Introduction de plantes légumineuses en Landes de Gascogne

24 min

Par David Vidal[1], Mark R. Bakker[1,2], Frédéric Bernier[1], Florian Delerue[3], Jean-Luc Denou[1], Jean-Christophe Domec[1, 2], Catherine Lambrot[1], Sylvie Niollet[1], Pierre Trichet[1] et Laurent Augusto[1]

Pour enrichir en azote les sols du massif forestier landais, l'introduction de plantes légumineuses est expérimentée en interlignes des plantations de pins maritimes. Une fois broyé, cet apport en matière organique est favorable pour la fertilisation du sol. Ainsi, cette pratique peut bénéficier aux pins pour leur croissance et également à la séquestration et au stockage du carbone.

[1] INRAE, Centre de recherche Bordeaux, Nouvelle-Aquitaine

[2] Bordeaux Sciences Agro, Nouvelle-Aquitaine

[3] Bordeaux INP, EA 4592, G&E.

[4] Plantation d'individus de la même espèce et du même âge.

[5] Science qui applique les concepts de l'écologie à la conception et à la gestion de système agricole durable.

Bien des méthodes existent pour augmenter la production des forêts cultivées : le choix des essences, l'amélioration génétique, le contrôle des ravageurs et du sous-bois, l'usage de plantation équienne[4] à forte densité, l'irrigation, la fertilisation. L'intensification de la sylviculture entraîne par ailleurs une augmentation des exportations minérales, qu'il est nécessaire de compenser pour le maintien de la fertilité des sols, en particulier en azote. L'usage de la fertilisation azotée semble donc indiqué pour augmenter la production de bois, ou *a minima* pour espérer conserver la durabilité à long terme de ces écosystèmes. Les engrais azotés minéraux sont peu utilisés en forêt en raison de la fugacité de leurs effets. Ils profitent en effet souvent plus à la végétation accompagnatrice concurrente, et peuvent provoquer des risques de pollution des nappes liés à leur caractère lessivable.

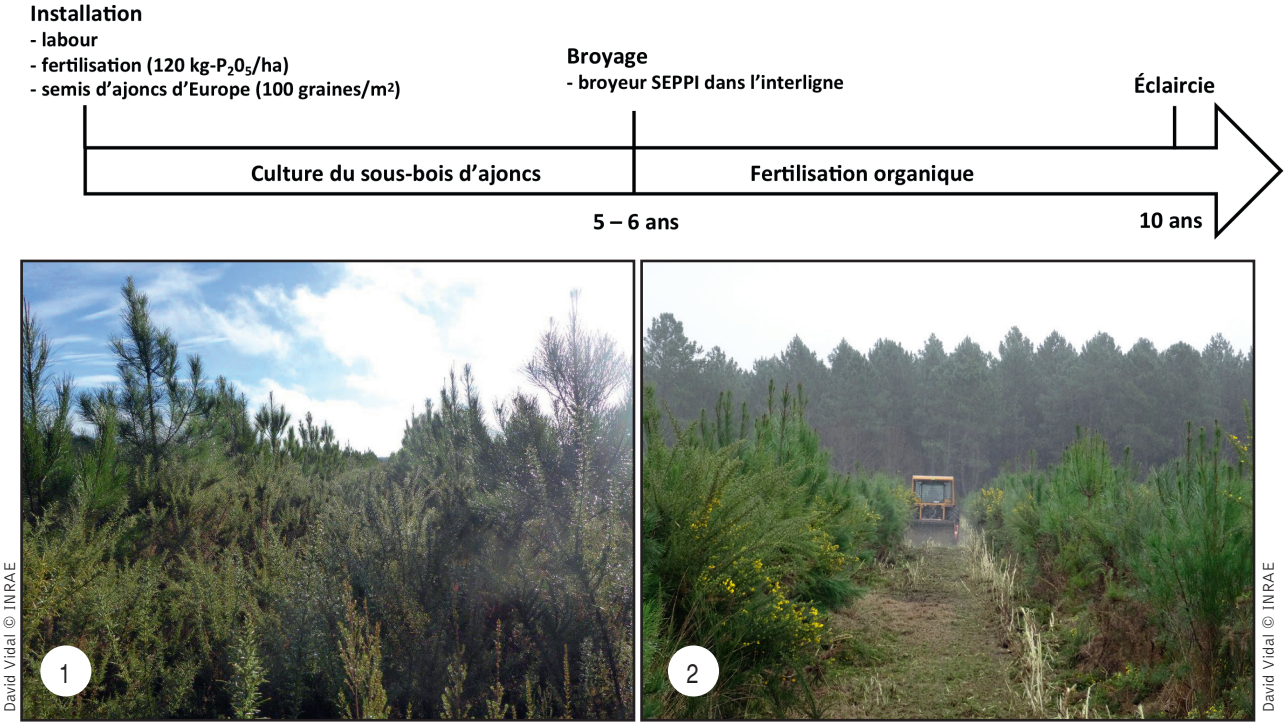
De ce constat, des recherches semblent nécessaires sur la manière d'apporter de l'azote lors du stade juvénile d'un boisement. Une alternative « ancestrale », naturelle, pilier de l'agroécologie[5], repose sur l'utilisation des plantes légumineuses pour fixer et introduire biologiquement de l'azote dans les sols et les cultures. Cette méthode peut-elle s'appliquer aux forêts cultivées et générer un gain de production ? Est-elle exempte d'effets néfastes ?

L'utilisation des plantes fixatrices d'azote comme alternative à la fertilisation chimique

La solution de la fertilisation chimique paraît simple, cependant les moyens mis en œuvre doivent être considérés avec précaution. Les fertilisants azotés de synthèse sont onéreux et maintiennent le secteur sous dépendance de la production industrielle. Leur production est très coûteuse en énergie (procédé Haber-Bosch) et leur utilisation est fortement émettrice de gaz à effet de serre (production, transport et émission d'un gaz à effet de serre puissant – le protoxyde d'azote – après épandage), à l'heure où notre économie se doit d'être plus sobre en énergie et en émission de CO_2. L'usage d'azote de synthèse reporte ainsi le problème de durabilité à une échelle plus globale.

Une autre méthode, plus écologique pour recharger l'écosystème en azote, se base sur la capacité de certaines plantes à fixer biologiquement l'azote de l'atmosphère, grâce à une association au niveau racinaire avec des bactéries : on parle de **plantes fixatrices d'azote** (ou de plantes légumineuses). L'azote contenu dans leurs tissus enrichit l'écosystème et permet *in fine* de fertiliser le système. Les expé-

Figure 1 – L'itinéraire sylvicole modèle est présenté selon la chronologie des interventions techniques



La photo 1 illustre le sous-bois d'ajoncs d'Europe cultivé entre les lignes de pins maritimes.

La photo 2 illustre le broyage d'un même sous-bois d'ajoncs d'Europe, à l'aide d'un broyeur forestier de type SEPPI.

riences abondent dans les pays du Sud (Brésil, Inde, Asie du Sud-Est) avec des peuplements forestiers mélangeant arbres de production et arbres fixateurs. Une autre pratique consiste à profiter de l'espace et des ressources disponibles au sein des peuplements lors des dix premières années de la rotation pour y cultiver des plantes fixatrices d'azote (principalement dans les interlignes). On fertilise en azote tout en continuant de dédier à l'arbre de production toutes les lignes de plantation.

L'état des connaissances en France métropolitaine

En France, l'usage d'un couvert de légumineuses est très ancien, comme en témoignent certains écrits, notamment sur l'ajonc d'Europe – *Ulex europaeus* L. – (Calvel, 1809) ou sur le genêt à balai – *Cytisus scoparius* L. – en Auvergne. Ces bosquets, naturels ou cultivés, étaient principalement utilisés pour protéger les sols de l'érosion, comme fourrage pour le bétail, comme paillage pour les cultures ou comme combustible. Bien que l'inspiration soit ancestrale, l'idée d'intégrer un couvert bas de légumineuses dans une rotation sylvicole relève plutôt aujourd'hui de l'innovation technique.

Les recherches en Landes de Gascogne

Le massif des Landes de Gascogne, avec ses grandes monocultures de pins maritimes (*Pinus pinaster* Ait.) et plus récemment de pins à encens (*Pinus taeda* L.), offre un cadre pertinent pour l'expérimentation de plantes fixatrices d'azote en sylviculture : sol pauvre, carence en azote, export important de biomasse (Jolivet *et al.*, 2007). Les sols y sont naturellement très carencés en phosphore, ce qui implique bien souvent une fertilisation avec des engrais phosphatés de synthèse (Trichet *et al.*, 1999). Cette fertilisation permet une croissance soutenue des arbres, ce qui peut avoir comme effet indésirable d'accentuer les besoins des arbres en d'autres nutriments, notamment en azote. De plus, pour répondre à la demande croissante de biomasse forestière, une solution envisagée par les sylviculteurs consiste à intensifier le niveau de récoltes. Le raccourcissement des récoltes et la récolte des rémanents (surtout celle des branches et des aiguilles), peuvent avoir des effets rapides et très négatifs sur les stocks en azote du sol (Achat *et al.*, 2018). Le bilan suspecté déficitaire en azote de la récolte intensive de biomasse (notamment de canopées), ajouté au souci d'indépendance vis-à-vis des intrants

Figure 2 – Réseau de sites expérimentaux lié à l'étude de l'itinéraire sylvicole modèle

** Design expérimental ne testant non pas des combinaisons de traitements mais un système entier, en se fixant une (ou plusieurs) contrainte(s) prioritaire(s) (ici ajout de phosphore + semis d'ajoncs).*

Plateforme XyloSylve (Cestas)
EQUIPEX XyloForest

Expérimentation – Système*

	Semis d'ajonc
+P	1 seule modalité (échelle de la parcelle)

Position : lat. 44.744, long. -0.777
Surface : 9 ha
Station : lande humide
Objectif : étudier les effets de la culture d'ajoncs sur l'environnement

Site en forêt domaniale de Lagnereau (Salles)

Traitements	Biomasse en ajoncs forte vs. faible
Contrôle, +N, +P, +NP	8 modalités (échelle de l'arbre)

Position : lat. 44.499, long. -1.000
Station : lande humide
Surface : 3,7 ha
Objectif : étudier les interactions biotiques

Site de la forêt du Rousset (Cestas)

Traitements	Semis d'Ajoncs vs. absence de semis
Control, +P	4 modalités (échelle de la parcelle)

Position : lat. 44.729, long. -0.731
Station : lande humide
Surface : 0,5 ha
Objectif : donner un aperçu général des effets de l'itinéraire technique

chimiques, ont ouvert la voie à la culture d'un sous-bois légumineux. Les premiers essais étaient à base de lupins blancs, de lupins arborescents, de lotiers et de trèfles (travaux non publiés de Trichet et Saur, 1993).

Face aux difficultés d'implantation de ces espèces exogènes dans les conditions spécifiques forestières des Landes de Gascogne (pH très acides, végétation accompagnatrice concurrente et sécheresses estivales), les recherches ont été concentrées sur deux espèces autochtones, oubliées de la lande : le genêt à balai et l'ajonc d'Europe, le deuxième étant fréquent voire abondant dans tout le massif landais. Lorsque des semis mélangeant ajonc et genêt ont été effectués, le genêt avait presque totalement disparu par compétition interspécifique, signe que le pédoclimat des Landes de Gascogne n'est pas favorable au genêt, qui est pourtant une espèce très abondante dans d'autres régions (Diquélou et Rozé, 1999). Cet échec du genêt nous a ensuite amenés à concentrer nos recherches uniquement sur l'ajonc, plus vigoureux et prometteur en termes de production.
Le succès du développement de l'ajonc d'Europe (Figure 1, Photo 1) et son taux de fixation d'azote très élevé, ont conduit à l'élaboration d'un itinéraire technique sylvicole[6] intégrant à la culture du pin maritime celle d'un couvert d'ajoncs d'Europe.

Initié en 2003, ce programme d'études a impliqué de nombreux chercheurs, techniciens et étudiants. Le premier objectif a été d'étudier puis de modéliser la dynamique de développement spontané de l'ajonc dans les parcelles de pins maritimes (Delerue, 2013) puis de quantifier les apports correspondant en azote. Plus récemment, une thèse de doctorat en « grandeur nature » a étudié les effets d'un itinéraire sylvicole testant l'effet d'une culture intercalaire de légumineuses en plantation de pins maritimes (Figure 1) à partir d'un réseau de sites expérimentaux (Figure 2, Vidal, 2019).

L'objectif était d'évaluer l'intérêt de l'itinéraire innovant pour la sylviculture du pin maritime. Plus précisément, il s'agissait de mesurer les potentiels gains de production de bois, en identifiant les relations possiblement négatives (de compétition) et positives (de facilitation) entre les deux espèces associées (pin maritime et ajonc). Les flux d'azote dans l'écosystème ont également été suivis pour caractériser le cycle biogéochimique de l'élément et identifier d'éventuelles pollutions (nitrates).

[6] Ensemble des interventions humaines (plantation, fertilisation, coupe…) qui compose une culture forestière.

Tableau 1 – Données dendrologiques des pins maritimes sur le site de la forêt du Rousset

	Phase de culture des ajoncs (données à 6 ans)			Phase de fertilisation organique (données à 10 ans, avant première éclaircie)		Phase de fertilisation organique (données à 10 ans, après première éclaircie)		
Traitements	Mortalité (%)*	Volume moyen (10^{-3} m³/tige*)	Surface terrière (m²/ha) **n.s.**	Volume moyen (10^{-3} m³/tige*)	Surface terrière (m³/ha) **n.s.**	Volume moyen exporté (m³/traitement) **n.s.**	Volume moyen (10^{-3} m³/tige) **n.s.**	Surface terrière (m²/ha) **n.s.**
Contrôle – Contrôle	6,7 **b**	5,1 ± 0,3 **b**	6,0 ± 1,3	35,4 ± 1,7	21,5 ± 3,3	0.347 ± 0,072	40,4 ± 2,1	15,3 ± 2,5
Contrôle – Semis	5,8 **b**	4,9 ± 0,2 **b**	5,9 ± 0,0	35,4 ± 1,7	21,9 ± 1,3	0.357 ± 0,074	40,3 ± 2,3	15,3 ± 0,6
Phosphore – Contrôle	5 **b**	5,8 ± 0,3 **a**	6,9 ± 0,3	39,7 ± 1,6	24,0 ± 1,3	0.487 ± 0,069	44,1 ± 2,0	15,6 ± 0,5
Phosphore – Semis	13,6 **a**	5,0 ± 0,3 **b**	5,3 ± 0,6	40,0 ± 2,0	21,1 ± 2,4	0.293 ± 0,088	42,8 ± 2,5	15,5 ± 1,4

La surface terrière est présentée selon les deux premières phases de l'itinéraire sylvicole puis après l'éclaircie. La mortalité est seulement présentée pour la phase de culture du sous-bois d'ajoncs. La densité de plantation est de 1666 t/ha. Les effets significatifs des traitements sur les différentes variables sont indiqués par des lettres différentes (P < 0,05 ; ANOVA puis test post-hoc de Tukey).*

Les effets sur la croissance

Les premiers effets sur la croissance des peuplements de pins maritimes semblent contrastés.

La culture des ajoncs (labour, fertilisation en phosphore et semis) a modifié la composition du sous-bois mais sans pour autant diminuer sa diversité spécifique : les espèces naturelles subsistent et la biodiversité est maintenue. En parallèle la biomasse de ce compartiment a sensiblement augmenté. Le couvert d'ajoncs d'Europe est véritablement installé au bout de deux ans. Il formera après 4 à 5 ans de croissance une canopée de 2 mètres de hauteur environ et aura produit jusqu'à 19 t/ha de matière sèche (Figure 1, Photo 1 p. 51).

La quantité d'azote introduite équivaut à environ 90 kg/ha, soit une quantité un peu plus faible par rapport aux besoins sylvicoles sur une rotation entière classique (40-45 ans). Le premier constat fait lors de la première phase de l'itinéraire – correspondant à « la culture des ajoncs » (Figure 1) – est celui d'une mortalité un peu plus élevée des pins en été : 13,6 % de mortalité durant les quatre premières années de croissance (Tableau 1). Le cumul des pluies est relativement important dans la région (environ 900 mm/an) mais est aussi inégalement réparti sur l'année, avec des sécheresses récurrentes durant la saison de végétation. Celles-ci sont aggravées par le substrat essentiellement sableux et donc très poreux (ce qui réduit d'autant la réserve utile en eau des sols) : on parle de **sécheresses édaphiques**.

Comme les épisodes de mortalité des pins se sont concentrés lors de sécheresses, cela suppose que la consommation d'eau devait être plus importante en présence du sous-bois dense d'ajoncs (plus de transpiration et donc d'évapotranspiration). La ressource hydrique manquait donc plus rapidement lors de sécheresses, ce qui exacerbait la compétition pour l'eau et augmentait encore plus en retour le stress hydrique. Sur le site de la forêt de Lagnereau, le potentiel hydrique[7] des jeunes pins âgés de 5 et 6 ans en présence d'une culture d'ajoncs a d'avantage diminué que sur les autres traitements lors d'une sécheresse estivale (faible diminution de 0,2 MPa), confirmant effectivement une augmentation du stress hydrique des pins[8]. Cependant, cela montre également qu'une fois l'installation du peuplement effectuée, la compétition hydrique devient plus faible et n'altère plus la physiologie des arbres. La compétition pour l'eau ne causerait donc de réels dommages que lorsque les pins seraient encore peu développés (avant 4-5 ans), et encore particulièrement sensibles au manque d'eau. Finalement, les mortalités n'étant pas trop élevées et se limitant aux quatre premières années, celles-ci ne compromettent pas la réussite de l'installation du peuplement forestier.

L'interception de la lumière par les ajoncs a aussi été mise en évidence, indirectement, grâce aux données morphologiques. La hauteur de la branche vivante la plus basse des pins a augmenté d'environ 30 cm, signe d'un auto-élagage des arbres en faveur de leurs branches les plus hautes et en conséquence de l'ombre portée par le sous-bois d'ajoncs. Cet effet pourrait par ailleurs être un avantage pour la future qualité du bois, en diminuant le nombre de nœuds à la base du tronc de ces pins âgés de 5-6 ans. La surface occupée par le houppier des jeunes pins a aussi été réduite du fait de l'ombrage créé par le sous-bois dense d'ajoncs. Enfin, la circonférence des pins a elle aussi diminué, du fait à la fois de la compétition pour l'eau et pour la lumière.

[7] Mesure effectuée sur un tissu d'une plante et qui relève la tension (ou pression négative) de l'eau dans les vaisseaux conducteurs. Plus cette tension est importante, plus la plante éprouve des difficultés à s'alimenter en eau et donc plus elle se trouve en situation de stress hydrique.

[8] Vidal D.F. *et al.*, 2021. Understorey-overstorey biotic and nutrient interactions are key factors for *Pinus pinaster* growth and development under oligotrophic conditions. *Scandinavian Journal of Forest Research*. DOI=10.1080/02827581.2021.1992002.

Tableau 2 – Contenus en matière organique, carbone total et azote total dans le sol superficiel du site de la forêt du Rousset l'année après le broyage

Traitements	Matière organique mg/g *	Carbone total mg/g n.s.	Azote total mg/g *
Contrôle – Contrôle	33.7 ± 2.0 **b**	21.4 ± 1.8	1.09 ± 0.09 **ab**
Contrôle – Semis	39.0 ± 1.5 **a**	18.3 ± 3.4	0.92 ± 0.15 **b**
Phosphore – Contrôle	33.9 ± 1.5 **b**	17.7 ± 1.6	0.88 ± 0.07 **b**
Phosphore – Semis	39.9 ± 1.2 **a**	27.5 ± 4.4	1.42 ± 0.23 **a**

Le sol superficiel correspond à l'horizon 0 – 5 cm. Le traitement Contrôle *correspond à l'absence d'intervention technique (ainsi la combinaison de traitement* Contrôle – Contrôle *signifie qu'aucune fertilisation en phosphore ni aucun semis d'ajonc n'ont eu lieu). Les effets significatifs des traitements sur les différentes variables sont indiqués par des lettres différentes (* P < 0,05 ; ANOVA puis test post-hoc de Tukey).*

Cette diminution a contribué à réduire le volume par tige durant la phase de culture du sous-bois d'ajoncs de l'itinéraire[9] (Tableau 1 p. 53).

Cependant, une fois le sous-bois détruit par le passage du broyeur (Figure 1, Photo 2 p. 51), aux alentours de 5-6 ans après l'installation du site, la dynamique de croissance des pins dans l'itinéraire a été tout autre. Les pins ont rapidement rattrapé leur retard de circonférence sur 3-4 ans, et le volume par tige est finalement devenu comparable à l'itinéraire conventionnel (Tableau 1). La levée de la compétition du sous-bois et la fertilisation organique en azote (paragraphe 2 suivant) expliquent cette dynamique. En fin de compte, il ne subsiste plus comme effet négatif que celui de la mortalité lors des premiers stades, avec une surface terrière moindre à l'échelle de la parcelle. Cependant, on peut observer que la première éclaircie de pins maritimes a rétabli les valeurs de surfaces terrières au même niveau (Tableau 1) ; la perte de production s'exprimant alors uniquement sur cette première récolte à dix ans (Tableau 1). Toutefois, les bénéfices généralement faibles tirés de cette première éclaircie rendent assez négligeable la baisse de production à l'échelle de l'ensemble de la rotation sylvicole.

[9] Vidal D.F., Trichet P., Puzos L., Bakker M.R., Delerue F., Augusto L., 2019. Intercropping N-fixing shrubs in pine plantation forestry as an ecologically sustainable management option. *Forest, Ecology and Management*, 437:175–187.

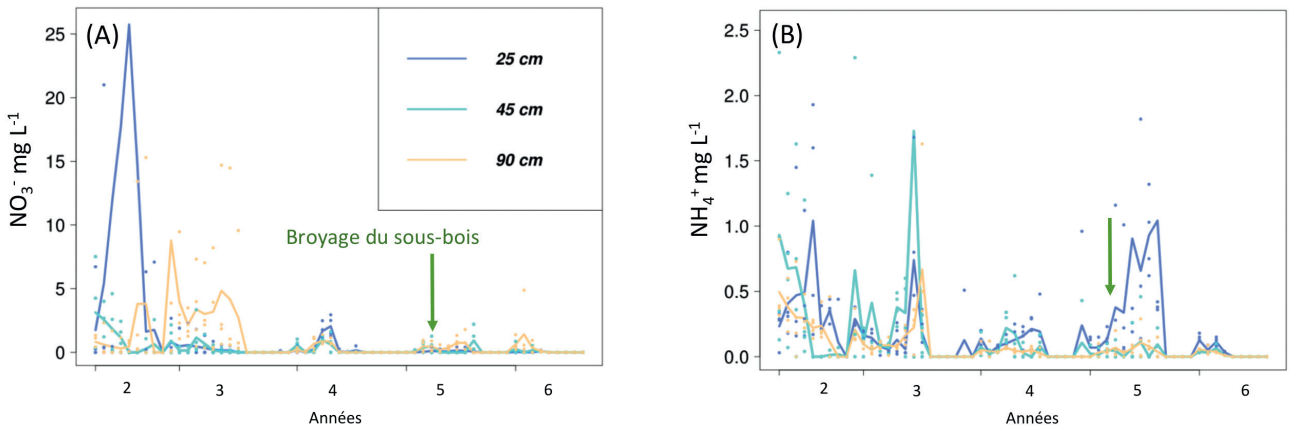
Enrichissements en azote et en carbone du sol

Les enrichissements en azote et en carbone du sol forestier laissent présager une amélioration de la production landaise et du stockage de carbone (service associé à l'écosystème).

En parallèle de la culture des ajoncs, les concentrations en azote dans les aiguilles des pins augmentent, signe d'une interaction positive (ou facilitation) des ajoncs sur les pins. Les chutes de litière, les pluviolessivats[10] et le renouvellement des racines fines d'ajoncs

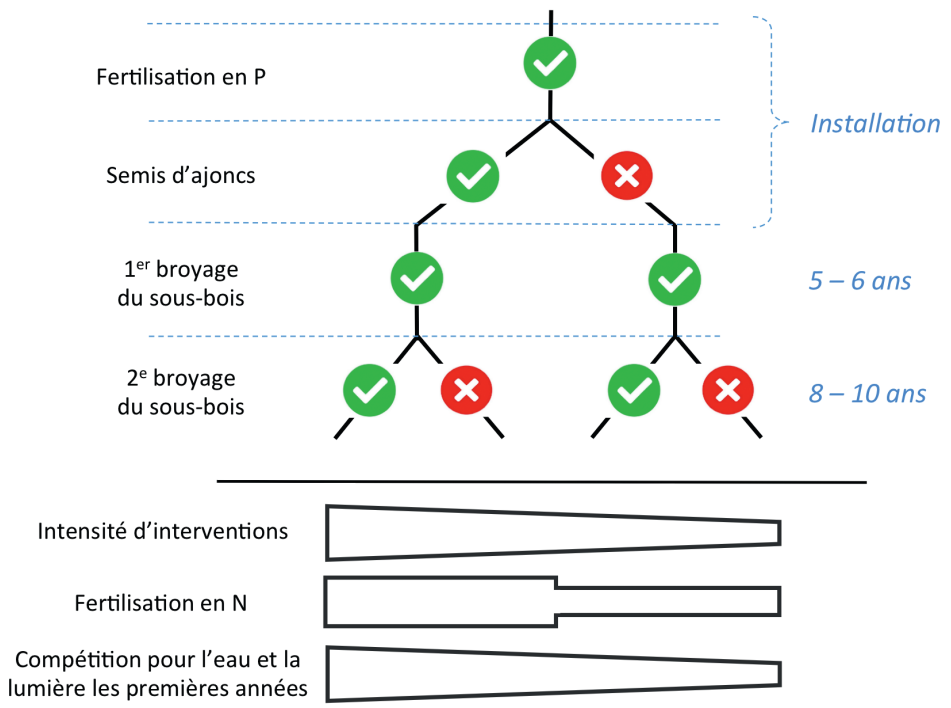
[10] Solutions d'eau de pluie enrichies au contact des tissus aériens.

Figure 3 – Concentrations en azote minérale dans la solution du sol sur le site de XyloSylve (site avec la plus forte densité en ajonc)



Les concentrations en NO_3^- (A) et NH_4^+ (B) sont présentées suivant les trois profondeurs du profil de bougies poreuses (25, 45 et 90 cm). La légende en vert indique l'opération de broyage du sous-bois.

Figure 4 – Les différentes variantes de l'itinéraire technique d'étude



apportent certainement de l'azote. Le broyage du sous-bois a eu rapidement pour effet de renforcer ce transfert d'azote. Les flux d'azote ont enrichi le sol, notamment sous la forme d'ammonium (Tableau 2, Figure 3). Le sol a gagné 20.0 ± 1,9 % d'azote dans les 30 premiers centimètres (Vidal *et al.*, 2019). Par ailleurs, les données de concentrations en nitrates, obtenues grâce à des capteurs situés dans le sol, n'ont pas permis d'identifier de pollution au cours de la culture du sous-bois d'ajoncs, puis suite au broyage (Figure 3).

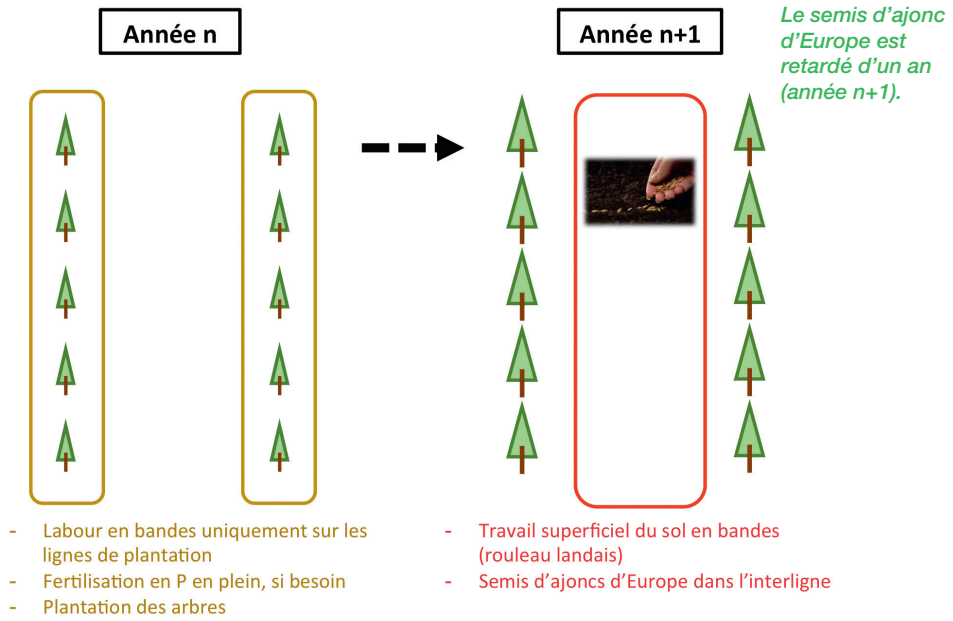
La culture d'ajoncs peut donc créer une fertilisation en azote sans polluer l'environnement. En surface du sol, la couche de matière organique (MO) issu du broyage des ajoncs a maintenu l'humidité du sol lors des sécheresses estivales. Dans le sol, le stockage de carbone a été amélioré, notamment sous la forme de MO (Tableau 2). Dans les 30 premiers centimètres, la quantité de C a augmenté de 18,8 ± 1,9% (Vidal *et al.*, 2019). Au regard de la quasi-absence d'argiles dans les sols landais, et des propriétés de la MO en termes de fixation des nutriments et de rétention de l'eau, la MO est le principal support de la fertilité. Enfin, le stockage de carbone dans le sol, s'il venait à se confirmer sur la durée, pourrait aussi être un atout non négligeable à plus large échelle dans la lutte contre le réchauffement climatique.
Le broyage aura ainsi converti les effets négatifs observés au début de l'itinéraire (la compétition) en effets positifs pour la sylviculture. Les bénéfices sur l'écosystème en termes de fertilité du sol laissent espérer une augmentation de la production sur le long terme pour les peuplements actuels et à venir.

Les perspectives d'application et de recherche

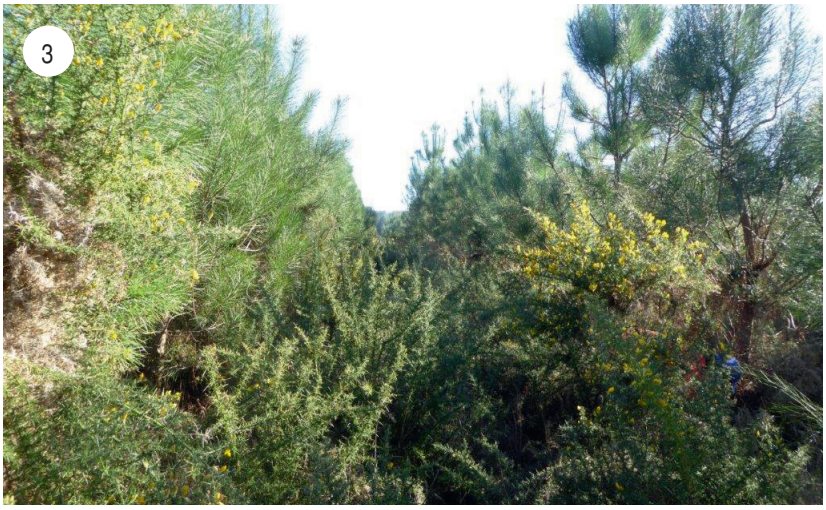
Nos recherches nécessitent d'être poursuivies pour confirmer certains effets observés (meilleure production, absence de pollution). Un risque non négligeable de l'application de l'itinéraire concerne les incendies, liés à l'augmentation de la biomasse du sous-bois et du retard du premier contrôle mécanique de cette strate après installation. Ces risques devront être pris en compte dans les futures recherches. Une collaboration est déjà en cours sur ce point avec une équipe spécialisée sur les incendies forestiers (URFM d'Avignon) sur la suite des travaux de thèse de Florian Delerue (2013). Un compromis de gestion pourrait être de rigueur, notamment sur les modalités de broyage, afin d'optimiser le rapport entre les risques et les avantages de la culture d'ajoncs d'Europe.

Des conseils de gestion sont d'ores et déjà émis dans l'éventualité d'une application de l'itinéraire sylvicole dans le massif landais. La figure 4 présente l'itinéraire technique testé et ses variantes. Il est préférable de conduire l'itinéraire dans une station de lande humide afin de réduire la compétition pour l'eau et

Figure 5 – Itinéraire avec semis envisagé afin de réduire les effets négatifs de la compétition du sous-bois sur les arbres



accroître le succès d'installation du sous-bois d'ajoncs (une station en lande mésophile est aussi envisageable). La fertilisation en phosphore est recommandée (en plein et à une dose unique d'environ 120 kg-P2O4/ha à l'installation), à la fois pour la croissance des pins et la fixation azotée des ajoncs. En revanche, le semis d'ajonc pourrait ne pas être nécessaire dans le cas où une présence spontanée importante d'ajoncs serait constatée sur la parcelle avant la récolte précédente ou sur les parcelles voisines (probabilité d'une quantité déjà importante de graines d'ajonc dans le sol). Il serait possible de tester un semis une bande sur deux ou bien alors de retarder le semis d'ajoncs d'un an, ce qui offrirait une avance aux pins et diminuerait la compétition (Figure 5). Cependant cela réduirait d'autant la probabilité de succès de ce semis, les plantules d'ajoncs étant elles aussi sensibles à la compétition avec les autres espèces du sous-bois qui auraient pu s'installer en avance. C'est pour cette raison que le travail du sol dans l'interligne est lui aussi retardé d'un an après l'installation, afin d'accueillir au mieux le semis d'ajoncs. Ce travail du sol devra être superficiel pour ne pas endommager les jeunes racines de pins maritimes. Suite au premier broyage du sous-bois d'ajoncs d'Europe qui, si possible, ne devra pas avoir lieu avant la cinquième année après l'installation, un second sous-bois d'ajoncs se développe rapidement à partir des souches épargnées par le travail très superficiel du sol grâce au broyeur SEPPI (Photo 3).



Pierre Trichet © INRAE

La fermeture de la canopée arborée étant alors initiée, la dynamique du sous-bois tend plutôt vers une disparition spontanée, alors même que les pins sont devenus beaucoup moins sensibles à la compétition. En effet, l'ajonc est une espèce qui a besoin de lumière et qui souffre de la compétition, particulièrement au stade juvénile. Les conditions dans une pinède de plus de dix ans lui sont alors largement défavorables. Un second broyage n'est donc pas obligatoire. Ainsi cette repousse constitue une nouvelle opportunité pour introduire de l'azote et de la MO dans l'écosystème forestier, sans nécessiter une nouvelle intervention mécanique.

Les recherches pourraient être étendues en France vers des écosystèmes comparables (sylviculture sur sol pauvre limité en azote, pré-

Bibliographie

- Achat D.L., Martel S., Picart D., Moisy C., Augusto L., Bakker M.R., et Loustau D., 2018. Modelling the nutrient cost of biomass harvesting under different silvicultural and climate scenarios in production forests. *Forest Ecology and Management*, 429: 642–653. Elsevier. doi:10.1016/j.foreco.2018.06.047.
- Calvel E., 1809. Mémoire sur l'ajonc ou genêt épineux considéré sous le rapport de fourrage, de l'amendement des terres stériles et de supplément au bois. Paris, *Marchant*.
- Delerue F., 2013. Dynamique de population d'une légumineuse du sous-bois de la forêt landaise (*Ulex europaeus*) dans le cadre de la sylviculture du pin maritime : proposition d'un modèle conceptuel. Université Bordeaux 1. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00873385
- Diquélou, S., Rozé F., 1999. Implantation du genêt à balais, précédent cultural et dynamique du sol dans les friches (Bretagne, France). Comptes-rendus de l'Académie des Sciences – Series III – *Sciences de la Vie*, 322(8), pp. 705-715.
- Jolivet C., Augusto L., Trichet P., et Arrouays D., 2007. Les sols du massif forestier des Landes de Gascogne : formation, histoire, propriétés et variabilité spatiale. *Revue Forestière Française*, LIX, 1, p. 7-30. doi:10.4267/2042/8480.
- Trichet P., Jolivet C., Arrouays D., Loustau D., Bert D., et Ranger J., 1999. Le maintien de la fertilité des sols forestiers landais dans le cadre de la sylviculture intensive du pin maritime. *Étude et Gestion des Sols*, 6, 4, pp. 197–214. https://bit.ly/3BYa5nn
- Vidal D., 2019. Évaluations sylvicole et environnementale d'un itinéraire forestier incluant la culture d'un sous-bois fixateur d'azote – Expérimentations *in situ* de longue durée dans les Landes de Gascogne. Université de Bordeaux. http://www.theses.fr/2019BORD0240

sence de plantes légumineuses autochtones productives, mécanisation forestière possible). Le genêt à balai (*Cytisus scoparius*) pourrait par exemple occuper la même fonction que l'ajonc dans les forêts cultivées du centre de la France. De plus, la compétition pour l'eau pourrait être moindre grâce à des sécheresses estivales moins marquées dans ces régions. Les écosystèmes méditerranéens présentent eux-aussi des opportunités d'expérimentation. La limitation en azote y est plus prégnante qu'en Landes de Gascogne. Le choix de l'espèce à cultiver en sous-bois pourrait se porter sur *Ulex parvifolius Pourr.*, arbuste prolifique et bien représenté, ou d'autres arbustes de la famille des légumineuses comme des genêts, du genre botanique *Genista*. Cependant, le compromis de gestion sylvicole pourrait être aussi plus délicat à trouver, en raison de la sécheresse estivale plus marquée, des vents et de la topographie (augmentation des risques de feu).

Bénéfice de la fertilisation azotée naturelle

La méthode agroécologique appliquée intègre le sous-bois dans une fonction d'auxiliaire sylvicole et peut réduire la fréquence des broyages par rapport aux schémas conventionnels de culture. L'intensification agroécologique de la production ne s'accompagne donc pas d'une augmentation des interventions techniques. Par ailleurs, l'itinéraire sylvicole du pin maritime associant une culture intercalaire d'ajoncs d'Europe ne présente pas clairement d'effets négatifs en termes de production ni de pollutions lors des dix premières années. Bien au contraire, l'itinéraire améliore la durabilité de la production sylvicole landaise au travers d'une fertilisation organique en azote et d'un enrichissement en matière organique dans le sol. Sur cette base il est envisageable que la production sylvicole soit améliorée à moyen et long terme, tout en contribuant à la lutte contre le réchauffement climatique au travers d'une séquestration accrue de carbone organique dans le sol. Les prochaines années de suivi permettront d'en juger. ■

Remerciements

Un grand merci à toutes les structures qui ont participé à la réalisation des recherches :
les unités ISPA, UEFP et Silva de l'Institut national de recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE), le département Foresterie de l'école Bordeaux Sciences Agro, ainsi que l'Office national des forêts (ONF). Un grand merci également aux financeurs du projet de thèse : l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) et le département Écologie des Forêts, Prairies et Milieux aquatiques (EFPA) de l'INRA. Merci enfin au groupe GIS Pin Maritime du Futur, à Equipex Xyloforest et à l'infrastructure AnaEE pour leur soutien lors de la mise en place, l'équipement et le suivi des dispositifs expérimentaux.

Résumé

Une fertilisation en azote via une culture intercalaire d'ajoncs d'Europe (sous-bois fixateur d'azote) a été testée sur un jeune peuplement de pins maritimes dans les Landes de Gascogne. Cette pratique a augmenté le statut nutritif en azote des arbres et a enrichi le sol (stockage d'azote et de matière organique), sans causer de pollutions sur l'environnement. Bien que les effets espérés sur la production ne soient pas visibles au bout de dix ans, la fertilité de l'écosystème semble s'améliorer.

Mots-clés : sylviculture, pin maritime, azote, légumineuses, *Ulex europaeus*.

Cet article est extrait de
La revue technique
de tous les forestiers

FORÊT entreprise

Éditée par le CNPF-IDF, ***Forêt-entreprise*** est l'auxiliaire indispensable de tous les forestiers et professionnels de la forêt.
Dans un langage clair et accessible, *Forêt-entreprise* présente les techniques les plus performantes, bénéficiant des récentes découvertes de la recherche testées sous le contrôle des ingénieurs du CNPF, en collaboration avec l'ensemble des partenaires forestiers. Vous y trouverez également des éclairages sur les attentes de la société concernant la forêt, les actualités et les principales manifestations forestières, des conseils de lecture, les expérimentations des Cetef et groupes de progrès de la forêt privée.

Restez informé : abonnez-vous !

Retrouvez-nous sur
foretpriveefrancaise.com

Forêt-entreprise à l'heure du numérique !

Téléchargez gratuitement l'application

Télécharger dans l'App Store

« Librairie des forestiers »

DISPONIBLE SUR Google play

« Librairie forestière » sur Play Store version Android 4.0 et suivantes

Avec l'application , retrouvez votre revue directement sur iPhone, iPad, smartphone, tablette ou sur votre ordinateur.

BON DE COMMANDE

À retourner au CNPF-IDF - 47 rue de Chaillot- 75116 Paris
Tél : 01 47 20 68 39 - idf-librairie@cnpf.fr

Ou abonnez-vous sur : www.foretpriveefrancaise.com

Nom/ Prénom .....

Adresse .....

Code postal ..... Commune .....

Tél ..... courriel .....

❒ **Désire recevoir gratuitement un numéro de *Forêt-entreprise***

❒ **S'abonne à *Forêt-entreprise*** (6 numéros par an) Votre abonnement débutera à partir du numéro suivant la date de votre souscription.

❒ **France : 50 €** ❒ **Étranger : 63 €** ❒ **Remise spéciale Cetef : 35 €**
❒ **61,70 €** étranger non assujetti à la TVA indiquez-nous votre n° d'identifiant ❒ **Étudiant : 40 €** ❒ **Nouvel abonné : 32 €**
.....

❒ **Souhaite commander le(s) numéro(s) .....de *Forêt-entreprise*** en .....exemplaires

❒ **S'abonne à *Forêt-entreprise* en numérique** (1 an + 2 ans d'archives)
❒ **France et étranger : 39 €** (Merci d'indiquer votre courriel afin de recevoir votre code d'accès pour accéder au kiosque forestier)

❒ **S'abonne à *Forêt-entreprise* papier + numérique** (1 an)
❒ **France : 60 €** ❒ **Étranger : 73 €** ❒ **Nouvel abonné : 42 €**

❒ **Chèque bancaire ou postal** à l'ordre de "Agent comptable CNPF"

❒ **Virement bancaire** - Code IBAN : FR76 1007 1750 0000 0010 0066 428 SWIFT (BIC) : TRPUFRP1

CNPF
Institut pour le Développement Forestier

Conformément à la loi informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès, de modification et de rectification des données qui vous concernent.