

## **ARTICLE POUR LA REVUE *INGENIERIES - EAT* (revue du Cemagref) 2005**

### **Les plantes de couverture : contrôler la végétation en limitant l'utilisation des herbicides en forêt.**

Auteurs : Provendier Damien , Balandier Philippe, Agnès Sourisseau

Quelle que soit la technique utilisée pour reboiser un terrain (semis, plantation voire régénération), le gestionnaire est toujours confronté au choix d'une méthode de contrôle de la végétation herbacée. En effet, les arbres lors de leurs premières années de développement se retrouvent en concurrence avec de nombreuses espèces herbacées fortement compétitives pour les principales ressources du milieu (eau, lumière, élément minéraux), cette compétition diminuant ensuite avec le développement des arbres et la séparation des zones d'absorption des ressources (Figure 1) (Nambiar et Sand 1993, Frochot *et al.* 2002). Cette compétition si elle n'est pas gérée diminue fortement la croissance et la survie des ligneux (Davies, 1987). Les méthodes couramment utilisées pour contrôler cette végétation sont l'application d'herbicides, la gestion mécanique (débroussaillage) et l'utilisation de paillages divers. Cependant, l'utilisation d'herbicides dans le cadre forestier est actuellement remise en cause dans de nombreux pays du fait de son impact potentiel sur l'environnement. En Suisse, en Allemagne, au Québec, ils sont interdits ou fortement limités et en France, la législation a changé récemment et réduit considérablement la liste des herbicides autorisés (Gama, 2002).

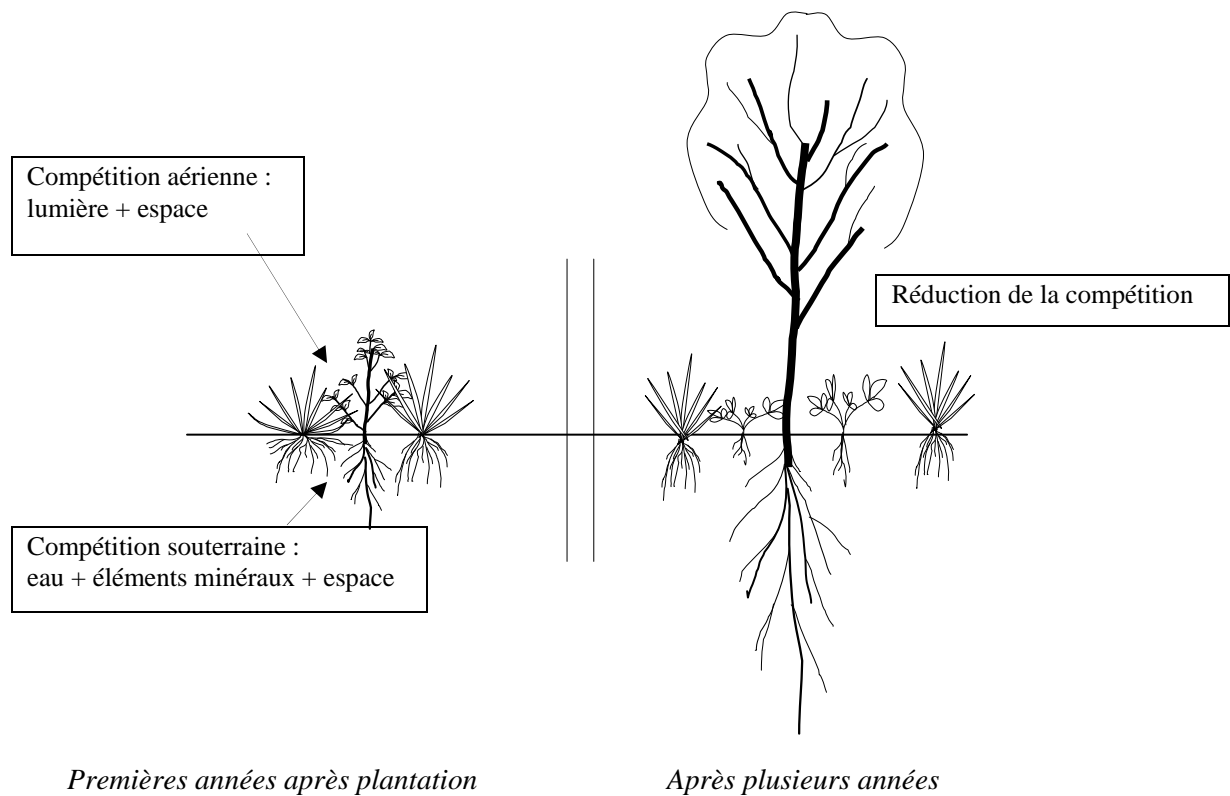


Figure 1 : Evolution schématique de la compétition arbre-herbacées

Comme le souligne Löff (2004), il est nécessaire de trouver des méthodes alternatives à l'utilisation d'herbicides qui permettent de contrôler efficacement la végétation afin de favoriser l'établissement de jeunes ligneux. La gestion mécanique, quant à elle, n'est pas adaptée pour contrôler des couverts de graminées et autres plantes vivaces, la coupe régulière a même tendance à favoriser certaines espèces compétitrices (Davies, 1987). Le paillage est une technique efficace pour lutter contre la végétation et limiter les pertes en eau du sol par évaporation. Cependant en pratique pour le moment, il n'existe pas encore de matériaux qui soit à la fois facile à installer de façon mécanique, peu cher et biodégradable. Dans un contexte de protection de l'environnement, les résidus de films plastiques doivent souvent être retirés manuellement, ce qui augmente le coût et limite l'utilisation de cette technique dans le domaine forestier.

Depuis 1997, plusieurs organismes français (Cemagref, INRA, IDF) se sont intéressés à une technique développée notamment en Allemagne et en Suisse qui consiste à semer des plantes herbacées pour contrôler la végétation compétitrice et favoriser l'installation des jeunes arbres. Cette technique s'inspire de méthodes de semis de plantes de couvertures utilisées en

agriculture ou viticulture pour limiter l'érosion et le ruissellement, avec des objectifs spécifiques au contexte forestier qui sont liés aux interactions arbres-herbacées et à la compétition pour les ressources. L'effet sur les jeunes arbres varie suivant la composition du semis. Les plantes herbacées couramment utilisées pour la végétalisation des pentes et des talus routiers (fétuques et Ray-grass) sont choisies pour leur capacité à s'enraciner profondément et à former un couvert dense (Dinger, 1997), ces caractéristiques et le résultats d'essais permettent de classer ces espèces de graminées parmi les herbacées très compétitives pour les ressources du milieu vis à vis du développement des jeunes ligneux (Frochot, 1984). Des essais de semis mono-spécifiques de trèfle en Angleterre n'ont pas montré d'effets favorables (Willoughby, 1999) alors que les mélanges d'espèce utilisés en Allemagne favorisent le développement des arbres (Frochot *et al.*, 2002 ; Reinecke *et al.*, 2002). Il apparaît ainsi que l'utilisation de cultures mono-spécifiques est souvent source d'échec, alors que les mélanges permettent d'associer dans le temps des espèces ayant plusieurs fonctions et d'assurer une réussite minimale du semis. La méthode allemande consiste à semer un mélange de plantes herbacées qui sont choisies pour leur faible pouvoir compétiteur vis à vis des ressources du milieu par rapport à la végétation naturelle (Reinecke *et al.*, 2002). Dans la composition du mélange, on trouve des céréales (avoine, seigle), des légumineuses (trèfles, lotier, lupin) des crucifères (colza, moutarde, radis) et des plantes utilisées comme engrais vert (phacélie). A ces plantes qui sont choisies pour leur capacité à créer un microclimat pour les plants forestiers et à couvrir le sol rapidement, Horst Reinecke ajoute des plantes ayant des floraisons remarquables (coquelicot, nielle des blés) pour améliorer l'aspect paysager de la plantation. L'objectif recherché par le semis de ces plantes lors de l'installation de la plantation est qu'elles couvrent rapidement le sol et qu'elles ne permettent pas à la végétation naturelle de se réinstaller immédiatement (Reinecke, 2002). Des études en Allemagne portant sur plusieurs essences et différents sites ont démontré l'efficacité de cette technique comparée à des témoins sans intervention (Balandier *et al.*, 2004, soumis). Les performances en terme de croissance et de survie des plants restent inférieures à celle des plantations désherbées mais supérieures par rapport à la non intervention totale. Donc la technique semble prometteuse dans un contexte de limitation de l'utilisation des herbicides.

Cependant, alors que son efficacité a été montrée empiriquement, aucune étude scientifique portant sur cette technique n'a encore permis de démontrer quels facteurs environnementaux sont modifiés par l'usage de ce type couvert et quels mécanismes réels favorisent la croissance des plants. En s'appuyant sur une approche expérimentale multi-sites, l'objectif de cet article est de présenter les premiers résultats concernant l'effet du mélange vis à vis des

arbres et des ressources (eau, lumière). Cet article permet également d'illustrer l'intérêt de ce type d'expérimentation associant essais techniques semi-opérationnels in situ et méthodes relevant de l'écologie fonctionnelle dans le cadre du développement de la recherche en ingénierie écologique.

## **Matériels et méthodes**

### **Le cadre de l'étude**

Deux dispositifs expérimentaux ont été mis en place en Auvergne afin d'étudier les interactions ligneux-végétation herbacée et l'effet du semis de plantes de couverture. L'essai de Charensat (63) correspond à un reboisement en hêtre après tempête. L'essai de Montoldre (03) teste le semis de ligneux dans le cadre d'un projet appliqué au reboisement des dépendances vertes dans un contexte ferroviaire.

### **Le site de Charensat**

Ce site se situe à 700 m d'altitude à l'Ouest du département du Puy de Dôme dans la région des Combrailles sur la commune de Charensat. Le sol est un sol brun acide, sablo-limoneux sur substrat granitique. Il s'agit d'une ancienne plantation d'épicéas entièrement détruite par la tempête de 1999. On rencontre peu de hêtraies dans ce secteur qui correspond pourtant à une zone favorable aux hêtraies atlantique acidiphiles à houx ; cet habitat a été morcelé par l'agriculture et les plantations de résineux. Le hêtre est une essence qui présente des qualités reconnues d'un point de vue paysager, écologique (habitat remarquable et végétation climacique) et économique. La restauration de hêtraie sous forme de plantation nécessite un entretien régulier coûteux avec un impact non négligeable sur l'environnement (utilisation d'herbicides). L'étude porte donc sur les possibilités d'installation du hêtre selon différentes modalités de gestion de la végétation herbacée et semi-ligneuse.

Des hêtres âgés de deux ans ont été plantés en 2002 avec une densité de 2500 tiges/ ha. Le dispositif expérimental comprend 11 modalités de 20x20m (100 hêtres) répétées en 3 blocs soit une surface totale d'environ 2,5 ha. Les modalités testées sont :

- 3 Semis de mélanges de plantes de couverture: comparaison du mélange standard utilisé en Allemagne (Reinecke *et al.*, 2002) avec deux mélanges simplifiés correspondant aux principaux types morphologiques de plantes (Légumineuses et Graminées) (cf. Tableau 1)

- 2 modalités de gestion classique: désherbage annuel au glyphosate (1m20 de large sur la ligne) et débroussaillage annuel sur la ligne (1 m de large).
- 2 témoins (hêtre + végétation spontanée et régénération naturelle)

### **Le site de Montoldre**

Cet essai en plaine dans l'Allier porte sur le semis de graines de ligneux. Cette technique reste peu maîtrisée car l'installation des ligneux outre les problèmes de dormance des graines dépend fortement des conditions locales d'humidité, de lumière et de température résultant de la concurrence avec la végétation herbacée. L'amélioration de cette technique a pour objectif de permettre des économies importantes dans le cadre de plantations paysagères afin de recommander cette technique de reboisement le long des tracés ferroviaires.

Le sol de la parcelle expérimentale est un pseudogley légèrement acide. L'essai de Montoldre compare sur une surface d'environ 2 ha le semis de trois mélanges de ligneux dans plusieurs types de couverts : sol nu, végétation spontanée et un mélange de plantes de couverture choisi suivant les critères de Horst Reineke (2002) (tableau 1). Les graines de ligneux ont été semées au printemps ; compte tenu des problèmes de dormance et des conditions climatiques sèches de l'année 2003, seuls les glands chêne (*Quercus petraea*) pré-germés ont levé, on ne s'intéressera donc qu'à la réponse de cette espèce ligneuse vis-à-vis des différentes modalités. Les glands ont été plantés à la main avec une densité de 10000 graines / ha.

Deux modalités semées sont testées : plantes de couverture semées à l'automne ou semées en même temps que les ligneux au printemps (Tableau 1). Les modalités ont une taille de 20x20m (400 m<sup>2</sup>) et l'essai est organisé suivant un plan en 3 blocs complets.

Tableau 1 - Composition des différents mélanges herbacés semés à Charensat et à Montoldre (quantité en kg/ha)

Espèces semées		Charensat			Montoldre
		Mélange type Reinecke	Graminées	Légumineuses	
Avoine	<i>Avena sativa</i> L.	15	30	0	15
Seigle	<i>Secale cereale</i>	15	25	0	15
Lotier	<i>Lotus corniculatus</i>	2	0	10	2
Trèfle souterrain	<i>Trifolium subterraneum</i>	3	0	5	5
Trèfle des prés	<i>Trifolium pratense</i>	1	0	3	1
Trèfle rampant	<i>Trifolium repens</i>	2	0	3	0
Sarrasin	<i>Polygonum fagopyrum</i>	7	0	0	7
Moutarde	<i>Sinapis alba</i>	3	0	0	3
Phacélie	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	1	0	0	3
Radis fourrager	<i>Raphanus sativus</i>	1	0	0	0
Colza	<i>Brassica sativa</i>	1	0	0	0
Lupin bleu	<i>Lupinus polyphyllus</i>	1	0	0	1
Coquelicot	<i>Papaver rhoeas</i>	0,2	0	0	0,2
Nielle des blés	<i>Lychnis githago</i>	0,4	0	0	0,4

### Le semis des herbacées

L'installation du semis des plantes de couverture ne peut pas se faire sur une végétation trop développée, car les graines risqueraient de ne pas atteindre le sol. Semer dans de bonnes conditions demande donc un minimum de préparation à l'aide soit d'un traitement chimique soit d'une préparation mécanique du sol. Nous avons choisi de réaliser un désherbage au glyphosate des futures modalités plantes de couverture avant de semer. L'impact

environnemental de cette intervention n'est pas nul mais il est important de considérer qu'aucune autre intervention de gestion n'est ensuite réalisée, cette technique répond donc bien à un objectif de limitation d'usage des herbicides.

Les graines ont été semées à la volée. Les semis d'automne ont été réalisés le 27 septembre 2002 (Charensat) et le 2 octobre 2002 (Montoldre). A Charensat comme à Montoldre, pour les espèces autres que l'avoine et le seigle non résistantes au gel, seule la moitié de la quantité prévue a été semée à l'automne 2002, les sur-semis des quantités restantes ont été réalisés le 14 mars à Montoldre et le 22 avril 2003 à Charensat. Le semis de printemps à Montoldre a été réalisé le 7 mai en même temps que le semis des ligneux.

### **Mesures réalisées**

L'humidité du sol a été suivie dans chaque modalité à partir de capteurs d'humidité volumétrique du sol de type ECH<sub>2</sub>O (Decagon) à Montoldre et de 90 tubes TDR à Charensat. Des mesures de lumière (PAR, Rayonnement Photosynthétiquement Actif) au ceptomètre ont été réalisées dans chaque modalité pour caractériser l'interception de la lumière par la végétation. A Montoldre, la température à 5 cm au-dessus et au-dessous du sol a été mesurée dans chaque modalité afin de caractériser la variation des conditions environnementales et des variables micro-climatiques en fonction du couvert herbacé.

La levée des plantes de couverture semées a été suivie et des relevés floristiques (identification, abondance) ont été effectués dans chaque modalité. A Charensat des relevés floristiques circulaire d'un mètre carré ont été réalisés autour de cinq plants de hêtre par modalité.

La hauteur de la végétation a été mesurée dans quatre directions des relevés circulaires à Charensat. A Montoldre, la hauteur de la végétation a été mesurée tous les mètres sur la diagonale de chaque placette en mai et en juin.

Au cours de l'année 2003, le nombre de plantules de chênes ayant levé et leur survie ont été relevés dans chaque modalité à Montoldre et la croissance en diamètre des hêtres a été mesurée régulièrement à Charensat au niveau d'un trait de peinture dix centimètre au-dessus collet.

### **Analyse des données**

Les données ont été regroupées dans une base donnée MS-Access. Les dispositifs en blocs complets permettent d'effectuer des Analyse de Variance (ANOVA). Pour les données en classes, une analyse des corrélation à partir du test non paramétrique de Spearman a été

utilisée. Les différentes analyses statistiques (Spearman, ANOVA) ont été réalisées avec le logiciel Statgraphics Plus 5.1.

## Résultats

### Levée et développement des plantes de couverture

Dans les deux sites, on a relevé des comportements différents des mélanges herbacés semés. A Charensat, l'espèce qui s'est le mieux développée est le seigle avec des densités moyennes de 6 à 10 plantes/m<sup>2</sup>. Le seigle a été semé en automne et formait l'été suivant un couvert de 1m à 1,5m de hauteur dans les modalités Reinecke et Graminées (Photo 1). L'avoine, semée à la même date en quantité équivalente, ne s'est pas développée. Parmi les autres espèces, les légumineuses (trèfles et lotiers) ont levé de façon non homogène au printemps (0 à 40 trèfles/m<sup>2</sup>) et n'ont pas résisté à la sécheresse estivale. Dans la modalité légumineuse, fin 2003, les densités de trèfle et de lotier sont très faibles (< 3/m<sup>2</sup>). Les autres espèces du mélange Reinecke (moutarde, radis fourrager, sarrasin, lupin, colza, coquelicot et nielle) se sont peu développées et n'ont jamais représenté un recouvrement supérieur à 5%.



Photo 1 : Modalité semée avec du seigle à Charensat (02/08/2003)

A Montoldre, dans les relevés réalisés fin octobre, on dénombre trois espèces qui ont levé de façon satisfaisante (taux de levée > 20%) : la phacélie, la moutarde et la nielle. Les relevés après l'hiver (en mars) montraient que seule la phacélie avait résisté. Un sur-semis a été réalisé le 13 mars. Les relevés de flore effectués mi-mai montrent un bon développement des plantes semées, la phacélie, l'avoine et la nielle sont représentées avec un indice de recouvrement de 5 à 25 %, toutes les autres espèces semées étant moins présentes (Photo 2).



Avec le semis de printemps semé en même temps que les ligneux début mai, la levée des plantes de couverture a été variable mais la plupart des espèces ont levé sauf le seigle. A partir de Juillet, des conditions de sécheresse exceptionnelle n'ont pas permis aux plantes de couverture de continuer à se développer normalement, la luzerne issue du précédent prairial a profité d'un enracinement profond pour continuer devenant ainsi dominante.



Photo 2 : Couvert semé en Automne à Montoldre (19/05/2003)

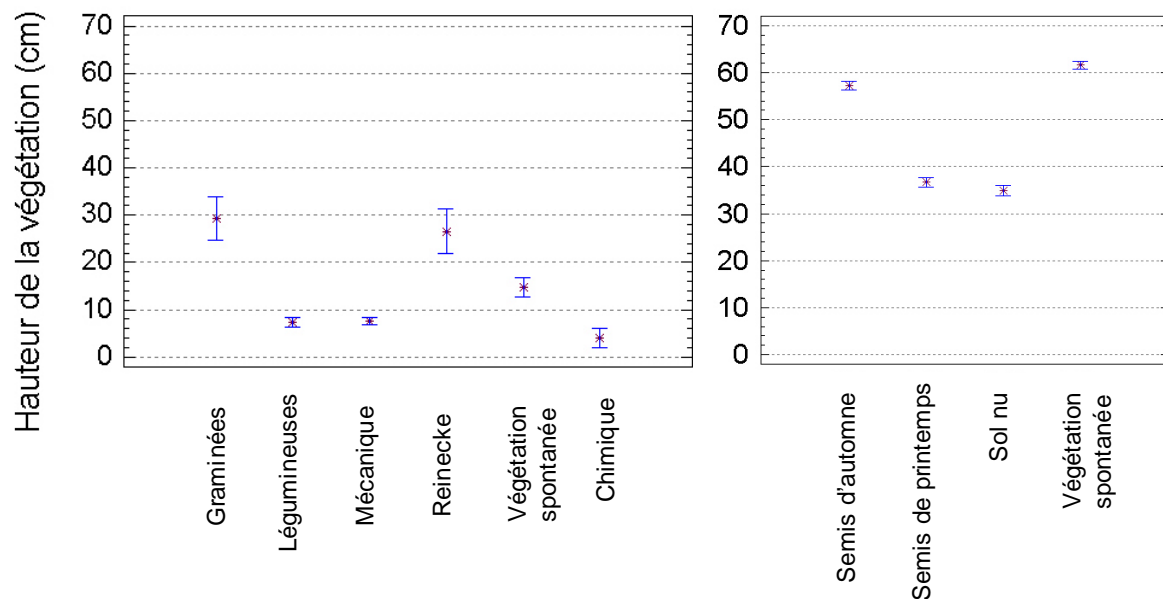
Si on compare, les deux sites, les mélanges herbacés semés ne se sont pas développés de façon identique. Le faible développement de certaines espèces telles que les trèfles peut être expliqué par la date tardive du semis à l'automne. Cependant, l'effet recherché avec les modalités de modification du couvert par semis est atteint avec des dominances spécifiques propres à chaque site : le Seigle à Charensat et la phacélie et l'avoine à Montoldre.

### **Les modalités « végétation spontanée »**

A Charensat, la végétation spontanée des placettes témoin se compose de graminées (*Holcus lanatus*, *Holcus mollis*, *Agrostis capillaris*) et de dicotylédones telles que le genêt à balais (*Cytisus scoparius*), *Rumex acetosella*, *Ornithopus perpusillus*, *Epilobium angustifolium*. A Montoldre, la végétation spontanée est principalement composée de graminées : *Poa trivialis* (50 à 75% de taux de recouvrement), *Lolium perenne* (5 à 25 %) D'autres plantes telles que *Trifolium repens* (50 à 75 %), *Taraxacum officinale* (25 à 50 %) et *Medicago sativa* (25 à 50%) sont également bien représentées.

## Hauteur de la végétation et des couverts semés

A Charensat, les hauteurs de végétation sont plus grandes dans les modalités semées avec du seigle (graminées et Reinecke). Les écart-types importants permettent de souligner l'irrégularité de la hauteur des couverts de seigle. La hauteur de la végétation est bien contrôlée par le traitement chimique et mécanique tandis qu'on observe la faible levée du semis « légumineuses » (Figure 2). Comparée à Montoldre, on observe que la végétation spontanée de Charensat est basse. A Montoldre, les hauteurs de végétation se classent dans l'ordre suivant : la végétation spontanée puis le semis d'automne puis le semis de printemps et le sol nu.



**Figure 2** : Hauteur moyenne de la végétation à Charensat (gauche) et Montoldre (droite) dans chaque modalité. Les barres verticales représentent les écart-types.

## Modifications des variables environnementales créées par la végétation: humidité du sol, température et lumière.

L'expression des modalités a permis d'étudier l'effet de différents couverts herbacés vis-à-vis des ressources associées au développement de jeunes ligneux.

A Montoldre, quelle que soit la méthode de mesure utilisée (sonde trident TDR ou sonde ECH<sub>2</sub>O), les résultats montrent des différences d'humidité de sol dans l'horizon 0-20 cm (Tableau 2). Le 20 mai, la modalité végétation spontanée est la plus sèche, les modalités semis de printemps et sol nu sont les plus humides et la modalité semis d'automne présente des valeurs intermédiaires. Début Juin, on retrouve des résultats similaires plus faibles car la teneur en eau du sol quelle que soit la modalité a déjà atteint un stade de sécheresse critique.

Le même classement des modalités se retrouve pour les autres variables mesurées: lumière transmise au sol et température moyenne journalière. La température du sol nu est plus élevée que celle d'un sol couvert de végétation. On observe également que la présence de végétation tamponne l'amplitude des variations de température.

Tableau 2 : Valeurs moyennes des variables environnementales dans les différentes modalités à Montoldre.

Variables	Végétation spontanée	Semis d'automne	Semis de printemps	Sol nu	Dates considérées
Teneur en eau volumique (%)	6.6 c	16.5 b	23.2 a	23.2 a	21 mai
Teneur en eau volumique (%)	6.3 b	8.2 b	12.2 a	12.9 a	12 juin
Lumière transmise (%)	0.26 d	0.45 c	0.76 b	0.83 a	11 juin
Température du sol moyenne	25.5 d	27.29 c	28.06 b	28.57 a	12 juin
Température du sol maximale	29.9 c	31.5 b	32 b	33.65 a	7 au 17 juin
Température du sol minimale	20.56 c	21.2 b	21.7 a	21.63 b	7 au 17 juin
Amplitude journalière de variation de la température du sol	9.37 c	10.27 b	10.35 b	12.28 a	7 au 17 juin

Sur chaque ligne, les valeurs suivies d'une lettre différente sont significativement différentes selon le test des étendues multiples ( $p < 0.05$ ).

Ces résultats montrent que les différences observées entre modalités en terme de recouvrement, de composition floristique et de hauteur de végétation se traduisent concrètement par des variations des variables environnementales. Du point de vue de la disponibilité des ressources, les mélanges semés constituent des situations intermédiaires entre le sol nu et la végétation spontanée.

A Charensat, l'humidité du sol autour des hêtres dans l'horizon 0-20 cm mesurée à la sonde TDR ne variait pas significativement entre modalités mais l'humidité du sol a pu être reliée à la composition floristique. La teneur en eau volumique dans l'horizon 0-20cm varie significativement en fonction du recouvrement (classe d'abondance suivant les coefficient Braun Blanquet) des trois graminées spontanées dominantes (*Holcus lanatus*, *Holcus mollis* et *Agrostis capillaris*) (Figure 3). Ce résultat permet de confirmer l'effet de la végétation (composition floristique, recouvrement) sur l'humidité du sol. En 2003, les modalités « semis de plantes de couverture » ont eu un effet moins marqué sur l'humidité du sol à Charensat

qu'à Montoldre, ceci étant certainement lié aux sols sableux très drainant de Charensat et aux conditions de sécheresse exceptionnelles.

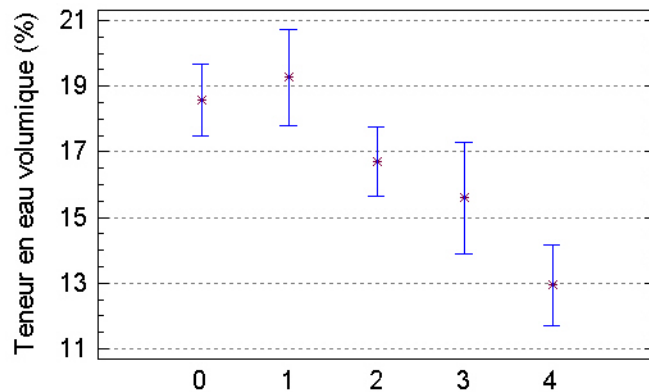


Figure 3 : Teneur en eau volumique dans l'horizon 0-20cm en fonction du coefficient de recouvrement Braun Blanquet des principales graminées spontanées. Les barres représentent les écart types.

Comme à Montoldre (Tableau 2), l'effet du semis à Charensat sur la lumière disponible pour les plants de hêtres a pu être démontré. La comparaison de la lumière transmise à différentes hauteurs dans la végétation permet d'observer les effets induits du couvert sur la lumière suivant différentes méthodes de gestion de la végétation (Figure 4). Quelle que soit la hauteur de mesure considérée, le Seigle laisse pénétrer peu de lumière, il procure donc plus d'ombrage aux jeunes arbres que les autres modalités. Dans le cas d'une plantation de hêtre cet ombrage est favorable puisque le hêtre est considéré comme une essence tolérante à l'ombre.

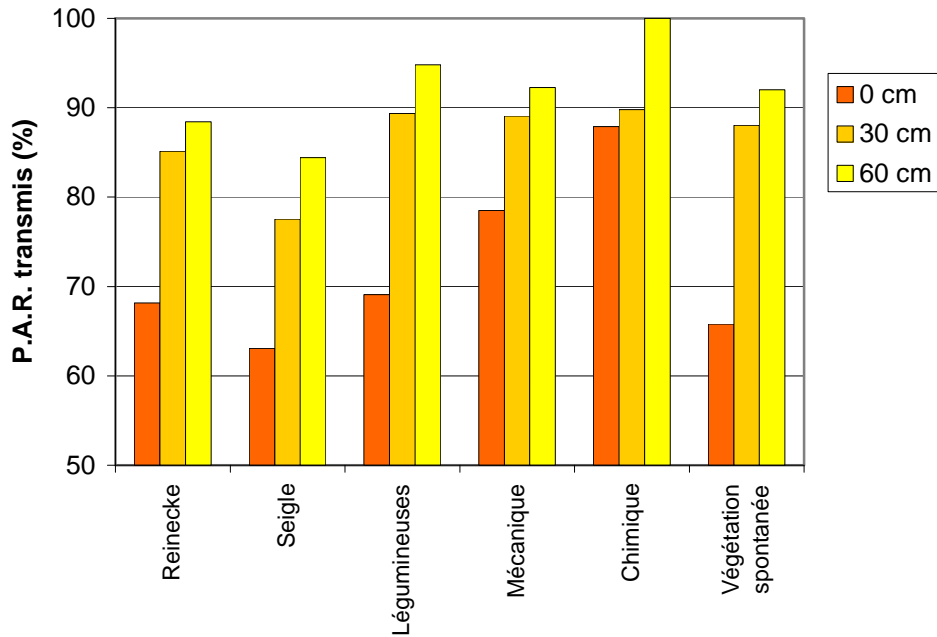


Figure 4 : P.A.R. (Rayonnement Photosynthétiquement Actif) transmis à différentes hauteurs dans chaque modalité.

### Le développement des semis de chênes (Montoldre)

Le taux de levé et la survie des chênes semés sont plus élevés dans les modalités sol nu qu'en présence de végétation. Ceci confirme l'effet favorable de l'absence de compétition. Suivant le type de couverture (végétation semée ou végétation spontanée), on observe des différences significatives de développement des semis de chênes en terme de levée et de mortalité (Tableau 3). Aucun chêne ne s'est installé dans la végétation spontanée. Dans les modalités enherbées on obtient des résultats positifs mais toutefois moins élevés qu'en sol nu. La végétation semée favorise donc l'installation des semis de chêne par rapport à la végétation spontanée. On retrouve le même classement des modalités vis à vis de la survie et du taux de levée des chênes que vis-à-vis des variables environnementales. L'effet direct des différents types de couverts végétaux sur les variables environnementales se retrouve indirectement sur la réussite du semis des chênes. La levée des chênes est particulièrement liée à la teneur en eau du sol ; ceci est prouvé par le coefficient de corrélation (rangs de Spearman) entre le pourcentage de levée et la teneur en eau du sol dans l'horizon 0-20cm au 12 juin qui est de 0.87 ( $p=0.033$ ). Cependant, l'enracinement profond observé chez des chênes vivants arrachés semble montrer que les chênes qui ont réussi à s'installer puisent l'eau sous l'horizon 0-20cm.

Le taux de survie des plantules de chêne est également très lié à la teneur en eau du sol, la survie diminuant lorsque l'eau diminue ( $r = 0.87$  ;  $p = 0.033$ ).

Tableau 3 : Taux moyen de levée et de survie des chênes semés à Montoldre

Modalité	Végétation spontanée	Semis d'automne	Semis de printemps	Sol nu
Taux de levée (%)	0.5 a	8 a	16 ab	27 b
Taux de survie (%)	0 a	32 ab	51 bc	71 c

Sur chaque ligne, les valeurs suivies d'une lettre différente sont significativement différentes selon le test des étendues multiples ( $p < 0.05$ ).

### Croissance des plants de hêtres

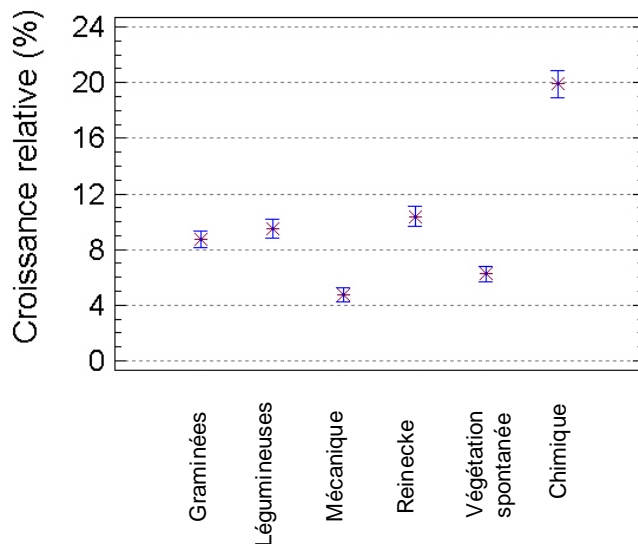


Figure 5 : Croissance relative moyenne du diamètre des hêtres à Charensat en 2003 dans chaque modalité (% par rapport à la valeur du diamètre en début de saison). Les barres verticales représentent les écarts-types. Les barres représentent les écart-types.

A Charensat, la croissance des jeunes plants de hêtres mesurée en 2003 sur 64 arbres par modalité montre que les arbres se sont plus développés en l'absence de compétition dans les modalités désherbées. Parmi les autres méthodes de gestion de la végétation, les arbres dans les modalités semées en plantes de couverture présentent une meilleure croissance que dans les modalités gestion mécanique ou végétation spontanée (Figure 5). L'effet positif du semis est donc démontré par ces analyses, cependant les mesures des variables environnementales n'ont pas permis d'expliquer totalement l'ensemble de ces différences de croissance entre

modalités. Une relation entre croissance et composition floristique a pu être mise en évidence, la croissance en diamètre variant significativement en fonction du recouvrement en graminées (Figure 6). L'absence de relation directe entre croissance en diamètre et teneur en eau du sol peut s'expliquer par l'existence d'une interaction entre compétition pour l'eau et compétition pour les éléments minéraux de la part de la végétation vis-à-vis du hêtre, ou d'autres facteurs à déterminer.

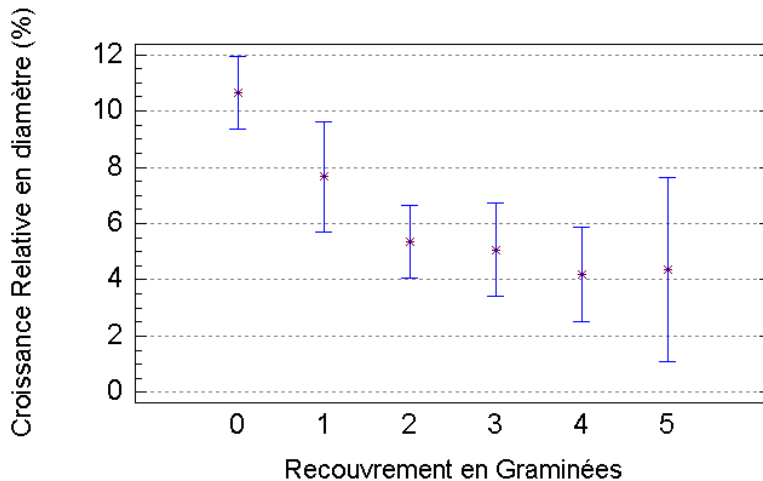


Figure 6 : Croissance relative moyenne en diamètre en fonction des coefficients de recouvrement (Braun Blanquet) des principales graminées spontanées.

### Discussion-Conclusion

Les résultats ont montré que cette méthode de semis de plantes de couverture, même si elle n'atteignait pas les performances obtenues avec l'utilisation d'herbicides, permet de favoriser le développement de ligneux par rapport à une absence de gestion et à une gestion mécanique. Les conditions micro-climatiques (eau, lumière, température) sont modifiées positivement par le semis de plantes de couverture par rapport à la végétation spontanée ce qui favorise l'installation des ligneux.

L'abri latéral créé par des plantes de couverture telles que le seigle peut permettre de limiter les pertes en eau par évapotranspiration et protéger des gelées tardives. En pleine lumière, le hêtre développe une tendance à la fourchaison qui peut être réduite par le gainage que procure un ombrage latéral. Ce type de couverture est également intéressant car il permet de limiter l'expansion des espèces de lumière telles que la houlque et l'agrostis et donc de diminuer

indirectement leur compétition pour l'eau vis à vis du hêtre. Le phénomène observé dans ce cas peut être assimilé à une facilitation indirecte du seigle vis à vis du hêtre (Pagès, 2002). Les effets observés sur certaines variables telles que la température restent difficiles à interpréter pour l'été 2003 qui a présenté un climat particulièrement chaud. Pour la température, on observera particulièrement dans la suite de cette étude l'effet du couvert pendant les périodes de gel tardif car il a été prouvé que les dégâts liés au gel sur les jeunes ligneux sont limités par la présence de végétation par rapport à une situation de sol nu (Ball *et al.*, 2002).

La levée des espèces de plantes semées a été différente pour chaque site, ceci confirmant que la date de semis est importante suivant les espèces (Dimkit, 1997). Pour des espèces telles que le trèfle, le semis d'automne doit être réalisé assez tôt pour qu'elles aient le temps de bien s'installer avant l'hiver, de même les crucifères (moutarde, colza, radis fourrager) doivent être semés soit en fin d'été, soit au printemps car elles ne résistent pas au gel pour leur premier stade de développement. Certaines graines telles que le seigle et l'avoine non enfouies sont sensibles au printemps à la prédation par les oiseaux et les insectes ce qui pourrait expliquer en partie la faible levée de ces espèces. L'utilisation d'un mélange diversifié de plantes rustiques a l'avantage d'assurer l'installation d'un couvert quels que soient le site et les contraintes. Aux vues de nos résultats, la simplification du mélange à une espèce ou un genre (*Trifolium sp.* par ex) n'est pas une bonne option, confirmant ainsi les expériences de Willoughby (1999). Des améliorations de la technique sont possibles ; il serait notamment intéressant par la suite d'étudier le potentiel de développement et l'effet sur les ressources de chaque espèce, individuellement et en mélange. La dynamique de disparition des espèces semées est également importante à suivre, les études préliminaires montrent qu'après 3 à 5 ans la plupart des espèces semées ont disparu, ceci limite donc les possibilités de contamination de la flore locale par les plantes de couverture (Balandier *et al.*, soumis). Cependant, l'utilisation de plantes semées appartenant à la flore locale doit rester une priorité afin de limiter le risque d'introduction d'espèces exogènes. Il sera également intéressant de suivre les expérimentations de Charensat et de Montoldre afin de connaître la réussite réelle de ces boisements et l'effet à moyen terme de ces modalités. En France, depuis plusieurs années l'IDF et l'INRA ont également mis en place des placettes expérimentales sur les plantes de couvertures en accompagnement de ligneux et le suivi de ces expérimentations multi-sites permettra de connaître le potentiel réel de ces techniques (Ningre *et al.*, soumis). Les deux études regroupées dans cet article traitent de techniques différentes d'installation des ligneux (semis et plantation). Elles prouvent l'efficacité de la méthode dans différents



contextes et apportent des connaissances fonctionnelles qui expliquent une partie des effets positifs liés à la présence de plantes de couverture.

En s'appuyant sur ces résultats, ce projet répond aux demandes environnementales du public afin de proposer le semis de plantes de couverture en tant qu'outil de gestion et de contrôle de la compétition arbres-herbacées. Ce type d'innovation technique et scientifique illustre bien les perspectives apportées par l'ingénierie écologique. Ce projet permettra à partir de connaissances sur les mécanismes de compétition un transfert vers le gestionnaire en proposant des solutions concrètes de gestion.

**Remerciements** : Ces études ont été financées par le CEMAGREF, RFF (Réseau Ferrés de France sous le pilotage de la SNCF, la DRAF Auvergne et la communauté européenne (FEOGA). Les auteurs tiennent à remercier Paula Yabar Zunzarren, Rolland Paillat, André Marquier et Fabrice Landré pour leur contribution aux mesures de terrain.

## **Bibliographie**

Balandier P. ; Frochot H. ; Ningre F. ; Reinecke H. ; Koerner W. , soumis, Using cover plants mixtures as an alternative to herbicides to control herbaceous competitors in forest tree establishment in germany, *Annals of Forest Science*.

Ball M.C. ; Egerton J.J.G ; Lutze J.L. ; Gutschick V.P. ; Cunningham R.B. ; 2002 , Mechanisms of competition : thermal inhibition of tree seedling growth by grass, *Oecologia*, n°133, p. 120-130.

Davies R. J., 1987,. *Trees and Weeds*, HMSO Publications Centre, Londres, 36 p.

Dimkic C., 1997, *L'enherbement des plantations forestières*, Rapport du Contrat ACTA-ICTA 96-98, IDF, Toulouse, 158 p.

Dinger F., 1997, *Végétalisation des espaces dégradés en altitude*, Cemagref Editions, Antony, 144 p.

Frochot H., 1984, Influence de *Festuca pratense* sur le développement de jeunes peupliers, in : *7<sup>ième</sup> colloque international COLUMA-EWRS*, p. 307-313.

Frochot H. ; Armand G. ; Gama A. ; Nouveau M. ; Wehrlen L., 2002, La gestion de la végétation accompagnatrice : état et perspective, *Revue Forestière Française*, vol. 56, n° 6, p. 505-520.

Gama A., 2002, Herbicides et débroussaillants forêt. Evolutions prochaines des homologations, *Forêt-entreprise*, n° 147, p. 51-53.

- Nambiar E. K. S. ; Sands R. ,1993, Competition for water and nutrients in forests. *Canadian Journal of Forest Research*, n° 23, p. 1955-1968.
- Ningre F. ; Provendier D. ; Charnet F., 2004, Introduction d'une végétation herbacée auxiliaire en plantation. Réflexions sur une méthode minimisant les entretiens chimiques. 1<sup>ère</sup> partie. *Forêt-Entreprise*. A paraître
- Löf M. ; Welander N.T., 2004, Influence of herbaceous competitors on early growth in direct seeded *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L., *Annals of Forest Science*, A paraître
- Pagès J.P., 2002, *Approche expérimentale de la facilitation indirecte dans les écosystèmes forestiers : exemples des forêts des Alpes Dauphinoises (Alpes du Nord, France)*, Thèse Doctorale de Biologie, Université Joseph Fournier, Grenoble, 132 p.
- Reinecke H.; Frochot H.; Balandier P.; Boulet-Gercourt B.; Koerner W, 2002, Sow instead of mow?, In: *Popular summaries from the Fourth International conference on forest vegetation management*, Nancy, p. 421-423
- Willoughby, I. 1999. Future alternatives to the use of herbicides in British forestry. *Canadian Journal of Forest Research*, n°29, p. 866-874.