Auteur C.VIDAL CNPF-IDF)

Les travaux ont été réalisés le 27 octobre 2016 par l'entreprise Bertrandie. Un tracteur de 220 ch de 10 t tracte 2 dents espacées de 3,2 m et montées sur une barre de gros diamètre. L'outil pèse environ 1 t. L'entreprise Bertrandie conçoit des outils robustes pour leur propre usage. Les dents sont hautes de 55 cm et longues de 20 cm, le concepteur s'est inspiré de la dent ripper avec la possibilité de changement des pointes lorsqu'elles sont usées.

Les dents ont réalisé un travail à une profondeur moyenne de 35 cm. La dérayure est large d'environ 30 cm et crée des bourrelets de terre de part et d'autre sur une largeur de 30 cm. Le sol est perturbé sur un peu moins de 1 m de large. Les racines de hêtre et de houx s'accumulent à l'avant des dents ce qui nécessite le relevage de l'outil de temps en temps.

Le tracteur avance à une moyenne de 6 km/h. Comme l'outil travaille 2 lignes en même temps, cela donne l'impression que le tracteur avance 2 fois plus vite. Le chauffeur n'a pas besoin de piquetage préalable car ses repères sont les andains. Les deux premiers passages sont réalisés au bord de chaque andain. Le troisième passage se fait au milieu de l'interandain en se calant sur le passage des chenilles de la pelle qui a réalisé le nettoyage.

Comme le chauffeur maîtrise depuis longtemps l'outil, il y a peu de différence de temps de travaux entre chaque interandain. **Cela revient à un temps de « travail productif » à l'hectare de 31 minutes.**

Sur les 6,55 hectares préparés de la même manière sur ce chantier de reboisement, il a fallu 3 heures soit 28 minutes par hectare. Cela correspond bien au temps de travail

habituellement réalisé par l'entreprise. Le chauffeur table sur une demi-heure par hectare et confirme le chronométrage réalisé. Cette technique va 4 fois plus vite que la méthode Culti 3B[®]. **Le coût de revient technique à l'hectare est de 38 € HT.**

Conclusion sur la préparation du sol (tableau annexe 2)

Dans un contexte d'andainage avec dessouchage et d'un point de vue économique, le sous-soleur a deux rangs est le plus efficace et le plus économique. Il concilie la rapidité d'exécution par la préparation de deux lignes en un seul passage et l'absence de jalonnement. Cela est conditionné par un nettoyage soigné et régulier. Le travail est bien maîtrisé dans le cadre de ce chantier avec la méthode classique car c'est le même chauffeur qui conduit la pelle lors du nettoyage ou le tracteur lors du sous-solage. Comme les dents sont déportées au-delà des deux roues arrière du tracteur, la préparation est possible en bordure d'andain.

Ce n'est pas le cas des deux outils suivants qui travaillent dans l'axe du tracteur soit entre 1,1 et 1,3 m du bord de l'andain. Les deux autres outils tractés par un tracteur le Deltasol[®] et le Culti 3B[®] réalisent deux ou trois opérations (sous-solage, billonnage et émiéttage). Ils ne sont donc pas adaptés aux chantiers andainés sauf si le choix est de ne pas travailler les bords d'andain. Des descriptions plus fines permettraient de voir la qualité du travail du sol entre ces deux outils.

Du fait d'un passage unique et malgré un temps de tournières plus important que le Culti 3B[®], le Deltasol[®] met deux fois moins de temps à faire le travail du sol (temps des passes du tracteur sur la ligne).

En rappel, le deuxième passage du Culti 3B[®] était inutile dans le cas de ce chantier. Des essais suivis par l'ONF démontrent que le travail du sol était amélioré lors du deuxième passage du Culti 3B[®]. Le passage des tracteurs supérieurs à 10 t avec leur outil et leur équipement amène à être très vigilant sur la portance des sols. Le Culti 3B[®] est adaptable à tout type de tracteur à condition qu'il soit au minimum de 160 ch. Cela a été prouvé dans le cadre de ce chantier.

Sans perdre à l'esprit qu'un sol ressuyé permet de faire un travail du sol correct, la mini-pelle a l'avantage de pouvoir circuler dans n'importe quelle condition. Sans surprise, l'emploi de cet outil reste le plus onéreux. Elle a pour but de servir de comparaison avec d'autres outils de travail du sol comme les outils tractés qui ont des vitesses supérieures de travail. Ceux-ci n'ont pas la même qualité de travail du sol ainsi que l'élimination des graines en surface et des racines concurrentes en profondeur. La mini-pelle équipée du sous-soleur multifonction[®] a une grande souplesse d'utilisation, elle a notamment pu faire un sous-solage en bord d'andain dans les interandains où il n'était pas possible de faire un travail du sol dans ces zones avec l'outil prévu.

La modalité avec une pelle de 27 t avec son outil est onéreuse. Elle correspond à une technique expérimentale dont le chauffeur n'avait pas l'habitude de réaliser. L'outil est inadapté même s'il y a une décompaction au-delà de 1 m de profondeur, le sol en surface n'était pas suffisamment ameubli. Un râteau scarificateur avec des dents étroites et longues d'au moins 50 cm aurait permis de faire ce travail. L'entreprise Bertrandie n'était pas équipée de ce type d'outil. Il aurait fallu déplacer une nouvelle pelle ou un outil adéquat et disponible. La surface de 0,7 hectare et la cohérence de profiter de l'engin sur place ont été des arguments en faveur de l'outil Bertrandie.

Il est à remarquer que tous ces outils de préparation de sol profitent d'un sol nu. Seul le sous-soleur multifonction[®] est capable de gérer une végétation présente. Les autres outils sont pour la plupart inadaptés dans le cas d'une végétation concurrente présente surtout en tapis continu.

Plantation des différentes modalités (tableau annexe 3)

La plantation a pu être réalisée du 03 avril au 06 avril 2017. Malgré un assèchement superficiel, le sol était suffisamment frais. Les températures étaient douces et s'échelonnaient de 3°C à 13°C avec un temps ensoleillé en début de semaine entrecoupé de passage nuageux et parfois du brouillard. Un vent constant du Nord léger à moyen a soufflé pendant cette semaine.

Arraché en pépinière le 31 mars 2017, les plants ont été livrés le 1^{er} avril et mis en cave jusqu'à la plantation. Les douglas racines nues du verger Washington 2 proviennent des pépinières Jobin (0,45 € HT par plant), ils sont âgés de 3 ans (2+1). Ils sont traités avec du répulsif à gibier en pépinière, le Trico (produit à base de graisse de mouton) pour 0,1 € HT par plant. Quelques boursoufflures sont observables au collet et sont liées à un traitement herbicide en pépinière. Ces 6200 plants provenant de la même planche ont alimenté tout le dispositif expérimental.

La plantation a été réalisée par l'entreprise Pierre Terrade. Deux planteurs étaient présents. Ils ont été suivis par deux chronométrateurs sur la totalité du chantier concerné par le dispositif expérimental. Les systèmes racinaires étant suffisamment réduits, il y a eu très peu d'habillage des plants.



Photo N2122 : Plantation sur la bande travaillé par le Deltasol® (Auteur C.VIDAL CNPF-IDF)

Les deux planteurs ont des temps de plantation similaires dans chaque modalité. Les planteurs ont passé comme prévu plus de temps dans les zones travaillées ou irrégulièrement travaillées (modalité 1). Un deuxième coup de pioche était systématiquement nécessaire pour mettre en place les plants. Entre ces deux modalités, il y a un écart de 1 seconde par plant en prenant en compte la plantation et les déplacements pour remplir les sacs (ligne en gras et en rouge dans le tableau de l'annexe 3). Dans la modalité 1, les zones ameublées proche du passage de la dent a

facilité ponctuellement la plantation. Au final le coût de revient technique à l'hectare du chantier est similaire avec 269 € / ha pour le témoin et 266 € / ha pour la modalité 1.

A l'opposée, les potets de 1 m² ont été le plus rapidement plantés, comme la végétation est peu présente, l'inquiétude était que le planteur ne puisse pas voir le centre du potet 4 mois après. Comme le jalonnement a été refait, les planteurs n'ont pas apportés de remarques à ce sujet. Il est à signaler que la mini-pelle en circulant un interligne sur deux a peu bougé les bambous de repérage diminuant en conséquence le temps de jalonnement après la préparation du sol. Le temps par plant est de 14 secondes soit 4 secondes de moins par plant par rapport au témoin. Le coût de revient technique à l'hectare est 163 €. Cela amène à un écart de 103 € HT / ha par rapport à la modalité témoin.

Ensuite les bandes travaillées sont plus facilement plantées avec 13 secondes par plant. Le coût de revient technique à l'hectare des modalités Culti 3B[®] et Deltasol[®] est similaire soit respectivement 158 et 171 € HT. Cet écart correspond à des temps de pauses supplémentaires pour la modalité 3 avec le Culti 3B[®]. Le planteur marche sur le billon dont la terre est meuble ce qui diminue sa progression. Dans le cas du potet de 1m², le sol est stable entre les potets et il est inutile faire un repérage avec les pas pour l'écartement des plants sur la ligne.

Le chronométrage de la plantation dans le sous-solage à deux rangs améliore par rapport au témoin le temps de plantation de 2 secondes par plant soit 14 secondes. Cela revient à un coût de revient technique à l'hectare de 176 € / ha soit un écart de 93 € HT avec le témoin. L'écart est réduit à cause du coût du jalonnement dans le témoin. Cet écart est de 13 € HT / ha seulement avec les potets de 1 m². Le planteur est obligé de progresser en parallèle de la raie de sous-solage et de descendre dans cette raie pour pouvoir planter. Selon les planteurs, la raie de sous-solage est trop large et trop profonde. D'ailleurs l'entreprise Pierre Terrade possède 1 sous-soleur à deux rangs avec des dents moins larges.

Après la plantation, le plant se trouve souvent à 10 cm en dessous du niveau du sol. Par contre avec les méthodes de travail du sol en bande, les plants se trouvent entre 10 et 30 cm au-dessus du niveau initial du sol cela les expose plus aux aléas climatiques (gels et sécheresse). Pour les autres modalités les plants sont au niveau initial du sol.

Selon l'entreprise Pierre Terrade, il faut compter en moyenne environ un tiers de temps en jalonnement sur le temps du chantier de plantation quand il n'y a aucune préparation de sol. Le témoin et la modalité 1 avec 38 % respectent à peu près cette proportion. Après avoir planté toutes les modalités, chaque planteur a classé les préparations de sol selon leur impression de la facilité de planter.

Le classement commun du plus facile au plus difficile est le suivant :

- le Deltasol[®] (modalité 2) ;
- le Culti 3B[®] (modalité 3) ;
- le sous-soleur multifonction[®] (modalité 4) ;
- le sous-soleur à deux rangs (modalité 5).

Les impressions et les temps de chronométrage peuvent donner des différences concernant le sous-soleur multifonction[®] qui passe de la première place à la troisième place.

Cumul des différentes opérations de reboisement (tableau annexe 4)

Dans ce cumul des coûts des travaux, les montants liés au nettoyage et aux plants sont constants et correspondent à des prix de vente.

Seuls les coûts de revient techniques des travaux de préparation et de plantation varient selon les modalités. La fourchette des coûts de revient techniques par hectare est de 2041 € HT à 2759 € HT.

La modalité 5 qui correspond à la méthode classique du chantier de reboisement est la moins chère juste devant le témoin.

Les préparations en bande suivent avec un écart de 150 à 300 € HT pour le coût total soit un coût de revient techniques par hectare de 2159 € HT pour le Deltasol® et 2375 € HT pour le Culti 3B®. La modalité 1 avec la pelle de 25 t est en avant dernière position. Elle précède la modalité 4 avec le sous-soleur multifonction® qui a le coût de revient technique le plus élevé.

ANNEXE 2 : Chronométrage des préparations de sol par modalité et coût de revient techniques– La Celle d’Auvergne (63)

Densité 1360/ha sans andain et 1230 / ha avec andain

	Témoïn (0,2 ha)				Modalité 1 (0,7 ha)				Modalité 2 (0,90 ha)				Modalité 3 (0,86 ha)				Modalité 4 (1,00 ha)				Modalité 5 (1,05 ha)							
	Sans préparation de sol				Dent Bertrandie Pelle 25t				Charrue Deltasol Alliance Forêts Bois sous solage+travail superficiel				Charrue Culti3B Becker sous solage+travail superficiel				Potet 1m ² sous soleur multifonction Becker mini-pelle 3,5 t				Charrue sous-soleur 2 rangs Bertrandie							
Porte outil					Pelle Caterpillar CAT 325 EL 26,5 t 180 ch				Tracteur John Deere 6930 premium 16 t 160 ch				Tracteur CASE IH 7220 13 t 220 ch				Mini-pelle Kubota KX71-3 3,4 t				Tracteur CASE IH 7220 13 t 220 ch							
Coût horaire (homme + machine) en € HT					100				75				75				70				75							
Type travail	Heures décima les / ha	Coût € HT/ha	Heures décima les / km linéaire	Coût € HT / km linéaire	Heures décima les / ha	Coût € HT/ha	Heures décima les / km linéaire	Coût € HT / km linéaire	Heures décima les / ha	Coût € HT/ha	Heures décima les / km linéaire	Coût € HT / km linéaire	Heures décima les / ha	Coût € HT/ha	Heures décima les / km linéaire	Coût € HT / km linéaire	Heures décima les / ha	Coût € HT/ha	Heures décima les / km linéaire	Coût € HT / km linéaire	Heures décima les / ha	Coût € HT/ha	Heures décima les / km linéaire	Coût € HT / km linéaire				
Passe 1									0,72	54	0,27	20	0,85	63,98	0,32	24,22					0,37	28	0,13	10				
Passe 2													0,49	37,00	0,19	13,99												
Tournières									0,36	27	0,13	10	0,37	28,07	0,14	10,65					0,04	3	0,01	1				
Total passes									0,72	54	0,27	20	1,35	101	0,51	38					0,37	28	0,13	10				
Passage interandain									0,12	9	0,05	7	0,16	8	0,06	3					0,03	1	0,01	1				
Total passes + tournières + passage inter.					3,57	357			1,21	90	0,45	37	1,88	137	0,71	52	8,16	571	26	0,50	0,44	32	0,16	12				
Déplacement place de dépôt à modalité					0,12	12			0,09	7			0,10	7			0,08	6			0,08	6						
Piquetage									0,91	68			3,10	233			1,63	114										
Piquetage au cours travaux									0,11	8							0,88	62										
Entretien courant (graissage, plein)																	0,23	16										
Total chantier*					3,69	369			2,31	174			5,07	377			10,99	769	30	0,58	0,52	38						

Piquetage à 2 personnes des linéaires 2 à 5 (bord d'andains non piqueté) avec des bambous de 1,5 m temps en homme heure

*Déplacements entreprise au chantier, pause déjeuner, déchargement rechargement machine non pris en compte mais intégré dans le coût de revient technique machine + conducteur

ANNEXE 3 : Chronométrage des plantations des différentes modalités et coût de revient technique – La Celle d’Auvergne (63)

Densité 1360/ha sans andain 1231 / ha avec andain

Coût horaire homme : 30 € HT

Type travail	Planteur	Témoïn (0,2 ha)				Modalité 1 (0,7 ha)				Modalité 2 (0,85 ha)				Modalité 3 (0,81 ha)				Modalité 4 (0,95 ha)				Modalité 5 (1,00 ha)			
		Heures décimale s / ha	Coût € HT/ha	seconde / plant	Coût € HT / plant	Heures décimale s / ha	Coût € HT/ha	seconde / plant	Coût € HT / plant	Heures décimale s / ha	Coût € HT/ha	seconde / plant	Coût € HT / plant	Heures décimale s / ha	Coût € HT/ha	seconde / plant	Coût € HT / plant	Heures décimale s / ha	Coût € HT/ha	seconde / plant	Coût € HT / plant	Heures décimale s / ha	Coût € HT/ha	seconde / plant	Coût € HT / plant
Plantation	1		0	14	0,12		0	12	0,10		0	9	0,08		0	11	0,09		0	11	0,09		0	12	0,10
Déplacement (ligne)	1		0	2	0,02		0	2	0,01		0	1	0,01		0	1	0,01		0	1	0,00		0	1	0,01
Déplacement (ravitaillement plants)	1		0	0	0,00		0	1	0,01		0	0	0,00		0	0	0,00		0	1	0,01		0	1	0,01
Plantation + déplacement	1		0	17	0,14		0	14	0,12		0	11	0,09		0	13	0,10		0	12	0,10		0	14	0,12
Plantation	2		0	14	0,11		0	13	0,11		0	10	0,09		0	11	0,09		0	11	0,09		0	12	0,10
Déplacement (ligne)	2		0	2	0,02		0	2	0,01		0	1	0,01		0	1	0,01		0	0	0,00		0	1	0,00
Déplacement (ravitaillement plants)	2		0	0	0,00		0	1	0,01		0	2	0,02		0	1	0,01		0	1	0,01		0	2	0,01
Plantation + déplacement	2		0	16	0,13		0	16	0,13		0	13	0,11		0	13	0,11		0	12	0,10		0	14	0,12
Plantation	1+2	4,80	144	14	0,12	4,30	129	13	0,10	3,41	102	10	0,08	3,78	114	11	0,09	3,64	109	11	0,09	4,15	125	12	0,10
Déplacement (ligne)	1+2	0,74	22	2	0,02	0,53	16	2	0,01	0,42	13	1	0,01	0,31	9	1	0,01	0,18	5	1	0,00	0,23	7	1	0,01
Déplacement (ravitaillement plants)	1+2	0,00	0	0	0,00	0,38	11	1	0,01	0,44	13	1	0,01	0,29	9	1	0,01	0,40	12	1	0,01	0,45	13	1	0,01
Plantation + déplacement	1+2	5,54	166	16	0,14	5,21	156	15	0,13	4,28	128	13	0,10	4,38	131	13	0,11	4,21	126	12	0,10	4,83	145	14	0,12
Petites pauses	1+2	0,00	0	0	0,00	0,07	2	0	0,00	0,29	9	1	0,01	0,61	18	2	0,01	0,83	25	2	0,02	1,04	31	3	0,03
Piquetage		3,42	103	10	0,08	3,42	103	10	0,08	0,69	21	2	0,02	0,70	21	2	0,02	0,40	12	1	0,01	0,00	0	0	0,00
Total modalité*		8,96	269	26	0,22	8,86	266	26	0,21	5,25	158	15	0,13	5,69	171	17	0,14	5,44	163	16	0,13	5,87	176	17	0,14

Piquetage à 2 personnes des linéaires 2 à 5 (bord d'andains non piqueté) avec des bambous de 1,5 m temps en homme heure

*Déplacements entreprise au chantier, pause déjeuner, gestions des plants avant chantier non pris en compte

ANNEXE 4 : Coût en € HT des différentes opérations de reboisement par modalité – La Celle d’Auvergne (63)

Densité :

1231 / ha avec andain

	Témoin	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3	Modalité 4	Modalité 5
	0,2 ha	0,7 ha	0,85 ha	0,81 ha	0,95 ha	1,00 ha
	Sans préparation de sol	Dent Bertrandie Pelle 25t	Charrue Deltasol AFB sous solage+travail superficiel	Charrue Culti3B Becker sous solage+travail superficiel	Potet 1m ² SSMF Becker mini-pelle 3,5 t	Charrue sous-soleur 2 rangs Bertrandie
Type travail	Coût € HT/ha	Coût € HT/ha	Coût € HT/ha	Coût € HT/ha	Coût € HT/ha	Coût € HT/ha
Nettoyage*	1150	1150	1150	1150	1150	1150
Préparation	0	369	174	377	769	38
Plantation	269	266	158	171	163	176
Plant*	677	677	677	677	677	677
Total modalité	2096	2462	2159	2375	2759	2041

* prix de vente proposé par l'entreprise