

LES CAHIERS de la Reconstitution

INSTALLATION DES PEUPELEMENTS

édito

Les effets de la tempête de janvier 2009 (ouragan Klaus) aggravés par les dégâts d'insectes ravageurs en 2010 et 2011 se traduisent par la nécessité de reconstituer 200 000 hectares de forêts en Aquitaine. C'est le plus grand chantier de reboisement d'Europe. Tous ceux qui sont concernés, en premier lieu les sylviculteurs sinistrés, souhaitent s'engager dans cette vaste entreprise en connaissance de cause, en particulier au travers d'itinéraires techniques susceptibles de limiter les risques et d'améliorer la résilience de la forêt de production.

Ces "Cahiers de la reconstitution" n'ont d'autre ambition que de les accompagner dans cette démarche essentielle mais difficile. Ils sont le fruit d'un dialogue permanent et responsable entre la Recherche, le Développement forestier, les représentants de la forêt privée et les gestionnaires de la forêt publique, au sein du groupement d'intérêt scientifique Groupe Pin Maritime du Futur (GPMF). Le GPMF s'est donné pour objectif de dresser ici un état des connaissances, en rappelant ce qui a été démontré, mais également ce qui reste à expérimenter, ainsi que les recherches en cours. Au-delà de cet état des lieux, nous souhaitons aussi exposer les questionnements qui s'imposent face à un contexte économique et environnemental en évolution, et proposer des pistes d'action.

Le Groupe Pin Maritime du Futur



Plantation de pin maritime (Photo Pierre Alazard, FCBA).

Les traités de sylviculture moderne publiés au cours des années 1980 (Chaperon, 1986, Maugé, 1987) ont largement décrit les bases de la ligniculture. Ce concept de ligniculture a permis de définir les itinéraires mis en œuvre lors du reboisement en pin maritime dans le massif landais. Deux pratiques ont été promues : le travail du sol et la fertilisation. Ces deux éléments sont des facteurs essentiels des gains de production constatés sur les peuplements créés depuis plus de 40 ans et sont encore d'actualité aujourd'hui, même si les techniques, les outils et les itinéraires ont fortement évolué au cours du temps. Les deux tempêtes de 1999 et de 2009 ont parfois suscité des interrogations sur le bien-fondé de ces pratiques en suggérant que les peuplements créés et conduits en ligniculture intensive sont moins résistants lors de forts coups de vents. La fertilisation, le reboisement en ligne et les techniques de labour ont parfois été remis en cause. A l'aube de la reconstitution consécutive à la tempête de 2009, il semble nécessaire d'une part, de rappeler les acquis importants que ces différents procédés apportent à la sylviculture du pin maritime dans le massif landais, et d'autre part de formuler les interrogations soulevées et les pistes de recherche concernant la durabilité de la production dans un contexte changeant (climat, économie, utilisation de la ressource...).

Ce cahier fera d'abord le point sur l'ancrage racinaire chez le pin maritime, paramètre essentiel pour la stabilité de l'arbre et donc la résistance des peuplements au vent. La deuxième partie concernera la fertilisation et le maintien de la fertilité du milieu sur le long terme. Les techniques et itinéraires de reboisement seront enfin abordés. Compte tenu de la grande diversité des pratiques utilisées, l'accent sera mis sur les points clés à prendre en considération et sur les interrogations relatives aux évolutions possibles.

Pierre Alazard, FCBA ; Rédacteur en chef

De l'importance du système racinaire chez le pin maritime

Frédéric Danjon, INRA

La seule méthode opérationnelle utilisée actuellement par les scientifiques pour mesurer l'architecture 3D (3 dimensions) des systèmes racinaires d'arbres dans des expérimentations a été mise au point à l'INRA il y a une douzaine d'années. Depuis, plus de 600 systèmes racinaires complets de pin maritime de différents âges et soumis à différents traitements ont été mesurés. Nous avons donc une bonne connaissance de la croissance et de l'architecture racinaire de cette espèce dans les sols landais. Après la tempête Martin, des mesures de dégâts au niveau peuplement et des treuillages de pins ont été effectués de façon à mieux comprendre les facteurs qui entraînent le basculement et la force nécessaire pour déraciner les arbres. En complément, des modélisations mécaniques sur des racines et des sols virtuels ont aussi été réalisées ces dix dernières années à l'INRA et au CIRAD. En revanche l'étude de l'effet des techniques d'installation des peuplements avec les méthodes qui viennent d'être décrites n'a débuté que depuis peu.

Le système racinaire du pin maritime est adapté aux sols sableux landais, de la dune aux landes humides. Le semis émet d'abord une racine verticale, le pivot, puis une vingtaine de racines traçantes qui poussent d'au moins un mètre la première année à environ 5-10 cm de profondeur. Lorsque le diamètre à 1,30 m de l'arbre est inférieur à 10 cm, le système racinaire maintient l'arbre à la manière d'un « pieux haubané » (le pivot, haubané par les racines traçantes). Des pivots secondaires sont ensuite émis par les racines traçantes. Lorsque les arbres sont plus gros, et d'autant plus que le sol est peu profond, les pivots secondaires prennent de l'importance. Les racines traçantes près du tronc, le pivot principal et les pivots secondaires forment alors une sorte de « cage », qui emprisonne le sol, cette cage étant elle-même « haubanée » par le reste des racines traçantes. Les arbres de grande taille résistent au renversement dû au vent en premier lieu grâce au poids de cette cage (voir illustration ci-dessous).

Le système racinaire du pin ne fourche pas spontanément, n'a que très peu de racines obliques et ne forme pas de nouvelles racines sur les anciennes. Un arbre jeune sans pivot aura une mauvaise stabilité. Un arbre d'une dizaine d'années dont la couronne de racines traçantes comporte des manques, ne les comblera pas, et n'aura donc pas non plus de pivots secondaires dans ces secteurs : la « cage » racinaire de l'arbre adulte sera alors incomplète, et l'arbre sera sensible au vent.

Lorsqu'une racine traçante de pin est coupée par une lame, elle émet à partir de la blessure une demi-douzaine

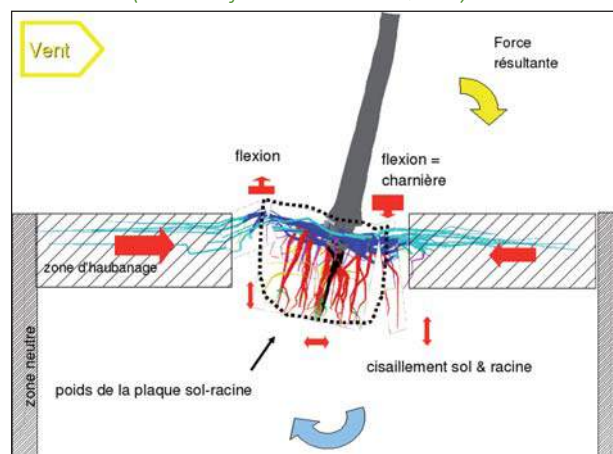


Numérisation d'un système racinaire en trois dimensions (Photo Frédéric Danjon, INRA).

de racines plus fines. Si la racine est sectionnée à proximité du tronc (à moins d'1,5 m du collet), la stabilité de l'arbre à 40 ans sera réduite, car la résistance mécanique en flexion (en appui) est quasi nulle après le point de section. De plus, l'effet sur la résistance en tension (résistance à l'arrachage) et sur l'ancrage dans le sol est mal connu, mais il est probable que le point de cicatrisation constitue une faiblesse mécanique. Toute pratique sylvicole provoquant des blessures mécaniques ou des sections de racines à proximité du tronc, aura donc des conséquences néfastes sur la stabilité du pin maritime.

Lors de l'installation d'un peuplement, l'objectif sera de permettre aux arbres de développer un système racinaire avec un fort pivot et une couronne de racines traçantes homogène et horizontale. Ainsi l'arbre adulte sera doté d'une cage haubanée complète, condition favorable à sa stabilité.

Schéma illustrant les forces subies sous l'effet du vent par un arbre de grande taille ayant un système racinaire de type cage haubanée en sol sableux (source Danjon et Fourcaud 2009, CIAG).



La fertilisation

Pierre Trichet, INRA

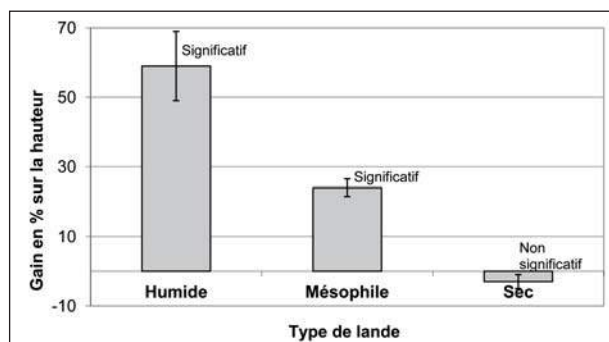
LES ACQUIS

La fertilisation en phosphore est une pratique recommandée pour la sylviculture du pin maritime dans les Landes de Gascogne, compte tenu des gains de productivité engendrés en lien avec la grande pauvreté des sols landais en cet élément.

Depuis l'essai historique installé à Mimizan en 1957, l'efficacité de la fertilisation phosphorique sur la croissance a été largement confirmée par de nombreux essais mis en place par les organismes de recherche et de développement. Sur le dispositif de Mimizan, l'apport de 120 unités d'acide phosphorique (P_2O_5) par hectare a permis de passer d'une production moyenne en 26 ans de 6,0 m³/ha/an à plus de 10 m³/ha/an. L'effet de la fertilisation apportée à l'installation sur la productivité (accroissement courant) est maximal entre 0 et 8 ans, puis va en se réduisant jusqu'à l'âge de 15-20 ans.

Les résultats de l'ensemble des essais de fertilisation permettent maintenant de mieux préciser les modalités de son application.

- **La dose d'apport** : au début des années 1970, la dose de 120 unités /ha a d'abord été considérée comme un optimum souhaitable. Aujourd'hui, on considère qu'un apport de **60 à 80 unités par hectare** permet de soutenir la croissance pendant les 20 premières années.
- **La forme de l'engrais** : les essais installés n'ont pas permis de mettre en évidence la supériorité d'une formule par rapport à une autre, en particulier pour ce qui concerne les superphosphates par rapport aux hyperphosphates.
- **La date de l'apport d'engrais** : la fertilisation initiale **au moment du labour** est toujours préférable. Un apport différé induit d'une part un retard de croissance s'il n'est pas fait dans les 2 ou 3 ans après l'installation et d'autre part un risque d'endommagement des systèmes racinaires.
- **La localisation de l'engrais** : un apport de 60 à 80 unités par hectare **concentré sur la zone de plantation** semble suffisant pour soutenir une croissance initiale satisfaisante.
- **L'hétérogénéité stationnelle de la réponse à la fertilisation** : dans la majeure partie des cas, la fertilisation phosphatée est **efficace en lande humide à mésophile**, cependant il existe une variabilité dans l'intensité de la réponse à cette fertilisation. L'absence d'effet de la fertilisation phosphatée en lande sèche sur la croissance est constatée.



Effet d'une fertilisation phosphatée initiale sur la croissance en hauteur entre 1 et 4 ans, exprimée en pourcentage de gain par rapport à un témoin non fertilisé (source Trichet et al, 2009).

LES INTERROGATIONS SUR LES EFFETS DE LA FERTILISATION EN PHOSPHORE ET LE MAINTIEN DE LA FERTILITE DES SOLS

- **Fertilisation et défaut de forme** : la vitesse de croissance et les dimensions plus importantes des arbres fertilisés entraînent certains défauts de forme : augmentation de la fréquence des nœuds plongeurs, du diamètre des branches et de la flexuosité du tronc. Ces effets négatifs ne sont cependant pas réhibitoires face aux gains de production procurés par la fertilisation.
- **Fertilisation et sensibilité au vent** : l'âge et le degré de fermeture du peuplement influencent l'impact de la fertilisation sur la sensibilité au vent. Dans les peuplements jeunes ou ouverts, la fertilisation augmente la sensibilité au vent, en raison des dimensions plus importantes des arbres fertilisés en particulier pour ce qui concerne la masse de leur houppier. De plus les arbres fertilisés auraient une biomasse racinaire moins développée en proportion de leur biomasse aérienne. Dans les peuplements fermés plus âgés, la fertilisation aurait un impact positif sur la résistance au vent, en favorisant la compacité du couvert (ces résultats obtenus sur un dispositif demandent à être confirmés). Compte tenu des gains de production observés, les risques suspectés de sensibilité au vent ne justifient pas l'absence de fertilisation.
- **Variabilité de la réponse à la fertilisation en lande humide** : sur certaines stations de lande humide, la fertilisation phosphatée se révèle parfois inefficace. Cette absence d'effet de la fertilisation a été observée sur des sites où la productivité ainsi que la quantité de phosphore biodisponible dans le sol étaient déjà élevées. Des études sont en cours pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques du sol de ces stations, où le phosphore ne serait pas le principal facteur limitant la croissance.

- **Maintien de la fertilité des landes sèches** : sur ce type de landes, compte tenu du manque de recul sur l'évolution de leur productivité au long terme, un apport de **40 à 60 unités** semble malgré tout la solution à préconiser par mesure de précaution.
- **Dose et mode d'apport** : la technique classique est de faire un épandage en plein ou en bandes avant le labour. La tendance actuelle, dans le cas d'un labour en bandes, consiste en un apport de l'engrais au moment du labour directement au fond du sillon (apport simultané au labour). Des essais ont été installés pour tester l'effet de la localisation de l'apport et son interaction avec la dose. On s'interroge également sur le développement du système racinaire comparativement à un apport en surface avant le labour.
- **Apport d'azote** : l'azote est un facteur limitant de la croissance du pin maritime dans les Landes de Gascogne. Une expérimentation a en effet montré que des apports annuels d'azote réalisés entre 5 et 15 ans dans un peuplement où le sous-bois était broyé, augmentaient la croissance du peuplement dans des proportions presque équivalentes à celles observées pour le phosphore. Cependant, l'efficacité d'une fertilisation minérale azotée apportée à une ou deux reprises dans la vie du peuplement apparaît faible et fugace en lien avec le

caractère fortement lessivable de cet élément. Des essais sont en cours pour tester la faisabilité de l'introduction de cultures intercalaires de légumineuses forestières (ajonc, genêt...) ainsi que leur impact sur l'amélioration du bilan azoté de la sylviculture actuelle.

- **Maintien de la fertilité et nouveaux scénarios sylvicoles** : le développement d'une demande plus forte en bois énergie, pourrait promouvoir une sylviculture basée sur des révolutions plus courtes et une récolte simultanée de différents produits (tronc, branches, souche). Des prélèvements répétés et importants de la matière organique qui est le support essentiel de la fertilité des sols landais ne peuvent pas être sans conséquences sur l'évolution à long terme de la fertilité de l'écosystème. Les modalités d'exploitation et de reconstitution des peuplements devront donc minimiser l'exportation des compartiments riches en minéraux tels que les aiguilles, l'écorce, les branches et les racines fines, et compenser les exportations (fertilisation, apports organiques, cendres, cultures intercalaires). Des essais sont en cours pour étudier de façon approfondie les effets des différents niveaux de prélèvement à la récolte, l'impact de l'épandage de cendres issues de la combustion de biomasse forestière et la mise en œuvre d'une fertilisation compensatoire.



Effet de la fertilisation en phosphate : arbres non fertilisés au premier plan, fertilisés au deuxième plan (Photos Pierre Trichet, INRA).



Les particularités du sol landais

Pierre Alazard, FCBA

Le terrain à reboiser, en général après une coupe rase, présente plusieurs caractéristiques.

LA MATIÈRE ORGANIQUE

La matière organique en surface est abondante et diversifiée : d'une part les rémanents d'exploitation (cimes, branches, écorces...), et d'autre part l'ensemble de la flore du sous-bois dont certaines espèces (en particulier la molinie) présentent un feutrage racinaire important.

Les souches du peuplement précédent restent, la plupart du temps, en place : celles-ci créent des obstacles au cheminement des engins de travail du sol. Elles peuvent gêner la croissance des racines des jeunes pins si elles sont situées à moins d'un mètre des arbres.

Le débroussaillage et le nettoyage sont donc des opérations nécessaires avant le reboisement (voir chapitre suivant).

LE SOL SABLEUX ET LE COMPACTAGE

Les sols sableux sont beaucoup moins sensibles au compactage que les sols argileux. Il est cependant recommandé d'effectuer les travaux d'exploitation et d'entretien avec des engins compactant peu le sol.

L'ALIOS ET LE SOUS-SOLAGE

Les sols landais sont des podzols avec une formation ancienne de micro-creux « mouilleux » et de micro-crêtes. Sur les micro-crêtes, au niveau de l'horizon d'accumulation, le sable s'est soudé très fortement avec de la matière organique ou des oxydes, aboutissant à la formation de l'aliOS. Ce dernier, plus ou moins induré, plus ou moins fissuré, rarement continu, se présente sous forme de bandes ou « loupes » à des profondeurs variant entre 40 et 120 cm. Lorsqu'il est dur, il empêche la progression des racines du pin qui forment alors une sorte de bouclier à son contact, accompagné d'un fort feutrage. La présence de l'aliOS limite le volume de sol exploré par les racines, mais offre probablement aussi un bon support mécanique pour le système racinaire lorsqu'il est à plus de 70 cm de profondeur. Du fait de la forte variabilité de la distribution de l'aliOS au sein même des parcelles et de ses effets contradictoires sur la stabilité, en fonction de sa profondeur, il n'est pas étonnant que les résultats des expérimentations de sous-solage soient parfois incohérents : celles menées dans les années 1970 par l'AFOCEL et l'ONF n'ont pas permis de prouver une réelle efficacité de cette technique tant sur la croissance que sur la stabilité au vent des peuplements. La compréhension du



La couche d'aliOS constitue un obstacle à la colonisation en profondeur des racines du pin maritime (Photo Jean-Baptiste Ornon, INRA).

rôle de l'aliOS et de l'intérêt éventuel de briser cet horizon, obstacle au drainage naturel, à l'accès aux réserves en eau pendant les périodes de sécheresse et au développement en profondeur du système racinaire du pin maritime, serait certainement utile : dans une première étape, l'observation de la croissance en profondeur des racines sur des parcelles ayant bénéficié d'un sous-solage serait probablement riche d'enseignements. Une modélisation mécanique pourrait permettre d'évaluer la pertinence des hypothèses proposées ci-dessus.

L'EXCÈS D'EAU ET L'ASSAINISSEMENT

L'assainissement est une opération indispensable en landes humides : c'est d'ailleurs grâce à la constitution d'un réseau de fossés de drainage que le pin maritime a pu se développer dans le massif landais. L'excès d'eau, notamment pendant la période hivernale est néfaste pour la croissance des racines en profondeur (anoxie racinaire) et donc pour la stabilité des peuplements en cas de tempête ; il constitue également une gêne pour les travaux de sylviculture et d'exploitation forestière en hiver et pour la pénétrabilité des engins de lutte contre l'incendie au printemps.

Les opérations d'assainissement nécessaires sont bien maîtrisées mais le principal obstacle à leur réalisation est leur coût souvent élevé. Elles doivent être réalisées avant le reboisement et ne doivent pas être différées : en effet c'est pendant les premières années de vie du peuplement que le drainage est nécessaire afin que les arbres soient dans les meilleures conditions pour l'installation de leur système racinaire. Un drainage excessif peut être néfaste et seules les eaux de surface nécessitent d'être évacuées : la réalisation de fossés de drainage trop profonds est à proscrire ; le comportement « souffreteux » des pins en lisière des terres de culture est en grande partie lié à un excès de drainage qui accentue le stress des arbres surtout lors de fortes sécheresses.

Le débroussaillage et le nettoyage avant le travail du sol

Pierre Alazard, FCBA

Le but du **débroussaillage avant labour** est de faciliter le travail de la charrue en fragmentant le volume des rémanents, le sous-bois et le feutrage racinaire. L'outil utilisé est le rouleau débroussaillieur constitué d'un axe horizontal portant des lames : celui-ci est tracté et les lames en roulant sur le sol, grâce au poids de l'appareil (plus de 2 tonnes) hachent les branchages et réalisent un cisaillement de la végétation. On utilise le plus souvent deux rouleaux travaillant en tandem afin d'améliorer l'efficacité du travail.

Dans les landes humides à très forte colonisation de molinie, cette opération doit être très soignée pour hacher le plus finement possible un chevelu racinaire particulièrement compact ; le travail à la charrue en est ensuite facilité.

La **destruction des souches renversées** dans le cas de chablis est nécessaire ; depuis la tempête de 1999, les techniques à mettre en œuvre pour réaliser cette opération sont bien maîtrisées. Le sylviculteur a le choix entre la mise en cordons et le déchetage grossier des souches renversées avec ou sans récupération des rémanents pour le bois énergie. Les suivis de chantiers réalisés après la tempête de 1999 ont montré que la réussite des reboisements était comparable quelle que soit la technique de nettoyage utilisée.

Le **dessouchage complet avec récupération des souches** offre un avantage : il facilite les opérations ultérieures



Mise en cordons des souches, (Photo Dominique Merzeau, IDF-CPFA).



Le dessouchage est une opération indispensable en cas de chablis (Photo Dominique Merzeau, IDF-CPFA).

(débroussaillage, labour, reprise) contribuant ainsi à diminuer les temps de travaux : sur chantiers pilotes, des gains de 5 à 7 % sur le temps nécessaire au labour ont pu être estimés. Deux inconvénients ont été recensés : le coût de l'opération si les souches ne sont pas valorisées, et les exportations en éléments minéraux et en carbone.

Le dessouchage pourrait également être un **moyen de lutte préventif contre le fomes et l'hylobe** s'il concerne toutes les souches de la parcelle quels que soient leurs dimensions et leur état. Les pourridiés des résineux, armillaire (*Armillaria ostoyae*) et fomes (*Heterobasidion annosum*) sont, selon différentes enquêtes et prospections, en expansion depuis plus de 30 ans. Bien qu'il existe des moyens de protection, il semblerait que le dessouchage puisse être un moyen de lutte préventif efficace contre la propagation du fomes. C'est pour répondre à cette interrogation qu'un réseau de parcelles expérimentales a été créé afin d'analyser l'évolution de cette maladie grâce au suivi de peuplements infestés sur lesquelles plusieurs modalités de moyens de lutte préventifs et curatifs sont appliquées ; le dessouchage y est notamment testé. L'influence favorable du dessouchage sur la diminution des dégâts d'hylobes au moment de la régénération est également une hypothèse plausible qui mérite d'être vérifiée : en effet l'hylobe adulte pond ses œufs sur les grosses racines des souches fraîchement coupées : une extraction de celles-ci pourrait constituer un moyen de lutte préventif.

Le travail du sol

Pierre Alazard, FCBA

L'objectif du **travail du sol** est en premier lieu de limiter le développement de la végétation adventice concurrente du pin maritime au moment de la mise en place des graines ou des plants. Traditionnellement, le travail est réalisé dans le massif par un labour.

LE LABOUR

Le labour permet d'ameublir les horizons de surface de manière à favoriser le drainage et la colonisation du sol par les racines. Le labour a également pour effet d'accélérer la minéralisation de la matière organique et d'enfouir l'humus. Il permet de créer un lit de semence homogène favorable à la germination des semis ou à la mise en place des plants. En cas d'apport de fumure phosphatée avant le labour, celui-ci permet de la mélanger au niveau des horizons où vont se développer les racines ; ainsi le phosphore, très peu mobile dans le sol, sera à proximité immédiate des racines dans des horizons de sol plus humides en été.

En lande humide, l'un des objectifs du labour est de mettre les plants hors d'eau surtout pour les périodes où la nappe est proche voire à la surface du sol. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'autrefois sur les zones humides mal assainies, on réalisait un labour en ados afin que les plants soient installés sur ces buttes façonnées par les outils de préparation du sol.

Les labours forestiers, compte tenu des particularités du milieu, sont généralement réalisés avec des charrues à socs (bi ou trisocs) voire d'autres outils (train d'outils). Les charrues à socs pour le travail du sol dans le massif landais sont beaucoup plus robustes que celles utilisées en agriculture : toutes les pièces sont renforcées de manière à pouvoir travailler en milieu difficile (chevelu racinaire en lande à molinie ; présence de souches, de racines et de rémanents). Les charrues ont beaucoup évolué au cours des trente dernières années : on est ainsi passé des charrues monosocs aux charrues bisocs ; actuellement, grâce à l'augmentation de puissance fournie par les tracteurs forestiers (180 à 200 CV), les charrues les plus utilisées sont des charrues trisocs avec socs escamotables (charrue « non-stop ») de manière à franchir les obstacles représentés par les souches du peuplement précédent.

Le **labour en bandes** (ou labour partiel) est la technique la plus répandue : elle consiste à ne labourer qu'une fraction de la surface. Dans la mesure du possible, il serait préférable de faire quatre traits de charrue plutôt que trois



Labour en plein (Photo Dominique Merzeau, IDF-CPFA).

(un passage de charrue quatre socs ou deux passages de bisocs) ce qui permettrait d'améliorer la largeur travaillée (entre un tiers et la moitié). Dans tous les cas, le dernier soc laisse une dérayure apparente (ou « cale du labour ») qui présente quelques inconvénients sur le développement racinaire car les racines traçantes des pins suivent la surface du sol. De plus, la présence de la dérayure provoque un déplacement incliné des engins qui peuvent alors causer des blessures aux arbres.

Il est donc recommandé d'utiliser des charrues munies d'un disque à l'arrière du dernier soc de façon à atténuer la dérayure. Dans le cas contraire et compte tenu de la vitesse de croissance des racines de pin, il faut combler cette dérayure dans les meilleurs délais, probablement dans les deux années qui suivent la plantation : si cette opération culturale est trop tardive, on prend le risque de couper les racines des arbres et d'accentuer la sensibilité aux chablis.

Le labour en plein consiste à labourer la totalité de la surface forestière et représente moins de 15 % des reboisements actuels. Cette technique serait préférable au regard de la croissance et de la stabilité des peuplements.

AUTRES TECHNIQUES DE PRÉPARATION

Si la charrue est utilisée dans la plupart des cas, il faut toutefois noter que d'autres outils (charrue à disques, train d'outils, charrue rotative, « pein-plant », scarificateur) sont (ou ont été) également utilisés. Il existe peu de parcelles expérimentales où l'on peut comparer ces différentes techniques permettant ainsi d'avoir une analyse pertinente pour chaque outil ; si dans l'ensemble les résultats obtenus sont assez variables, on peut néanmoins indiquer quelques préconisations :

- Dans le cas de l'utilisation d'un scarificateur, la plantation des arbres au fond de la dérayure est à éviter car les risques d'excès d'eau y sont importants : il est impératif de mettre les plants sur le sommet de la zone travaillée.
- Les charrues à disques doivent être réservées aux landes sèches à faible colonisation par les adventices.
- Les outils de préparation de type rotatif (charrue rotative, « pein-plant ») ne sont plus utilisés. L'intérêt potentiel de ce dernier outil pourrait cependant être évalué pour le reboisement en périphérie du massif où il a été beaucoup utilisé après la tempête de 1999.

LES INTERROGATIONS ACTUELLES

En régénération artificielle, un travail du sol minimum a toujours été préconisé avant d'installer un peuplement par semis ou plantation.

Comme en agronomie depuis quelques années, le labour est critiqué car des études ont montré qu'il contribuait à

la diminution du stock de matière organique (accélération de la minéralisation de l'azote, libération de CO₂) : ceci a été particulièrement discuté lors du colloque GIP ECOFOR après la tempête de 2009.

Des solutions sont proposées pour remédier à ces inconvénients : travail localisé, pseudo-labour... : ces options ont été partiellement testées et l'on peut indiquer que leur mise en œuvre est parfois aussi coûteuse que le labour (cas du travail en potet) et que la croissance initiale est fortement ralentie si la technique utilisée ne permet pas un dégagement suffisant de la végétation adventice (cas du pseudo-labour dans les landes humides). On peut toutefois s'interroger sur la pertinence d'utiliser les mêmes techniques et les mêmes outils en lande humide fortement envahie de molinie et en lande sèche. Des expérimentations ponctuelles ont été réalisées par divers organismes sur la possibilité de préparations plus sommaires dans le cas des landes sèches : un bilan et de nouvelles expérimentations seront probablement utiles.

Dans le cas d'un labour en bandes, il est recommandé d'utiliser une charrue comportant un disque de recouvrement à l'arrière du dernier soc de façon à atténuer la dérayure (charrue multifonctionnelle, Photo Alliance Forêts Bois).



Le labour avec quatre traits de charrue est l'option à privilégier dans le cas d'un labour en bandes (Photo FCBA).

Le reboisement : choix des itinéraires

Pierre Alazard, FCBA

LE SEMIS EN LIGNE

Le semis en ligne traditionnel, réalisé classiquement avec 3 kg de graines à l'hectare, ne peut pas être effectué avec des semences de variété améliorée compte tenu de leur coût. Moyennant une préparation du sol et une installation soignées, un semis avec un 1 kg de graines à l'hectare permet aux variétés améliorées d'être également valorisées par cette technique. Comme l'installation par semis génère un grand nombre d'arbres, un dépressage est nécessaire pour ne pas pénaliser la croissance des arbres.

LA PLANTATION

La technique traditionnelle de semis direct a été progressivement abandonnée au profit de la plantation (plus de 80 % des surfaces sont aujourd'hui plantées) qui seule permettait l'accès aux variétés améliorées dont les gains en croissance et rectitude basale sont significatifs (cf. cahier de la reconstitution « Matériel végétal de reboisement », en préparation).

Le développement de la plantation a été rendu possible grâce à la mécanisation de la production des plants dans les pépinières.

La totalité des plants est produite en conteneurs ou motte avec un volume de 100 à 200 cm³. La production de plants permet d'élargir la période de plantation qui peut aller de septembre à fin mai, même si les plantations d'automne sont préférables. Les plants sont produits :

- En blocs tourbes, où les racines sont coupées en fin de culture. Ce cernage latéral et horizontal est pratiqué mécaniquement.
- En conteneurs ou paniers comportant plusieurs alvéoles de culture dont les parois sont ajourées par des fentes verticales qui permettent un cernage des racines au contact de l'air.

D'un point de vue qualitatif, les plants de pin maritime doivent satisfaire aux exigences de la législation en vigueur relative aux normes qualitatives applicables à la production sur le territoire national de matériels forestiers de reproduction.

La plantation est faite manuellement au tube à planter. Une attention particulière doit être apportée au moment de réaliser au pied un tassement régulier autour du plant, de façon à assurer le contact entre le système racinaire et le sol dans toutes les directions.

Il est important, au moment de la plantation de faire attention à la micro-topographie du terrain et il est



Plantation au tube à planter (Photo Alliance Forêts Bois).

primordial de ne pas positionner les plants trop près de la dérayure (voir photo). Un labour à 4 traits de charrue permettrait d'éviter plus facilement cet écueil du fait d'une zone plantable plus large. Des relevés de micro-topographie et de positionnement des plants (plants installés sur l'ados ou dans un creux de terrain) montrent que les arbres situés dans les micro-dépressions du relief du labour sont à la fois moins vigoureux et moins stables par rapport à ceux plantés sur les zones de terrain les plus assainies : la plantation dans les micro-dépressions du labour doit donc être évitée. Ces inconvénients n'existent pas dans le cas d'un labour en plein. Notons enfin que pour l'émiettage du labour, il serait préférable d'employer le cover crop suivi d'un crosskill en lieu et place du rouleau débroussailleur : le travail obtenu est de meilleure qualité et le léger tassement évite la présence d'un sol trop aéré.

Dans le cas d'un labour partiel, il est recommandé de ne pas planter à proximité de la dérayure (Photo Pierre Alazard, FCBA).



DENSITÉS INITIALES ET ÉCARTEMENTS

La densité initiale généralement utilisée est de 1 250 tiges par hectare ; cependant il est possible de la moduler en fonction de la fertilité du sol : en lande sèche l'optimal se situe entre 1 000 et 1 250 tiges.

Les écartements entre lignes ont évolué au cours des trente dernières années : actuellement le standard est de 4 m entre lignes. Pour faciliter le passage d'engins de sylviculture et d'exploitation de plus en plus larges, les écartements peuvent passer à 4,50 m. A densité égale, les écartements entre lignes de 3 m, permettent une meilleure répartition spatiale des arbres sans jouer sur la croissance ni d'ailleurs sur la stabilité basale ; de plus lors de la première éclaircie, en complément de l'éclaircie sélective, la nécessité de prélever systématiquement une ligne sur cinq augmente sensiblement la quantité de bois récoltée.

Une variante possible consiste à créer des écartements variables avec un motif alterné : groupes de quatre lignes à faible écartement (3,50 m) séparés par des interlignes de 5 m. Cet interligne plus large est alors dédié au passage des engins d'exploitation : on évite ainsi la difficulté d'entretien des lignes à 3 m.



Jeune plantation de pin maritime (Photo CAFSA).

ITINÉRAIRES SYLVICOLES

Les 2 tempêtes de 1999 et 2009 ont révélé la nécessité de diversifier les objectifs de production assignés aux peuplements de pin maritime afin de limiter les conséquences des aléas (incendies, tempêtes...) et d'offrir une « réversibilité » (flexibilité) dans les objectifs pour s'adapter à des contraintes économiques fluctuantes.

Ainsi lors de la réflexion du groupe de travail Gip Ecofor « Itinéraires sylvicoles » après la tempête de 2009, quatre itinéraires types ont été définis :

- Sylviculture standard (1 250 tiges par hectare) en vue de la production en 40 à 50 ans de bois d'œuvre : le but est de produire des arbres de volume unitaire de 1,2 à 1,5 m³ après 3 à 5 éclaircies,
- Sylviculture de courte rotation (1 250 tiges par hectare) : le volume unitaire recherché est de 0,8 m³ en 25 à 30 ans (1 à 3 éclaircies),
- Sylviculture dédiée à la production de biomasse à vocation énergétique à partir d'une plantation sans éclaircie (1 600 à 3 000 tiges par hectare),
- Sylviculture semi-dédiée : cet itinéraire correspond à une plantation à forte densité (2 500 tiges par hectare) avec une première éclaircie à 9 ans pour la récolte en bois énergie (plants installés en surnombre avec système de lignes jumelées et prélèvement systématique d'une ligne).

Ces différents itinéraires ne sont pas figés au moment de leur création et peuvent, dans un délai d'une dizaine d'années environ, être réorientés vers d'autres objectifs que ceux assignés initialement (réversibilité).

La diversification des scénarios doit cependant s'accompagner de recherches complémentaires via l'installation et le suivi de parcelles pilotes notamment pour les itinéraires novateurs ; en effet il convient de porter une attention particulière à plusieurs facteurs :

- Evolution de la fertilité du sol et de la productivité dans le cas des courtes rotations (systèmes dédiés et semi-dédiés, révolution de 25 ans).
- Adéquation de ces itinéraires avec la nature du sol.
- Modalités de réalisation des éclaircies dans les peuplements semi-dédiés.
- Qualité et utilisation des bois pour les itinéraires courtes rotations.

Conclusion

La connaissance de l'influence des facteurs de la croissance des peuplements conduits en ligniculture a fortement progressé au cours des trente dernières années. Cependant de nouvelles interrogations sont apparues suite aux deux tempêtes, au contexte lié au changement climatique et à la notion de gestion durable.

Trois domaines sont concernés par ces interrogations :

- **la gestion de la fertilité des sols** (richesse minérale et réserve en eau des sols notamment pour limiter le stress hydrique et ses conséquences),
- **la diminution des intrants** (réduction des fertilisants, de l'utilisation des pesticides, diminution des zones travaillées pour limiter la perturbation des horizons),
- **la gestion et l'analyse de nouveaux itinéraires** (courte rotation, sylviculture mélangée feuillus-résineux, itinéraires biomasse) **et les conséquences sur la ressource** tant en quantité qu'en qualité.

Toutes ces thématiques font l'objet d'expérimentations en cours ; citons entre autres, les projets d'adaptation des forêts au changement climatique (CLIMAQ), le programme d'amélioration génétique et sylvicole du pin maritime (FORTIUS) et la plateforme d'étude de scénarios innovants de production de biomasse ligneuse (XYLOSYLVE) ; ces recherches sont le garant d'une réflexion raisonnée pour la gestion à long terme des forêts de production de pin maritime dans le massif landais.



*Plantation de pin maritime
(Photo Pierre Alazard, FCBA).*

► Pour en savoir plus

- Maugé J.-P. (1987) *Le pin maritime premier résineux de France*. CPFA - IDF, 191 p.
- Chaperon H. (1986) *La culture du pin maritime en Aquitaine*. Paris, AFOCEL, 231 p.
- Danjon F., Fourcaud T. (2009) *L'arbre et son enracinement*. Actes du colloque CIAG « Sylviculture, Forêts et Tempêtes » 30 juin 2009 Pessac France. *Revue Innovations Agronomiques*, INRA, Paris. 6:17-37
http://www.inra.fr/ciag/revue_innovations_agronomiques/volume_6_juin2009
- Jolivet C., Augusto L., Trichet P., Arrouays D. (2007) *Les sols du massif forestier des Landes de Gascogne : formation, histoire, propriétés et variabilité spatiale*. *Revue Forestière Française*, LIX-1, 7-30.
- GIP Ecofor (2010) *Expertise sur l'avenir du massif forestier des Landes de Gascogne*. Rapport final du groupe de travail Itinéraires sylvicoles ; Rapport final du critère C1 Vulnérabilité aux tempêtes. Documents disponibles sur le site landes.gip-ecofor.org.
- Trichet P., Bakker M R., Augusto L., Alazard P., Merzeau D. (2009) *Cinquante ans d'expérimentation sur la fertilisation du Pin maritime dans le Sud-Ouest de la France : importance du phosphore*. (en anglais). *Forest Science* 55(5) : 390-402.



Directeur de la publication :
le GIS GPMF

Comité éditorial

Patrick Pastuszka, INRA - Président du GIS GPMF

Pierre Alazard, FCBA

Alain Bailly, FCBA

Didier Canteloup, ONF

Jean-Raymond Liarçou, CRPF

Céline Meredieu, INRA

Dominique Merzeau, IDF-CPFA

Annie Raffin, INRA

Rédacteur en chef

Pierre Alazard, FCBA

Contact GIS GPMF :

Groupe Pin Maritime du Futur, Domaine de l'Hermitage

69, route d'Arcachon - Pierroton - 33612 Cestas Cedex.

Courriel : groupe.pmf@pierroton.inra.fr

Les trois autres cahiers :

Sylviculture et stabilité, déjà paru (novembre 2011)

Situation sanitaire et diversification, déjà paru (mai 2012)

Matériel végétal de reboisement, en préparation

Avec le soutien de



RÉGION
AQUITAINE

