



3

GESTION DU RISQUE EN FORÊT



FR

Installation et évaluation de dispositifs et analyses pour identifier des modes de luttres contre les risques (écologique, génétique et sylvicole).



3

GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS BOSQUES



ES

Instalación, evaluación y análisis de dispositivos para definir métodos de lucha contra los riesgos (ecológicos, genéticos y silvícolas).



3

GESTÃO DO RISCO NA FLORESTA



PT

Instalação e avaliação de dispositivos e análises para identificar modos de lutas contra os riscos (ecológico, genético e silvícola).



3

GESTÃO DO RISCO NA FLORESTA

3.1. Gestão ecológica



INSTITUTO
SUPERIOR DE
AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

3.1.1. Instalação de bordaduras armadilha para *Gonipterus platensis* como estratégia de protecção de parcelas de *Eucalyptus globulus*

PT

Regiões: Centro de Portugal

Fundamento

A manipulação do comportamento dos insectos através de estímulos que os atraem para uma determinada armadilha ou cultura armadilha e de estímulos que os afastam dos recursos a proteger, são estratégias de controlo ecológico que poderão revelar resultados muito positivos (Cook *et al.*, 2006; Shelton *et al.*, 2006).

Observações anteriores de campo e de laboratório evidenciaram diferenças na atractividade entre genótipos de eucaliptos às fêmeas do gorgulho do eucalipto *Gonipterus platensis* (Marelli) para a postura dos seus ovos. Alguns materiais genéticos mostraram-se muito atractivos enquanto outros se revelaram pouco atractivos (Reis, 2010). Substâncias químicas emitidas pelas folhas dos eucaliptos e características físicas das folhas poderão justificar este resultado. Neste trabalho, procurou-se usar este conhecimento para manipular o comportamento de oviposição das fêmeas atraindo-as para uma bordadura armadilha.

Objectivo

Avaliar o efeito da plantação em bordadura de eucalipto (*Eucalyptus globulus* x *Eucalyptus cytharica*) muito atractivo a *G. platensis*, sobre o ataque da praga na parcela central de *E. globulus*, de modo a obter indicações de gestão no controlo químico da praga.



Figura 1 – A: Vista sobre uma das parcelas sem bordadura.

Figura 1 – B: exemplo de uma das filas da bordadura. (Fotos: Ana Raquel Reis, ALTRI FLORESTAL).

Instalação do ensaio

O ensaio, instalado em Pampilhosa da Serra, é constituído por quatro parcelas de *E. globulus*, duas com e duas sem bordadura atractiva (Figura 1 – A e B). As plantações envolventes são de *E. nitens* (Figura 2), espécie menos atractiva para *G. platensis*.

O ensaio foi seguido durante os anos de 2012, 2013 e 2014. As árvores da bordadura foram tratadas com insecticida uma vez por ano, durante a Primavera, de modo a eliminar os insectos adultos atraídos pela bordadura assim como as larvas resultantes das posturas aí colocadas.

Na Primavera de 2013 e de 2014, avaliou-se a altura, o diâmetro à altura do peito (DAP), o volume e a percentagem de desfolha por árvore, segundo três transectos em cada parcela (Figura 2).

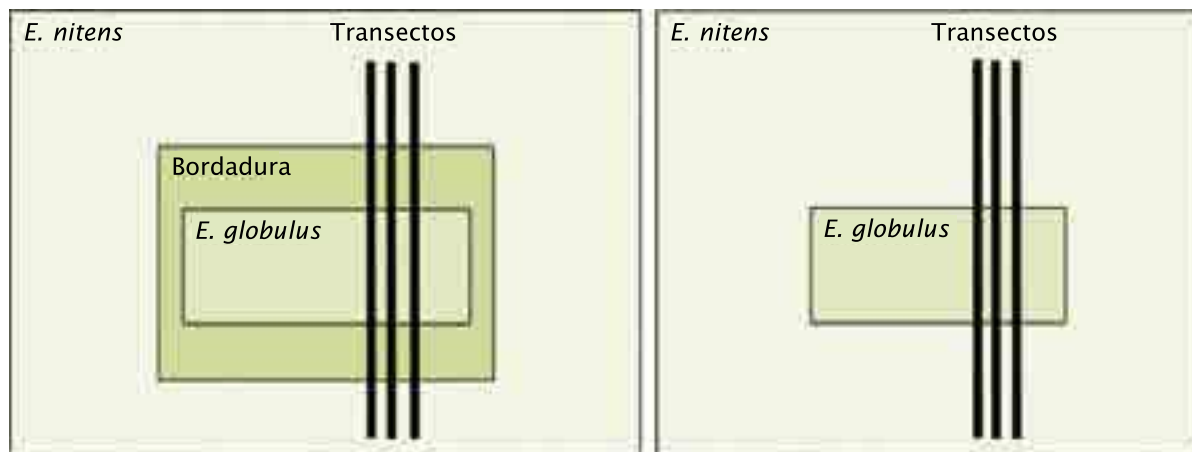


Figura 2: Esquema dos transectos efectuados para avaliar as árvores das parcelas com (esquerda) e sem bordadura (direita).

Resultados

Nos dois anos amostrados, verificou-se um maior aumento do diâmetro, da altura e, consequentemente, do volume nas parcelas com bordadura comparativamente às parcelas sem bordadura (Tabela 1).

Tipo parcela	Medida dendrométrica	Média $\pm$ erro padrão	F	p
com bordadura sem bordadura	DAP	81,7 $\pm$ 2,5 73,5 $\pm$ 2,7	7,418	0,007
com bordadura sem bordadura	Altura	77,8 $\pm$ 2,0 69,5 $\pm$ 2,3	13,396	0,0001
com bordadura sem bordadura	Volume	1,4 $\pm$ 0,1 1,0 $\pm$ 0,1	13,547	0,0001

Tabela 1: DAP, altura e volume das parcelas com e sem bordadura para os anos de 2013 e 2014. Os dados representam a média $\pm$ erro padrão, o valor de F e de p.

Em 2013, as parcelas sem bordadura apresentaram valores de desfolha superiores às parcelas com bordadura ($Z = -2,437$; $p = 0,015$). Em 2014, não se registaram diferenças entre parcela o que se poderá justificar pelo baixo nível de desfolha causado por *G. platensis* que se observou em Portugal durante este ano.

O ensaio de controlo ecológico reduziu em cerca de 22% as perdas de madeira. Numa perspectiva económica, considerando apenas os custos-benefícios dos tratamentos, o controlo ecológico é mais favorável que o não controlo da praga, mas menos que o controlo químico (Tabela 3).

Cenário	Estratégia de gestão	Produção de madeira m ³ /ha.10 anos	Produção de madeira (€ /ha.10 anos) ^a	Custos tratamento €/ha/10 anos	Perda de volume de madeira m ³ /ha.10 anos
Sem praga *	<i>E. globulus</i>	205	5125	-	-
Sem controlo da praga	<i>E. globulus</i>	149	3722	0	40-45% **
Controlo ecológico -1	1 ha de bordadura por 3 ha de <i>E. globulus</i>	173 ^d	4300	120 ^b	21%
Controlo ecológico -2	1 ha de bordadura por 6 ha de <i>E. globulus</i>	172 ^d	4300	67,2 ^c	22%
Controlo químico	Controlo químico	200	4950	160	10% ***

Tabela 3: Cenários possíveis para diferentes estratégias de gestão.

* Antes da chegada de *Gonipterus platensis*

** Reis *et al.*, 2012

*** Conhecimento empírico

a - valor da madeira – 25 €/m³ ; b -3 tratamentos/ano x 4 anos x 40€ x 0,25 (1ha tratado por 4 ha);

c - 1ha tratado por 6 ha, d – considera-se que as árvores da bordadura apenas produzem cerca de 76m³/ha;



Fotos: Ana Raquel Reis, ALTRI FLORESTAL.

Conclusões/Recomendações

Em dois anos consecutivos, verificou-se um crescimento superior nas árvores das parcelas com bordadura quando comparado com as parcelas sem bordadura. As perdas de madeira foram reduzidas em cerca de 22%, sendo economicamente preferível ao não controlo, onde se obtêm perdas de 40%. No entanto, as bordaduras têm de ser instaladas em proporções relativamente elevadas para serem eficazes, o que reduz a produtividade do eucalipto. Por serem constituídas por genótipos de eucalipto muito atractivos para *G. platensis*, as bordaduras requerem tratamentos periódicos, caso contrário terão um efeito oposto ao desejado, favorecendo a população de praga, o que implica custos de gestão do ponto de vista operacional. O controlo químico mostrou-se economicamente mais favorável. Todavia, não se considerou para estes cálculos outros impactos negativos e custos potenciais que serão desfavoráveis ao controlo químico. Do ponto de vista ambiental, o controlo ecológico é preferível ao controlo químico, dado que não obriga ao tratamento com insecticida de áreas contínuas de povoamento.



3 GESTION DU RISQUE EN FORÊT

3.1. Gestion écologique



3.1.2. Effets des ilots de feuillus sur la santé des forêts

FR

Région : Aquitaine

Contexte

Des études ont montré l'intérêt du mélange d'essences dans la résilience des forêts (Jactel & Brockerhoff, 2007 ; Castagnérol *et al.*, 2014). Dans les Landes de Gascogne, dont les forêts sont composées à plus de 80 % de peuplements purs de pin maritime, il a été montré que les pins situés près des ripisylves composées majoritairement de feuillus (Samalens, 2009) ou de haies de feuillus (Dulaurent *et al.*, 2012), sont moins infestés par la chenille processionnaire que les pins qui en sont éloignés (Jactel *et al.*, 2014). Une hypothèse liée à ces observations est que les forêts de feuillus offrent des habitats favorables aux prédateurs et parasitoïdes des ravageurs forestiers. Ainsi, l'implantation d'ilots de feuillus dans les forêts de pins, pourrait être un moyen de diminution des populations d'insectes ravageurs forestiers.

Objectif

Tester l'effet des ilots de feuillus comme fournisseurs d'habitats favorables aux prédateurs et parasitoïdes des ravageurs de pins sur la santé des forêts.

Méthode

Le projet ISLANDES (projet GIP ECOFOR) avait permis la plantation d'ilots de feuillus entre 1994 et 1996 sur différents sites des Landes de Gascogne (Figure 1). Six espèces de feuillus ont été plantées : le chêne pédonculé (*Quercus robur*), le chêne tauzin (*Quercus pyrenaica*), le chêne rouge d'Amérique (*Quercus rubra*), le bouleau verruqueux (*Betula pendula*), le cerisier tardif (*Prunus serotina*), et le robinier (*Robinia pseudacacia*).

En 2013, des mesures de croissances ont été réalisées sur l'ensemble des parcelles (feuillus et pins).

En 2014, les attaques de chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa*) et de pyrale

du tronc (*Dyoryctria sylvestrella*) ont été relevées sur deux bordures autour de 4 ilots (deux ilots de feuillus de 4 ha et deux ilots de 1 ha, choisis comme étant les plus vigoureux) (Figures 2 et 3), soit 8 bordures en tout.

Les mêmes données ont été collectées sur 8 bordures témoins, de même orientation que les bordures testées, mais faisant face à des peuplements de pins (Figure 2) et sur les 3 premières rangées de pin constituant la bordure (Figure 3).



Figure 1 : Ilots de feuillus et de pins installés dans le cadre du projet ISLANDES sur la commune de Biscarosse (France, 40).



Figure 2 : Dispositifs d'observations des lisières de pins à proximité d'un îlot feuillu de 4 ha et de peuplements de pins (Photo : INRA).



Figure 3 : Les observations ont été réalisées par les techniciens de l'UE Forêt Pierroton (Photo : INRA).

Des analyses statistiques ont ensuite été effectuées pour déterminer si les attaques de processionnaire et de pyrale du tronc étaient significativement différentes à proximité des feuillus ou à proximité des pins.

Résultats

Les analyses statistiques ont montré que les attaques de pyrale du tronc (Figure 4) et de chenille processionnaire (Figure 5) n'étaient pas significativement différentes entre les plantations de pin maritime situées près des îlots de feuillus ou éloignées de ces îlots. En revanche, l'effet de la circonférence de l'arbre, déjà établi par d'autres études pour les deux insectes (Jactel *et al.*, 1996 ; Régolini *et al.*, 2014), a été confirmé.

Les peuplements des îlots de feuillus étant assez jeunes (environ 20 ans), il pourra être intéressant de revenir effectuer ces mêmes relevés dans quelques années ; en effet, certains prédateurs ou parasitoïdes ont besoin de vieux arbres dans leurs habitats (Dulaurent *et al.*, 2010). Il conviendrait également de tester l'effet

du voisinage des îlots de feuillus en utilisant une autre approche, moins dépendante de la qualité des témoins, en mesurant l'évolution du taux d'attaque des pins avec la distance aux feuillus (sur transects).

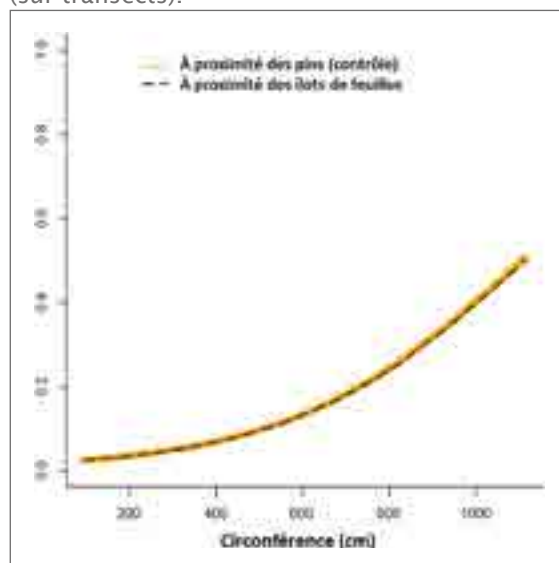


Figure 4 : Prédiction de la probabilité des attaques de pyrale du tronc sur les pins situés à proximité des îlots de feuillus et à proximité de pins.

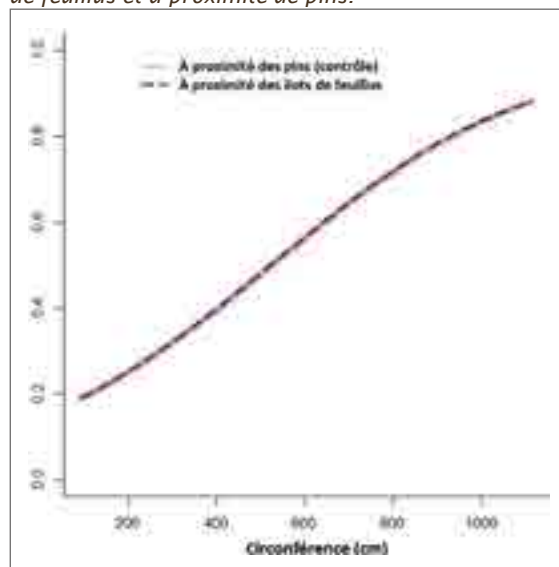


Figure 5 : Prédiction de la probabilité des attaques de chenille processionnaire sur les pins situés à proximité des îlots de feuillus et à proximité de pins.



Photo : INRA.

Conséquences pour la gestion

L'effet des peuplements de feuillus, s'il est visible à grande échelle avec des peuplements âgés tels que les ripisylves dans les Landes de Gascogne, n'est pas confirmé à petite échelle avec des îlots de feuillus jeunes et de petites surfaces. Il est ainsi possible que la gestion des feuillus dans le but d'augmenter les prédateurs et parasitoïdes des insectes ravageurs ne puisse pas se faire à petite échelle et nécessiterait des surfaces importantes de peuplements feuillus, pouvant former un réseau. Les études menées à l'échelle du paysage ont en effet montré qu'un minimum de 10 % de la surface forestière devait être occupé par des bois de feuillus pour contribuer de façon significative à une réduction des attaques de processionnaire du pin (Jactel *et al.*, 2014).



3 GESTION DU RISQUE EN FORÊT GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS BOSQUES

3.1. Gestion écologique

3.1. Gestión ecológica



3.1.3. Implantation de lisières feuillues pour étudier leurs effets de protection des peuplements de pin face à des aléas multiples

FR

Régions : Aquitaine (France) et Pays-Basque (Espagne)

Contexte

Des observations ont montré l'effet des lisières de feuillus sur la diminution de l'impact de certains aléas sur les peuplements de résineux associés. On a remarqué notamment un effet de ces lisières sur la chenille processionnaire du pin (Dulaurent *et al.*, 2012), sur les incendies (IEFC-Projet FORSEE, 2006), sur le vent (Gardiner & Stacey, 1996) et sur la stabilisation des sols (exemple de la stabilisation des berges, Dufour & Piégay, 2006). Ainsi, il serait intéressant de pouvoir mettre en place une expérimentation permettant de valider scientifiquement ces diverses observations de terrain.

Objectif

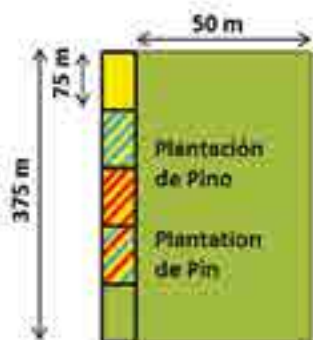
Plantation de lisières feuillues testant l'effet de plusieurs essences sur la limitation des impacts d'aléas multiples sur les peuplements de pins.

Protocole

Dans chaque région, l'expérimentation a été mise en place sur 4 sites afin d'assurer la réplication des tests. Sur chaque site, 4 modalités ont été implantées, combinant les trois espèces à tester.

Une modalité supplémentaire sans lisière feuillue sert de témoin. Chaque modalité a été implantée sur 75 m de long et 3 rangées de large, en bordure d'un peuplement de pin d'une profondeur d'au moins 50 m (Figure 1).

Les espèces feuillues testées sont adaptées aux régions où elles ont été plantées. Le but est de mettre en place une lisière à croissance assez rapide pour cacher physiquement le peuplement de pin. Dans les deux régions, c'est le bouleau (*Betula pendula* pour l'Aquitaine et *Betula celtiberica* pour le Pays-Basque), essence endémique qui est l'espèce feuillue principale testée, et présente dans toutes les modalités.



4 modalités (avec 3 rangées de feuillus) + 1 témoin
4 modalidades (con 3 líneas de caducifolias) + 1 testigo

1 - Bouleau / Abedul

2 - Bouleau + Eucalyptus / Abedul + Tilo

3 - Bouleau + Chêne rouge / Abedul + Roble común

4 - Bouleau + Eucalyptus + Chêne rouge / Abedul + Tilo + Roble común

- Témoin : pas de lisière (pin maritime seul) / Testigo : sin setos de caducifolias (solamente *Pino radiata*)

Figure 1 : Modalités d'installation de l'expérimentation des lisières feuillues.

Figura 1: Diseño experimental de las parcelas de la plantación de bordes de pinares con frondosas.



Figure 2 : Plantation de lisière pour le projet FORRISK en Aquitaine (Photo : INRA).

Figura 2: Plantación FORRISK del borde del rodal de pinos en Aquitania (Foto: INRA).

En Aquitaine (Figure 2), le bouleau est testé avec l'eucalyptus (*Eucalyptus gunii*) et le chêne rouge d'Amérique (*Quercus rubra*). Au Pays-Basque (Figure 3), le bouleau est testé avec le tilleul (*Tilia cordata*) et le chêne pédonculé (*Quercus robur*).



Figure 3 : Plantation de lisière pour le projet FORRISK sur un terrain en pente au Pays-Basque (Photo : Ander Arias González, NEIKER).

Figura 3: Plantación FORRISK del borde del rodal de pinos en una ladera del País Vasco (Foto: Ander Arias González, NEIKER).

Observations à venir

La faisabilité technique de l'implantation de ces lisières feuillues sera vérifiée (en évaluant le taux de mortalité), puis, après quelques années, des données relatives aux aléas seront relevées. Par exemple, les attaques de chenille processionnaires sur les différentes modalités pourront être relevées à partir de 7 ans (début moyen des attaques sur les peuplements). D'autres relevés sur l'impact du vent, la protection des sols, et le risque incendie pourront également être effectués.

3.1.3. Protección de los pinares de múltiples riesgos con barreras experimentales de frondosas

ES

Regiones: Aquitania (Francia) y País Vasco (España)

Antecedentes

Observaciones previas han demostrado que las barreras de frondosas pueden proteger el interior de las plantaciones de pino de ciertos peligros. Por ejemplo, se han realizado observaciones sobre el efecto protector de dichos bordes sobre la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) (Dulaurent *et al.*, 2012), sobre los incendios forestales (IEFC proyecto FORSEE, 2006), sobre los vendavales (Gardiner & Stacey, 1996), y sobre la protección del suelo (por ejemplo, la estabilización de los márgenes de los ríos, Dufour & Stacey, 1996). Por lo tanto, esta experimentación consistente en la plantación de bordes de frondosas, refuerza nuestra capacidad para explorar científicamente los resultados de los estudios anteriormente mencionados sobre el terreno.

Objetivo

Plantación de bordes experimentales de rodales de pino con frondosas con el fin de estudiar sus efectos sobre la protección de los pinares de múltiples peligros.

Diseño experimental

En cada una de las dos regiones se han establecido cuatro sitios experimentales para asegurar la correcta replicación de los ensayos. En cada uno de estos cuatro sitios, se han plantado cuatro parcelas con especies de frondosas a lo largo del borde de la plantación de pino. Un quinto tratamiento consiste en la plantación del pino sin frondosa que sirve como control. Cada parcela es de 15 árboles de largo y de una anchura igual a tres hileras de árboles (Figura 1, página 36).

Las especies de frondosas que se estudiarán están bien adaptadas a la región en la que se han plantado. Se han elegido por su rápido crecimiento para que puedan actuar como una barrera física para la protección de los pinos en poco tiempo. En ambas regiones, la principal especie de frondosa a ensayar es el abedul (*Betula pendula* de Aquitania y *Betula celtiberica*

el País Vasco), una especie endémica que está presente en todas las parcelas.

En la región de Aquitania (Figura 2, página 37), se ha plantado abedul junto a eucalipto (*Eucalyptus gunii*) y roble americano (*Quercus rubra*), mientras que en el País Vasco (Figura 3, página 37) se ha plantado junto a tilo de hoja pequeña (*Tilia cordata*) y roble común (*Quercus robur*).

Monitorización Futura

Se comprobará la viabilidad técnica de la plantación de los bordes de los rodales de pinos mediante la evaluación de la tasa de supervivencia de las frondosas. Más adelante, cuando la plantación esté completamente establecida, se recopilarán los datos relacionados con la protección de los pinos a los peligros anteriormente mencionados. Por ejemplo, se podrán tomar datos relacionados con la protección de los pinos frente a ataques de la polilla procesionaria en las diferentes parcelas tras siete años (la duración media de tiempo antes de la infestación del rodal). También se recogerán otros datos relacionados con la protección frente al impacto del viento y al riesgo de incendios forestales y de protección del suelo.



Photo : Ander Arias González, NEIKER.
Foto: Ander Arias González, NEIKER.



3 GESTÃO DO RISCO NA FLORESTA

3.2. Gestão Genética



3.2.1. Identificação de materiais genéticos de *Eucalyptus* mais resistentes e tolerantes a *Gonipterus platensis*

PT

Regiões: Norte e Centro de Portugal

Fundamento

A resistência (cujo reverso é a susceptibilidade) das plantas a uma praga específica reflecte a sua capacidade para evitar o ataque por um dado insecto. Esta capacidade pode passar, por exemplo, pelo facto de a planta ser pouco atractiva, ou pelo impedimento de desenvolvimento do insecto após o início do consumo deste ou através da libertação de compostos defensivos secundários. Estas defesas da planta poderão nalguns casos originar a morte do insecto. Por outro lado, a tolerância da reflecte o grau em que a planta pode desenvolver-se e crescer após sofrer os estragos causados pelos herbívoros. Quer a resistência, quer a tolerância, dependem da arquitectura genética da planta variando entre espécies e dentro da mesma espécie de planta, sendo em parte determinadas por processos coevolutivos (Strauss & Agrawal, 1999; Rausher, 2001).

Observações anteriores de campo e de laboratório evidenciaram diferenças na atractividade de diferentes materiais genéticos de eucaliptos a *Gonipterus platensis* (Marelli), assim como diferenças no desenvolvimento das larvas quando alimentadas com diferentes materiais genéticos (Reis, 2010). Por outro lado, observações de campo sugerem que a tolerância à desfolha pelo gorgulho varia também com o genótipo dos eucaliptos. Neste trabalho procurou-se confirmar, através de ensaios de campos com diferentes materiais genéticos em várias localidades, diferenças significativas na resistência e na tolerância dos eucaliptos àquela praga.

Objectivo

Este trabalho teve como principal objectivo estimar a variabilidade genética entre clones e famílias de eucaliptos, na expressão da sua susceptibilidade e tolerância ao ataque de *G. platensis*, que sejam mantidas independentemente do local. O trabalho visa ainda identificar materiais que possam ser usados em regiões de elevado risco para *G. platensis*.

Instalação do ensaio

A avaliação da susceptibilidade de diferentes materiais genéticos de eucalipto a *G. platensis*, foi efetuada em ensaios da ALTRI FLORESTAL, instalados entre 2004 e 2010, situados em áreas de risco de presença *G. platensis*.

Foram amostrados cinco locais onde existiam ensaios: Pampilhosa da Serra (Coimbra), Águeda (Aveiro), Santo Tirso (Porto), Oleiros 1 e Oleiros 2 (Castelo Branco) e Fundão (Castelo Branco). Nos 5 locais e para 34 diferentes materiais genéticos, foi avaliada a desfolha por *G. platensis* como medida da sua susceptibilidade a esta praga. A tolerância dos diferentes genótipos de eucalipto ao ataque de *G. platensis* foi determinada através do crescimento das árvores, expresso em volume de madeira projectado para os 10 anos de idade (período de revolução). Para a avaliação da tolerância, foram avaliadas as duas parcelas localizadas em Oleiros, com características e produtividades distintas, expressa pelo índice de qualidade da estação (IQE): Oleiros 1 (IQE = 17) e Oleiros 2 (IQE = 25,1).

Resultados

Observaram-se diferenças significativas na susceptibilidade dos 34 materiais genéticos ao ataque por *G. platensis* (Figura 1) ($F_{34,1072} = 1,374$; $p < 0,001$). Os genótipos mais e menos susceptíveis mantiveram estas características independentemente do local (Figura 2).



Figura 1: Genótipo MB412 sem sinais de ataque (esquerda) e genótipo YG15 com ataque elevado, Oleiros (Castelo Branco). (Fotos: Ana Raquel Reis, ALTRI FLORESTAL).

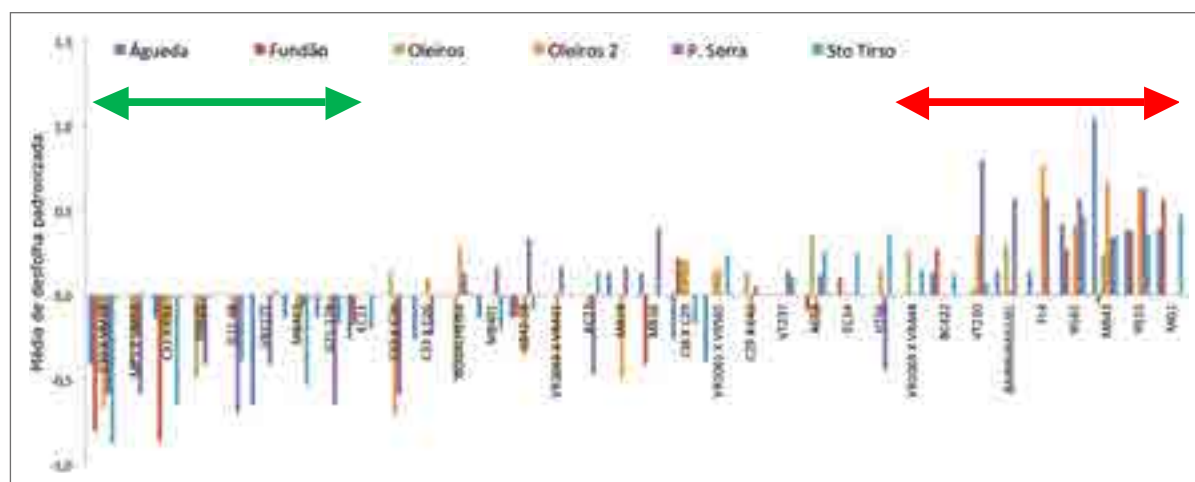


Figura 2: Desvio da desfolha comparativamente à média estimada para cada local, genótipos com desvios negativos são menos susceptíveis (seta verde), genótipos com desvios positivos são mais susceptíveis (seta vermelha).

O crescimento das árvores (tolerância) e a desfolha (susceptibilidade) não estiveram correlacionados. Verificou-se que árvores de genótipos como BAIRROMIGUEL, VR1061xVR585, AC58 ou C33xVM14 tiveram uma desfolha elevada nos dois locais mas as árvores conseguiram recuperar e apresentaram valores de crescimento positivos (Figura 3).

No entanto, alguns dos genótipos mais resistentes mostraram ser também os que apresentaram maior crescimento, em particular C33XC51 e C33XC29. Apesar dos locais amostrados, Oleiros 1 e Oleiros 2 terem características muito diferentes em termos de IQE, os resultados relativos entre genótipos foram muito semelhantes (Figura 3).

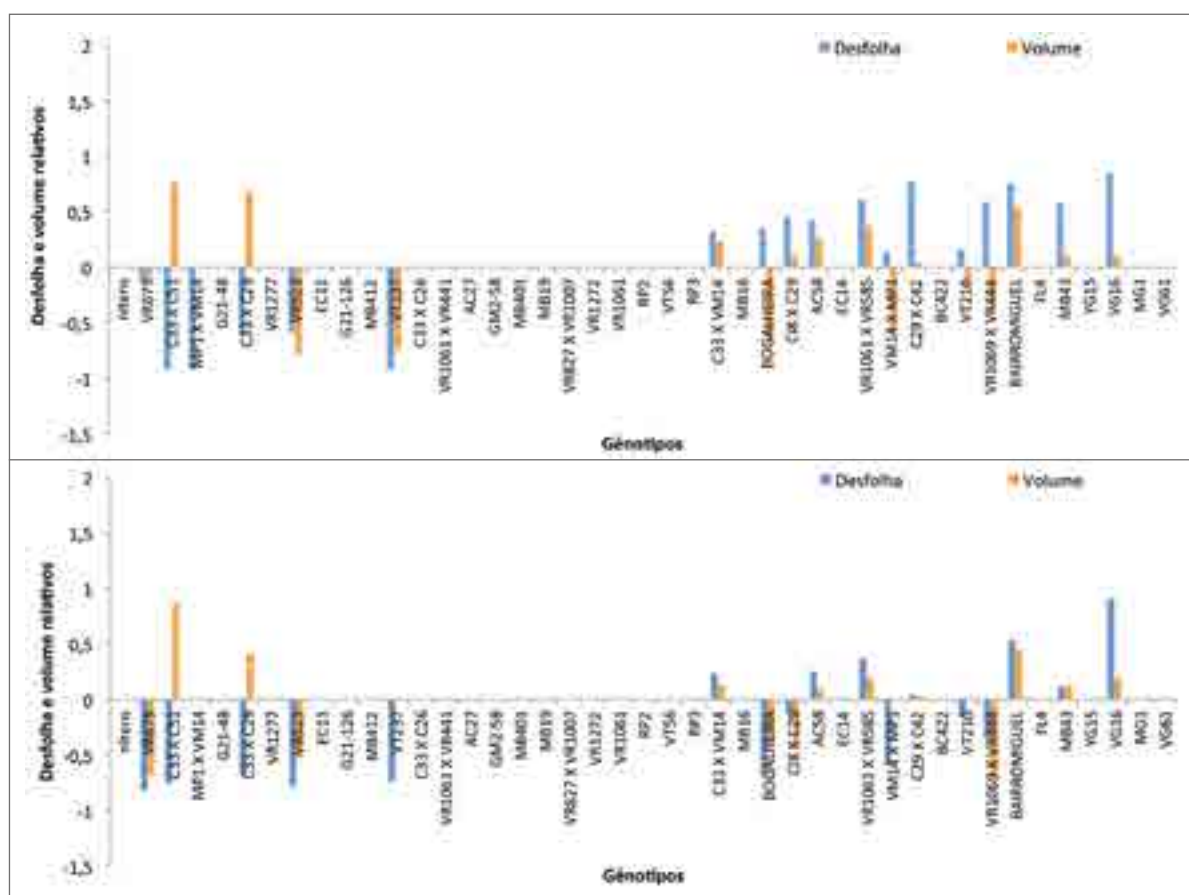


Figura 3: Desfolha e volume relativos dos vários materiais genéticos no povoamento de Oleiros 1 (cima) e de Oleiros 2 (em baixo).

Conclusões/ Recomendações

A análise de 34 genótipos em parcelas pertencentes à empresa ALTRI FLORESTAL demonstrou a existência de diferenças significativas na susceptibilidade, e na tolerância de diferentes materiais genéticos em relação ao gorgulho do eucalipto, *G. platensis*.

Apenas dois dos genótipos mais resistentes mostraram crescimentos acima da média, sendo os maiores em valor absoluto. Por outro lado, alguns genótipos mais susceptíveis, isto é, que apresentaram maior desfolha, compensaram fisiologicamente os estragos da desfolha, apresentando também crescimentos acima da média.

Concluiu-se que se pode seleccionar materiais genéticos para plantações em zonas com elevado risco de *G. platensis*, tendo em consideração a sua susceptibilidade e tolerância a esta praga de modo a que se obtenham melhores resultados em termos de produtividade. De futuro será também importante de analisar a interacção genótipo x ambiente.



3

GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS BOSQUES

3.2. Gestión Genética

hazi

3.2.2. Establecimiento de parcelas de *Pinus radiata* resistentes a *Fusarium*

ES

Región: País Vasco

Resumen

Tras elegir la ubicación de una red de parcelas representativas, se han medido los principales parámetros de una gran cantidad de pinos radiata enfermos y sanos. Se constata que la incidencia de esta enfermedad debilita a los árboles y puede causar una menor resistencia de estos pinares frente a otros riesgos naturales, como otros agentes bióticos, el viento o la nieve.

Objetivo

Establecer una red experimental de parcelas de *Pinus radiata* en pinares jóvenes en el País Vasco, con el fin de analizar la evolución de los daños causados por *Fusarium circinatum* y otros agentes de daños.

Establecimiento de parcelas

La enfermedad del “chancro resinoso del pino”, originada por el hongo *Fusarium circinatum* es, actualmente, la causante de los principales problemas sanitarios asociados al género *Pinus* en la Cornisa Cantábrica. Dicha enfermedad fue detectada por primera vez en 1986 en California, lugar de procedencia de *Pinus radiata*. La primera observación en plantaciones del País Vasco se hizo en 2004, también en *Pinus radiata* (Iturrutxa et al., 2011).

Una vez detectada la enfermedad en el País Vasco, se elaboró conjuntamente un protocolo de actuación de acuerdo con el marco competencial, correspondiendo las actuaciones de detección en los montes y erradicación a las Diputaciones Forales y las actuaciones en materia de control en el transporte y procesado de la madera al Gobierno Vasco.

El control de *Fusarium circinatum*, lo mismo que en el caso de *Diplodia pinea*, es complicado al tratarse de hongos capaces de sobrevivir en las acículas, ramas, brotes, madera y piñas durante un amplio periodo de tiempo, generando en la actualidad una gestión bastante difícil y costosa. El ataque de *Fusarium* forma chancros en las partes del árbol atacadas, los tejidos infectados aparecen necróticos y el xilema exuda grandes cantidades de resina, saturando la madera y dándole una apariencia oscura.

El protocolo de actuación establecido en el País Vasco ha ido en paralelo a una serie de medidas tendentes al establecimiento de un programa de control y erradicación de la enfermedad basado en la selección de ejemplares de *Pinus radiata* resistentes. Este programa ha supuesto la plantación de material seleccionado en 4 montes de Bizkaia, en zonas dañadas por *F. circinatum* donde se había talado el pinar anterior. Estas parcelas son regularmente monitorizadas para comprobar la evolución del hongo.

Con el fin de no interferir en este programa ya existente desde hace años, sino de complementarlo, se ha decidido instalar las parcelas del proyecto FORRISK en áreas distintas, siguiendo estas premisas:

- Pinares jóvenes (10-20 años)
- Unos situados en zonas afectadas por *Fusarium* y otros alejadas de esas zonas

- Variedad en factores como altitud, distancia a la costa, propiedad pública o privada

En verano de 2013 se visitaron diversas localizaciones de pinares afectados por *Fusarium* con el fin de elegir dos ubicaciones en monte público afectadas por *Fusarium* que no fueran a ser cortadas en breve y que, por tanto, pudieran medirse en los meses siguientes: Gipuzkoa (1) y Bizkaia (2). También se eligieron otras dos ubicaciones, en montes privados de Alava, no afectadas por *Fusarium* y que pudieran complementar las mediciones en montes afectados: Luiando (3) e Urkillo (4).

En invierno de 2013/2014 se ha procedido a medir 1.456 pinos de estas 4 localizaciones: 504 en Gipuzkoa (4.100 m²), 599 en Bizkaia (3.300 m²), 321 en Luiando (3.500 m²) y 32 en Urkillo (1.000 m²). En todos ellos se han medido el diámetro normal, la altura total y la presencia de chancros. Además, todos esos árboles se han dejado marcados con una pequeña chapa numerada en el tronco y se han georreferenciado con GPS centimétrico.

Aleatoriamente, en uno de cada 20 pinos se ha medido la velocidad de transmisión de la onda sónica en su troza basal, empleando un Fakopp Microsecond Timer. Los sensores se han colocado a una distancia de 80 cm entre sí y se han realizado dos mediciones opuestas por árbol. Este parámetro está directamente relacionado con la calidad de la madera y con la resistencia del tronco a la rotura por viento o nieve. Se ha procedido así a medir 105 pinos de estas 4 localizaciones: 31 en Gipuzkoa, 29 en Bizkaia, 13 en Luiando y los mismos 32 en Urkillo.

Resultados

Los primeros resultados muestran una evidente relación entre presencia de la enfermedad y calidad de la madera. Las velocidades promedio en el conjunto de los pinares sanos (Luiando y Urkillo) es significativamente superior a los pinares enfermos (Gipuzkoa y Bizkaia): 4,115 km/s frente a 3,256 km/s. En ambos grupos de pinares, la velocidad se mantiene independiente respecto al diámetro normal y aumenta conforme lo hace la relación de esbeltez (altura total frente a diámetro normal), tendencias que suelen darse en general en los arbolados de todo tipo medidos con este tipo de aparatos sónicos.

Esta mejor calidad de la madera de la troza basal en los pinares sanos se traduce, en

general, en una mejor resistencia a la rotura del tronco ante agentes meteorológicos (viento, nieve). Ello puede comprobarse visualmente en ambos tipos de pinares: sólo aparecen pinos rotos en los pinares enfermos.

Densidad de Kernel - *Fusarium circinatum*

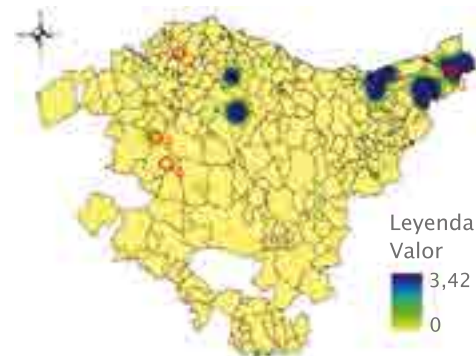


Figura 1: Ubicación de las parcelas establecidas en relación al mapa de afección de Pinus radiata por Fusarium (mapa extraído de García Serna et al., 2011).



Figura 2: Parcela experimental en Gipuzkoa. (Foto: HAZI).



Figura 3: Parcela experimental en Bizkaia. (Foto: HAZI).

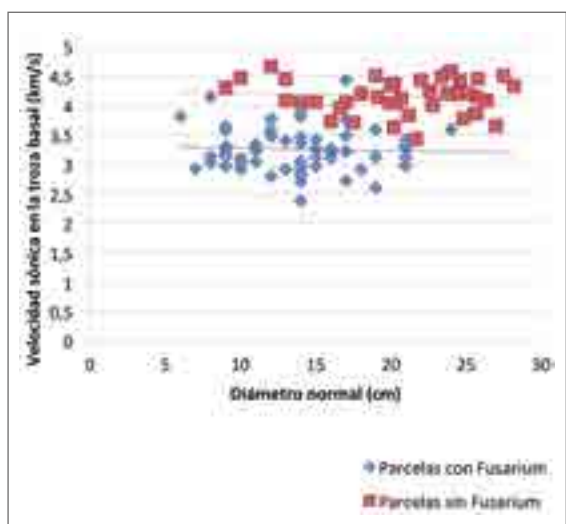


Figura 4: Relación entre diámetro normal y velocidad sónica en la troza basal.

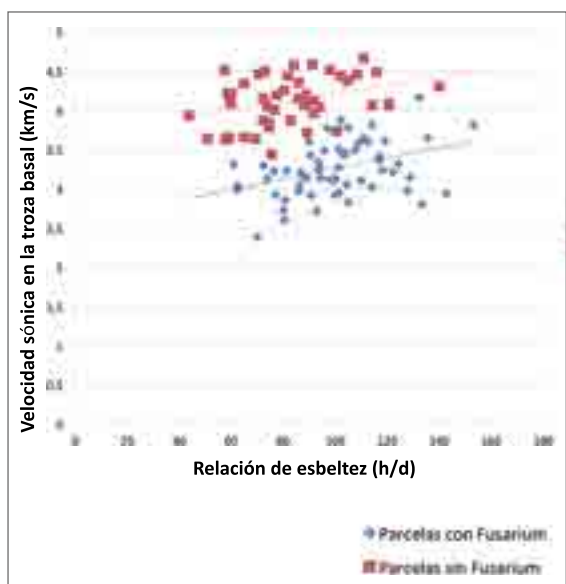


Figura 5: Relación entre coeficiente de esbeltez y velocidad sónica en la troza basal.



Figura 6: Pino partido en Gipuzkoa. (Foto: HAZI).



Figura 7: Chancros resinosos en un pino afectado en Bizkaia. (Foto: HAZI).

Futuras observaciones

Una vez establecidas las parcelas, se prevé en los próximos meses comenzar un tratamiento que también se está testando en Nueva Zelanda. Se prevé emplear en las parcelas afectadas diversas bacterias y otros organismos beneficiosos nativos, obtenidos a partir de 50 puntos seleccionados por sus buenas condiciones de crecimiento en el País Vasco.

Igualmente, a lo largo de los próximos años se espera repetir las mediciones en los pinos seleccionados, con el fin de ir cuantificando su crecimiento y la evolución de los daños bióticos y abióticos.



3 GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS BOSQUES

3.2. Gestión Genética



3.2.3. Recomendaciones de uso de Material Forestal de Reproducción de pino negral (*Pinus pinaster* Ait) en áreas no costeras de Galicia. Evaluación del comportamiento juvenil.

ES

Región: Galicia

Antecedentes

La caracterización fenotípica del Material Forestal de Reproducción (MFR), es decir, procedencias, es un paso clave para el establecimiento de recomendaciones de uso. En un siguiente paso estas recomendaciones deberían fundamentarse no sólo en base al crecimiento si no también en base a otras funciones vitales para la supervivencia y la regeneración. Entre ellas se encuentran la asignación de recursos a mecanismos de protección frente a antagonistas bióticos y helada de acículas. Por otro lado, los parámetros comerciales importantes son aquellos que pudieran dar calidad a los productos finales procedentes de las plantaciones. La rectitud del fuste es clave para optimizar la eficiencia de los procesos industriales, y por tanto, la rentabilidad de la producción de madera.

Objetivo

Estudiar las relaciones entre crecimiento, defensas constitutivas contra herbivorías y sensibilidad a la helada en procedencias de *Pinus pinaster* Ait ensayadas en climas no costeros de Galicia. Finalmente, hacer consideraciones sobre la posible rectitud de las mismas procedencias estudiadas en otros climas.

Protocolos experimentales

Las procedencias ensayadas se seleccionaron entre MFR Controlados, Cualificados y Seleccionados en Catálogos Europeos de Materiales Forestales de Base, y algunas más fueron propuestas por el Servicio Forestal de Galicia.

Primero, se hizo una caracterización morfológica del crecimiento en altura y diámetro en 25 procedencias sobre 8 ensayos de campo, con

48 plantas por cada procedencia y ensayo, de 6 años de edad (Ocaña *et al.*, 2013). Aunque las evaluaciones del crecimiento en pino negral a los 6 años son demasiado tempranas para ser definitivas, el ranking final de procedencias podía, por lo menos, ser aproximado.

Segundo, se caracterizó la asignación de defensas químicas basadas en 10 procedencias y 2 campos de ensayo con 12 plantas por procedencia y ensayo a los 7 años de edad. Estas defensas se parametrizaron con la medición de la concentración de resinas no volátiles en las acículas (Lario *et al.*, 2014).

Finalmente, las mismas 25 procedencias se testaron en un ensayo de vivero en macetas de 30 litros, 9 plantas por procedencia a los 4 años de edad. Para cada procedencia se tomaron cuatro muestras de acículas adultas cada una procedente de 3 plantas de la misma unidad experimental. La sensibilidad a la helada a -16 °C se midió por evaluación de electrolitos liberados en un test en cámara de tolerancia al

frío, siguiendo la metodología de Royo *et al.*, 2003.

Finalmente, las posibles cualidades de los FRM en cuanto a verticalidad-rectitud se consideraron y discutieron en base a otros trabajos de campo para climas interiores de España.

Resultados

Las procedencias originarias de áreas costeras asignaron más recursos a la defensa contra patógenos foliares y herbívoros y mostraron mayor tolerancia a la helada, menor crecimiento diametral y mayor crecimiento en altura. Por otro lado, las procedencias mediterráneas y continentales, originarias de áreas centrales de España, fueron más sensibles a la helada otoñal, una vez que el endurecimiento de la planta se había completado, y mostraron baja concentración de defensas químicas en las acículas, lo que podría conducirlos a ser más sensibles a daños bióticos.

Alía *et al.*, 1995 mostró que la región de procedencias más rectas de las incluidas en los estudios anteriores eran Serranía de Cuenca (SeCu), Montaña de Soria-Burgos (MSoB) y Sierra de Gredos (SeGr), testadas en climas interiores de España a los 19 años de edad. Alía *et al.*, 1995, mostró que el crecimiento y la rectitud de SeCu era altamente variable entre sus procedencias pero no pudo concluir nada de las otras dos áreas. Ocaña *et al.*, 2013, confirmó que el crecimiento de las procedencias de SeCu era también altamente variable entre sus procedencias pero era bastante estable entre las procedencias de MSoB y SeGr en ensayos de campo en climas no costeros de Galicia a los 6 años de edad.

A la luz de estos resultados, elegir procedencias de SeGr para plantar en climas no costeros de Galicia podría optimizar el comportamiento de *Pinus pinaster* Ait en tres aspectos diferentes: defensas contra el daño en acículas, tolerancia foliar a la helada, rectitud y crecimiento.

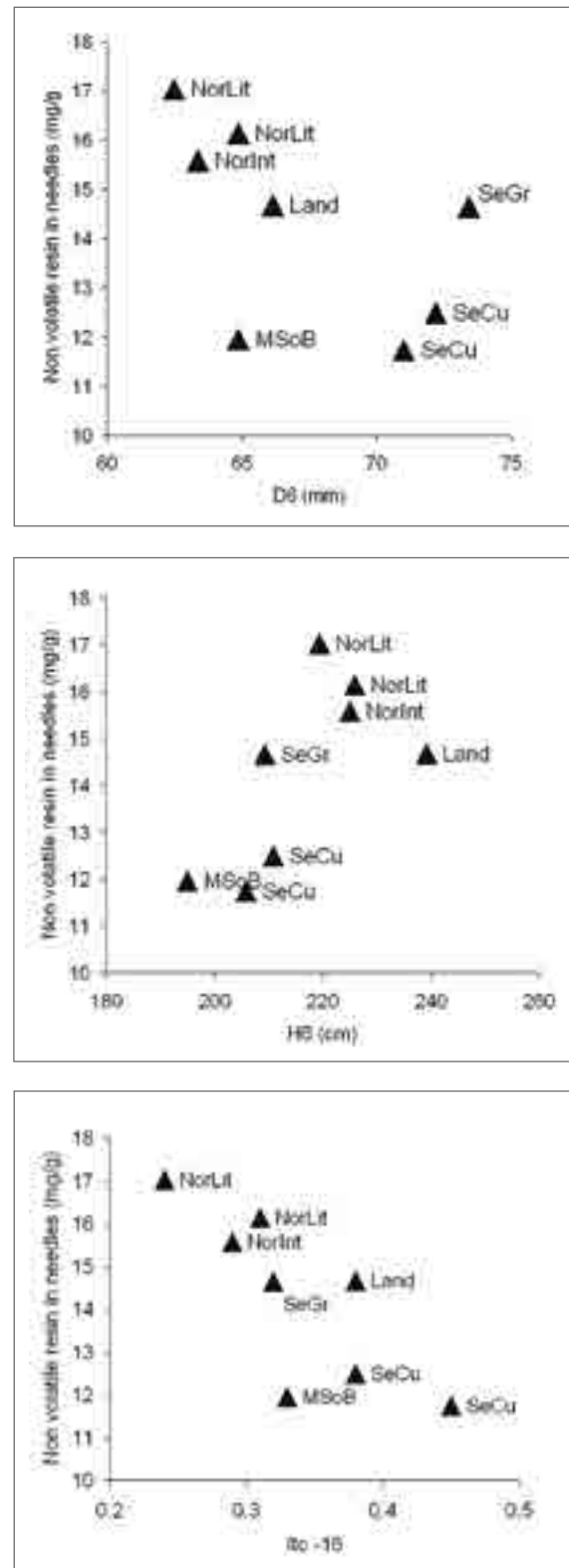


Figura 1: Comportamiento de 10 procedencias procedente de 6 diferentes regiones (NorInt: Noroeste Interior Galicia; NorLit: Noroeste Litoral Galicia; SeCu: Serranía de Cuenca; SeGr: Sierra de Gredos; Land: Landes -Francia-; MSoB: Montaña de Soria-Burgos) en crecimiento diametral (D), crecimiento en altura (H), daño por helada a -16 °C en test en cámara (Ito -16) y defensas contra herbivoría y patógenos foliares (Resinas no volátiles en acículas o Non volatile resin in needles en inglés).



Figura 2: Uno de los 8 ensayos de campo para el estudio del crecimiento situado en áreas de clima no costero de Galicia a los 7 años de edad (Foto: L. Ocaña, TRAGSA).



Figura 3: Ensayo de vivero de 25 procedencias donde se muestrearon acículas para el test de helada a los 4 años de edad (Foto: F.J. Lario, TRAGSA)



Figura 4: Daño de helada en individuo juvenil de Pinus pinaster Ait en Galicia (Foto: F.J. Lario, TRAGSA).



Figura 5: Thaumetopoea pityocampa alimentándose de acículas (Foto: L. Sampedro, MBG-CSIC).



Figura 6: Hylobius abietis sobre acículas de pino (Foto: L. Sampedro, MBG-CSIC).

3.2.4. Faisabilité de l'utilisation des techniques de mesure de vitesse acoustique pour évaluer l'aptitude à la tolérance au vent du pin maritime dans les tests génétiques

FR

Région : Aquitaine

Contexte

Suite aux tempêtes Martin (1999) et Klaus (2009), les observations réalisées sur les tests de descendance ont mis en évidence un effet génétique marqué (Figure 1) sur l'aptitude à la tolérance au vent du pin maritime (Bouffier, 2014). Cette tolérance au vent est liée (i) à la qualité d'ancrage du système racinaire, (ii) aux qualités mécaniques de la partie aérienne : dimensions, flexibilité de la tige, qualité du bois. Des études récentes ont montré l'intérêt de l'utilisation des techniques acoustiques permettant de mesurer la vitesse de propagation d'une onde acoustique sur "arbre debout" en forêt. Cette vitesse est directement liée aux propriétés mécaniques du bois : densité, module d'élasticité (MOE), humidité (Lenz *et al.*, 2013 ; Paradis *et al.*, 2013).

Figure 1 : Effet génétique sur la sensibilité au vent dans un test de descendance de pin maritime en Aquitaine (France). On observe une descendance très sensible au vent à gauche sur la photo, à côté d'une descendance tolérante, non affectée par le vent, sur la droite. (Photo : P. Alazard, FCBA).



Objectif

Mesurer sur un test de descendance de pin maritime les relations, au niveau individuel et familial, entre la rectitude des arbres, les caractéristiques morphologiques et mécaniques (hauteur, diamètre, densité du bois, angle du fil) et la vitesse de propagation d'une onde sonore mesurée sur arbre debout. Vérifier si l'utilisation de la technique de mesure de la vélocité de propagation d'ondes dans le bois pourrait avoir un intérêt pour faire une sélection sur la tolérance au vent, à partir de tests rapides et non destructifs dans les essais génétiques.

Dispositif expérimental

Localisation	Cestas (Gironde, France)
Age	14 ans
Dispositif	Parcelle monoarbre, 30 répétitions (30 arbres par descendance)
Traitements	140 descendances de demi-frères
Densité de plantation	1250 arbres par hectare
Densité actuelle	600 arbres par hectares

Matériel

Le matériel utilisé est le Hitman ST300® de Fibre-gen company en Nouvelle-Zélande (Paradis *et al.*, 2013). Deux sondes sont insérées dans la partie basse du tronc sur une ligne verticale à environ 60 cm l'une de l'autre. L'alignement entre les deux sondes est contrôlé par un faisceau laser. Une onde mécanique est émise en frappant à l'aide d'un marteau la sonde du bas. Le temps de parcours de l'onde entre les deux sondes est mesuré par un accéléromètre sur la sonde supérieure. La distance (d) entre les deux sondes est mesurée par un capteur à ultrasons. La vitesse de propagation de l'onde entre les deux sondes ($v = t/d$) varie en fonction des propriétés mécaniques de la longueur du tronc traversé.



Figure 2 : Mesures effectuées avec Hitman ST300® sur le test de descendances de Cestas en Aquitaine. (Photo : J.Y. Fraysse, FCBA).

Mesures et observations

Un échantillon de 36 descendances a été constitué avec 3 groupes distincts sélectionnés sur la tolérance au vent : descendances très sensibles au vent, descendances moyennement sensibles au vent et descendance tolérantes au vent avec une bonne rectitude. La tolérance au vent est évaluée par la valeur du plus grand écart à la verticale du tronc (EV) mesuré à 8 ans à l'aide d'une pige à 1,50 m de hauteur. La vitesse acoustique a été mesurée avec le Hitman ST300® sur un échantillon de 12 à 14 arbres pour chaque descendance. Pour chaque arbre on dispose des données suivantes :

- croissance : hauteur et diamètre à 8 ans, hauteur et diamètre à 12 ans,
- écart à la verticalité à 8 ans,
- angle du fil à 14 ans,
- vitesse acoustique à 14 ans,
- densité du bois mesurée par radiographie sur une carotte échantillon prélevée à 1,30 m sur le rayon (écorce au cœur).

Résultats

La variation de vitesse acoustique (v) mesurée au niveau individuel est forte, pour l'ensemble des 419 arbres mesurés, elle varie de 2,41 km.s⁻¹ à 6,73 km.s⁻¹. On n'observe, au niveau arbre aucune corrélation ($r^2 < 0,01$) entre la vitesse et la rectitude des arbres mesurée par l'écart à la verticalité EV (Figure 3b). Au niveau familial l'effet descendance est significatif, la vitesse acoustique varie de 3,29 km.s⁻¹ pour la descendance 308, à 4,15 km.s⁻¹, pour la descendance 386. La relation entre v et EV est plus marquée qu'au niveau individuel (arbre) mais reste relativement faible, en particulier dans le cas du groupe des descendances sensibles au vent : $r^2 = 0,21$ pour les descendances tolérantes au vent, $r^2 = 0,23$ pour les descendances moyennement sensibles au vent et $r^2 = 0,01$ pour les descendances sensibles au vent (Figure 3a). Les données de croissance : hauteur (H),

diamètre (D) et ratio H/D à 8 et 12 ans ainsi que les données de qualité du bois : angle du fil et densité du bois à 14 ans ne sont pas corrélées avec la vitesse mesurée sur les arbres sur pied pour ce test. Des différences de vitesse acoustiques ont été mises en évidence entre les 39 descendance, mais ces différences ne sont pas clairement corrélées, au niveau phénotypique, avec la stabilité des arbres et la tolérance au vent. Ces écarts de vitesse entre descendance, sont cependant vraisemblablement liés à la qualité du bois (MOE), une étude au niveau génétique et une étude sur la qualité des sciages (résistance mécanique des plots) devront compléter cette analyse.

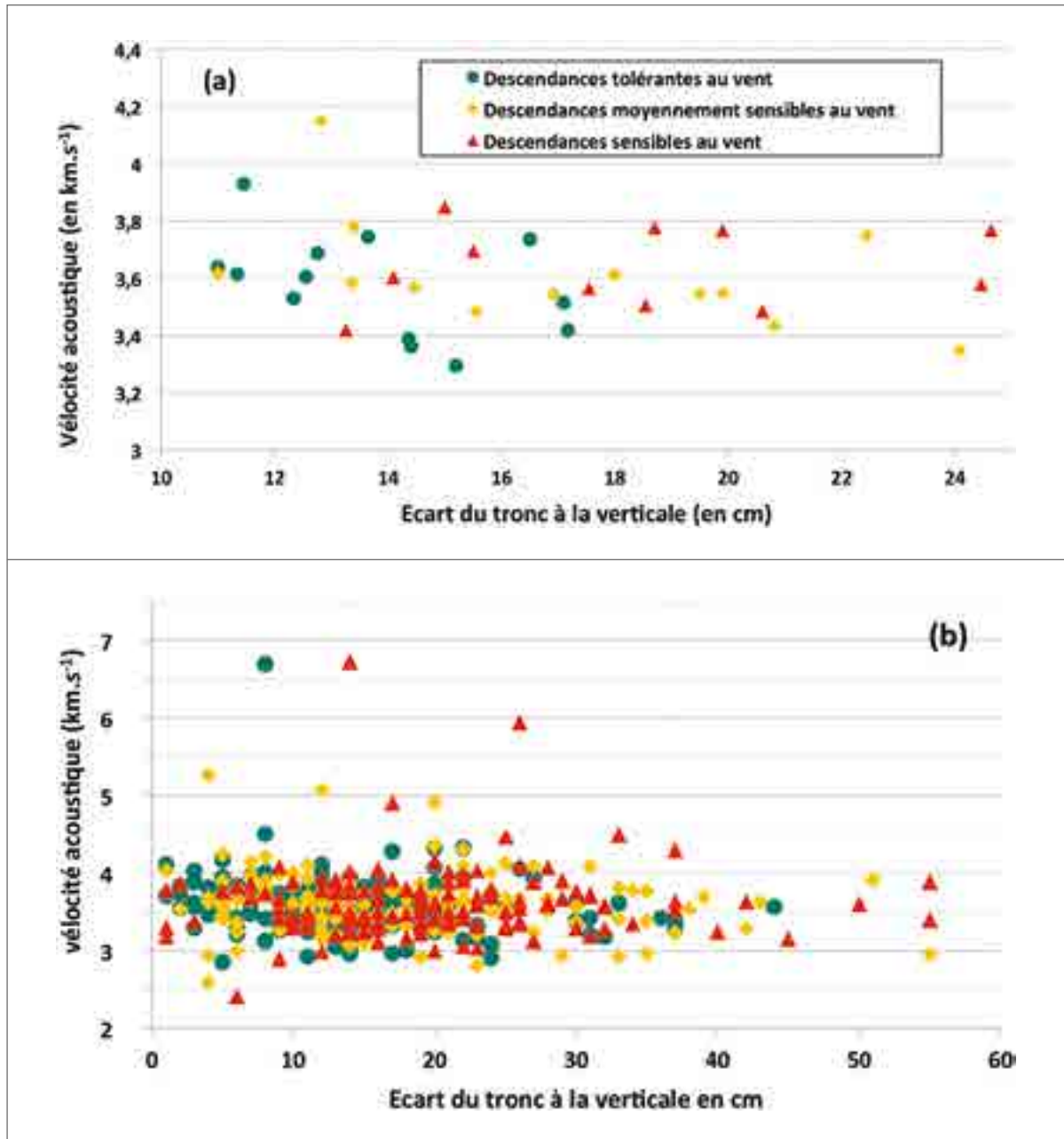


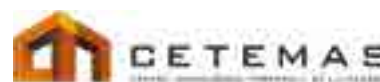
Figure 3 : Relation entre la vitesse acoustique mesurée sur arbre debout (Hitman ST300®) et l'écart maximum du tronc par rapport à la verticale à 1,50 m de hauteur pour 39 descendance de pin maritime classées selon leur tolérance au vent sur le test de Cestas en Aquitaine (France). (a) résultats au niveau familial (moyenne de 11 à 14 arbres par famille) et (b) résultats au niveau individuel.



3

GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS BOSQUES

3.3. Gestión selvícola



3.3.1. Gestión selvícola integral en masas de *Pinus radiata* y *Pinus pinaster*

ES

Región: Asturias

Antecedentes

Pinus radiata y *Pinus pinaster* son las coníferas de mayor importancia para la producción de madera en el área atlántica. Una selvicultura integral bajo una gestión sostenible minimiza entre otros los riesgos abióticos y bióticos en las masas y facilita al mismo tiempo la obtención de madera de calidad. Para la definición de modelos de gestión selvícola integral en el marco del proyecto FORRISK se ha utilizado una red experimental de ensayos permanentes de podas y claras establecida en masas de *Pinus radiata* y *Pinus pinaster* del Principado de Asturias, gestionada bajo dos sistemas: selvicultura intensiva y sistema silvopastoral.

Objetivo

Realizar el seguimiento de la red de parcelas permanentes de podas y claras con el fin de evaluar la influencia de la selvicultura en la calidad de la madera y el riesgo de incendio en dos tipos de sistemas de gestión: intensivo y silvopastoral.

Dispositivo experimental

Sistema de gestión intensivo (*P. radiata* y *P. pinaster*)

La red de parcelas permanentes de podas y claras gestionadas bajo un sistema intensivo consta de una superficie aproximada de 8 hectáreas, con cuatro sitios de ensayo (1 hectárea/sitio) para cada especie (*P. radiata* y *P. pinaster*). En todos estos ensayos se estableció un diseño experimental realizado en dos fases (Figura 1, izquierda): (1) primera poda distribuida aleatoriamente en subparcelas de diferente intensidad de poda (0%, 20% y 40% de longitud de copa viva eliminada) y (2) poda alta en los mejores pies de la masa (árboles de porvenir) combinada con diferentes tipos de clara (control, selectiva con 150 pies/ha árboles

de porvenir y baja fuerte con un 30-40% de área basimétrica eliminada).

Sistema de gestión silvopastoral (*P. pinaster*)

En el ensayo permanente de *P. pinaster* gestionado como un sistema silvopastoral, de 7 hectáreas de superficie, se realizó un proceso gradual de conversión de una masa monoespecífica procedente de regeneración tras incendio, con una primera clara por lo bajo (eliminación del 69% de los pies) y una segunda clara baja (eliminación del 45% de los pies) combinada con poda alta en los mejores pies dentro de 5 subparcelas circulares de 15 metros de radio (radio ampliado a 18 metros para el inventario realizado en 2013-2014 dentro del proyecto FORRISK) (ver Figura 1, derecha). En el área destinada al control no se realizó ningún tipo de tratamiento selvícola.

Inventarios de campo: mediciones dendrométricas y estimación de biomasa

En todos los ensayos de podas y claras estudiados en el proyecto FORRISK (sistemas de gestión intensivo y silvopastoral), fueron realizados inventarios de campo antes y después de los tratamientos selvícolas, con un último inventario en el invierno 2013-2014 dentro del proyecto FORRISK. Para este último inventario se establecieron varias subparcelas de muestreo

que incluyeran todas las combinaciones de podas y claras junto con el control (ver Figura 1). En todas estas subparcelas se tomaron datos de árbol individual (diámetro normal, altura total, alturas de copa viva y muerta) para su relación con el crecimiento y producción, así como medidas no destructivas de velocidad acústica (NDT) en árboles en pie (Fakopp y ST-300) para la determinación de la calidad de la madera en función del tratamiento selvícola. Por último, fue realizado un inventario de biomasa matorral en algunas de las parcelas de ensayo para el estudio del riesgo de incendio en relación con los diferentes esquemas selvícolas aplicados.



Figura 1: Diseño experimental de podas y claras del dispositivo de parcelas permanentes estudiado en el marco del proyecto FORRISK: Sistema de gestión intensivo para masas de *Pinus radiata* y *Pinus pinaster* (izquierda, basado en Hevia Cabal (2013)) y sistema silvopastoral para *Pinus pinaster*.

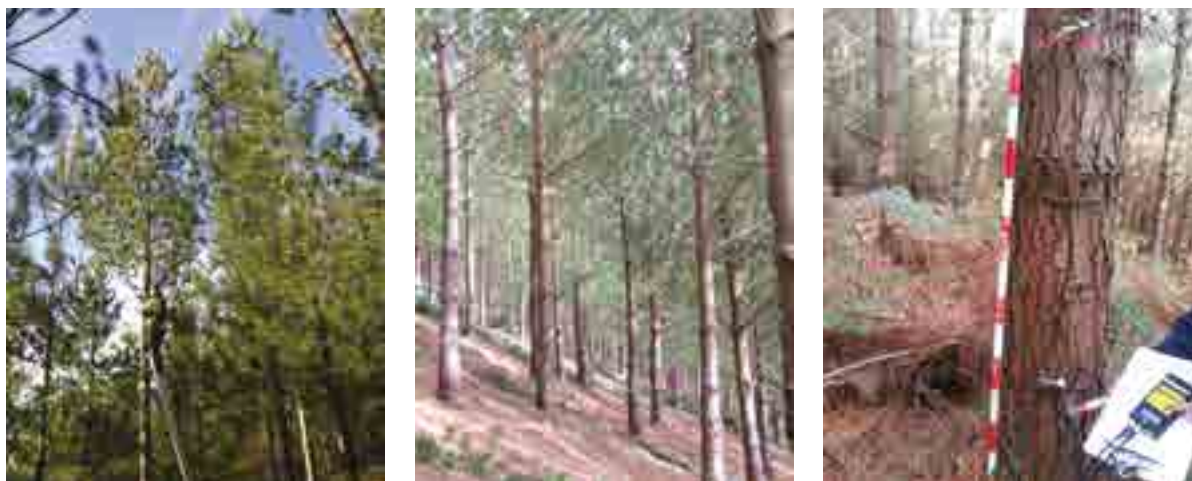


Figura 2: Sitios experimentales de podas y claras estudiados dentro del proyecto FORRISK en Asturias (Fotos: CETEMAS).

Resultados

Los datos procedentes de los inventarios realizados en la red experimental de podas y claras han sido utilizados en la evaluación de la influencia de la selvicultura sobre el crecimiento y producción de las masas forestales de *P. radiata* y *P. pinaster* en Asturias. Actualmente se están llevando a cabo nuevos análisis en los que se incluyen las podas y las claras para ambas especies (*P. radiata* y *P. pinaster*) y sistemas de gestión (intensivo y silvopastoral).

La estimación de la influencia de la gestión selvícola en la calidad de la madera de árboles en pie se está llevando a cabo en colaboración con HAZI para masas gestionadas de *P. radiata* (Asturias y País Vasco), *P. pinaster* (Asturias) y *Pseudotsuga menziesii* (País Vasco).

Las ecuaciones de biomasa arbórea desarrolladas en un estudio previo de *P. pinaster* (ver Hevia Cabal, 2013) están siendo utilizadas en este proyecto para relacionar el riesgo de incendio y la selvicultura aplicada bajo diferentes escenarios de podas y claras, incluyendo los estratos arbóreo y subarbóreo (información obtenida en el inventario de biomasa de matorral realizado en el marco del proyecto FORRISK).

Trabajo futuro

El efecto de la selvicultura aplicada sobre el crecimiento y producción de los árboles, la calidad de su madera y el riesgo de factores bióticos y abióticos seguirá siendo evaluado en los próximos años. Así, se realizarán nuevos inventarios dendrométricos, mediciones con

equipos de velocidad acústica no destructivos y se recogerán datos de árboles caídos por viento, localización en campo de los árboles, evaluación del estado sanitario de las masas, caracterización de la distribución y carga de la biomasa en los estratos arbóreo y subarbóreo y su relación con el riesgo de incendio. Con todo ello, y dada la importante fuente de información que se espera obtener de esta red de ensayos permanentes, se construirán modelos de predicción que ayuden a mejorar la gestión de las masas de coníferas del área atlántica, minimizando los riesgos bióticos y abióticos y obteniendo una madera de calidad bajo una selvicultura sostenible aplicada en dichas especies.

Recomendaciones

Se recomienda continuar con el seguimiento y análisis de los datos obtenidos en esta red de ensayos permanentes para establecer unas pautas de gestión que ayuden a la toma de decisiones sobre la selvicultura a aplicar en estas especies en el ámbito atlántico.

3.3.2. Gestion sylvicole et tolérance à la sécheresse des plantations de douglas en France

FR

Régions : Midi-Pyrénées et Limousin

Objectif et dispositifs

L'objectif était ici de voir ici quelles pouvaient être les conséquences d'accidents climatiques (sécheresse) sur le comportement de jeunes douglas plantés à des espacements très contrastés. Deux dispositifs FCBA ont été utilisés pour cette étude : les essais de Saint Victor (Creuse) et Massaguel (Tarn) (Figure 1). Ces deux dispositifs font partie de la coopérative de données douglas qui regroupe les organismes de recherche forestière en France.

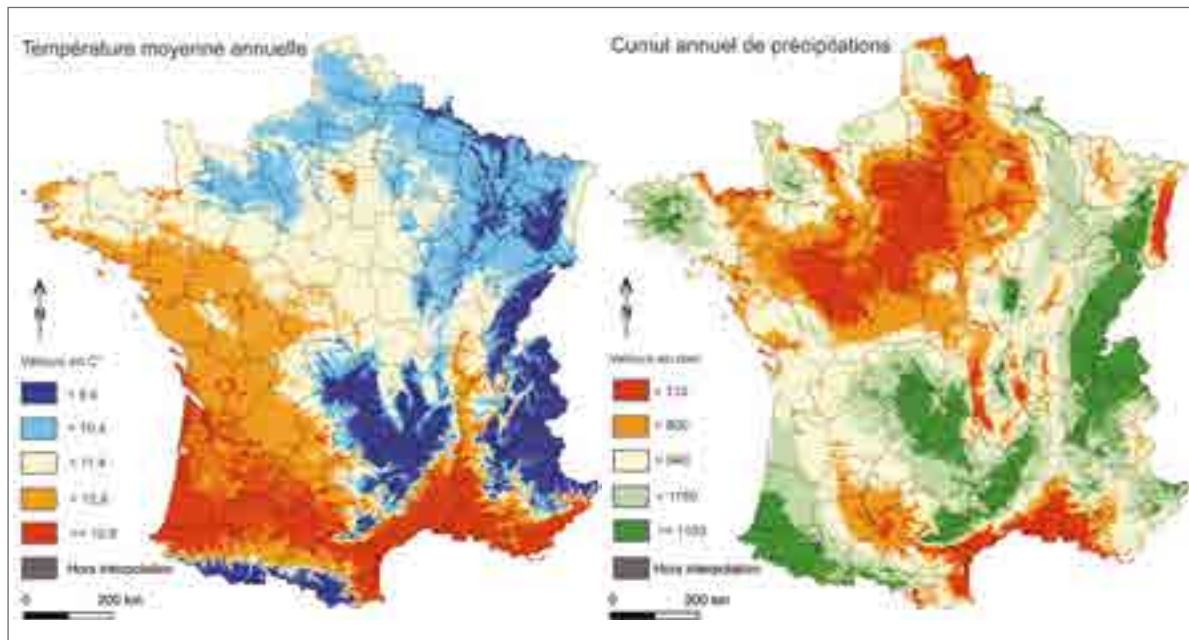


Figure 1 : Localisation géographique de ces dispositifs et conditions météorologiques des sites.

Les dépressages et éclaircies sont réalisés en fonction de la hauteur dominante. On peut observer que les densités sont très contrastées, puisque par exemple des placeaux qui ne seront pas éclaircis sont plantés à 2500 tiges/ha et d'autres à 350/ha. (Tableau 1).

Scénario		1	2	3	4	5	6
Motif de plantation et densité (Tiges/ ha)		3 X 1,33 m	3 X 2 m	3 X 3 m	3 X 3 m	6 X 3,33 m	6 X 4,75 m
		2506	1667	1111	1111	501	351
Densité retenue (Tiges/ ha) en fonction de la hauteur dominante	6 m				750 (2004)	250 (2004)	
	13 m			500 (2010)			
	18 m		1100	250	500	180	
	23 m		750	180			
	27 m		500				
	31 m		350				
	35 m		250				
Légende du tableau			Densité finale		1667	Densité actuelle	

Tableau 1 : Description des scénarios sylvicoles testés sur les sites expérimentaux de Saint Victor en Creuse et Massaguel dans le Tarn.

Méthode

Des carottes ont été prélevées à 1.30 m sur les deux dispositifs pour 20 arbres pour les 6 scénarios sylvicoles soit au total 120 carottes par site (Figure 2).



Figure 2 : Prélèvement de carottes à la tarière de Pressler sur les dispositifs expérimentaux (Photo : D.Michaud).

Ces carottes ont été analysées sur la plateforme Xyloforest à l'INRA de Pierroton. Les rayons X sont projetés sur les échantillons de bois et sur une cale d'étalonnage qui sont posés sur un film. Le film est ensuite développé, scanné et analysé par le logiciel Windendro Density. On obtient de très nombreuses données : la largeur des cernes, la densité du bois tous les 0.002 mm pour chaque cerne.

Résultats

On observe de gros écarts entre les traitements et logiquement les traitements avec un faible

nombre d'arbres par hectare ont les diamètres les plus élevés (Figure 3).



Figure 3 : Site de Saint Victor (Région Limousin), modalité 1 plantée à 2506 tiges/ha (3 m X 1,33 m) (Photo : N.Eisner).

Globalement, on constate que l'accroissement est plus faible pour les fortes densités. A Saint Victor, les accroissements sont plus faibles pour les années 2000 et 2003 (Figure 4a). Pour 2003, ce résultat n'est pas surprenant puisque c'est l'année où le mois d'août a été marqué par une période de canicule (Martinez Meier A.G., 2008). Cette diminution de l'accroissement affecte tous les traitements. A Massaguel, on retrouve également l'année 2003 avec un accroissement plus faible que l'on observe également pour les années 2006 et 2009 (Figure 4b). Ces résultats laissent penser que pour ces deux années, les conditions météorologiques ont été très différentes sur les deux sites. Mais ce qu'il faut surtout noter, c'est qu'en 2003, 2006 et 2009, tous les traitements ont été affectés. Des analyses sont en cours pour voir quels sont les paramètres météorologiques qui jouent un rôle sur l'accroissement des arbres.

Ces analyses sont complexes puisque les paramètres météorologiques ne sont pas indépendants les uns des autres et c'est vraisemblablement la combinaison de plusieurs de ces paramètres qui peut influencer la croissance des arbres : par exemple la combinaison d'une période de sécheresse associée à une forte chaleur et à une période de l'année.

Conclusion

Dans l'état actuel des analyses, on ne peut pas expliquer clairement quels sont les paramètres météorologiques qui entraînent des accroissements plus faibles certaines années, même si 2003 montre que les fortes chaleurs estivales jouent un rôle. Cependant, on constate clairement que lorsqu'un accroissement annuel est faible, il est faible pour tous les traitements, quel que soient la modalité et le nombre d'arbres à l'hectare. Ce point doit certes être vérifié, quoi qu'il en soit ceci semble montrer que la réduction du nombre d'arbres à l'hectare n'est pas une solution pertinente pour diminuer les conséquences de sécheresse sur les douglas. Ceci peut d'ailleurs s'expliquer : dans les larges espacements, les arbres disposent chacun d'une réserve en eau plus importante que les arbres à fort espacement, mais ces arbres ont un houppier très développé : ils ont donc besoin d'une quantité d'eau plus importante que les arbres à densité plus élevée qui ont des houppiers moins développés du fait de la concurrence entre les arbres.

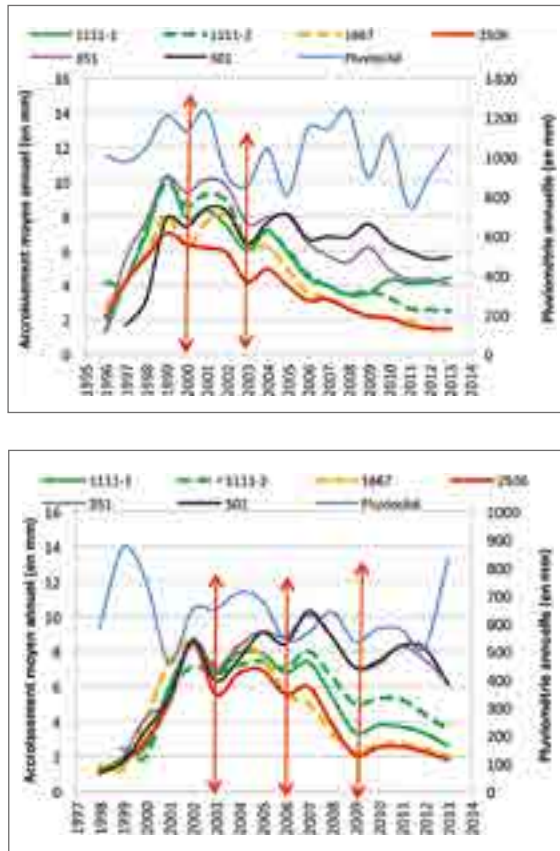


Figure 4 : Accroissement annuels pour les 6 scénarios sylvicoles et données de pluviométrie annuelle sur (a) Saint Victor en Creuse (Limousin) et (b) Massaguel dans le Tarn (Midi-Pyrénées).

On constate que pour les années 1999 et 2000, l'accroissement à St Victor semble suivre la courbe des précipitations, mais ce n'est plus vrai pour les années suivantes. Les précipitations annuelles n'expliquent donc pas seules les écarts d'accroissement d'une année à l'autre. D'où la nécessité d'analyses plus poussée intégrant d'autres paramètres météorologiques.



3 GESTION DU RISQUE EN FORÊT

3.3. Gestion sylvicole



3.3.3. Analyse des comportements des propriétaires forestiers face au risque en Midi-Pyrénées et Limousin et conclusions sur les messages à diffuser

FR

Région : Midi-Pyrénées et Limousin

Contexte

Après les tempêtes de 1999, de 2009, de la canicule de 2003, ou les années sèches qui ont suivi en 2005 et 2006, les massifs forestiers du Sud de Massif Central ont été mis à rude épreuve. Il était donc intéressant de comprendre comment les propriétaires forestiers envisagent leur prise en compte dans la gestion de leur forêt.

Le risque a été défini dans le cadre de cette étude comme étant de nature technique ; il ne comprend pas les incertitudes liées aux évolutions des contextes sociétaux, économiques et législatifs sur lesquels le propriétaire forestier n'a que peu de moyens d'actions à l'échelle individuelle.

Objectif

L'objectif de l'enquête était de disposer d'un tableau complet sur la nature des risques redoutés et subis, leur importance, et la manière dont les forestiers envisagent leur prise en compte dans la gestion de leur bois.

Protocole

Le choix de la région Limousin et des départements du Tarn et de l'Aveyron a été guidé par l'existence d'une forêt privée importante et d'un massif de douglas, et qui sont, au vu des comparaisons de données nationales et régionales, représentatives de la France pour le comportement des propriétaires forestiers. Une enquête téléphonique a été menée par le CREDOC auprès de 592 propriétaires forestiers tirés au sort dans la base de données du cadastre détenu par le CNPF. L'échantillon est stratifié par classe de surface.

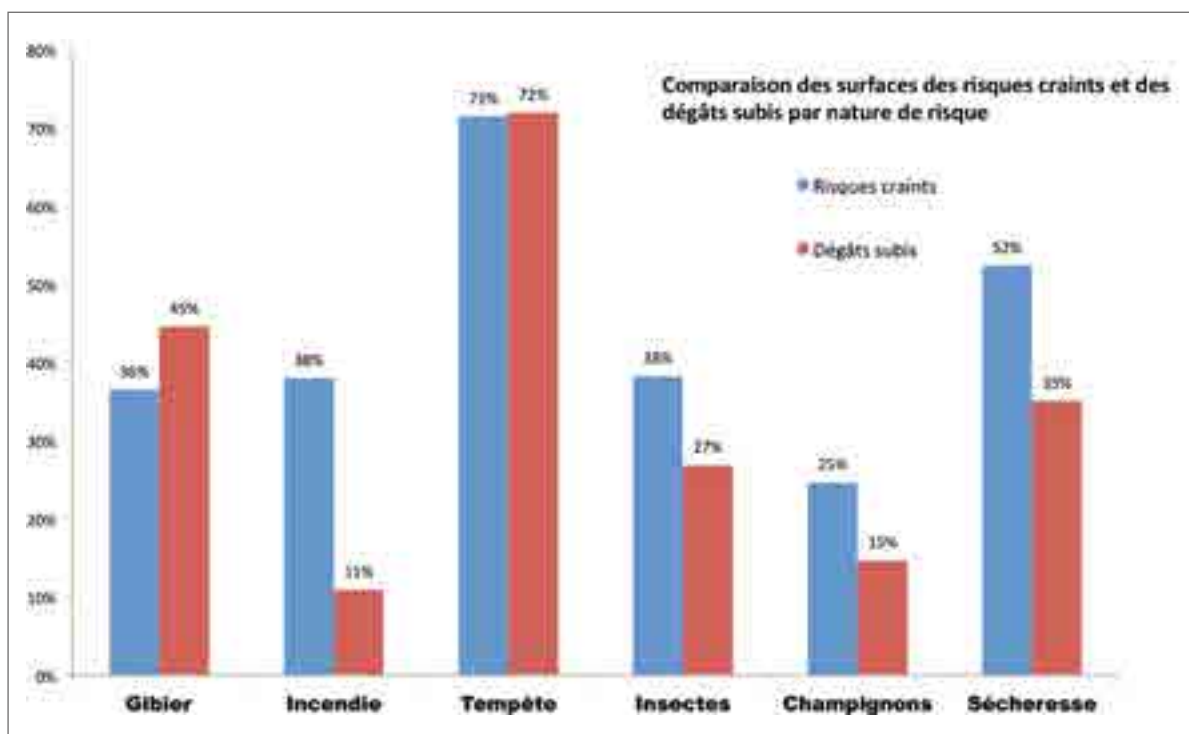


Figure 1 : Répartition des surfaces possédées en fonction des réponses à : Avez-vous subi des dégâts de ? En forêt privée sur la région Limousin et les départements de l'Aveyron et du Tarn en % de la surface totale de la forêt privée de plus de 4 hectares (source : FORRISK – Crédoc – Analyse CNPF 2014).

Les risques sont donc multiples.

Cette crainte est cohérente avec les dégâts subis : la tempête de décembre 1999 a marqué les esprits, que ce soit directement avec les chablis et les volis, soit indirectement avec le développement des dégâts d'insectes, de champignons, et, dans une moindre mesure de gibier. Vient ensuite la sécheresse qui est citée par 52 % des personnes interrogées. Bien entendu, les dégâts liés au gibier, aux insectes, et aux incendies sont présents, mais dans une moindre mesure.

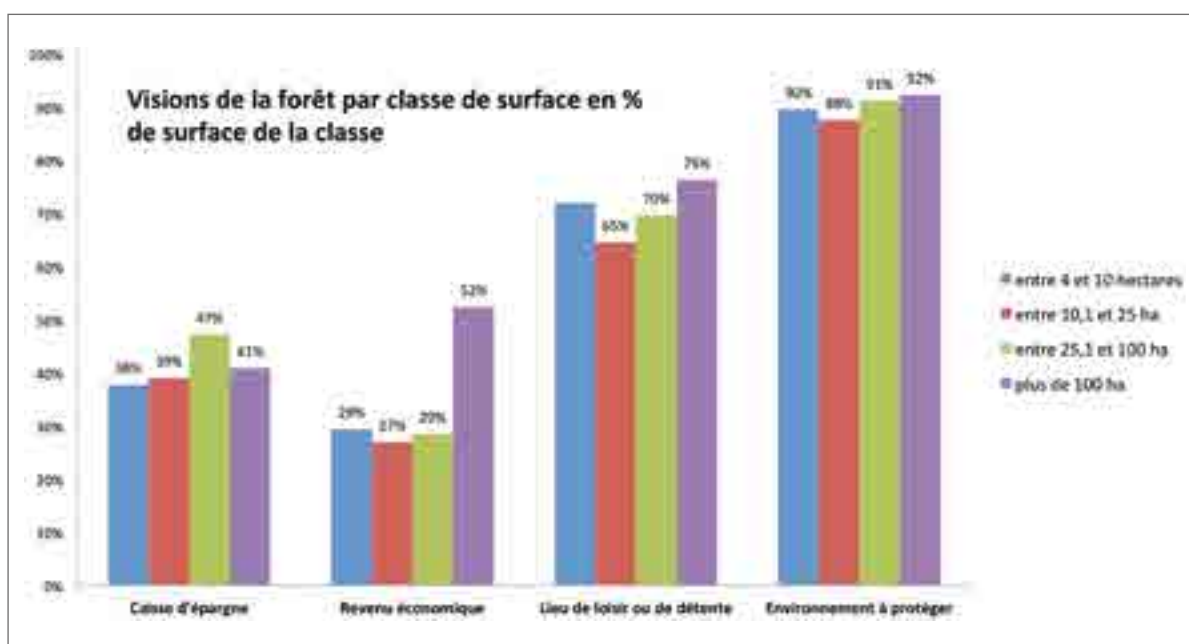


Figure 2 : Répartition des surfaces possédées par classe de surface en fonction des réponses à : c'est quoi votre forêt pour vous ? En forêt privée sur la région Limousin et les départements de l'Aveyron et du Tarn en % de la surface de la classe de surface de la forêt privée de plus de 4 hectares (source : FORRISK – Crédoc – Analyse CNPF 2014).

Ces questions de risque surviennent alors même que les attentes et les représentations des propriétaires évoluent. En ce qui concerne les représentations, la forêt est perçue comme un **environnement à protéger par neuf propriétaires sur dix** – ce qui ne signifie pas nécessairement à une adhésion aux politiques de l’environnement – suivie du lieu de loisir et de détente (70 %) et enfin de la caisse d’épargne (41 %) et du revenu économique (32 %).

En ce qui concerne les attentes, l’attachement affectif arrive en premier avec deux propriétaires sur trois concernés, suivi de la constitution du patrimoine et en troisième rang de la production de bois alors même que de façon intrinsèque la forêt produit du bois.

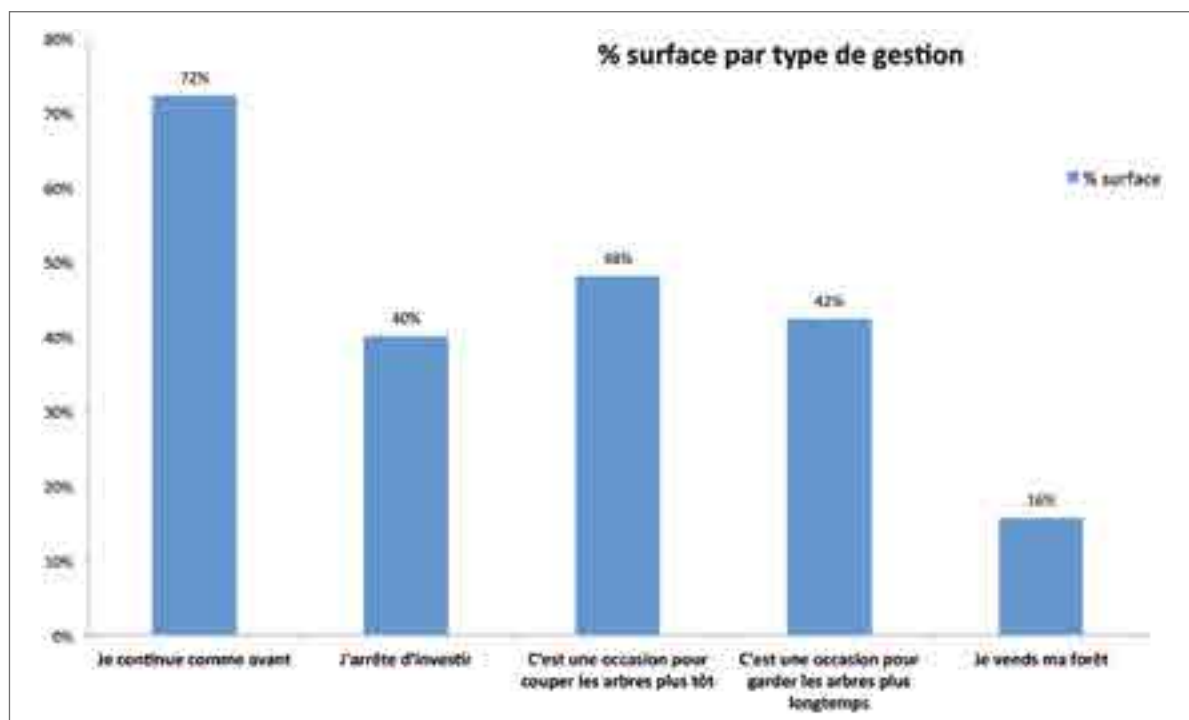


Figure 3 : Répartition des surfaces possédées en fonction des réponses à : Si votre bois est touchée par des dégâts, que faites-vous... ? En forêt privée sur la région Limousin et les départements de l'Aveyron et du Tarn en % de la surface totale de la forêt privée de plus de 4 hectares (source : FORRISK – Crédoc – Analyse CNPF 2014).

Au final, **les réactions aux dégâts sont variées** :

La majorité des forestiers continue comme avant – quel que soit le mode de gestion pratiquée. Nombre d’entre eux arrêteraient d’investir. Les réactions par rapport au message technique classique d’avoir des révolutions plus courtes sont mitigées : pour presque la moitié d’entre eux en surface, c’est une occasion pour couper les arbres plus tôt, et ils sont à peine moins nombreux à considérer que c’est une occasion pour garder les arbres plus longtemps.

Les sources d’informations des propriétaires forestiers se diversifient. Le technicien reste la référence, mais les informations sont croisées, vérifiées, notamment avec l’arrivée des outils WEB.

Observations à venir

1. Les risques sont perçus comme multiples, dans des situations variées... Pas de réponse

unique, les réactions sont très variées.

2. Emergence du risque climatique bouscule les solutions traditionnelles, il faut apporter des innovations.

3. La gestion des risques et leur prise en compte dans la gestion nécessitent des réponses techniques, mais aussi sociétales, innovation en terme d’organisation professionnelle, partage de l’information...

4. Décalage entre la perception de la forêt par les techniciens forestiers et les propriétaires (90 % considèrent la forêt comme un environnement à protéger).

5. L’assurance n’apparaît pas comme la solution pour couvrir les risques.

6. Sortir de la dictature de la “plaquette d’information”, diversifier les supports, informer en pluri canaux.

7. Proposer des supports d’informations utilisables en forêt.



3

GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS BOSQUES

3.3. Gestión selvícola



3.3.4. Contrarrestando las consecuencias del fuego con el suministro de planta de alta calidad de pino negral (*Pinus pinaster* Ait) por amplificación vegetativa: una estrategia de emergencia

ES

Región: Galicia

Antecedentes

En áreas donde las actividades de restauración son necesarias por episodios de fuego forestal y donde grandes superficies se queman casi todos los años, en Galicia entre 2002 y 2012 hubo 1113 inicios de incendio y la superficie media del incendio fue de 4.42 ha, la productividad del suelo y los riesgos de colmatación aguas abajo, entre otros, están en juego. Cuanto antes se acometen las actividades de restauración mejor para conservar el suelo en la cuenca.

Por otro lado, la valorización del monte es un elemento clave para reducir la ocurrencia de fuegos, y para alcanzarla transformar áreas quemadas en áreas forestales productivas debería ser un argumento para que la gente cuidara el monte, como pasa en otras regiones como el País Vasco, Nueva Zelanda, etc.

Habitualmente la planta brinzal en bandeja de vivero se siembra en primavera y comienzo del verano para que pueda conseguir un adecuado crecimiento y endurecimiento antes de ser plantada. Sin embargo, los episodios de fuego alcanzan su máximo al final del verano. Esto conduce a que plantas de años anteriores, no recomendado, se utilicen, si es que hay disponibilidad, o que haya que esperar un año más para producir la planta con calidad adecuada para su plantación. Durante el primer año después de un incendio de matorral, las pérdidas de suelo fueron de 20.4 t/ha, en las condiciones del experimento llevado a cabo por Vega *et al.*, 2013, aunque se redujeron a sólo el 6% con la aplicación de *mulching* de paja.

Si se prescribe la utilización de material genético de alta calidad de *Pinus pinaster* Ait se podría ahorrar tiempo en la implantación con el suministro de estaquillas enraizadas y ya endurecidas cultivadas en bandejas de alvéolos pequeños (6 cm³) desde el final del verano hasta el siguiente invierno, permitiendo que las plantaciones pudieran hacerse sólo 4 meses después del fuego. Con este esquema, plantas de estaquilla podrían pedirse al vivero al finalizar la época de riesgo de incendios y una vez que se conociera la superficie afectada por los mismos, y por tanto, también las necesidades de planta.



Figura 1: Desde campos de pies madre ya existentes de material super-seleccionado los esquejes se pueden cosechar al final de septiembre para su puesta a enraizar en las instalaciones del vivero y pueden estar listos para plantar al siguiente febrero. (Foto: Lario F.J., TRAGSA; R. Álvarez, TRAGSA; A. Carrascosa, TRAGSA).

Objetivo

Suministrar Material Forestal de Reproducción de pino negral (*Pinus pinaster* Ait) de alta calidad por amplificación vegetativa para contrarrestar las consecuencias del fuego, añadiendo así, valor a las estrategias de restauración.

Desarrollo de actuaciones

Primero, el material genético de alta calidad fue obtenido seleccionando las 12 mejores familias de la población base del programa de mejora Galicia-Costa de la Xunta de Galicia. Se cosecharon semillas de estas familias y, en 2009, se creó un campo de pies madre. Se puso a punto el enraizamiento de esquejes en las instalaciones de Tragsa en Maceda, y se alcanzó un máximo de producción de alrededor de 80 esquejes por año y planta madre y más del 90% de capacidad de enraizamiento.

La mejora de las familias super-seleccionadas alcanza hasta 13.3% de ganancia en altura y producirían una mejora de la tasa interna de retorno (TIR) del 0.16% en zonas costeras de Galicia, donde, además, la producción de madera pasaría de 13.26 a 16.17 m³/ha y año (Lario, 2013).

El testaje de los clones de las familias super-seleccionadas comenzó con la plantación en repoblaciones comerciales en el invierno de 2014. Con anterioridad, una primera prueba se había realizado con estaquillas en mini-alvéolos en una zona de clima no costero de Galicia con pobres resultados. Por tanto, posteriormente, se prescribió el uso de este formato sólo en zonas de climas costeros de Galicia donde las precipitaciones de verano están garantizadas. A continuación se relacionan las 4 plantaciones hasta ahora se han realizado en Galicia. (Tabla 1).

LOCALIZACIÓN	TIPO DE PLANTA TESTADA
Mañón (A Coruña)	esquejes enraizados en mini-alvéolos y en alvéolos estándares/ brinzales de controles genéticos
Crecente (Pontevedra)	esquejes enraizados en mini-alvéolos y alvéolos estándares /brinzales de controles genéticos
Sordos (Ourense)	esquejes enraizados en mini-alvéolos
Parderrubias (Ourense)	esquejes enraizados en alvéolos estándares/brinzales de controles genéticos

Tabla 1: Localización de las plantaciones y tipo de planta ensayadas con material super-seleccionado y amplificado vegetativamente.

En la actualidad, se está ensayando distintas vías de automatización del proceso de enraizamiento en vivero para la reducción de los costes de producción, ensayo de enraizamiento directamente en alvéolos grandes, automatización del riego, etc., y se planea realizar más campañas de suministro demostrativo de planta.

Observación futura

Las plantaciones realizadas con material super-seleccionado de familias se re-visitarán para determinar supervivencia y desarrollos frente a las plantaciones en las que se enmarcan.



Figura 2: Diferentes formatos de esquejes enraizados de material de alta calidad genética listos para su plantación. (Arriba derecha) Aspecto de la planta brinza de control (Fotos: Lario F.J., TRAGSA).



3 GESTION DU RISQUE EN FORÊT

3.3. Gestion sylvicole



3.3.5. Valorisation des dispositifs de méthodes de lutte sylvicole contre le fomès pour la régénération des peuplements

FR

Région : Aquitaine

Contexte

Le fomès (*Heterobasidion annosum*) est un champignon racinaire affectant les résineux et capable de provoquer des mortalités disséminées puis en tâche dans les peuplements de pins. Cette progression s'explique par son mode de dissémination et de propagation. Les spores produites par les carpophores du champignon sont émises dans l'air et peuvent être véhiculées par les vents sur de très grandes distances. Elles peuvent germer sur le bois frais suite à l'exploitation des arbres. Le mycélium envahit la souche puis tout le système racinaire car c'est avant tout un saprophyte du bois. Le fomès, dans sa forme parasite, est alors capable de contaminer les arbres voisins, même sains, par contact racinaire.

Depuis une vingtaine d'année, le fomès progresse régulièrement dans le massif des Landes de Gascogne (Lung-Escarmant & Aumonier, 2008) et suscite des inquiétudes assez vives. Le reboisement des parcelles fortement contaminées, selon les méthodes habituelles, risque de donner lieu à des mortalités précoces en raison de la contamination secondaire via les souches contaminées du peuplement précédent. En l'absence d'informations quantitatives sur l'efficacité des traitements curatifs (Vasaitis *et al.*, 2008 ; Cleary *et al.*, 2013), en particulier pour le pin maritime, on pourrait craindre la diminution des surfaces reboisées affectant alors notablement la capacité productive du massif.

Objectif

Recenser les dispositifs expérimentaux testant les méthodes de dessouchage sur le massif comme moyen de lutte curative et en assurer leur pérennité.

Protocole

Dans le cadre du projet Sylvogène (Chantre *et al.*, 2008) du pôle de compétitivité Xylofutur, un certain nombre de dispositifs avaient été installés. Deux de ces dispositifs ont fait l'objet d'une mise à jour de leur dossier et d'un premier passage en mesures :

Nom de l'expérimentation	Surface (ha)	Date de plantation	Modalités testées
Lapeyrade/Losse	4	2012	Dessouchage
Arx	7,5	10/2008	Dessouchage

Sur chaque site, trois modalités ont été implantées, combinant trois méthodes de prise en charge des souches du précédent peuplement avec le niveau de contamination du peuplement. Les modalités de traitement des souches sont : 1) le dessouchage avec enlèvement des souches, 2) le croquage de souches ou le dessouchage avec fragmentation et répartition des fragments sur la parcelle, 3) le non-dessouchage, comme modalité témoin. Avant le dessouchage, la localisation des souches contaminées puis le repérage des zones pour l'installation des modalités avaient été effectués au GPS.

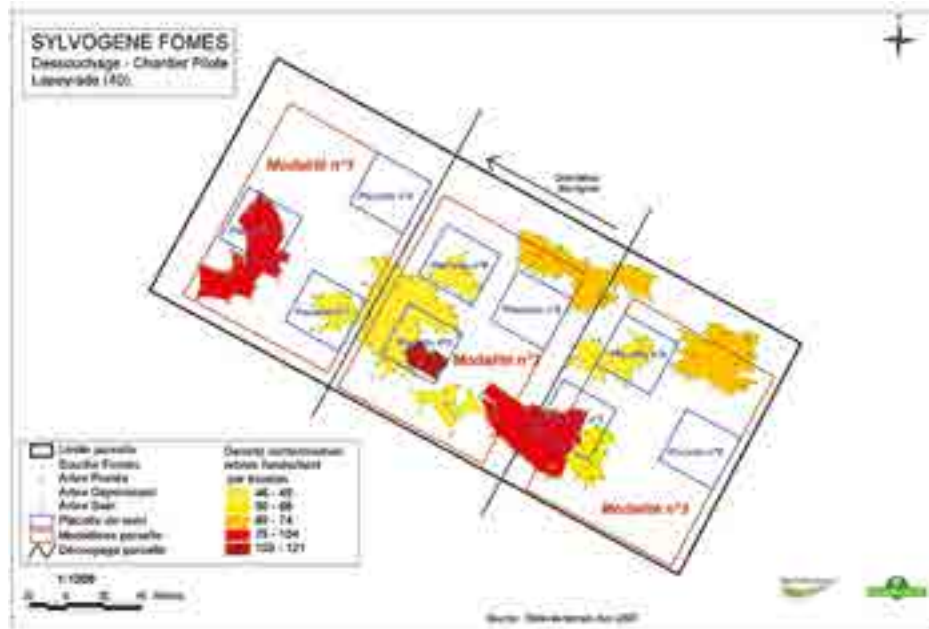


Figure 1 : Carte d'installation du dispositif de dessouchage de Lapeyrade (Source : ONF, Destribats 2007).



Figure 2 : Résultat du krigeage dans le dispositif d'Arx (Source : ONF, Destribats 2007 et © IGN, 2012).

Observations réalisées

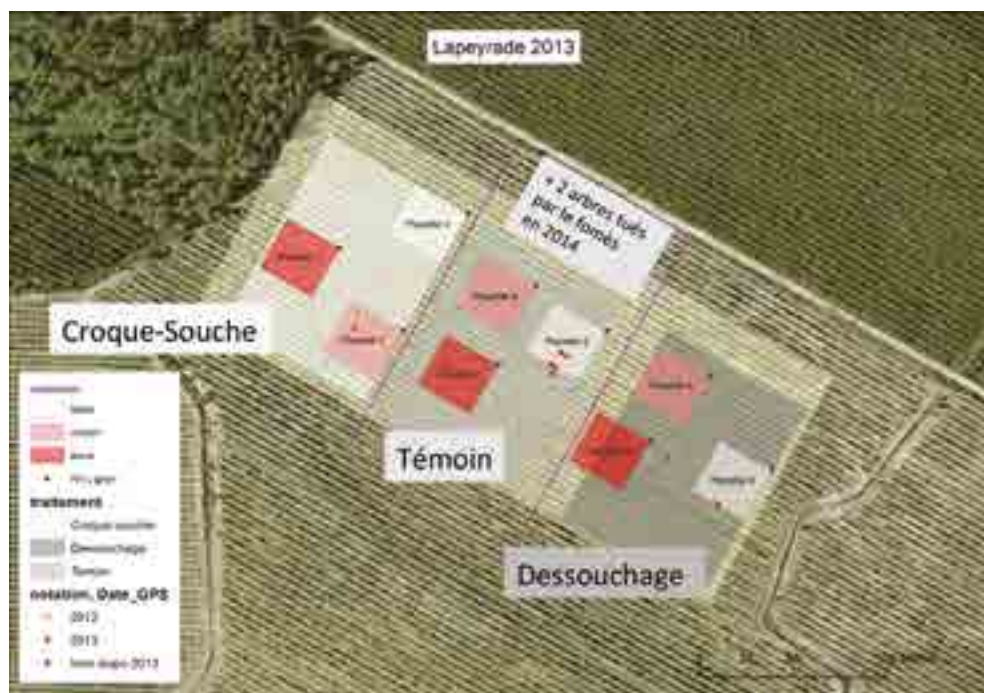


Figure 3 : Repérage des arbres morts par le fomès dans le dispositif de Lapeyrade (Source : © IGN, 2012).

Dans le cadre du projet FORRISK, les dossiers de ces deux expérimentations ont été mis à jour (nouveaux relevés GPS, numérotation des arbres, nouvelle carte) et tous les arbres ont été notés : sain, mort ou disparus. Les causes de mortalité ont été examinées soigneusement pour distinguer la mortalité due au fomès des mortalités liées aux autres causes habituelles (hylobe, gibier...).

Dans le dispositif de Lapeyrade des premières mortalités dues au fomès ont été constatées dans toutes les modalités y compris dans la modalité "dessouchage" (Figure 3).



Photo : Xavier Capdevielle, INRA.

Observations à venir

Ces dispositifs ont été confiés en gestion au CRPF qui en assurera des relevés réguliers : notation de la mortalité (annuelle) et mesures de croissance (tous les 3 ans). Ces données seront mises à disposition de l'INRA car elles sont fondamentales pour le module FomPine (Voir section 4.2.4.). A notre connaissance, il n'existe pas d'autres dispositifs d'expérimentation traitant des méthodes curatives lors du renouvellement des peuplements pour cette espèce et ce pathogène en Europe.



3

GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS BOSQUES

3.3. Gestión selvícola



3.3.6. Manejo del suelo contra la sequía y las plagas y enfermedades

ES

Región: País Vasco

Antecedentes

Se prevé que el cambio climático no afectará a toda la Europa con la misma intensidad pero se espera que las sequías estivales en Europa Meridional sean cada vez más frecuentes e intensas debido a los efectos combinados del aumento de las temperaturas y de la disminución de las precipitaciones. Además, las plagas y enfermedades forestales se beneficiarán con el cambio climático, debido esta sequía. La aplicación de biochar y cenizas de caldera de biomasa a los suelos de los bosques del sur de Europa puede, por un lado, aumentar la capacidad de retención hídrica del suelo, aumentando la capacidad de almacenar la humedad recibida con las escasas e irregulares lluvias en la zona radical que se liberaría a las raíces cuando fuera necesario, y por el otro, mejorar el estado nutricional de los árboles que aumentará la resistencia del árbol a la sequía ya que la vegetación sometida a desequilibrios nutritivos es más sensible al estrés ambiental. Este estrés ambiental cambia el estado fisiológico de los árboles, lo que les predispone a ataques letales por organismos patógenos oportunistas.

Objetivo

El objetivo de la aplicación experimental de biochar y cenizas de caldera de biomasa a los suelos forestales es probar y demostrar medidas innovadoras de gestión del suelo - alternativas al riego y a la fertilización tradicional, que tienen como propósito aumentar la capacidad de retención hídrica del suelo así como mejorar estado nutricional de los árboles. Los resultados de estos ensayos serán útiles para los gestores forestales, para las organizaciones públicas y para los centros de investigación.



Figura 1: Aplicación experimental de biochar y cenizas de caldera de biomasa en suelos forestales de Bizkaia. (Foto: Ander Arias González, NEIKER).

Diseño experimental

Se estableció una parcela experimental en una plantación de *Pinus radiata* en Bizkaia (propiedad de la Diputación Foral de Bizkaia), donde la temperatura media anual es de 12,7°C y la media de precipitación anual de 1100 mm, con el apoyo financiero del proyecto REINFFORCE, que fue co-financiado por el Programa Operativo del Atlántico a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno Vasco.

Los tratamientos experimentales probados consistieron en 1) 9 Mg C / ha de biochar, 2) 3 Mg C / ha de biochar, 3) 9 Mg C / ha de biochar + 200 kg de nitrato de amonio, 4) 4.5 Mg / ha de cenizas de caldera de biomasa, 5) 1.5 Mg / ha de cenizas de caldera de biomasa, 6) 4.5 Mg / ha de cenizas de caldera de biomasa + 200 kg de nitrato de amonio y 7) sin ninguna aplicación (control). Cada parcela tiene una superficie de 64 m² con 4 árboles en el interior (Figura 1).

Los resultados preliminares obtenidos durante el proyecto REINFFORCE mostraron que la adición de cenizas de caldera de biomasa, tuvo un efecto positivo en la nutrición de magnesio del pino radiata. Sin embargo, no pareció tener efecto en ningún otro de los nutrientes analizados. Se concluyó que es posible que el efecto de esta fertilización pueda ser más obvio en un futuro.

Se analizó también el contenido de humedad del suelo de los suelos tratados con biochar y cenizas de caldera y no se observaron diferencias en la cantidad de agua que presentaron.

Valorización

Como no se encontraron diferencias en la aplicación del biochar y las cenizas de caldera en campo tras varios meses desde su aplicación, establecimos un experimento de laboratorio para observar si la adición de biochar tenía efecto en la formación de macroagregados (Moragues-Saitua, 2014). Las propiedades hídricas del suelo, especialmente su capacidad de retención de agua, están relacionadas con su textura y, fundamentalmente, con su estructura (cantidad y estabilidad de los agregados que forman el suelo) (Nimmo, 1997). Entender el proceso de formación y estabilización de los agregados nos ayudará a entender y predecir la retención y el movimiento de gases, agua y solutos en el suelo; el crecimiento, el vigor y la productividad de las plantas; y la actividad, el crecimiento y el

movimiento de los organismos del suelo (Six *et al.*, 2004). En este estudio, el suelo del ensayo se mezcló con biochar de miscanthus (que está marcado de manera natural con el isótopo ¹³C) y se incubó durante 28 días. En los días 0, 1, 3, 7, 14 y 28 de la incubación, se procesaron las muestras para el fraccionamiento de tamaño de agregado, la determinación del carbono orgánico total y el análisis isotópico de ¹³C.

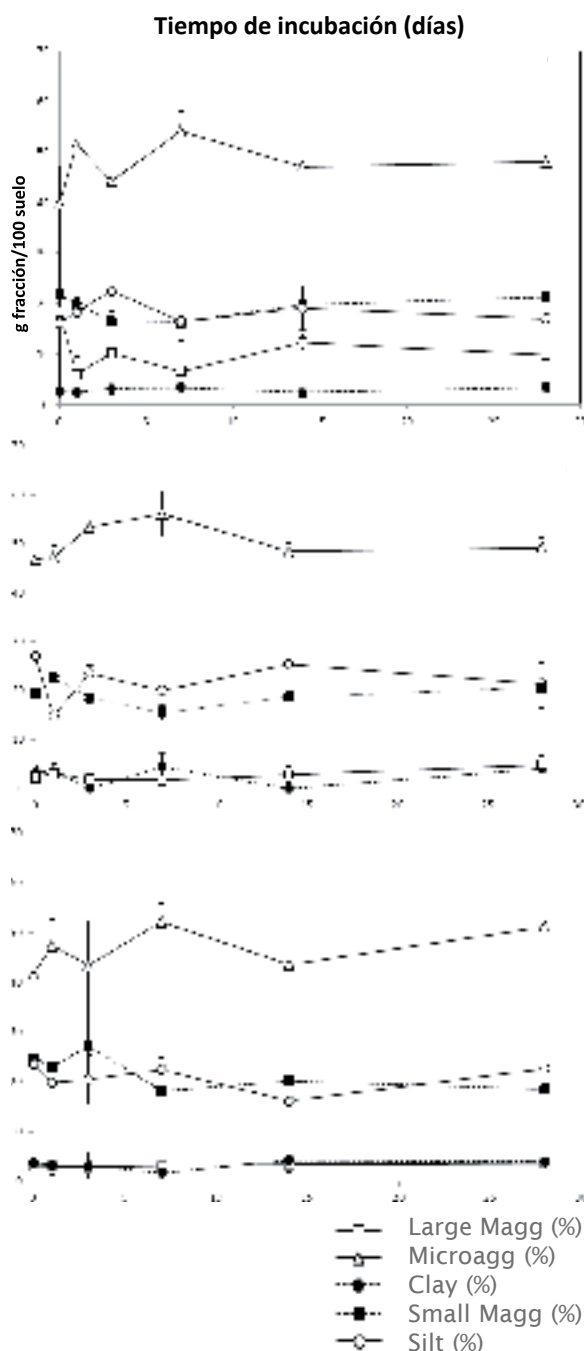


Figura 2: Dinámica de agregación en cada tiempo de incubación, para cada tratamiento. En la izquierda (a) sin enmiendas, en el centro (b) biochar + nitrógeno, y en la derecha (c) biochar.

La adición de biochar alteró significativamente la dinámica de la formación de microagregados en el suelo (Figura 2), inhibiendo la formación de macroagregados grandes, probablemente debido a las propiedades de biochar y su capacidad de adsorción, y su interacción con los agentes de unión. La enmienda con biochar no promovió la formación y estabilización de macroagregados en este suelo franco arcilloso. El C derivado del biochar, calculado gracias a la proporción de ^{13}C frente a la materia orgánica del suelo, cambió significativamente con el tiempo en la fracción de microagregados que muestra un enriquecimiento en este C del día 1 al día 28. Estos resultados confirmaron una transferencia de esta materia orgánica añadida desde los macroagregados a los microagregados. Esto se puede considerar como un proceso de estabilización de carbono a largo plazo.

Teniendo en cuenta que el biochar tiene una mayor área superficial y mayor porosidad en

relación con la materia orgánica del suelo (SOM), y que su adición puede mejorar la agregación del suelo y su estructura gracias al aumento de las interacciones con la SOM nativa, con los minerales y con los microorganismos (Six *et al.*, 2004), desarrollamos otro estudio con el suelo tomado en el sitio de demostración para medir la tasa de incorporación de biochar a las asociaciones órgano-minerales del suelo en condiciones de campo y probar la función de la composición mineral del suelo en la formación de estas asociaciones órgano-minerales.

Glaser *et al.* (2002) mostró que la formación de complejos de biochar con los minerales, como resultado de las interacciones entre los grupos reactivos en la superficie de las partículas de biochar, puede ser el responsable de la estabilidad de los agregados del suelo enmendado con este producto.

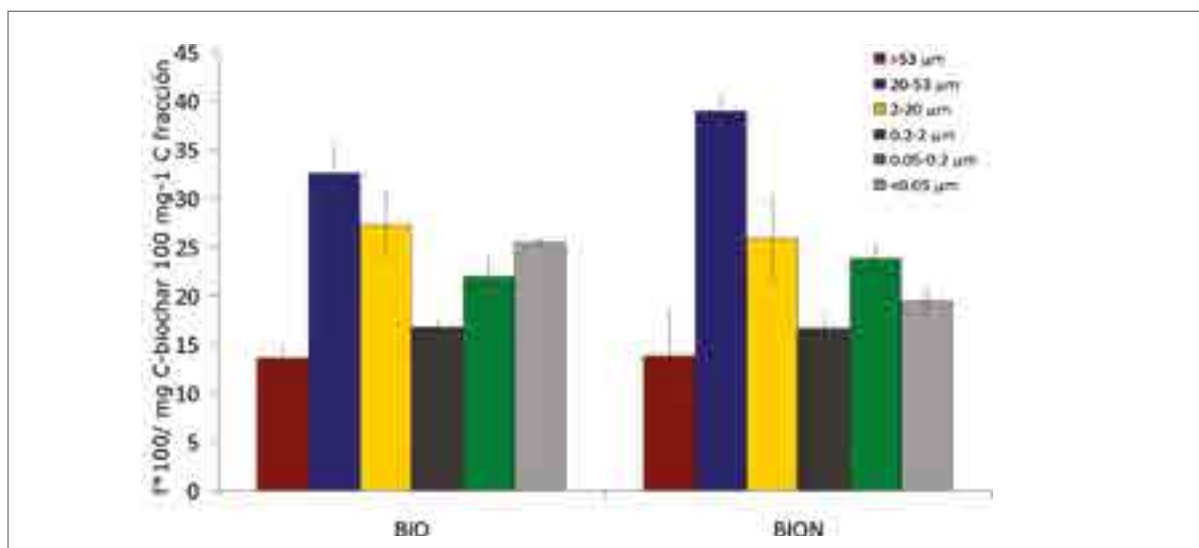


Figura 3: Proporción de carbono procedente del biochar en diferentes fracciones de tamaño de partículas del suelo del ensayo, un año después de la aplicación de biochar. BIO, 9 Mg C / ha de biochar y BION, 9 Mg C / ha de biochar + 200 kg de nitrato de amonio.

Se vio que el biochar tomaba parte en la formación de microagregados en el suelo, mostrando que interactúa con la SOM y con las partículas del suelo (Figura 3). Por otro lado, y como se dijo anteriormente, esto significa que podría haber sido transferido de macroagregados a esta fracción más pequeña, mostrando su capacidad para estimular la dinámica de agregación del suelo.

Además, como no se han observado diferencias significativas en la estructura y las propiedades hídricas del suelo del ensayo, y como se podría deber a su textura franco arcillosa, hemos establecido otro sitio experimental en un lugar con suelo de textura franco arenosa gracias a

la financiación del proyecto CHARFOR que está co-financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad español.

Observaciones futuras

Se estudiará la capacidad de retención hídrica del suelo en la zona radicular gracias al uso de sensores de humedad del suelo in situ. Además se estudiará con mayor precisión la modificación que potencialmente han supuesto estas enmiendas para comprobar su contribución a la reducción de los efectos de la sequía.