

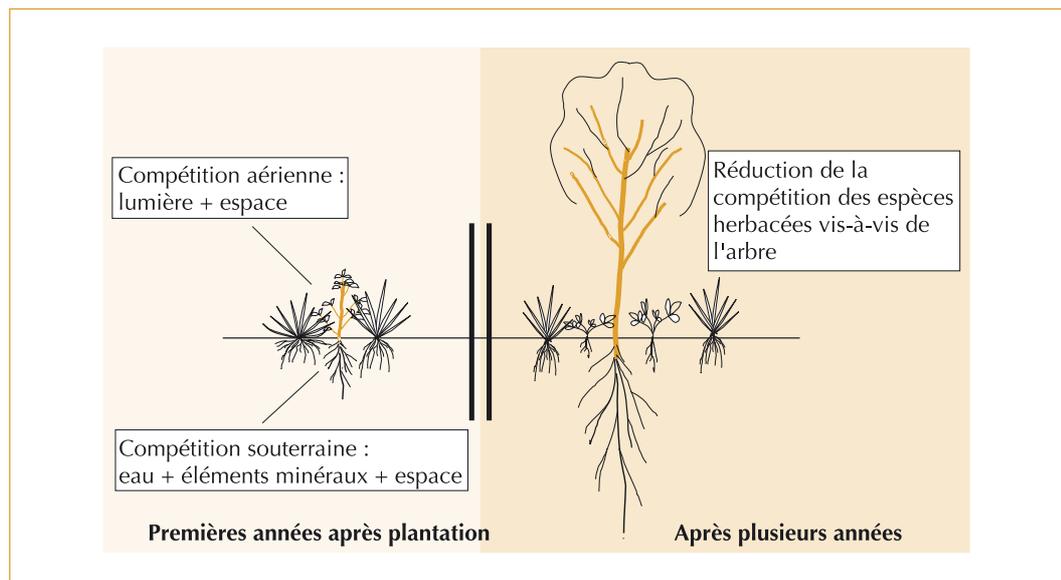
Contrôler la végétation en plantation forestière : premiers résultats sur les modifications micro-environnementales engendrées par l'utilisation de plantes de couverture

Damien Provendier et Philippe Balandier

En s'appuyant sur deux études en cours, cet article décrit quels peuvent être les gains apportés par le semis de plantes de couverture pour accompagner et protéger le développement des plants forestiers. Après une description des dispositifs expérimentaux mis en place, les premiers résultats sont commentés, discutés et mis en perspective comme alternative aux techniques d'intervention mécanique et chimiques.

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, éléments 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



◀ Figure 1 – Évolution schématique de la compétition arbre-herbacées.

Les contacts

Cemagref,
UR Dynamiques
et fonctions
des espaces ruraux,
24 avenue des Landais,
BP 50085,
63172 Aubière Cedex

1. Institut pour le développement forestier.

l'application d'herbicides, la gestion mécanique (débranchage) 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 Europe, la législation a évolué récemment, ce qui a réduit considérablement la liste des herbicides autorisés en France (Gama, 2002). 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 tout en veillant à ce que ces méthodes ne présentent pas, par ailleurs, des inconvénients qui pourraient être du même ordre que ceux des techniques que l'on cherche à remplacer.

État des connaissances sur les méthodes alternatives à l'utilisation d'herbicides

Limites de la gestion mécanique et du paillage

La gestion mécanique est la technique la plus couramment employée sous forme de débroussaillages sur les interlignes ou localisés autour des jeunes arbres. Suivant la composition floristique de la végétation concurrente, des études ont montré que cette méthode n'est pas adaptée pour contrôler des couverts de graminées et autres plantes vivaces ; la coupe régulière a même tendance à favoriser le développement de certaines espèces compétitrices au détriment des arbres (Davies, 1987). De plus, l'usage intensif de débroussaillages n'est pas sans impact sur l'environnement si l'on considère qu'elles mobilisent pour leur fonctionnement des matières fossiles non renouvelables (pétrole) et dégagent des gaz à effet de serre. 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 soient à la fois faciles à installer de façon mécanique, peu chers et biodégradables (Van Lerbergue *et al.*, 2004).

Dans un contexte de protection de l'environnement, la législation évolue, les utilisateurs de paillis plastiques sont aujourd'hui contraints de déposer les films encore en place au bout de

trois années. Cette opération se fait généralement manuellement, ce qui augmente considérablement le coût de la technique. Depuis le 1^{er} juillet 2002, la mise en décharge des paillis plastiques n'est plus autorisée car ce matériau n'est pas considéré comme un déchet ultime. Des filières de collecte, de valorisation et d'élimination doivent être trouvées. Dans ces conditions, cette technique perd de son intérêt tant économique que pratique, ce qui limite son utilisation dans le domaine.

Une technique encore empirique : le semis de plantes de couverture

Depuis 1997, plusieurs organismes français (Cemagref, INRA, IDF¹) se sont intéressés à une technique, développée notamment en Allemagne et en Suisse (Schütz, 2004), 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 couverture 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 résultat 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'espèces 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). À ces plantes qui sont choisies pour leur capacité à créer un microclimat potentiellement favorable pour l'installation et la croissance des 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.*, 2003). Les performances en terme de croissance et de survie des plants étaient inférieures dans les parcelles semées par rapport aux plantations désherbées, mais supérieures par rapport à la non-intervention totale. Donc la technique semble prometteuse dans un contexte où des limitations encore accrues de l'utilisation des herbicides seraient imposées.

Au-delà de ces résultats encourageants, cette méthode de semis de plantes soulève cependant des doutes justifiés vis-à-vis par exemple de la modification de la composition floristique par l'introduction de plantes exogènes dans le milieu. Par ailleurs, dans des essais réalisés en 2000 par le Cemagref de Nogent, l'appétence de certaines espèces semées, telles que le topinambour, ont eu pour conséquence la destruction de l'essai par les sangliers et les cerfs (Gama, communication personnelle). Poser une clôture revient souvent trop cher à un gestionnaire, cependant H. Reinecke pense qu'il est possible d'adapter la composition du mélange semé en fonction de la pression de prédation.

D'après son expérience, en cas de forte prédation, certaines espèces permettraient de limiter les dégâts liés au gibier, mais aucune étude n'a encore permis de prouver cette affirmation.

Objectifs de l'étude

Alors que l'efficacité de cette technique a été montrée empiriquement (avec certains résultats contradictoires comme par exemple

l'effet de la prédation), aucune étude scientifique n'a encore permis de démontrer quels facteurs environnementaux sont modifiés par l'usage de ce type de couvert et quels mécanismes réels favorisent la croissance des plants. C'est la raison pour laquelle, afin de mieux maîtriser cette technique et connaître son potentiel réel, nous avons souhaité mettre en évidence les principales modifications engendrées par le semis de plantes de couverture, notamment vis-à-vis de la compétition pour les ressources du milieu, en les comparant à des modalités sans intervention et des modalités désherbées. En s'appuyant sur une approche expérimentale multisite, l'objectif de cet article est de présenter les premiers résultats concernant l'effet du mélange vis-à-vis du développement des arbres et de la disponibilité en 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. Il ne prétend pas répondre à toutes les questions que le recours à ce type de techniques alternatives peut soulever (risques de substitutions de flores, attractivité pour certains gibiers, mise en place de plantes qui s'avéreraient, ultérieurement, être des hôtes pour certains ravageurs ou des vecteurs de maladies). Il est important de préciser que nous limiterons cet article à l'étude de la compétition arbre-végétation, l'étude des interactions faune-flore faisant appel à des méthodes expérimentales différentes.

Matériels et méthodes

Le cadre de l'étude

Deux dispositifs expérimentaux ont été mis en place en Auvergne. L'essai de Charensat (63) correspond à un reboisement en hêtres 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. Les plans d'expériences sont en 3 blocs complets. Chaque modalité a une surface de 400 m² (20 x 20 m) avec un couloir d'isolement d'1 m. La taille choisie pour chaque modalité permet d'éviter les interactions entre modalités, surtout suite au développement des ligneux. Les expérimentations ont été clôturées afin d'éviter la prédation par le gibier.

2. La référence herbicide choisie est le *glyphosate* ; cet herbicide appliqué après la levée de la végétation spontanée est cependant moins efficace que certains anti-germinatifs qui neutralisent la concurrence avant qu'elle ne puisse s'exercer (Gama, communication personnelle).

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 brun acide, sablo-limoneux sur substrat granitique. Il s'agit d'une ancienne plantation d'épicéas entièrement détruite par la tempête de 1999. L'étude porte sur les possibilités d'installation du hêtre selon différentes modalités de gestion de la végétation herbacée et semi-ligneuse :

– 3 compositions de mélanges de plantes de couverture semées : 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 ; tableau 1) ;

– 2 modalités de gestion classique : désherbage annuel au glyphosate² (1 m 20 de large sur la ligne) et débroussaillage mécanique annuel sur la ligne (1 m de large) ;

– 1 témoin végétation spontanée (aucune gestion de la végétation après la plantation).

Le site de Montoldre

Cet essai 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, ainsi que d'autres facteurs comme prédation et aléas climatiques.

Le sol de la parcelle expérimentale est un pseudogley légèrement acide. L'essai compare 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 Reinecke (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 de chêne (*Quercus petraea*) pré-germés ont levé ; on ne s'intéressera donc pour l'instant 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 10 000 graines/ha.

Espèces semées		Charensat			Montoldre
		Mélange type Reinecke	Graminées	Légumineuses	
Avoine	<i>Avena sativa L.</i>	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

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

Deux périodes de semis sont testées : plantes de couverture semées à l'automne précédant le semis de ligneux ou semées au printemps en même temps que les ligneux.

Le semis des herbacées

L'installation du semis des plantes de couverture ne peut pas se faire sur une végétation existante 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). À Charensat comme à Montoldre, pour les espèces non résistantes au gel (*i.e.* autres que l'avoine et le seigle), 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 volumique du sol de type ECH₂O (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. À 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 microclimatiques 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. À Charensat, des relevés floristiques sur des placettes circulaires 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 placettes circulaires à Charensat. À 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 ainsi que 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 centimètres au-dessus du collet.

Analyse des données

Les données ont été regroupées dans une base de donnée MS-Access. Les dispositifs en blocs complets permettent d'effectuer des analyses de variance (ANOVA). Pour les données en classes, une analyse des corrélations 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. À Charensat, l'espèce qui s'est le mieux développée est le seigle, avec des densités moyennes de 6 à 10 plantes/m². Le seigle a été semé en automne et formait l'été suivant un couvert de 1 m à 1,5 m de hauteur dans les modalités « Reinecke » et « graminées » (photo 1).

▼ Photo 1 – Modalité semée avec du seigle à Charensat (02/08/2003).



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/m²) 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/m²). 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 %.

À 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 a levé sauf le seigle. À 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 son développement, 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 »

À Charensat, la végétation spontanée des parcelles 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*. À 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

À Charensat, les hauteurs de végétation (figure 2) 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. Il n'y a pas de compétition aérienne dans les modalités chimique et mécanique tandis qu'on observe la faible levée du semis « légumineuses ». La végétation spontanée de Charensat est basse comparée à Montoldre où 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.

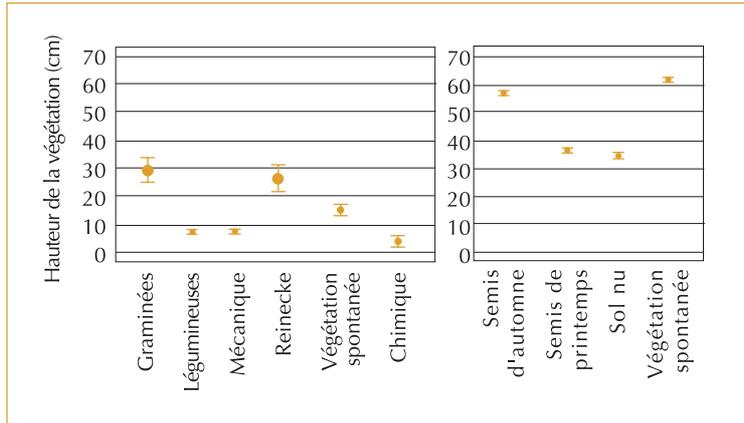
Modifications des variables environnementales créées par la végétation : humidité du sol, température et lumière

À Montoldre, quelle que soit la méthode de mesure utilisée (sonde trident TDR ou sonde ECH₂O), les résultats montrent des différences d'humidité de sol dans l'horizon 0-20 cm (tableau 2). Le 21 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 le même classement mais avec des valeurs 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.

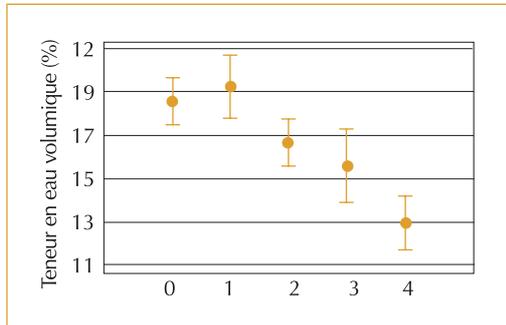
Ces résultats montrent que les différences observées entre modalités en terme de recouvrement, de composition floristique et de hauteur de végétation se traduisent concrètement par des variations des variables environnementales. Du point de vue de la disponibilité des ressources, les mélanges semés constituent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

À 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 0-20 cm varie significativement en fonction du recouvrement (classe d’abondance suivant les coefficients de 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 2 – Hauteur moyenne de la végétation à Charensat (gauche) et Montoldre (droite) dans chaque modalité, les barres verticales représentent les écart-types.



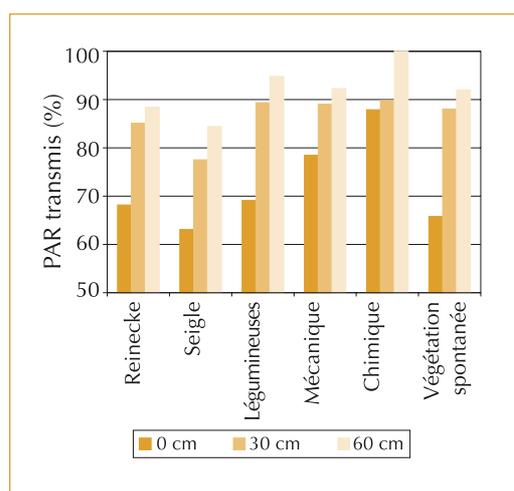
◀ Figure 3 – Teneur en eau volumique dans l’horizon 0-20 cm en fonction du coefficient de recouvrement de Braun-Blanquet des principales graminées spontanées, les barres représentent les écart-types.

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 moyenne du sol	25,5 d	27,29 c	28,06 b	28,57 a	12 juin
Température maximale du sol	29,9 c	31,5 b	32 b	33,65 a	7 au 17 juin
Température minimale du sol	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 ($p < 0,05$).

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

► Figure 4 – PAR (rayonnement photo-synthétiquement actif) transmis à différentes hauteurs dans chaque modalité.



Comme à Montoldre, l'effet du semis à Charensat sur la lumière disponible pour les plants de hêtre 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.

Le développement des semis de chênes (Montoldre)

Le taux de levée 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 0-20 cm 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 0-20 cm. 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 ($r = 0,87$; $p = 0,033$).

Croissance des plants de hêtres

À Charensat, la croissance des jeunes plants de hêtre 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.

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 ($p < 0,05$).

▲ Tableau 3 – Taux moyen de levée et de survie des chênes semés à Montoldre.

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.

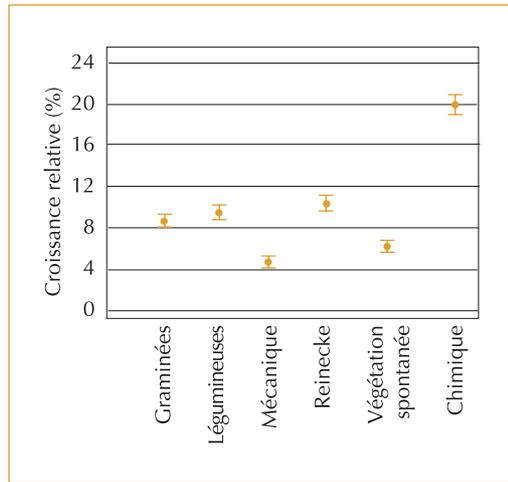
Discussion-Conclusion

Tout d'abord, nous tenons à préciser que ce compte rendu d'essai n'a porté que sur une année d'expérimentation, les résultats pour être entièrement validés devront donc être confirmés par la suite de l'expérimentation et dans d'autres contextes.

Ces résultats ont montré que les conditions microclimatiques (eau, lumière, température) sont modifiées positivement par le semis de plantes de couverture par rapport à la végétation spontanée ou au débroussaillage mécanique, ce qui favorise l'installation des ligneux, sans atteindre toutefois les performances obtenues avec l'utilisation d'herbicides.

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 (Ball *et al.*, 2002) tant que la pousse terminale des plants ou semis ne dépasse pas de la végétation. En effet, Aussenac (1970) a démontré qu'il valait mieux supprimer l'abri herbacé dès que les pousses terminales émergent pour que celles-ci ne se retrouvent pas dans la couche froide critique. En pleine lumière, le hêtre développe une tendance à la fourchaison qui peut être réduit 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).

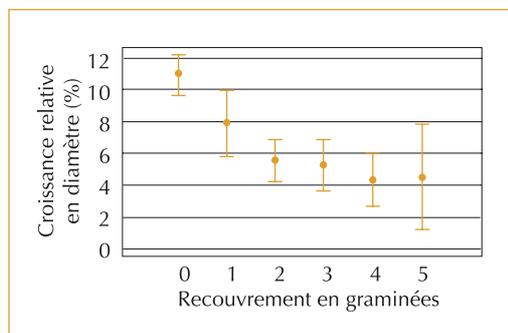
Les effets observés sur certaines variables telles que la température restent difficiles à interpréter pour l'été 2003 qui a présenté un climat particulièrement chaud. Pour la température, on observera particulièrement dans la suite de cette étude l'effet du couvert pendant les périodes de gel tardif.



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

La levée des espèces de plantes semées a été différente pour chaque site, ceci confirmant l'importance de la date de semis suivant les espèces (Dimkic, 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 semées, 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. Au vu de nos résultats, la simplification du mélange à une espèce ou un genre (*Trifolium sp.* par exemple) n'est pas une bonne option, confirmant ainsi les expériences de Willoughby (1999). Des améliorations



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

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 a disparu, ceci limite donc les possibilités de contamination de la flore locale par les plantes de couverture (Balandier *et al.*, 2003). 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 couverture en accompagnement de ligneux et le suivi de ces expérimentations multisites permettra de connaître le potentiel réel de ces techniques (Ningre *et al.*, 2004).

Les deux études regroupées dans cet article traitent de techniques différentes d'installation des ligneux (semis et plantation). Elles prouvent une certaine efficacité de la méthode dans les contextes des sites expérimentaux 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 permet d'espérer des solutions dans l'hypothèse où la réglementation évoluerait vers une interdiction d'emploi des herbicides en forêt, ou pour ceux qui, par conviction, souhaiteraient limiter l'utilisation d'intrants chimiques.

En proposant le semis de plantes de couverture en tant qu'outil de gestion et de contrôle de la compétition arbres-herbacées, cette démarche technique et scientifique illustre bien les perspectives innovantes apportées par l'ingénierie écologique. Ce projet aura contribué à faire progresser les connaissances sur les mécanismes de compétition et permet d'envisager la mise au point de techniques alternatives aux herbicides qui pourront être, à terme, transférées vers les gestionnaires de boisement. □

Remerciements

Ces études ont été financées par le Cemagref, RFF³ (sous le pilotage de la SNCF), la Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt d'Auvergne et la Communauté européenne (FEOGA⁴). Les auteurs tiennent à remercier Henri Frochot, Antoine Gama et Agnès Sourisseau pour leurs remarques sur le manuscrit, ainsi que Paula Yabar Zunzarren, Rolland Paillat, André Marquier et Fabrice Landré pour leur contribution aux mesures de terrain.

3. Réseau ferré de France.

4. Fonds européen d'orientation et de garantie agricole.

Résumé

L'installation de jeunes ligneux en plantation forestière est souvent compromise par une forte concurrence avec la végétation herbacée. Les techniques classiques de gestion de cette compétition telles que l'utilisation d'herbicides ou l'entretien mécanique sont actuellement remises en question pour des raisons environnementales ou pour leur efficacité. Dans ce contexte, le semis de plantes de couverture permettant de contrôler la végétation représente une méthode alternative intéressante d'ingénierie écologique. Cet article présente les premiers résultats de la modification du couvert herbacé sur les variables micro-environnementales et la disponibilité en ressources dans deux expérimentations d'arbres plantés et semés. Le développement des arbres est encourageant, mais les résultats montrent cependant que des études sur la dynamique et la composition des mélanges semés sont encore nécessaires pour l'application plus générale de la technique.

Abstract

Young tree establishment in forest plantation is often compromised by herbaceous vegetation competition. At present, this vegetation is generally controlled by chemical or mechanical operations but they are criticized either from environmental points of view either for their efficiency. In this prospect, an alternative method consists of sowing cover plants in order to control vegetation. This paper presents first results on the consequences of vegetation cover modification on micro-environmental variables and resources availability in two experiments of planted and seeded trees. Tree development is encouraging but results show that further studies on plants dynamics and seed mixture composition are needed before spreading the technique.

Bibliographie

- AUSSENAC, G, 1970, Gelées tardives et jeunes peuplements forestiers, *Revue Forestière Française*, 1970, n° 4, p. 463-469.
- BALANDIER, P. ; FROCHOT, H. ; CHARNET, F. ; REINECKE, H. ; NINGRE, F. ; KOERNER, W. ; LANDRE, F. ; LEFEVRE, Y. ; BOULET-GERCOURT, B., 2003, *Restauration de la biodiversité floristique lors des opérations de boisements*, rapport de fin de projet, Cemagref, INRA, IDF, H. Reinecke Forstingenieurbüro, IFB, Cemagref Clermont-Ferrand, (FRA), 17 p. + ann.
- 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 Éditions, Antony, 144 p.
- FROCHOT, H., 1984, Influence de *Festuca pratense* sur le développement de jeunes peupliers, in 7^e colloque international COLUMA-EWRS, p. 307-313.
- FROCHOT, H. ; ARMAND, G. ; GAMA, A. ; NOUVEAU, M. ; WEHRLLEN, 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 en forêt. Évolutions 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^{re} partie, *Forêt-Entreprise*, n° 158.

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*, à 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.

SCHÜTZ, J.-P., 2004, Opportunistic methods of controlling vegetation, inspired by natural plant succession dynamics with special reference to natural outmixing tendencies in a gap regeneration, *Annals of Forest Science*, n° 61, p. 149-156.

VAN LERBERGHE, P. ; SIX, S. ; CROUÉ, E. ; BONNET, F. ; SOURISSEAU, A., 2004, Les paillis dégradables en plantation ligneuse, *Forêt entreprise*, n° 157, p. 19-46.

WILLOUGHBY, I., 1999, Future alternatives to the use of herbicides in British forestry, *Canadian Journal of Forest Research*, n° 29, p. 866-874.