



Tester de nouvelles pratiques pour accroître la biodiversité des anciennes zones incendiées en Région Méditerranéenne : utiliser les micro-habitats et la végétation en place

Bernard Prévosto, J. Gavinet, C. Ripert, Romain Esteve, J.M. Lopez, M. Audouard, F. Guerra

► To cite this version:

Bernard Prévosto, J. Gavinet, C. Ripert, Romain Esteve, J.M. Lopez, et al.. Tester de nouvelles pratiques pour accroître la biodiversité des anciennes zones incendiées en Région Méditerranéenne : utiliser les micro-habitats et la végétation en place. [Rapport de recherche] irstea. 2016, pp.41. hal-02602484

HAL Id: hal-02602484

<https://hal.inrae.fr/hal-02602484>

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**CONVENTION MEDDE – DEB 2012-2015
pour la gestion des milieux et la biodiversité**

*Ces travaux bénéficient du soutien du Ministère chargé de l'Ecologie
dans le cadre de la convention n°100858785*

**Tester de nouvelles pratiques pour accroître la biodiversité
des anciennes zones incendiées en Région
Méditerranéenne : utiliser les micro-habitats et la
végétation en place**



DECEMBRE 2015

Bernard Prévosto, Jordane Gavinet, Christian
Ripert, Roland Estève, Jean-Michel Lopez,
Mathieu Audouard, Fabien Guerra

Irstea, 3275 route de Cézanne
CS 40061
13182 Aix-en-Provence Cedex 5



Résumé des conclusions techniques associées aux résultats

Les formations forestières méditerranéennes sont souvent dégradées en raison de perturbations d'origine anthropique en particulier les incendies. Afin d'améliorer la diversité et la résilience des peuplements en place ou pour restaurer la forêt en cas de dégradation trop intense, nous avons testé des techniques de semis de chênes (chêne blanc et chêne vert) et de plantation de feuillus (diverses espèces) en utilisant la végétation en place.

Le semis de glands de chêne est une technique d'installation des plantules simple et peu coûteuse connue depuis l'antiquité en région méditerranéenne mais que nous avons revisitée à la lumière de nos connaissances actuelles. Une attention particulière doit être portée à la protection contre la prédation car la semence puis la jeune plantule sont des stades très vulnérables. Des solutions efficaces sont présentées pour faire face à cette prédation. Les types de végétation offrent des conditions de réussite contrastées et au sein de ces types, les effets microhabitats sont particulièrement importants pour le développement du semis. Ainsi, en milieu ouvert, l'abri par la végétation en place (et notamment les buissons) en atténuant les conditions climatiques extrêmes, améliore la survie des plantules lorsque celles-ci sont placées dans des conditions environnementales difficiles (plein éclaircissement, milieu sec par exemple). Néanmoins, si cet effet bénéfique a été bien documenté dans la littérature, nos expérimentations n'ont pas encore permis de mettre clairement en évidence un effet sur la survie. On peut avancer comme facteurs explicatifs un temps d'expérimentation trop court et des années climatiques favorables (pas de sécheresse très marquée). Dans les milieux forestiers, les pinèdes (naturelles ou issues de reboisements) sont des habitats favorables à la pratique du semis lorsque la canopée est suffisamment ouverte alors que les peuplements denses doivent être éclaircis.

La plantation de feuillus est autre méthode qui a été testée dans différentes conditions de végétation : sous des pinèdes au couvert plus ou moins dense et en plein découvert avec abri ou non de buisson. Les espèces utilisées ont été des arbres (le frêne à fleurs, le sorbier, le caroubier en plus des deux chênes) et des arbustes (le pistachier térébinthe et l'arbousier). Les résultats montrent que les pinèdes les plus fermées (30 m²/ha de surface terrière) sont aussi les moins favorables à la survie et à la croissance des feuillus en raison d'une limitation trop forte de l'éclaircissement. Les feuillus montrent des caractéristiques écologiques contrastées qui expliquent leur développement. Le caroubier s'est avéré très sensible aux dégâts de gel : sa survie et sa croissance ont été fortement péjorées par le froid de l'hiver 2012. Le sorbier et surtout le frêne à fleurs présentent les meilleures réponses (survie et croissance) à la fermeture du couvert. En revanche le développement en hauteur de ces deux espèces est médiocre en plein découvert (forte photoinhibition). Un abri par un buisson, en modifiant le microclimat, améliore dans ce cas précis les performances de ces deux espèces. Le chêne vert et l'arbousier ont un développement supérieur en plein découvert alors que le chêne blanc et le pistachier bénéficient d'un couvert arboré modéré (10-20 m²/ha).

L'introduction de feuillus sous forme de plants ou de semis en utilisant les micro-habitats et la végétation en place est une pratique qui peut s'appliquer à la restauration des terrains dégradés, à la diversification des peuplements résineux et donc contribuer à augmenter dans le futur la résilience des écosystèmes méditerranéens.

Abstract

Mediterranean forest ecosystems are often degraded due to anthropogenic disturbances mostly recurrent fires. In order to improve diversity and resilience of present stands or to restore forest cover when degradation was too intense, we have tested technics of acorns sowing and of broadleaved species planting using the resident vegetation.

Sowing acorns from Mediterranean oaks is an age-old and low cost practice easy to carry out that we have reconsidered in the light of our recent experimentations and current knowledge. Protection against predation is of a great importance as both acorn and then the emerged seedling are particularly vulnerable. Effective methods of preventing predation (rodents, herbivores, wild boar) are proposed. The different types of vegetation offer contrasted conditions for successful seedling establishment and microhabitats effects are particularly important. Shelter provided by shrubs can buffer extreme climatic conditions prevailing in the open and thus can improve seedling establishment in particular in harsh environmental conditions (e.g. excess of light, dry sites). However, although this nurse effect has been well documented in past studies, our experiments did not allow us to clearly assess a beneficial effect on survival. In forest systems, pine stands (naturally regenerated or planted) prove to be favourable habitats to sowing practice if the canopy cover is not too dense and dense stands should be thinned beforehand.

Planting broadleaved is an alternative method which was tested under different vegetation conditions: under Aleppo pine canopy at different degrees of cover openness or in open conditions using or not shrubs as nurse plants. Results show that closed stands (basal area 30 m²/ha) are the less favourable to survival and growth due to light limitation. Broadleaved seedling responses are also species-specific. The thermophilous carob tree (*Ceratonia siliqua*) was impacted by frost damages. The flowering ash (*Fraxinus ornus*) and the service tree (*Sorbus domestica*) show the best performances among species under closed canopy conditions but exhibit poor height growth in full light conditions. Shelter by shrubs improves height growth of these two species due to microclimatic modifications. Lastly, the holm oak (*Quercus ilex*) and the strawberry tree (*Arbutus unedo*) show higher growth in open conditions than under forest canopy whereas the downy oak (*Quercus pubescens*) and the terebinth pistache (*Pistacia terebinthus*) develop better under moderate canopy conditions (basal area 10-20 m²/ha).

Introduction of broadleaved species, by planting or sowing and by using microhabitats and the resident vegetation, is thus an adapted technique that can be easily applied to restoration of degraded lands, diversification of conifer stands et can contribute to increase the resilience of Mediterranean ecosystems.

Table des Matières

Rappel du contexte et des objectifs	5
PREMIERE PARTIE. Semer les chênes méditerranéens (<i>Quercus ilex</i>, <i>Quercus pubescens</i>) : pourquoi, comment et avec quelle réussite ?	6
1- Semer ou planter ?	7
2- Récolter et conserver les glands.....	9
Où récolter les glands ?	9
Quand et comment récolter ?	9
Trier et conserver les glands.....	10
3- Installer sur le terrain	11
Quand semer ?	11
Chêne pubescent ou chêne vert ?	11
L'enfouissement des glands	11
Travailler ou non le sol ?	12
4- Protéger les glands de la prédation	13
Prédation par les rongeurs et options de protection	13
Prédation par les sangliers et options de protection	15
5- Choisir les habitats pour le semis.....	16
L'influence du milieu sur la réussite du semis	16
L'effet « nurse » buisson	17
Les objets « nurse »	18
6-Conclusion : une technique ancestrale à revisiter	19
DEUXIEME PARTIE. Installation de feuillus sous couvert forestier et en découvert ...	20
1-Les dispositifs expérimentaux.....	20
1-1 Localisation et caractéristiques du milieu.....	20
1-2 Le dispositif en forêt	21
1-2 Le dispositif en découvert.....	23
2-Premiers résultats sur l'influence du couvert arboré sur le développement des feuillus ..	24
2-1 Survie et croissance des feuillus installés en 2007 et 2009.....	24
2-2 Influence des buissons sur la survie des semis de chênes et des feuillus	26
2-3 Paramètres microclimatiques	29
2-4 Paramètres écophysiologiques	32
Conclusion	35
Bibliographie	37
Liste des valorisations effectuées dans le cadre du projet actuel (2012-2014) et de la précédente convention (2009-2011).....	40

Rappel du contexte et des objectifs

De nombreuses formations végétales en Région méditerranéennes ont subi une dynamique régressive suite à un ou plusieurs incendies (Vallejo et al. 2006). Celle –ci se caractérise par le passage d'un état initial boisé (pinède, chênaie) vers un état arbustif le plus souvent appauvri en essences forestières et dégradé (couverture végétale incomplète) alors que la zone méditerranéenne présente une diversité ligneuse remarquable (Quézel et al., 1999)

Historiquement la restauration de ces terrains s'est fondée sur des plantations « en plein » et monospécifiques (Gómez-Aparicio, 2009a). En raison de nombreux échecs et du coût, ces opérations ont été abandonnées. Actuellement la politique est celle du « laisser faire » se fondant uniquement sur la restauration « naturelle » de l'écosystème. Celle-ci est cependant insuffisante lorsque le système est trop dégradé et nécessite une action de restauration.

L'objectif de l'étude est de tester de nouvelles pratiques de restauration se fondant sur l'introduction de diverses espèces feuillues en utilisant les principes suivants :

- intervenir ponctuellement sur des zones identifiées comme les plus favorables sur le plan stationnel (ex anciennes terrasses) pour remplacer les plantations « en plein » par des plantations ponctuelles créant des îlots de biodiversité,
- tester sur la zone à restaurer l'influence des micro-habitats et identifier ceux les plus favorables à la croissance et à la survie des plants,
- analyser le rôle des végétations naturelles en place et déterminer celles qui sont les plus facilitatrices pour l'installation des feuillus : par exemple les buissons habituellement éradiqués lors des reboisements peuvent fournir un abri efficace pour le plant (Gómez-Aparicio, 2009b),
- tester des feuillus méditerranéens encore peu utilisés (frêne à fleur, arbousier, caroubier par exemple).

Les résultats sont présentés en deux parties.

Dans la première partie, nous présentons la technique du semis de chênes méditerranéens. Cette technique présente les avantages d'être facile à mettre en œuvre, peu chère et efficace dans des opérations de restauration, d'amélioration de la diversité de certaines formations forestières et d'accroissement de leur résilience. Nous avons revisité cette technique à la lumière des expériences réalisées sur le terrain (et qui se trouvent pour partie dans la seconde partie du document), des résultats obtenus sur d'autres sites (notamment en Espagne) ou après analyse de la bibliographie. Cette partie est présentée sous la forme d'un article qui a été publié dans la revue *Forêt Méditerranéenne* en 2015.

Dans la deuxième partie, nous présentons les résultats des expérimentations obtenues sur le site de St-Mitre (13) qui visent également à restaurer ou améliorer la diversité forestière par installation de feuillus divers (introduits sous forme de plants ou de semis) en utilisant la végétation en place soit forestière (les canopées plus ou moins ouvertes) soit arbustives (nous testons l'influence du buisson).

PREMIERE PARTIE. Semer les chênes méditerranéens (*Quercus ilex*, *Quercus pubescens*) : pourquoi, comment et avec quelle réussite ?

Bernard Prévosto(1), José A. Reque (2), Christian Ripert(1), Jordane Gavinet(1), Roland Estève (1), Jean-Michel Lopez (1), Fabien Guerra (1)

(1) Irstea, UR Ecosystèmes Méditerranéens et Risque, 3275 route de Cézanne CS 40061, 13182 Aix-en-Provence cedex 5, courriel : bernard.prevosto@irstea.fr

(2) Sustainable Forest Management Research Institute, Universidad de Valladolid-INIA, ETS Ingenierías Agrarias (Universidad de Valladolid), Avda. de Madrid, 44, 34004 Palencia, España-Spain, courriel: requekch@pvs.uva.es

Résumé

Le semis de glands de chêne est une pratique très ancienne en région méditerranéenne qui a été largement délaissée au profit de la plantation. Dans cet article nous proposons de faire le point sur cette technique et de la revisiter à la lumière des récentes expérimentations qui ont été conduites plus particulièrement dans le sud-sst de la France et dans le nord de l'Espagne. Nous décrivons tout d'abord les bénéfices et les inconvénients du semis par rapport à la plantation. Puis, les principes de base de la récolte, du tri et de la conservation des glands sont exposés. Après avoir rappelé les conditions d'installation sur le terrain, nous analysons ensuite la réussite du semis en fonction des conditions de prédation par la faune sauvage (rongeurs, herbivores, sangliers) et des moyens mis en œuvre pour s'en prémunir. Enfin, nous précisons l'influence des milieux sur la réussite du semis et le rôle joué par la végétation ou les objets « nurse ». Pour conclure, nous soulignons l'intérêt que représente cette technique pour la restauration des milieux et l'amélioration de leur résilience.

Summary

Sowing Mediterranean oaks (*Quercus ilex* and *Quercus pubescens*): why, how and with what success?

Sowing acorns from Mediterranean oaks is an age-old practice around the Mediterranean Rim that has been largely replaced by planting seedlings. In this article, we assess the method overall and reconsider it in the light of recent experimentation carried out notably in South-East France and in the north of Spain. First we describe the advantages and drawbacks of sowing compared to planting, followed by the basic principles for collecting, sorting and conserving the acorns. The requirements for effective sowing are then reviewed prior to considering the conditions for success in relation to damage from wildlife (rodents, herbivores, wild boar) and methods for preventing it. Finally, we define the impact of habitat on the success of sowing and the role played by vegetation and “nursing” devices. We conclude by stressing the advantages of the technique for the restoration of habitats and the improvement of their resilience.

Il existe quelques 500 espèces de chênes dans le monde qui peuplent une grande diversité de milieux plus particulièrement en Amérique du Nord, Europe et Ouest de l'Asie. Les gestionnaires privilégient la régénération naturelle pour renouveler les peuplements mais utilisent aussi la régénération artificielle notamment pour la restauration de peuplements dégradés ou d'afforestations de terres agricoles. Déjà durant la période romaine, des agronomes tels que Cato, Varro ou Columella recommandaient la technique du semis direct pour la régénération de la *Glandaria silva*. Cette méthode a d'ailleurs été très largement utilisée en Europe méditerranéenne pour la régénération artificielle des chênes jusqu'au début du 20^{ième} siècle. Ainsi, dans son traité de sylviculture sur le chêne vert de 1879, Regimbeau notait que « de tous les procédés de repeuplements le semis est le plus naturel, le plus simple, le plus économique, le plus sûr et conséquemment le plus pratique ». Par la suite elle a été remplacée largement par la plantation. Actuellement, on constate un certain regain d'intérêt pour le semis direct pratiqué dans des habitats variés à travers le monde : forêts alluviales dans le sud-est des Etats-Unis (Allen et al., 2004 ; Dey et al., 2007), forêts des pentes de l'Himalaya (Thadani, 2008), forêts du nord de l'Europe (Madsen et Löf, 2005) ou système sylvo-pastoral du sud de l'Espagne (Leiva et al., 2013) pour ne citer que quelques exemples. Dans cet article nous présentons les avantages mais aussi les limites du recours à la technique du semis direct pour les deux espèces de chêne les plus répandues dans le sud de la France, le chêne blanc (*Quercus pubescens*) et le chêne vert (*Quercus ilex*). Nous rappelons ensuite les principales étapes de cette méthode et les facteurs biotiques et abiotiques à prendre en compte pour la réussite du semis.

1- Semer ou planter ?

La constitution d'un peuplement de chênes peut se faire par introduction de glands (semis) ou de plants (plantation). Chacune de ces deux techniques présente des avantages et des limites (**Tableau 1**). La plantation présente l'avantage d'une croissance plus rapide des jeunes arbres mais ceux-ci doivent surmonter au préalable une crise de transplantation liée au passage des conditions de pépinière aux conditions du milieu naturel. C'est une technique coûteuse : une préparation du sol est souvent nécessaire, il convient d'utiliser des plants en godets d'un volume suffisant (minimum 1L), la mise en place nécessite plus de moyens. Le semis au contraire est une solution généralement économique et rapide pour l'installation des plants. (**Photos 1**).

Un gros avantage du semis est le développement sans contrainte du système racinaire et la mise en place d'un pivot qui atteindra plusieurs mètres de long au cours de la vie de l'arbre et permettra son alimentation en eau. Récemment, des chercheurs, étudiant l'impact de sécheresses sur le développement de chênes pédonculé (*Quercus robur*) adultes en milieu tempéré, ont montré clairement que les individus issus de plants, dont le pivot avait été coupé en pépinière, présentent un système racinaire moins profond et une croissance plus faible (Zadworny et al., 2014). A l'inverse, les chercheurs ont constaté que les individus issus de semis présentent des pivots pénétrant plus profondément dans le sol ce qui leur assure un meilleur accès à l'eau et une croissance plus stable lors des épisodes secs. Le développement du système aérien des plantules est souvent plus lent et celles-ci sont plus fragiles les premières années, car, contrairement au plant introduit, les plantules ne bénéficient que de réserves limitées. Le recours au semis direct est souvent utilisé pour un enrichissement de peuplement, pour compléter une régénération naturelle trop éparse ou pour réaliser une opération de restauration en particulier dans les terrains difficiles. Plus récemment, la diversification des peuplements monospécifiques à pin d'Alep (*Pinus halepensis*) par semis

direct a été reconnue comme une technique viable pour augmenter la résilience des forêts (Prévosto et al. 2010, 2011).

Tableau 1. Comparaison entre le semis et la plantation

	Semis	Plantation
Installation	-Cout faible en général (si graines facilement disponibles). -Date du semis plus flexible. -Mise en place très facile.	-Méthode plus coûteuse : production du plant, transport, plantation... -Fenêtre temporelle plus étroite. -Mise en place plus difficile en particulier sur les sols superficiels à forte pierrosité.
Survie et croissance	-Survie initiale plus faible : sensibilité forte de la plantule aux risques biotiques (prédation, compétition) et abiotiques (stress hydrique, températures extrêmes...). -Plantules survivantes plus adaptées aux conditions environnementales. -Développement optimal du système racinaire. -Croissance initiale plus faible en général (compétition par la végétation en particulier).	-Survie plus forte : meilleure résistance et résilience du plant qui possède de plus grandes réserves. -Crise de transplantation. -Moins bon développement du système racinaire (pivot). -Croissance plus rapide.
Risques sanitaires	-Prédation des glands par les petits rongeurs. -Prédation des glands par les sangliers. -Problèmes phytosanitaires réduits.	-Pas de dégâts par ce type de prédation. -Un tel risque n'existe pas mais les sangliers attirés par le substrat de plantation peuvent déchausser les plants. -Transmission possible de maladies durant l'élevage en pépinière (par exemple <i>Phytophthora</i>).



Photos 1. La plantation nécessite des travaux importants et une organisation rigoureuse (a). Le semis au contraire est une opération plus légère et plus souple (b). Photos C. Ripert

2- Récolter et conserver les glands

Où récolter les glands ?

La fructification des chênes est très variable d'un individu à l'autre et dans le temps avec la présence de pics de production de glands certaines années. L'observation de la fructification des chênes adultes en fin d'été permet de voir s'il s'agit d'une « bonne » ou d'une « mauvaise année » pour la récolte.

Le choix des sites de récolte et des arbres doit s'appuyer sur quelques critères simples :

- choisir des semenciers géographiquement proches du site à ensemercer et dans des situations écologiques similaires en particulier pour l'altitude, la géologie (roche calcaire ou acide) et les conditions d'alimentation en eau (par exemple en évitant les fonds de vallon ou ripisylves !),

- récolter sur plusieurs sites si possible et sur plusieurs arbres dans chaque site : cela permet d'assurer une diversification génétique des semences,

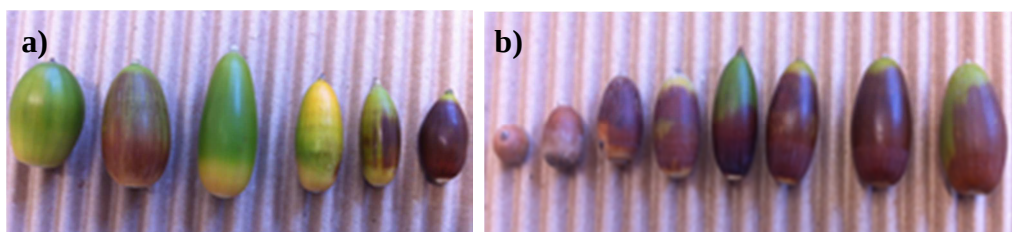
- prendre des glands sains et mûrs, les plus gros possibles sur des arbres bien conformés et vigoureux.

Quand et comment récolter ?

Les glands sont récoltés entre Octobre et Novembre. Une méthode adaptée est de les récolter sur l'arbre quand les glands sont mûrs juste avant leur chute (ils se détachent alors facilement de leur cupule) soit par prélèvement direct, soit en gaulant les arbres (**Photos 2**) et en recueillant les glands sur une bâche ou à terre. En effet, plus les glands ont séjourné sur le sol et plus ils sont susceptibles d'être parasités ou endommagés. Une récolte plus tardive de glands au sol déjà germés est possible selon les années et les sites. Dans ce cas le gland doit être ramassé lorsque la radicule n'est pas trop longue (<5mm) car celle-ci peut être cassée lors de la manipulation. Les chênes produisent des glands dont la forme peut être assez contrastée entre les arbres et leurs dimensions sont très variables même pour un seul individu (**Photos 3**). Dans tous les cas il faut éviter les glands les plus petits, qui contiennent peu de réserves et sont moins favorables à la germination et au développement initial de la plantule. La masse du gland est reconnu comme un facteur important de succès de la germination et de la croissance initiale du semis (Pérez-Ramos et al., 2010). En fait, la plupart des études confirment un vieux dicton espagnol. La semence utilisée pour le semis doit suivre la règle des trois P: « Parda » (brune), « Pesada » (lourde), « Plana » (pleine).



Photos 2. Récolte des glands par gaulage (a, chêne blanc) ou directement sur l'arbre (b, chêne vert) en ne sélectionnant que les glands qui sont à maturité se détachant facilement de la cupule (c, chêne vert). Photos C. Ripert

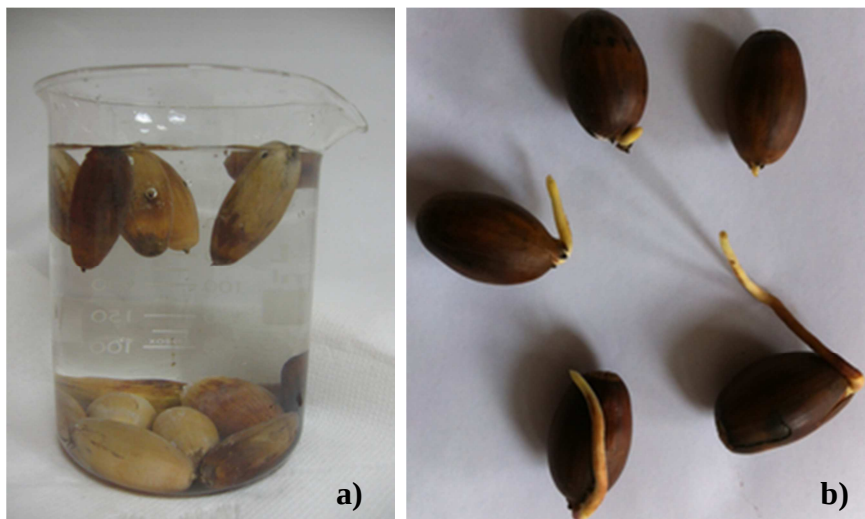


Photos 3. Glands de chêne vert montrant a) la variabilité des formes et des tailles entre individus (masse variant de 1,8 à 6,7g) b) les différences de taille pour un même individu (masses variant de 0,5 à 4,7g). Il faut privilégier la récolte des glands les plus lourds, sans défauts et sur plusieurs individus. Photos C. Ripert

Trier et conserver les glands

Une fois récoltés, les glands peuvent être triés visuellement en éliminant les glands percés. Ils sont ensuite immergés dans l'eau, les glands surnageant sont alors éliminés (**Photo 4a**). Cette méthode permet aussi de réhydrater les glands qui sont un peu trop desséchés.

Le mieux est de semer les glands le plus rapidement possible après leur collecte. Les glands peuvent être néanmoins conservés dans un endroit très frais (0-2°C environ), humide à l'abri de la lumière pendant 3-4 mois jusqu'à leur installation. Par exemple en les disposant dans des caisses avec un substrat drainant et humide, du sable ou mieux de la tourbe humidifiée qui procure une certaine aération. Elles sont ensuite placées dans un réfrigérateur, en prenant soin de ne pas geler les glands même si en principe ils supportent des températures jusqu'à -1°C. Il faut veiller à éviter tout dessèchement des semences à partir de la récolte jusqu'à la mise en terre. Aussi est-il nécessaire de contrôler régulièrement les lots en conservation (une fois par semaine est idéal). Les conservations sur une période plus longue doivent être confiées à des spécialistes. Les glands finissent par germer (sortie de la radicule, **Photo 4b**) et cela d'autant plus rapidement que la température est élevée. Le gland germé peut être bien sûr utilisé pour le semis, car l'on est sûr dans ce cas de sa viabilité, mais il faut éviter des racines trop longues car susceptibles d'être endommagées lors du transport et de l'installation.



Photos 4. a) L'opération de flottage permet de trier les glands sains (qui coulent) de ceux percés (qui flottent). b) Glands à différents stades de germination. Il faut éviter de manipuler les glands dont la racicule est trop longue. Photos 4 a) J. Gavinet 4b) C. Ripert.

3- Installer sur le terrain

Quand semer ?

La mise en terre des glands se fait habituellement entre Novembre et Février. Il est préférable de se rapprocher du cycle naturel en semant en fin d'automne afin de bénéficier des pluies et permettre une germination rapide (surtout pour le chêne blanc, la germination du chêne vert étant plus tardive). Les plantules issues des semis précoces semblent mieux résister au passage de la première saison sèche (Vuillemin, 1980). En effet le semis d'automne permet un meilleur développement du pivot et favorise donc la survie de la plantule lors du passage de la première sécheresse estivale.

Chêne pubescent ou chêne vert ?

Le chêne pubescent a une croissance plus rapide mais est plus exigeant en eau (et aussi en lumière) que le chêne vert. On le trouve préférentiellement dans l'étage du supra-méditerranéen, à l'étage inférieur du méso-méditerranéen il occupe des situations où le bilan hydrique est favorable (vallons, bas de pente, sols épais). L'observation des chênes existants et de leur vigueur dans la zone à semer et dans des conditions écologiques similaires constitue une bonne indication pour le déterminer si l'un des deux chênes est plus adapté que l'autre.

L'enfouissement des glands

Les glands semés sur le sol ou sous la litière ont très peu de chance d'échapper à la prédation et l'émergence est également réduite. L'enfouissement est toujours conseillé car il permet de restreindre la prédation (même si celle-ci peut demeurer très élevée selon les sites) d'améliorer la germination et l'émergence en limitant les risques de dessiccation (Gómez, 2004). L'enfouissement recommandé est généralement de 4-5cm. Les enfouissements plus profonds sont moins favorables à l'émergence qui se produit plus tardivement mais limitent la prédation ce qui au final peut être bénéfique. Par exemple Vuillemin (1980) sur des expérimentations de semis de chêne vert et chêne blanc dans les Alpes-Maritimes obtient,

lorsque les glands sont enfouis à 5cm, une germination à 5 mois de seulement 4% en raison de la prédation par les petits rongeurs contre 32 % pour un enfouissement à 10 cm. Lors d'opérations de reboisement par semis aux Etats-Unis, Allen et al (2004) soulignent la possibilité de placer les glands profondément (10-15 cm) malgré une germination plus réduite lorsque les rongeurs sont abondants ou lorsque le sol peut geler ou se dessécher en surface.

Nous recommandons toujours d'enfouir les glands à quelques centimètres de profondeur même si une protection est en place. Ainsi lors d'une expérimentation dans une pinède à Barbentane (Bouches-du-Rhône), nous avons installé des petites cages métalliques (grille de 10cm*10cm, maille=6mm), contenant chacune 3 glands, qui ont été ensuite disposées sous la litière (**Photo 1b**). Malgré la protection les rongeurs ont réussi à prédater 17% des 800 cages introduites ! Les cages ont été extraites de dessous la litière et les glands consommés au moins partiellement à travers le grillage (**Photo 5**). Lorsque l'année suivante l'expérience a été répétée avec un enfouissement plus profond des cages, une telle prédation n'a plus été observée.



Photo 5. Glands consommés malgré la protection : les cages introduites à trop faible profondeur ont été tirées en surface par les rongeurs qui ont consommé une partie des glands à travers la grille. Photo C. Ripert

Travailler ou non le sol ?

Un travail du sol plus intense est-il profitable ? Dans nos expérimentations nous avons testé deux modalités de travail du sol sur sol calcaire : une ouverture manuelle du potet recevant les glands et une ouverture à la tarière mécanique (**Photo 6a**) permettant un ameublissement du sol sur 40 à 50cm. Nous n'avons noté aucune différence sur la croissance ou la survie des semis au cours des années suivantes. Sans doute le travail mécanique est-il bénéfique sur des terrains compacts et superficiels ce qui n'était pas le cas de nos expérimentations. Le sujet est en fait controversé : certaines études montrent par exemple un effet bénéfique d'une ouverture à la pelle mécanique sur la plantation de chênes vert ou de pins d'Alep (par exemple Bocio et al., 2004) alors que d'autres notent le contraire (Navarro et al., 2006). Dans cette dernière étude, l'effet négatif était expliqué par la possible remontée en surface de larges quantités de calcaire du matériau sous-jacent. En fait, nous manquons de références pour analyser plus complètement les effets du travail mécanique sur le développement des semis. Lors du recours à une installation mécanisée, il faut donc veiller à ne pas remonter de grosses quantités de calcaire pulvérulent et à ne pas retourner et enfouir la couche organique de surface. Des conditions qui peuvent être obtenues par une installation à la tarière mécanique (**Photos 6**).



Photos 6. Installation des semis à la tarière mécanique dans des peuplements de pin d'Alep éclaircis a) expérimentation de St-Mitre (Bouches-du-Rhône) b) expérimentation dans le Nord de l'Espagne.

6a) Photo C. Ripert 6b) Photo J. Reque

4- Protéger les glands de la prédation

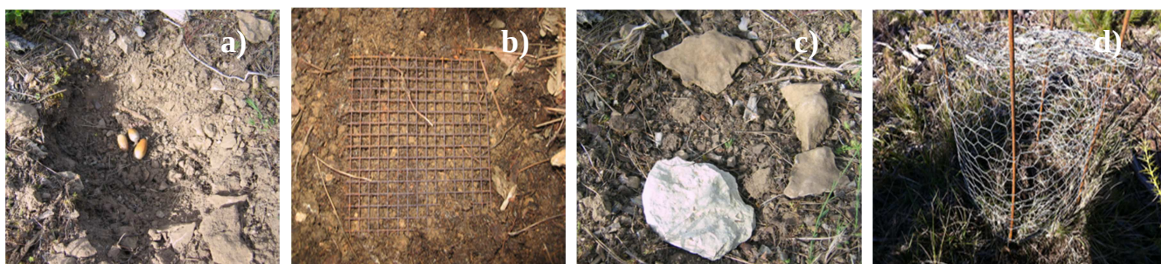
Prédation par les rongeurs et options de protection

L'impact de la prédation des glands par les petits rongeurs est toujours extrêmement fort dans toutes les études. Leverkus et al (2013) dans le sud-est de l'Espagne observent des prédateurs de 90% des glands par les rongeurs et de 4% par les sangliers (*Sus scrofa*). De même Vuillemin (1980) note que seulement 4% des glands enfouis sans protection contre les rongeurs réussissent à germer. Les mulots (*Apodemus sylvaticus*) sont les principaux prédateurs dans les forêts du sud de la France d'après les piégeages effectuées dans des chênaies (Orsini, 1979). Lorsque les ressources alimentaires sont faibles (années où les glandées sont peu importantes par exemple, fin de l'hiver) la pression de prédation est maximale. Orsini (1979) dans une expérimentation conduite dans une garrigue du Var note que des placettes contenant 120 glands sur 1 m² peuvent être pillées en une seule nuit (**Photo 7**). L'auteur note aussi une préférence alimentaire des rongeurs pour les glands de chêne pubescent, puis de chêne vert et enfin de chêne kermès (*Quercus coccifera*). Cependant une étude conduite en Catalogne (Sunyer et al., 2014) montre que les mulots préfèrent les glands fraîchement tombés. Ainsi, préfèrent-ils d'abord le chêne blanc au chêne vert, puis le contraire. La pression de prédation s'exerce donc de façon similaire sur les deux espèces sur l'ensemble de la saison. Rappelons qu'en dehors de ce rôle de prédation, les rongeurs contribuent aussi à la dissémination des glands en établissant des caches alimentaires. Par exemple, dans la Sierra Nevada (Espagne), Gómez et al (2008) étudiant le devenir de 3 200 glands de chêne vert notent que 99% des glands sont soit consommés (pour 66%) soit dispersés (33%). Pour les glands dispersés, seuls 7,4 % sont enfouis dans des caches, avec toujours 1 seul gland par cache, le reste étant consommé. Au final, seulement 1,3% des 3200 glands sont encore vivants au printemps suivant.



Photo 7. Transport des glands par un mulot la nuit. Les rongeurs et principalement le mulot sont de grands consommateurs de glands mais ils participent aussi à la redistribution des semences (photo P. Orsini, 1979)

Protéger les semences contre les rongeurs nécessite la pose d'une protection mécanique. En effet, l'efficacité des répulsifs chimiques testés est controversée dans la littérature : par exemple les répulsifs à base de capsaïcine (composant actif du piment) sont notés efficaces pour certains auteurs (Willoughby et al., 2011) mais sans effets pour d'autres (Lerverkus et al., 2013). Une technique simple, rapide et fiable consiste à faire un trou (= potet) de 5 cm de profondeur et de 15 cm de côté. Quelques glands (par exemple 3) sont mis dans le potet puis recouverts de terre. Une grille métallique pour protéger les glands des petits rongeurs, est alors posée et recouverte à son tour d'un peu de terre (dans nos essais nous utilisons une grille de 10×10 cm de maille 0,6 cm). Afin de faciliter l'oxydation des grilles métalliques dans le temps, celles-ci peuvent être préalablement mises à tremper dans une solution d'acide chlorhydrique dilué pendant 24h. Il convient de poser aussi une protection autour du futur plant pour prévenir des dommages par les herbivores (**Photos 8**). Evidemment ce dispositif ne permet pas d'assurer une protection contre le sanglier qui peut consommer sans problème les glands.

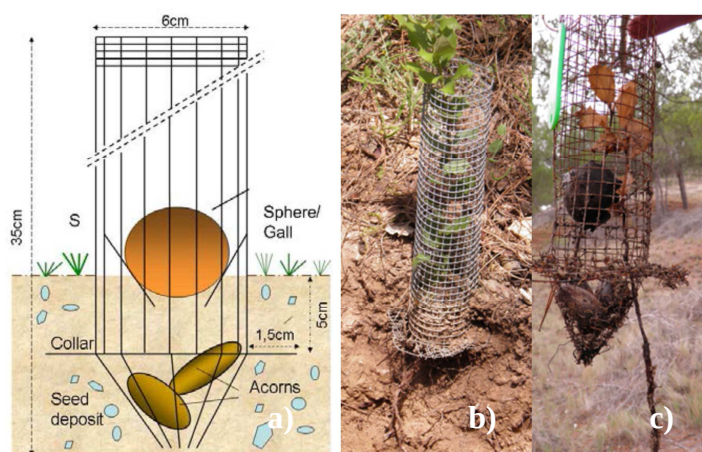


Photos 8. Les différentes étapes de l'installation du semis : a) un potet est ouvert (5 cm de profondeur) et quelques glands sont déposés, b) les glands sont recouverts d'un peu de terre et une grille métallique est placée comme protection contre les petits rongeurs c) la grille est recouverte de terre, d) une protection contre les herbivores est mise en place autour du potet..

Lorsque les glands ont été correctement triés et conservés puis soigneusement installés sur le terrain avec une protection contre les rongeurs, le taux d'émergence des plantules est satisfaisant. Dans nos expérimentations de semis de chênes blanc et vert dans des pinèdes à pin d'Alep (Bouches-du-Rhône) nous avons noté une levée de 60 à 80% selon les conditions d'expérimentation.

Prédation par les sangliers et options de protection

La prédation par les sangliers est devenue un problème récurrent avec l'explosion des populations au cours des deux dernières décennies. La prédation s'effectue sur les glands mais aussi sur les jeunes plantules particulièrement lorsque le gland est encore présent (Gómez et Hódar, 2008). Dans des expérimentations conduites à St-Mitre-les-Remparts, sur un total de 210 points de semis installés en automne, 99% ont été prédatés par les sangliers au cours de l'hiver. Il faut noter que la présence forte de sangliers limite l'abondance et donc la prédation des petits rongeurs (Muñoz et al, 2009). Mais pour le forestier ce n'est qu'un mal pour un autre ! En effet, la protection contre le sanglier nécessite la pose de clôtures électriques ou mécaniques qui ont fait la preuve de leur efficacité (voir par exemple Balleux et Van Lerberghe, 2001) mais qui requièrent un entretien régulier et un investissement lourd. On peut signaler que des dispositifs de protection individuelle sont en cours d'élaboration pour faire face à ce problème. Reque et Martin (2015) proposent un nouveau type de protection individuelle contre les rongeurs, herbivores et les sangliers qu'ils ont testé dans le nord de l'Espagne (province de Castille-et-León). Celui-ci se compose d'un cylindre, formé d'une grille métallique de maille 6 mm (diamètre du fil 0,6 mm), se terminant par un cône renversé destiné à recevoir les glands (**Photos 9**, <http://cytuva.funge.uva.es/es/ficha/show/id/358>). Le dispositif est conçu pour permettre un développement racinaire normal du plant. A la jonction du cylindre et du cône, une collerette assure la stabilité du dispositif et empêche les petits rongeurs de forer à la verticale. Une sphère biodégradable (les auteurs utilisent une galle de chêne) placée dans le cylindre empêche l'accès aux glands par le dessus. Les sangliers peuvent bousculer la protection mais, ne pouvant consommer les glands, ils ne poursuivent pas leur action. Le cylindre assure aussi une protection du plant contre les herbivores. Dans leur essai en milieu naturel dans des pinèdes à pin d'Alep éclaircies, les auteurs ont ainsi noté que seulement 9% des protections ont été endommagées par les sangliers sans que ceux-ci ne puissent accéder aux glands. Les auteurs ont par ailleurs noté un taux de survie comparable (>70%) la première année à celui des plants installés en conteneur et avec protection.



Photos 9. Dispositif de protection individuelle pour les semis conçu par Reque et Martine (2015). a) schéma du dispositif b) plant de chêne vert de 2,5 ans c) plant de chêne de 1 an (le grillage qui n'a pas été traité dans ce cas là, commence à s'oxyder). Photos J. Reque (voir aussi : http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/38/34/ES-2383420_B1.pdf)

5- Choisir les habitats pour le semis

L'influence du milieu sur la réussite du semis

Les formations végétales et les conditions de milieu dans lesquelles sont introduits les semis ont une importance considérable sur la réussite ou non de l'opération (**Photos 10**). Vuillemin (1980) dans son étude de la régénération du chêne blanc et du chêne vert dans les Alpes-Maritimes note que les milieux les plus favorables sont les pinèdes et les fruticées. Les formations herbacées et les formations dénudées sont très défavorables. Les chênaies sont aussi des milieux peu favorables ce qui est en accord avec l'absence de régénération naturelle pérenne dans ces forêts (Prévosto et al., 2013). Le rôle positif des pinèdes se traduit par une plus forte survie des plantules ce que confirment plusieurs études (Gómez et Hódar, 2008 ; Puerta-Piñero et al, 2007). Cependant, dans ces formations la structure du peuplement et la végétation au sol jouent un grand rôle. Les peuplements fermés sont défavorables à la survie et à la croissance, en particulier celles du chêne blanc moins tolérant à l'ombre. Dans une expérimentation dans laquelle des semis de glands ont été installés sous des couverts de pin plus ou moins ouverts (surface terrière de 30, 20 ou 10 m²/ha), les résultats montrent que les couverts fermés sont toujours défavorables à la survie et à la croissance (**Figure 1a**). Les couverts clairs sont plus favorables car la disponibilité en lumière y est plus forte mais, lorsque c'est le cas, le développement d'un tapis de graminées peut être un élément très pénalisant (**Figure 1b**). Dans des expérimentations de semis de glands avec protection dans le nord de l'Espagne, Manrique et Reque (2014) ont trouvé dès la seconde année un taux de survie des plantules plus fort dans les pinèdes éclaircies que dans les milieux ouverts (respectivement 60% et 30%). Alors que la mortalité durant la seconde saison sèche fut à peu près nulle sous pin, en plein découvert plus d'un tiers des plantules n'a pas survécu.



Photos 10. Les habitats offrent des conditions contrastées de développement des semis plutôt favorables dans les pinèdes (a) et les garrigues ouvertes (b) mais moins favorables dans les chênaies (c) ou même très contraignantes en cas de forte couverture herbacée (d).

Photos C. Ripert

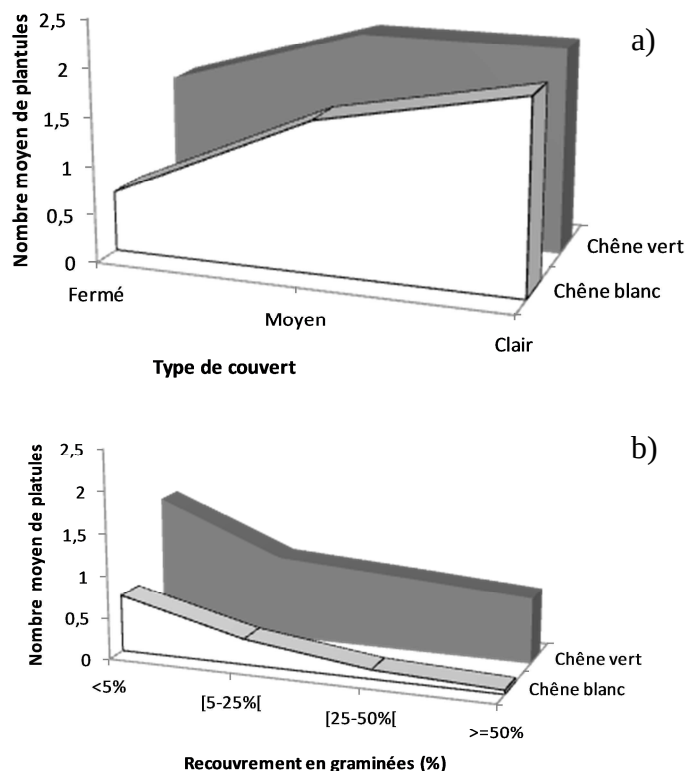


Figure 1. Nombre moyen de plantules vivantes par point de semis de 3 glands sous pinède à pin d'Alep a) en fonction du couvert de la canopée (St-Mitre, survie à 6 ans) et b) en fonction du recouvrement en graminées (Barbentane, survie à 3 ans).

L'effet « nurse » buisson

En région méditerranéenne c'est la chaleur et la sécheresse du premier été qui entraînent la plus grande mortalité des semis. La végétation environnante joue un rôle en permettant d'atténuer (dans certaines limites) les contraintes du climat. On parle alors de facilitation ou d'effet « nurse ».

Il est utile, en particulier dans les zones les plus sèches, d'installer les glands sous ou en périphérie de buissons (**Photos 11**) plutôt qu'en plein découvert (Gómez-Aparicio et al., 2004). Le couvert du buisson limite l'ensoleillement et le dessèchement et favorise la survie. On privilégiera pour les mêmes raisons une installation au nord du buisson. La prédation des glands par les petits rongeurs est plus importante sous buisson qu'en zone découverte (d'où la nécessité d'une protection) mais l'effet est bénéfique sur la survie (Smit et al., 2008). Les buissons offrent aussi une protection contre l'herbivorie. Dans les chênaies du centre de l'Espagne parcourus par les cerfs (*Cervus elaphus*) et les sangliers, Perea et Gil (2014) observent ainsi que la survie de jeunes plantules de chêne est toujours améliorée sous couvert d'un buisson. Ils notent que les buissons avec une défense mécanique (dans leur étude les épines de la ronce) offrent une protection plus efficace contre le sanglier. Par contre, les buissons avec une défense chimique (le romarin non consommé en raison des composés aromatiques qu'il contient) protègent mieux des herbivores.



Photos 11. Les buissons sont des microhabitats favorables au développement des semis en atténuant les conditions climatiques extrêmes du plein découvert : a) installation près d'un romarin (*Rosmarinus officinalis*), b) à l'abri d'un ajonc de Provence (*Ulex parviflorus*).
Photos 4a) C. Ripert 4b) JM Lopez

Même sous couvert forestier le buisson peut jouer un rôle. Dans les pinèdes claires, nos expérimentations montrent que les buissons jouent un rôle positif sur la survie et la croissance avec cependant des variations selon les espèces et le taux de recouvrement (**Figure 2**).

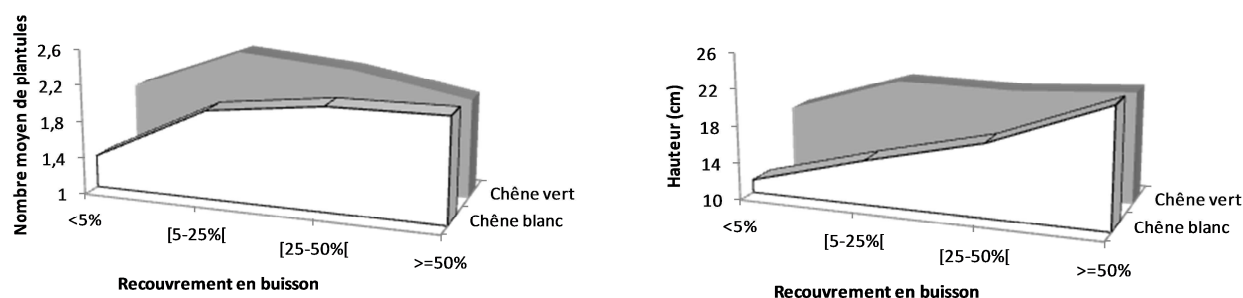


Figure 2. Influence du recouvrement par les buissons sur des semis installés dans des pinèdes claires (St-Mitre-les-Remparts, 13) a) sur la survie à 7 ans mesurée par le nombre moyen de plantules vivantes par point de semis de 3 glands et b) sur la croissance en hauteur

Les objets « nurse »

Dans les opérations de semis en milieu ouvert ou dans des peuplements au couvert faible, la couverture par des grosses branches est favorable à la survie et à la croissance initiale des plantules. En effet, tout comme les buissons, les branches créent des conditions microclimatiques favorables et une protection contre l'abroustissement, on parle d'« objet nurse ». Cependant, le couvert formé par les branches étant plus fortement soumis à la prédation par les petits rongeurs que le milieu ouvert, il est impératif de protéger les glands. Dans une expérimentation dans le nord de l'Espagne en milieu ouvert, avec des glands protégés (cf. **Photos 9**) semés en automne, Manrique et Reque (2014) notent un pourcentage plus fort de plantules vivantes en fin de première année lorsque le semis a été fait en utilisant l'abri par les branches (**Photos 12**) que sans abri (respectivement 61% et 45%). Dans la même expérimentation, la totalité des glands installés avec les branches mais sans protection est prédatée par la faune (rongeurs, corvidés, sangliers). Ces résultats confirment ceux obtenus en

forêt tempérée : les branchants forment un microhabitat défavorable aux glands notamment à cause de la prédation par les petits rongeurs mais favorable au développement des plants en les protégeant contre l'abroussement (van Ginkel et al., 2013).



Photos 12. a) Installation à la tarière mécanique dans une pinède éclaircie en laissant les rémanents sur le sol b) Plant de chêne vert issu de semis muni d'une protection et se développant dans les branchages. Photos J. Reque

6-Conclusion : une technique ancestrale à revisiter

Le semis permet une installation des chênes simple et peu coûteuse connue depuis l'antiquité en région méditerranéenne. Une attention particulière doit être portée à la protection contre la prédation car la semence puis la jeune plantule sont des stades très vulnérables. Les types de végétation offrent des conditions de réussite contrastées et au sein de ces types, les effets microhabitats sont particulièrement importants pour le développement du semis. Ainsi, en milieu ouvert, l'abri par la végétation en place (et notamment les buissons) en atténuant les conditions climatiques extrêmes, améliore la survie des plantules lorsque celles-ci sont placées dans des conditions environnementales difficiles (plein éclaircissement, milieu sec par exemple). Cette fonction d'abri, qui peut être assurée par des objets (par exemple les branchages), reste encore à mieux préciser en fonction des types de végétation (ou d'objets) en particulier pour ses effets sur les ressources en lumière, en eau et sur la prédation.

Dans les milieux forestiers, les pinèdes (naturelles ou issues de reboisements) sont des habitats favorables à la pratique du semis lorsque la canopée est suffisamment ouverte alors que les peuplements denses doivent être éclaircis.

Le semis de glands est donc une pratique ancestrale qui, une fois revisitée à la lumière de nos connaissances et de nos techniques actuelles, peut être un outil précieux pour le gestionnaire. Cette technique peut s'appliquer à la restauration des terrains dégradés, à la diversification des peuplements résineux et donc contribuer à augmenter dans le futur la résilience de nos écosystèmes.

Remerciements

Les auteurs remercient W. Martin et A. N'Diaye pour leur contribution aux expérimentations en France et P. Brahic pour ses conseils sur le traitement des semences.

Les expérimentations ont bénéficié en France du soutien du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE-DEB) et de la Région PACA ; en Espagne, de la Fundación General de la Universidad de Valladolid [[ES 2383420 B1-A01G 13/02 \(2006.01\)](#)] et du Ministerio de Economía y competitividad [AGL2011-29701-C02-02]

DEUXIEME PARTIE. Installation de feuillus sous couvert forestier et en découvert

1-Les dispositifs expérimentaux

1-1 Localisation et caractéristiques du milieu

Le site d'étude retenu est situé dans la commune de Saint-Mitre-les-Remparts (13) à proximité de l'Etang de Berre sur un territoire du Conservatoire du Littoral géré par l'ONF. Le dispositif est situé sur un plateau, dont l'altitude moyenne est de 130m, autrefois utilisé pour des cultures comme en témoignent les anciens murets et les ruines encore visibles d'exploitations agricoles. Actuellement le plateau est recouvert par des pinèdes régulières à pin d'Alep d'environ 50 ans qui se sont mise en place après un incendie (date non connue avec précision).

En bas du plateau, se trouvent des banquettes agricoles qui ont été recolonisées plus récemment par de la végétation forestière et arbustive et qui ont été ensuite débroussaillées pour permettre un pâturage.

Le système plateau et banquettes offrent donc la possibilité de tester nos pratiques de restauration et d'amélioration de la biodiversité en milieu forestier (pinède) et en milieu découvert (végétation arbustive discontinue).

Les caractéristiques climatiques moyennes sont indiquées ci-dessous (Tableau 2) en prenant le poste météo d'Istres comme référence.

Tableau 2. Caractéristiques climatiques à partir du poste d'Istres (période 1981-2010).

Pluie annuelle (mm)	Pluie estivale (mm)	Nb de mois Secs (P<27)	Nb de mois Froids (T<7)	T°moy (°C)	Coef Emberger
553	62	3	1	15,2	52,5

Pour les années qui ont concerné l'expérimentation (2008-2014), on constate que les pluies ont été beaucoup plus abondantes que la normale (553 mm) sur la période 2008-2011 avec respectivement 779 mm, 697 mm, 662 mm, 638 mm pour 2008, 2009, 2010 et 2011. Par contre on note un déficit hydrique pour 2012 et 2013 avec 327mm et 483 mm.

Le substrat géologique est constitué de calcarénite du vindobonien, tertiaire (m2a1: calcarenite rousse : calcaire sableux de teinte roussâtre à débris coquillers et lit gravillonneux). Les bancs à stratification presque horizontale alternent avec des niveaux de sables glauconneux, localement indurés. Le produit de l'altération de cette calarénite est un limon sableux assez grossier avec très peu de cailloux. Le substrat est évidemment complètement anthropisé du fait de son passé agricole. Aujourd'hui un sol forestier se reconstitue très lentement en raison d'un climat très sec qui est peu favorable à la pédogénèse. Les horizons organiques de surface sont minces (max 10 cm et on tombe rapidement sur le matériau parental limoneux sableux de couleur beige). La profondeur du sol jusqu'à la roche est en moyenne de 40cm et varie de 20 à 50 cm. La potentialité de ce substrat est moyenne (7, selon le modèle d'évaluation de la potentialité forestière du Cemagref qui varie de -80 à +80).

1-2 Le dispositif en forêt

Il comprend 12 placettes de 25m×25m (Figure 8) inventoriées en 2007 (mesure de la circonférence de toutes les tiges à 1m30) réparties en trois traitements correspondant à une intensité d'éclaircie: le témoin non éclairci qui correspond à des peuplements denses et fermés (surface terrière de 30 m²/ha), l'éclaircie faible qui abaisse la surface terrière à environ 20 m²/ha, l'éclaircie forte qui abaisse la surface terrière à environ 10 m²/ha.

Les éclaircies des placettes ont été réalisées en octobre 2007 par l'équipe de l'ONF. Les caractéristiques des peuplements pour les différents traitements sont indiquées dans le tableau 3.

Tableau 3. Principales caractéristiques des traitements après éclaircie (moyenne + erreur standard)

Traitement	Nombre de placettes	Surface terrière (m ² /ha)	Densité (/ha)	Lumière transmise (%)
Témoin, Couvert dense	4	32,0 ± 3,9	1644 ± 448	10,4 ± 0,5
Eclaircie faible, Couvert moyen	4	19,2 ± 0,7	576 ± 29	19,4 ± 3,7
Eclaircie forte, Couvert faible	4	10,2 ± 0,9	196 ± 63	37,9 ± 3,6

Les plants et semis

Sur chaque placette, les semis et les plants (Photos 13) ont été installés selon le plan indiqué dans la Figure 3. Une ligne de semis de glands alterne avec une ligne de plants. La ligne de semis fait alterner un semis de chêne vert (*Quercus ilex*) avec un semis de chêne blanc (*Quercus pubescens*) et la ligne de plants répète la séquence cormier ou sorbier domestique (*Sorbus domestica*), frêne à fleurs (*Fraxinus ornus*), caroubier (*Ceratonia siliqua*), arbousier (*Arbutus unedo*) et pistachier (*Pistacia terebinthus*). Ainsi la variabilité spatiale intra parcellaire est mieux exploitée, certaines zones dans une même placette pouvant offrir un couvert de pin plus dense ou plus clair.

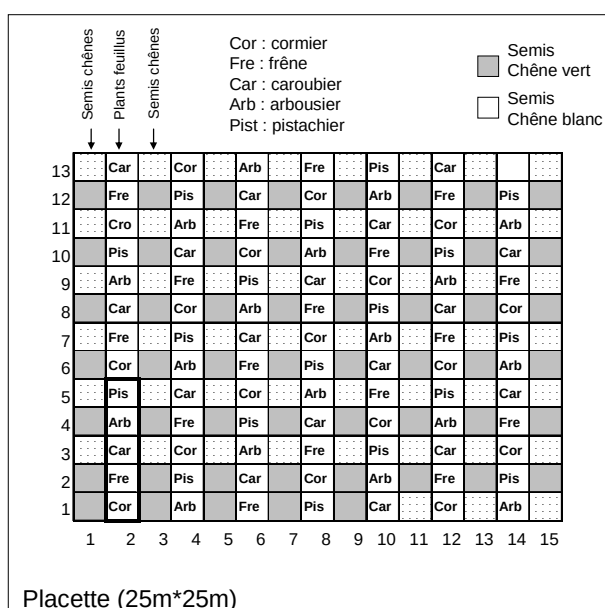


Figure 3. Disposition des semis et des plants au sein de chaque placette

Les glands de chêne blanc et de chêne vert ont été ramassés début Novembre 2007 sur plusieurs individus et dans plusieurs sites présentant des caractéristiques écologiques proches de celles du site expérimental. Les glands ont ensuite été flottés et triés visuellement pour écarter les semences endommagées et conservés au froid humide jusqu'à leur mise en place. Les glands ont été mis sur le terrain fin Novembre 2007 : ouverture d'un potet, mise en place de 3 glands et pose d'une protection métallique pour la prédation des semences contre les petits rongeurs.

Les plants feuillus sont tous de provenance locale (récolte des graines dans des sites situés dans des conditions écologiques similaires au site d'introduction). Ils ont été conditionnés en godets WM de contenance 560 cm³ avec un substrat composé d'un mélange 50% tourbe, 50% écorce. Les plants ont été triés et mesurés en pépinière (diamètre, hauteur), afin de sélectionner les plants de dimensions comparables, puis marqué au niveau du collet avant d'être plantés sur le terrain fin Novembre 2009. La plantation a été effectuée à la pioche. Dans chaque placette, il a été planté les 5 essences à raison de 18 plants/essence soit 90 plants feuillus par placette (total 12 placettes = 1080 plants).



Photos 13. Feuillus utilisés dans les dispositifs. De gauche à droite : frêne à fleurs, sorbier domestique, arbousier, caroubier, pistachier térébinthe, chêne blanc (chêne pubescent), chêne vert.

Test de l'effet buisson sur les semis de chênes

Nous avons cherché à déterminer l'effet du buisson sur le développement des semis de chênes : effet positif (facilitation), négatif (compétition) ou effet neutre. Nous avons mis en place 200 potets dans les traitements « éclaircie forte » et « éclaircie moyenne » en testant 5 types de couverts arbustifs : filaire, romarin, kermès, ciste blanc et témoin (aucun arbuste). Les potets ont été mis en place comme expliqué précédemment.

Lors d'une visite effectuée le 5 Février 2013, nous avons constaté que les potets mis en forêt ont été prédatés par des sangliers pour la plus grande partie (filets et grilles de protection soulevés, Photo 14). Lors de précédentes expérimentations de semis en 2007 sur le même secteur nous n'avions pas constaté de dégâts par le sanglier ce qui semblerait indiquer une augmentation forte et inattendue de la population de sangliers. Suite à cette attaque, les glands ont été réinstallés (environ 200 potets de 3 glands) en mars 2013 après pose d'un grillage autour des 12 parcelles.



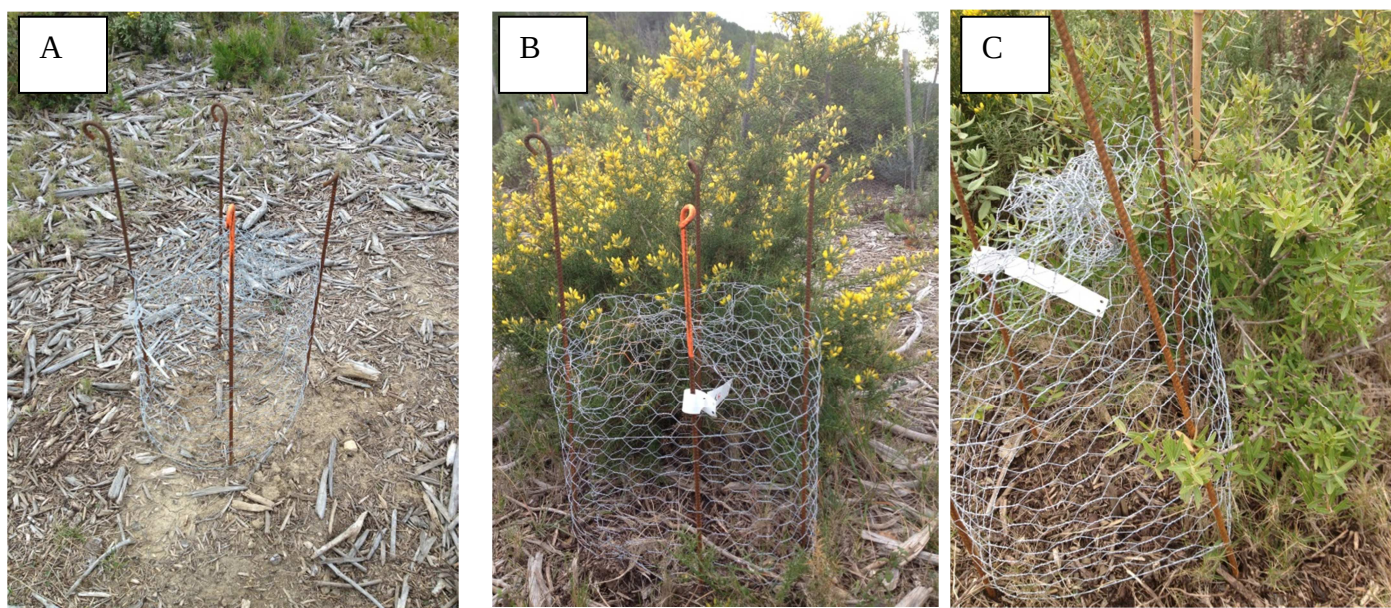
Photo 14. Dégât de sanglier sur les semis de chêne en février 2013. Les protections ont été soulevées et les glands consommés.

1-2 Le dispositif en découvert

En plein découvert sur d'anciennes terrasses débroussaillées, des plantations ont été réalisées en 4 blocs. Cette plantation utilise les mêmes plants que ceux introduits sous couvert forestier (chêne vert et blanc, caroubier, sorbier domestique, pistachier térébinthe, frêne à fleur et arbousier) et vise à étudier le comportement de ces essences en plein éclaircissement. Chaque bloc comprend 100 plants (20 pour chaque espèce) plantés en automne 2009 ainsi qu'une ligne de semis de chêne mise en place en 2008 (20 poquets de 3 glands par bloc, moitié chêne blanc et moitié chêne vert) (Figure 12). La distance entre les plants est de 1m en tous sens.

Sur ce site nous avons voulu aussi tester une modalité d'enrichissement des zones découvertes c'est-à-dire l'introduction de plants à large espacement en utilisant la végétation arbustive en place comme végétation d'abri (= plante nurse). 104 plants (moitié sorbier, moitié frêne) ont été plantés avec une plante nurse servant d'abri sur 5 banquettes. Les plantes nurse sont : la filaire à feuilles étroites, le pistachier lentisque, l'ajonc de Provence et le romarin.

Comme dans le dispositif en forêt, des semis de chêne installée en 2012, pour un total de 280 points mis en place en absence (témoin) ou en présence de buisson (ciste, ajonc de Provence, kermès, filaire, romarin, cf. Photos 15). Ceux-ci ont également été dévastés par les sangliers durant l'hiver 2012/ 2013. En découvert, où la pose d'un grillage n'était pas possible, des jeunes plantules de 3 mois ont été mis en place au début du printemps 2013. Ces plantules ont été remesurées en Janvier 2015.



Photos 15. Dispositif installé en découvert testant l'installation de plantules de chênes en découvert (A) ou à l'abri d'un buisson ici un ajonc de Provence (B) et une filaire (C). Le grillage est destiné à protéger la plantule de l'herbivorie.

2-Premiers résultats sur l'influence du couvert arboré sur le développement des feuillus

2-1 Survie et croissance des feuillus installés en 2007 et 2009

Nous présentons ci-dessous les résultats sur les feuillus installés en 2007 (chênes installés sous forme de semis de glands) et en 2009 (autres feuillus plantés) en milieu forestier et en découvert d'après les mesures faites en 2014.

L'analyse de la survie (Fig. 4) montre que ce sont les peuplements fermés qui sont les plus défavorables à la survie à l'exception notable du frêne à fleurs dont la survie est forte (>80%) et comparable quel que soit le type de milieu. Cette essence apparaît donc très tolérante à l'ombrage, plus que le sorbier domestique et le chêne vert qui présentent des taux de survie moins élevés (respectivement 60% et 70%). Les autres essences ont des taux de survie significativement plus bas (<40%).

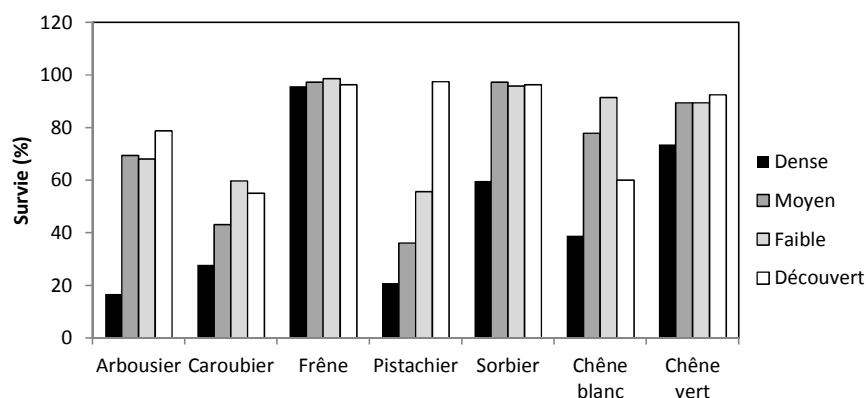


Figure 4. Survie des feuillus à 7 ans (chênes) ou 5 ans (autres feuillus) en fonction des différents types de couvert à pin d'Alep (couverts dense, moyen ou faible) et en plein découvert.

La croissance en diamètre (Fig. 5A) augmente avec l'éclairement : des milieux fermés vers les milieux ouverts. C'est l'arbousier qui montre la plus forte croissance en plein éclaircissement. La croissance en hauteur montre par contre un pattern très différent (Fig. 5B). Pour certaines espèces la croissance en hauteur est maximale dans les milieux forestiers clairs et décroît dans les milieux fermés ou complètement ouverts : c'est le cas du frêne, du sorbier et du chêne blanc. En revanche pour les autres espèces, la hauteur soit augmente légèrement avec l'ouverture du couvert (chêne vert et arbousier), soit ne montre que peu de variations (pistachier et caroubier). Il faut noter que le caroubier présente un développement toujours très faible, cette espèce thermophile a en effet été fortement touchée par les gelées de février 2012. Des plants sont morts ou ont rejeté avec une faible vigueur.

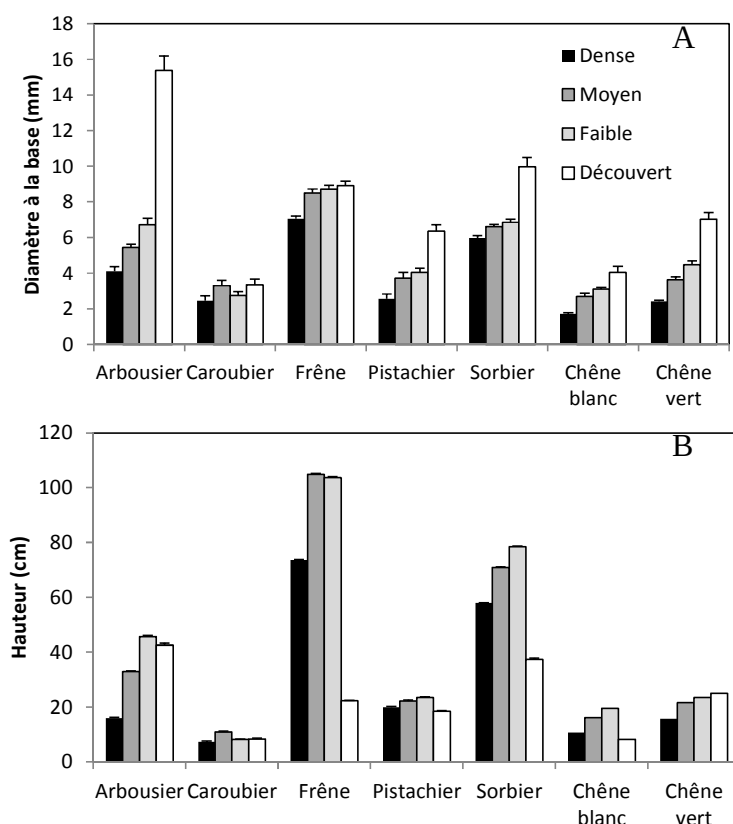


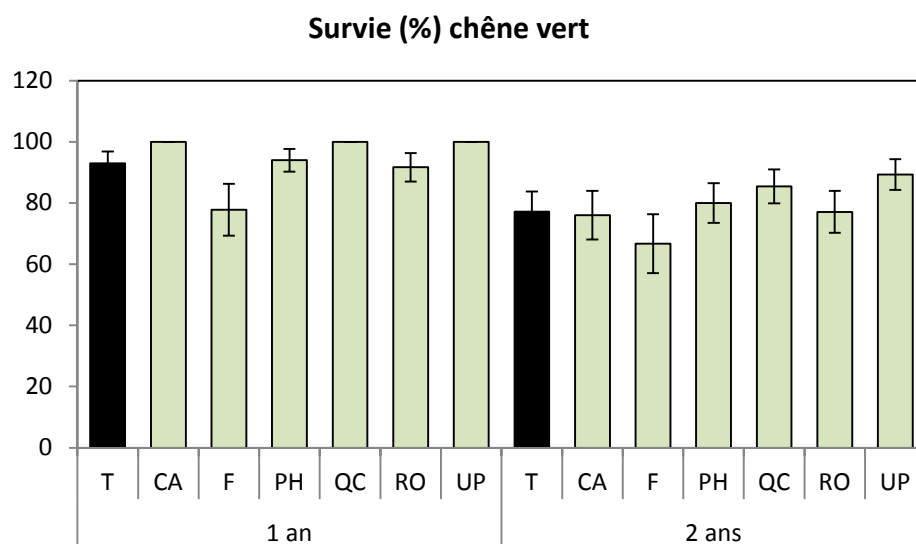
Figure 5. Croissance des feuillus en fonction des types de couvert A) en diamètre mesurée à la base des plants et B) en hauteur

Au cours de l'année 2014 nous avons comparé nos résultats avec ceux d'un dispositif similaire installé dans le sud-est de l'Espagne (Ayora) et piloté par le CEAM (Gavinet et al., 2015). Le dispositif espagnol, installé dans des conditions climatiques plus sèches, comprend les mêmes modalités forestières (couvert à pin d'Alep dense, moyen ou faible) mais pas de dispositif en découvert. Les essences utilisées sont pour partie commune (frêne à fleurs, chêne vert, arbousier) et pour partie spécifiques (*Quercus faginea*, *Rhamnus alaternus*, et *Acer opalus*). La croissance sur le site espagnol présente des tendances similaires aux nôtres : on note une augmentation du diamètre des plants avec l'ouverture des peuplements, les variations de la hauteur étant plus faibles. Par contre, à la différence du site français, les survies sont plus élevées sous couvert dense soulignant ainsi un compromis (trade-off) entre survie et croissance en milieu plus sec. Cette amélioration de la survie n'est pas liée à la teneur en eau des sols (plus faible sous couvert dense) mais aux conditions microclimatiques plus favorables (réduction de la demande évaporative).

2-2 Influence des buissons sur la survie des semis de chênes et des feuillus

Des semis de glands ont été réalisés (Mars 2013) en forêt en installant 200 potets contenant chacun 2 glands de chêne blanc et 2 glands de chêne vert distribués dans les 8 parcelles des modalités couvert moyen et faible et selon un traitement sans arbuste ou avec arbuste (ciste, romarin, filaire, kermès). Il s'agissait d'une seconde installation (après mise en place d'une clôture autour des parcelles), les semis installés en Novembre 2012 ayant été tous prédatés par les sangliers. Des semis de glands ont également été installés en découvert en testant des modalités sans buisson ou avec buisson ou pin (ulex, romarin, pistachier, ciste, pin d'Alep). Là encore, une première installation de semis de glands a échoué suite à des dégâts de sanglier. Des plantules de chênes ont été installées en remplacement en Mai 2013. Au total 248 emplacements ont été recensés (soit semis de glands ayant survécu, soit plantules). Au début de la saison estivale 2013 nous avons dénombré 279 plantules vivantes de chêne blanc et 191 plantules de chêne vert. Les plantules ont été à nouveau dénombrées en Décembre 2013, Décembre 2014 et Octobre 2015. Lors de cette dernière date, des plantules ont été aussi prélevées en forêt et en découvert dans les diverses modalités pour mesurer la biomasse aérienne totale (poids secs des feuilles et tiges, 580 plantules au total) et, sur un sous-échantillon, la biomasse racinaire (88 plantules).

Les premiers résultats ne permettent pas de mettre évidence un effet du buisson sur la survie (Fig. 6) en milieu découvert.



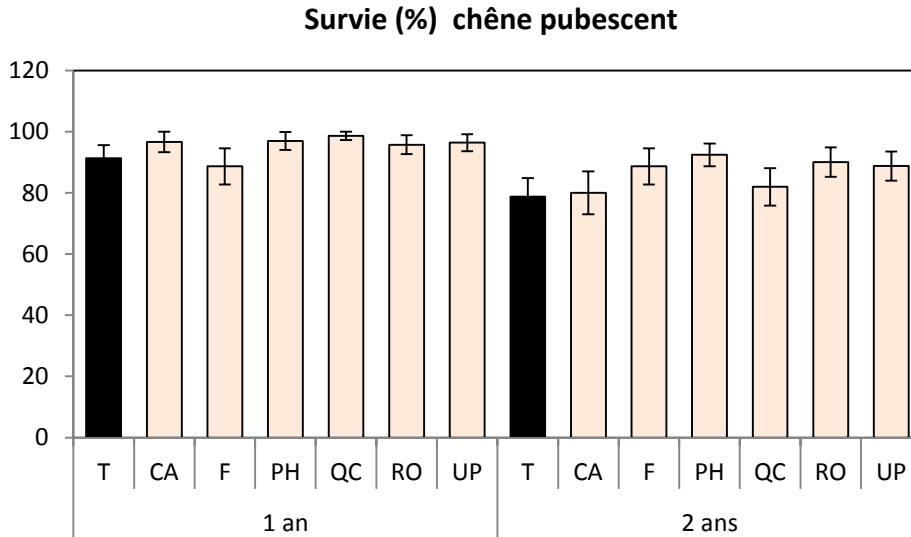


Figure 6. Survie des plantules de chêne vert ou chêne blanc à 1 ou 2 ans en milieu découvert en fonction de la présence d'un buisson. T=témoin (pas de buisson), CA=*Cistus albidus*, F=filaire (*Phillyrea angustifolia*), PH=*Pinus halepensis*, QC=*Quercus coccifera*, RO=*Rosmarinus officinalis*, UP=*Ulex parviflorus*.

Cet absence d'effet peut être lié au fait que les conditions estivales des années 2013 et 2014 ont été relativement clémentes (pas de forte sécheresse), il faut sans doute poursuivre les observations sur un temps plus long pour tirer des conclusions.

Pour les plants feuillus (frêne à fleurs et sorbier) installés en découvert en 2009 avec ou sans buisson nous n'avons pas observé de différence de survie mais une nette différence de croissance : les plants avec buisson bénéficiant d'une hauteur plus forte que ceux installés en plein découvert (Fig. 7).

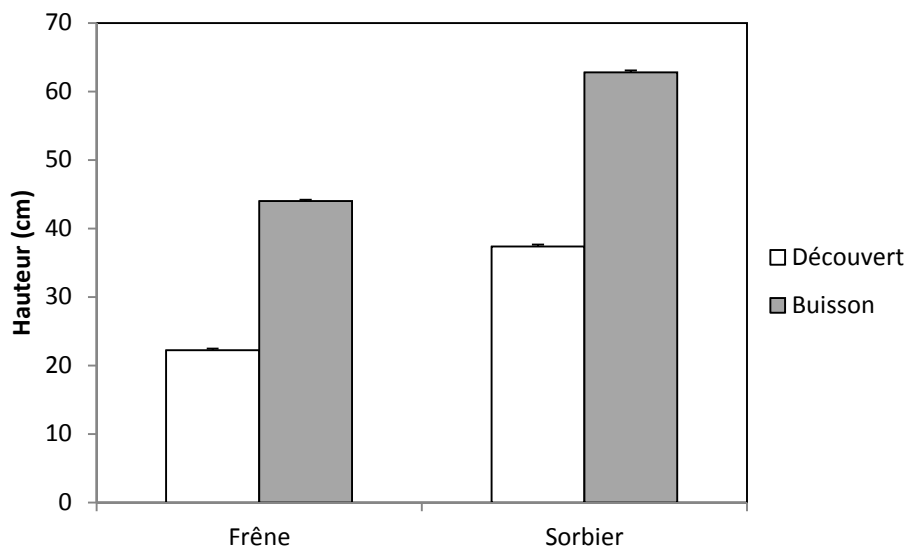


Figure 7. Croissance en hauteur du frêne à fleurs et du sorbier en découvert en présence ou non d'un abri par un buisson.

Dans la Figure 8, nous comparons les résultats de l'installation des plantules de chêne (survie, croissance) en forêt et en découvert avec ou sans abri par un buisson (toutes espèces de buisson confondues).

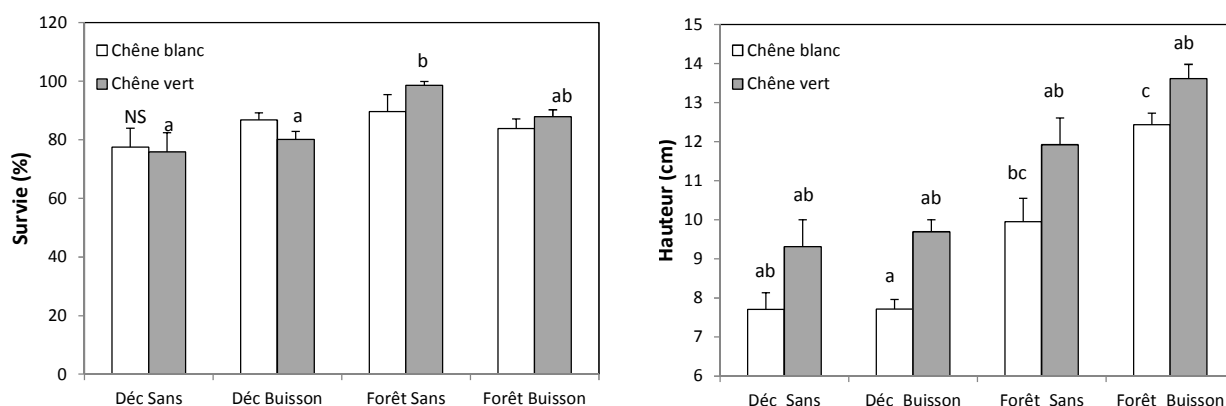


Figure 8. Survie et hauteur à deux ans des plantules de chêne blanc et de chêne vert en fonction du type de milieu (Découvert=Déc/Forêt) et de l'abri ou non par un buisson (Sans buisson/Buisson). Les lettres indiquent les différences significatives entre les traitements pour une même espèce de chêne.

Les taux de survie à 2 ans sont comparables entre les traitements pour le chêne blanc alors que la survie est un peu plus forte pour le chêne vert en forêt et sans buisson. En revanche, le développement en hauteur répond beaucoup plus fortement aux traitements. Si l'effet buisson reste faible globalement (notamment en découvert), on constate un développement en hauteur beaucoup plus accentué en forêt qu'en découvert. Ce résultat s'explique par un effet d'ombrage. Au-delà d'un certain seuil, la réduction de la lumière et sa modification qualitative induit une élongation sur le plant (on parle aussi de « shade avoidance syndrom »). Cette élongation est maximale dans les conditions d'ombrage les plus fortes, c'est-à-dire en forêt et sous buisson. On note également que dans tous les traitements la croissance du chêne vert est supérieure à celle du chêne blanc.

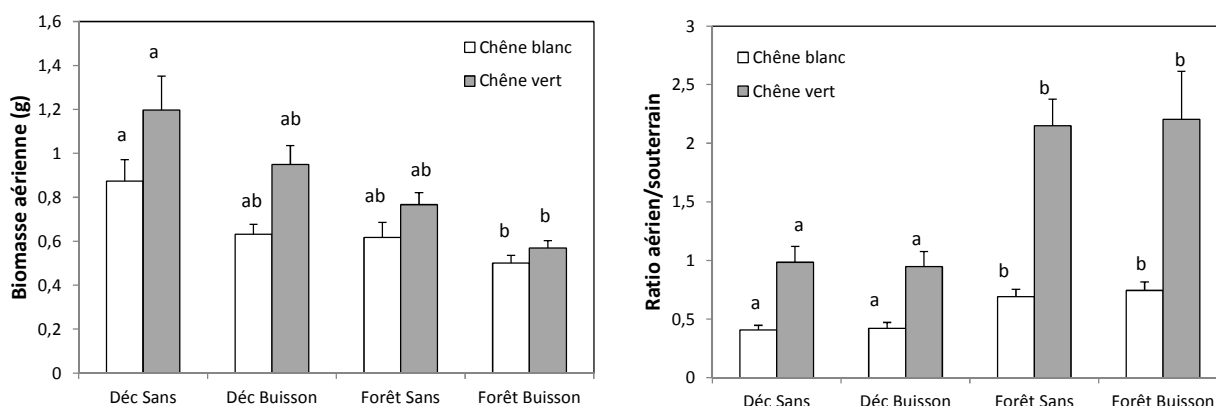


Figure 9. Biomasse aérienne et ratio biomasse aérienne/biomasse souterraine à deux ans des plantules de chêne blanc et de chêne vert en fonction du type de milieu (Découvert/Forêt) et de l'abri ou non par un buisson (Sans buisson/Buisson). Les lettres indiquent les différences significatives entre les traitements pour une même espèce de chêne.

La biomasse aérienne (Fig. 9) est beaucoup plus forte pour le chêne vert que pour le chêne blanc et tend à décroître des milieux lumineux (découvert) vers les milieux plus sombres (forêt). La croissance semble donc être pilotée prioritairement par l'éclairement : en effet si à l'ombre les plantules sont plus hautes (cf Fig. 8) elles sont aussi plus grêles (faible diamètre, données non montrées) et au total leurs biomasses aériennes sont moins élevées. En examinant le ratio biomasse aérienne / biomasse souterraine, on constate d'une part qu'il est plus faible pour le chêne blanc que pour le chêne vert et d'autre part qu'il augmente du découvert vers la forêt alors que l'effet buisson ne semble pas jouer. En milieu découvert où la demande évaporative est très forte, les plants investissent prioritairement dans leur système souterrain afin d'assurer leur alimentation en eau (photos 16). Le chêne blanc, moins adapté aux fortes contraintes hydriques, développe cette stratégie plus intensément que le chêne vert.



Photos 16. Système aérien et souterrain du chêne blanc en milieu découvert (gauche) et en milieu forestier (droite)

2-3 Paramètres microclimatiques

Il a été observé une amélioration du microclimat sous buisson qui se traduit par une réduction de la demande évaporative (VPD) bien que la différence ne soit pas significative en période estivale et une augmentation de l'humidité de l'air (Fig. 10). L'absence de différence très marquée (par exemple sur les températures moyennes pas différentes hors et sous buisson) peut aussi s'expliquer par le fait que les mesures sont faites sous abri (cf. photos 17 ci-dessous), par un pas de temps de mesure trop large (2h), par un manque de synchronisation entre les capteurs.

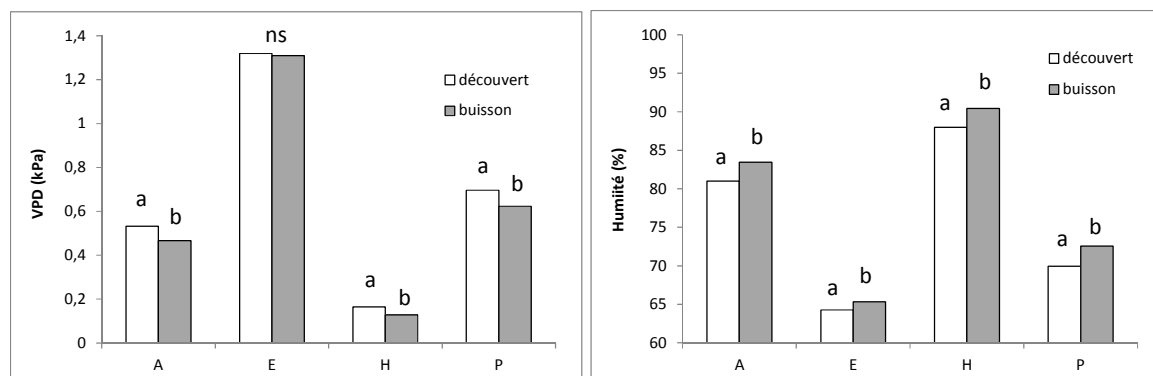


Figure 10. Paramètres microclimatiques, Vapour Pressure Deficit (VPD en kPa) et Humidité de l'air (en %) pour les différentes saisons (Automne, Hiver, Printemps, Eté) en plein découvert en fonction de la présence ou non d'un buisson. Les lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) pour une saison entre buisson/découvert.

Des mesures complémentaires ont été effectuées en été 2015 avec un temps de mesure réduit (1h) et une meilleure synchronisation des capteurs. Les résultats (Fig. 11) montrent alors des différences significatives entre les traitements. En découvert le buisson diminue la température et abaisse la demande évaporative. Cet effet persiste en forêt mais il est moins marqué.

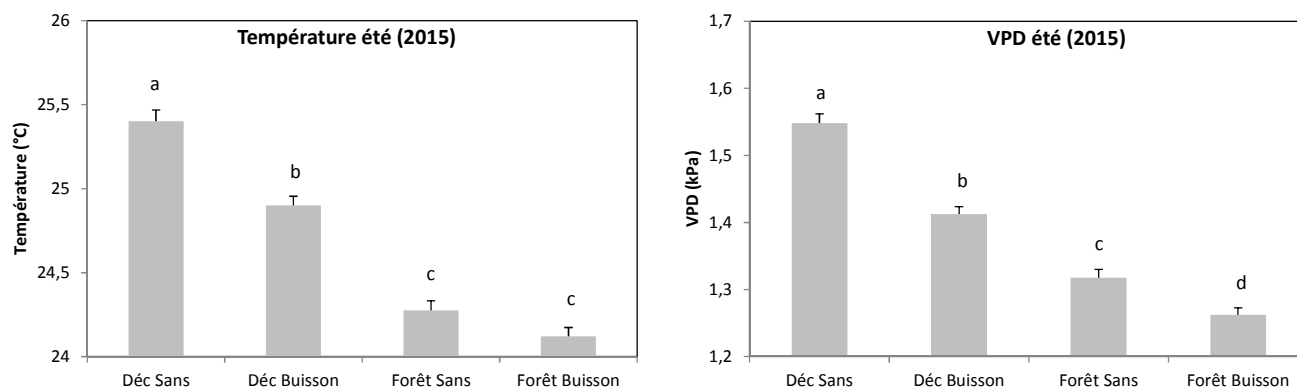


Figure 11. Température et VPD mesurées durant l'été 2015 (pas horaire). Le milieu forestier correspond à un couvert léger ($G = 10 \text{ m}^2/\text{ha}$). Les lettres différentes indiquent des différences significatives



Photos 17. Capteur d'humidité du sol (sonde Decagon, à gauche) et abri pour capteur de température et humidité de l'air (droite).

La lumière est aussi interceptée par le buisson et l'éclairement transmis se situe entre 25 à 45% du plein découvert selon la nature du buisson (Fig.12). La réduction de la luminosité est aussi un facteur favorable pour de nombreuses plantes dont le système photosynthétique peut être endommagé par un excès de radiation lumineuse.

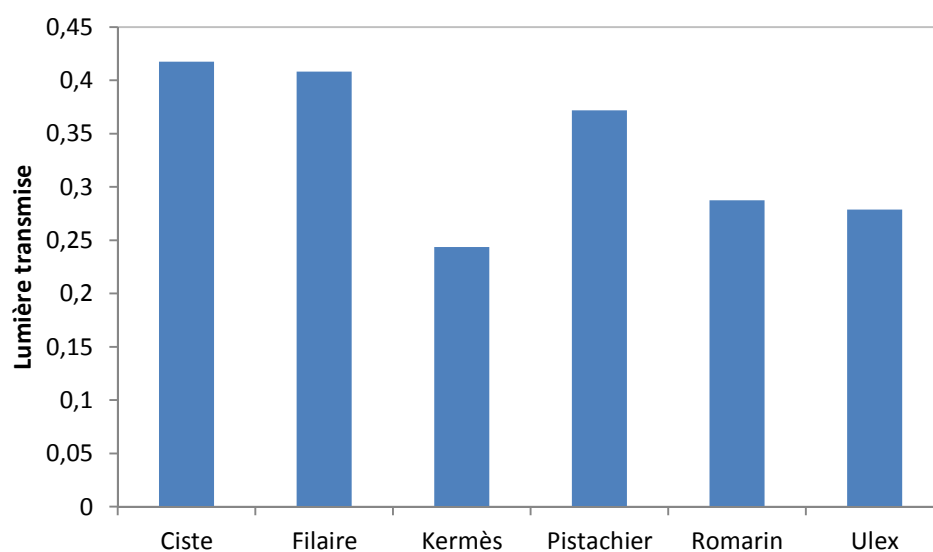


Figure 12. Lumière transmise (valeurs moyennes, de 0 à 1) dans le PAR (400-700 nm) en découvert en fonction des types de buisson.

Enfin la teneur en eau du sol est réduite sous buisson (Fig. 13). Cela s'explique par une interception des précipitations par le feuillage et par la consommation en eau du buisson.

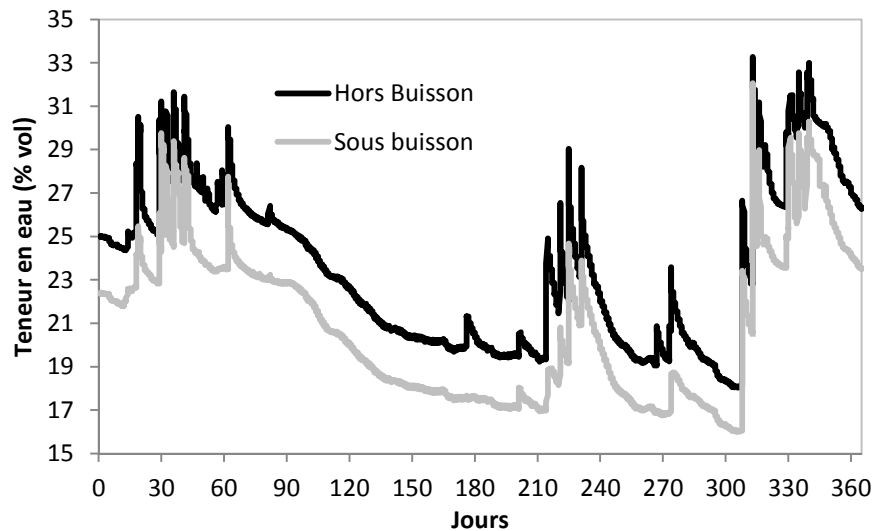


Figure 13. Variation des teneurs en eau du sol (- 30cm) en découvert sous ou hors buisson au cours de l'année 2014.

2-4 Paramètres écophysologiques

Nous avons mesuré sur les plants feuillus et les semis de chêne deux paramètres écophysologiques : le potentiel foliaire de base et la fluorescence.

Le potentiel foliaire de base caractérise le stress hydrique de la plante, il est mesuré avant le lever du soleil (lorsqu'il y a un équilibre hydrique entre la plante et le sol) en prélevant une feuille sur les plants et en mesurant ensuite le potentiel à l'aide d'une chambre à pression (PMS 1000, PMS Instrument). Plus le potentiel est négatif et plus le stress hydrique du plant est élevé.

La mesure de la fluorescence permet d'estimer l'état du fonctionnement de l'appareil photosynthétique. On dispose des clips sur des feuilles afin de les mettre à l'obscurité (30 min minimum) puis on applique un pulse lumineux avec un fluorimètre (Pocket Pea). On détermine alors un ratio de fluorescence (F_v/F_m) qui traduit l'efficacité de l'appareil photosynthétique : les plants non stressés présentent un ratio autour de 0,8 alors que sous conditions de stress le ratio s'abaisse.

Pour le potentiel comme pour la fluorescence, les mesures ont été faites en fin d'été à une période où le stress hydrique est maximal pour les plants

Les résultats sur le potentiel de base sont présentés Figure 14.

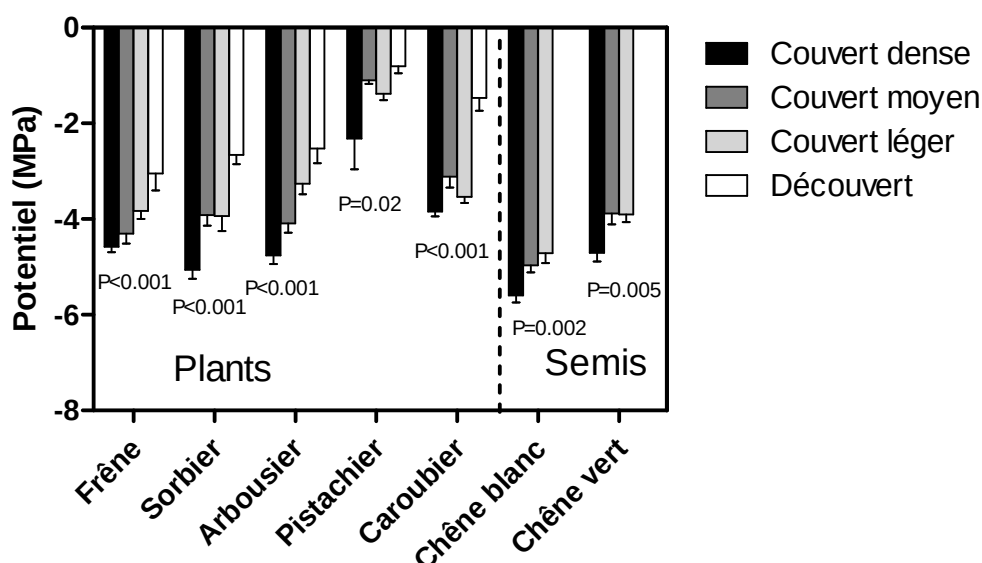


Figure 14. Potentiel de base foliaire en fonction traitements pour les différentes espèces. Le stress hydrique est d'autant plus accentué que le potentiel est négatif. Les tests statistiques (Valeur P) indiquent des différences significatives entre traitements pour une même espèce (NS : non significatif).

Le potentiel de base s'abaisse avec la fermeture du couvert : les plants présentent un stress hydrique d'autant plus fort que le couvert forestier est dense et le couvert totalement fermé présente les conditions où le stress est maximal. Ce résultat s'explique d'une part par une disponibilité en eau plus réduite sous peuplement (transpiration des arbres de la canopée et du sous-bois) et d'autre part par un plus faible développement racinaire des plants. Cette dernière remarque s'applique particulièrement sous couvert dense où la disponibilité en lumière est faible impliquant une croissance racinaire réduite des plants ce qui pénalise leur alimentation hydrique.

Les valeurs de la fluorescence (ratio F_v/F_m) diminuent avec l'ouverture du couvert (Fig. 14) : les valeurs les plus élevées sont enregistrées sous couvert dense et les valeurs les plus basses en plein découvert. Cela traduit une photoinhibition (et donc une moindre efficacité du système photosynthétique) plus forte dans les milieux ouverts que dans les milieux fermés. Il faut noter que les valeurs les plus basses sont observées pour le frêne et le chêne blanc qui présentent en effet des croissances réduites en découvert.

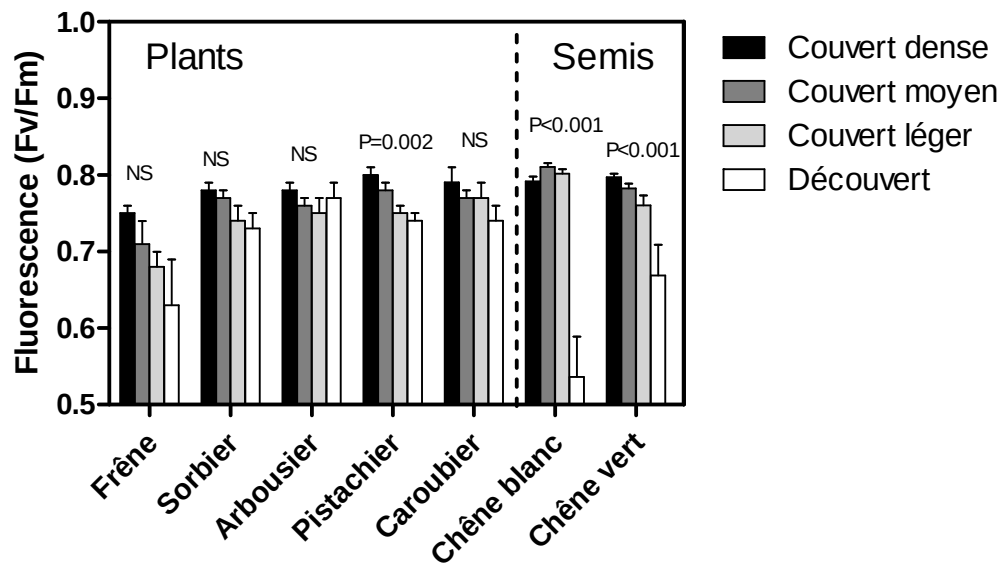


Figure 14. Ratio F_v/F_m pour la fluorescence en fonction traitements pour les différentes espèces. Une valeur plus basse du ratio indique une efficacité moindre de l'appareil photosynthétique. Les tests statistiques (Valeur P) indiquent des différences significatives entre traitements pour une même espèce (NS : non significatif).

On peut donc observer deux types de stress en période estivale. Un stress hydrique qui est marqué sous les couverts denses et un stress lumineux qui à l'inverse s'accroît avec l'ouverture des couverts.

Conclusion

Les espaces forestiers méditerranéens actuels sont le résultat d'une longue histoire de perturbations anthropiques (incendie, coupe, abandon et colonisation forestière etc.) dans un environnement où le sol et le climat sont souvent contraignants pour la végétation. Par conséquent les écosystèmes actuels sont souvent fragmentés et pour partie dégradés. Or les changements annoncés risquent d'aggraver cette situation pour ce qui est du climat (risque renforcé de canicule, de sécheresse par exemple) et de ses conséquences en termes de perturbations (attaques de ravageurs, incendie...). Il est donc nécessaire d'accroître la résilience des écosystèmes, ce qui passe par une augmentation de leur diversité, ou de procéder à leur restauration pour les écosystèmes les plus dégradés.

Nous avons privilégié l'installation de feuillus méditerranéens, qui peuvent rejeter après une coupe ou un incendie, en les introduisant directement au sein de peuplements résineux post-feu ou dans des formations arbustives (type garrigue) issues d'un processus accentué de dégradation.

Nous avons testé deux types de méthodes. La première est le recours au semis direct de glands qui est une méthode ancienne, mais peu usitée actuellement, que nous avons revisitée à la lumière de nos connaissances actuelles du fonctionnement des écosystèmes. La seconde est le recours à la plantation et nous avons testé plusieurs espèces de feuillus méditerranéens car leurs caractéristiques écologiques (tolérance à l'ombre, au stress hydrique par exemple) sont encore très mal connues.

Les feuillus, semis ou plants, ont été installés dans des conditions contrastées de végétation car notre objectif était de tester l'influence des micro-habitats sur la réussite des introductions.

Nous avons mis en évidence les résultats suivants :

- Le semis de glands est une méthode simple, peu coûteuse qui permet d'anticiper et accélérer la dynamique de succession (du type pin/chêne) ou de lever des blocages (par exemple sources de semences insuffisantes ou éloignées). Une attention particulière doit être portée néanmoins sur les risques de prédation.
- Les feuillus plantés montrent des caractéristiques écologiques contrastées qui conditionnent leur réussite. Le caroubier s'est avéré très sensible aux dégâts de gel. Le frêne à fleurs et le sorbier présentent les meilleures réponses à la fermeture du couvert mais des croissances en hauteur médiocres en plein découvert. Un abri par un buisson, en modifiant le microclimat, améliore dans ce dernier cas les performances de ces deux espèces. Le frêne à fleurs s'est avéré l'espèce la plus tolérante à de forts ombrages. Le chêne vert et l'arbousier ont un développement supérieur en plein découvert alors que le chêne blanc et le pistachier bénéficie d'un couvert arboré modéré (10-20 m²/ha).
- Pour le semis et les plantations, les milieux forestiers fermés (les pinèdes denses) se sont révélés les plus défavorables à l'installation des feuillus. Ces peuplements doivent donc en priorité bénéficier d'une sylviculture (éclaircie). Dans l'état actuel de nos connaissances nous préconisons une ouverture modérée des couverts (autour de 15 m²/ha de surface terrière). Une ouverture trop forte peut entraîner un accroissement

important du sous-bois et limiter l'accès aux ressources pour le plant tout en augmentant le risque d'incendie.

- Les buissons, en particulier en milieu découvert, en modifiant le microclimat jouent un rôle sur le développement des plants qui bénéficient de leur couvert. Ce rôle a été mis en évidence sur le frêne et le sorbier mais pas sur les chênes (manque de recul dans le temps pour les mesures, conditions climatiques trop favorables durant l'expérimentation ?). Il est nécessaire d'approfondir dans l'avenir la compréhension des mécanismes d'interaction entre le buisson et la plante cible.

L'introduction de feuillus sous forme de plants ou de semis en utilisant les micro-habitats et la végétation en place est une pratique qui peut s'appliquer à la restauration des terrains dégradés, à la diversification des peuplements résineux et donc contribuer à augmenter dans le futur la résilience des écosystèmes méditerranéens.

Bibliographie

Allen JA, Keeland BD, Stanturf JA, Clewell AF, Kennedy Jr. HE, 2004. A guide to bottomland hardwood restoration. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, General Technical Report SRS-40, 132 p. <http://www.nwrc.usgs.gov/wdb/pub/diglib/bottomland-hardwood/revised-reforest-prelim.pdf>

Balleux P, Van Lerberghe P, 2001. Le boisement des terres agricoles. Guide Technique, IDF, 128 p.

Bocio I, Navarro FB, Ripoll MA, Jiménez MN, De Simón E, 2004. Holm oak (*Quercus rotundifolia* Lam.) and Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) response to different soil preparation techniques applied to forestation in abandoned farmland. *Annals of Forest Science*, 2: 171-178.

Dey DC, Jacobs D, McNabb K, Miller G, Baldwin V, Foster G, 2007. Artificial regeneration of major oaks (*Quercus*) species in the Eastern United States. A review of the literature. *Forest Science*, 54: 77-106.

Gavinet J., Vilagrosa A., Chirino E., Granados Me, Vallejo R., Prévosto B., 2015. Hardwood seedling establishment below Aleppo pine depends on thinning intensity in two Mediterranean sites. *Annals of Forest Science*, 72:999-1008.

Gómez JM, Hódar JA, 2008. Wild boars (*Sus scrofa*) affect recruitment rate and spatial distribution of holm oak (*Quercus ilex*). *Forest Ecology and Management*, 256: 1384-1389.

Gómez JM, Puerta-Piñero C, Schupp WE, 2008. Effectiveness of rodents as local seed dispersers of Holm oaks. *Oecologia*, 155: 529-537.

Gómez JM, 2004. Importance of microhabitat and acorn burial on *Quercus ilex* early recruitment: non-additive effects on multiple demographic processes. *Plant Ecology*, 172: 287-297.

Gómez-Aparicio L., Zavala M.A., Bonet F.J., Zamora R., 2009. Are pine plantations valid tools for restoring Mediterranean forest? An assessment along abiotic and biotic gradients. *Ecol Appl.* 19(8): 2124-2141.

Gómez-Aparicio, L. 2009. The role of plant interactions in the restoration of degraded ecosystems : a meta-analysis across life-forms and ecosystems. *J. Ecol.* 97: 1202-1214.

Gómez-Aparicio L, Zamora R, Gómez JM, Hódar JA, Castro J, Baraza E, 2004. Applying plant facilitation to forest restoration: a meta analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications*, 14: 1128-1138.

Leverkus AB, Castro J, Puerta-Piñero C, Rey Benayas JM, 2013. Suitability of the management of habitat complexity, acorn burial depth, and a chemical repellent for post-fire reforestation of oaks. *Ecological Engineering*, 53: 15-22.

Leiva MJ, Mancilla-Leyton JM, Martin-Vicente A, 2013. Methods to improve the recruitment of holm-oak seedlings in grazed Mediterranean savanna-like ecosystems (dehesas). *Annals of Forest Science*, 70: 11-20.

Madsen P, Löf M, 2005. Reforestation in southern Scandinavia using direct seeding of oak (*Quercus robur* L.). *Forestry*, 78: 55–63.

Manrique M., Reque J., 2014. Diversificación de masas de *Pinus halepensis* Mill. mediante la siembra directa de bellotas de *Quercus ilex* L. Universidad de Valladolid. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/6655>

Muñoz A, Bonal R, Díaz M, 2009. Ungulates, rodents, shrubs: interactions in a diverse Mediterranean ecosystem. *Basic and Applied Ecology*, 10: 151-160.

Navarro FB, Jiménez MN, Ripoll MA, Fernández-Ondoño E, Gallego E, De Simón E, 2006. Direct sowing of holm oak acorns: effects of acorn size and soil treatment. *Annals of Forest Science*, 63: 961-967.

Orsini P, 1979. Recherches sur les rongeurs de quelques formations à chênes du Midi de la France. Ecole Pratique des Hautes Etudes, Montpellier, 60p.

Perea R, Gil L, 2014. Tree regeneration under high levels of wild ungulates: the use of chemically vs. physically-defended shrubs. *Forest Ecology and Management*, 312: 47-54.

Pérez-Ramos I, Gómez-Aparicio L, Villar R, García Maraño T, 2010. Seedling growth and morphology of three oaks species along field resource gradients and seed mass variation : a seedling age-dependent response. *Journal of Vegetation Science*, 21: 419-437.

Prévosto B, Ripert C, Monnier Y, Martin W, N'diaye A, Estève R, 2010. Installer des semis de chênes dans les pinèdes à pin d'Alep en phase de renouvellement. *Forêt Méditerranéenne*, t XXXI, 1: 25-30.

Prévosto B, Monnier Y, Ripert C, Fernandez C, 2011. Can we use shelterwoods in Mediterranean pine forests to promote oak seedling development? *Forest Ecology and Management*, 262: 1426-1433.

Prévosto B, Ripert C, Ostermeyer R, 2013. Eclaircir est-il suffisant pour favoriser la régénération du chêne blanc ? Retour sur un dispositif expérimental installé il y a 27 ans en forêt domaniale de Lure (Alpes-de-Haute-Provence). *Forêt Méditerranéenne*, t XXXIV, 1 : 3-12.

Puerta-Piñero C, Gómez JM, Valladares F, 2007. Irradiance and oak seedling survival and growth in a heterogeneous environment. *Forest Ecology and Management*, 242:462-469.

Quézel P., Médail F., Loisel R., Barbéro M., 1999. Biodiversité et conservation des essences forestières du bassin méditerranéen. Unasylva FAO, Rome.

Regimbeau M, 1879. Le chêne yeuse ou chêne vert dans le Gard. Nîmes, 162 p.

Reque J, Martin E, 2015. Designing acorn protection for direct seeding of *Quercus* species in high predation areas. *Forest Systems* (sous presse).

Thadani R, 2008. Direct sowing of acorns, a low-cost reforestation technique for the Himalaya. Center for Ecology Development and Research (CEDAR), 20p. http://cedarhimalaya.org/pdf/Direct_seeding_acorn_booklet.324130814.pdf

Smit C, den Ouden J, Díaz M, 2008. Facilitation of *Quercus ilex* recruitment by shrubs in Mediterranean open woodlands. *Journal of Vegetation Science*, 19: 193-200.

Sunyer P, Espelta JM, Bonal R, Munoz A, 2014. Seeding phenology influences wood mouse seed choices: the overlooked role of timing in the foraging decisions by seed-dispersing rodents. *Behavioral ecology and sociobiology*, 68: 1205-1213.

Vallejo, R., Aronson, J., Pausas, G., Cortina, J. 2006. Restoration of Mediterranean woodlands. In "Restoration ecology: the new frontier" Van Andel, J., Aronson, J. (eds), pp. 193-209, Blackwell Science, Oxford, UK.

Van Ginkel HAL., Kuijper DPJ., Churski M, Zub K, Szafranska P, Smit C, 2013. Safe for saplings not safe for seeds: *Quercus robur* recruitment in relation to coarse woody debris in Białowieża Primeval Forest, Poland. *Forest Ecology and Management*, 304:73-79.

Vuillemin J, 1980. Etude expérimentale de la régénération de deux chênes méditerranéens : *Quercus pubescens* et *Quercus ilex*. Thèse Univ. Aix-Marseille, 126p.

Willoughby IH, Jinks RL, Morgan GW, Pepper H, Budd J, Mayle B, 2010. The use of repellents to reduce predation of tree seed by wood mice (*Apodemus sylvaticus* L.) and grey squirrels (*Sciurus carolinensis* Gmelin). *European Journal of Forest Research*, 130: 601-611.

Zadworny M, Jagodziński AM, Łokomy P, Ufnalski K, Oleksyn J, 2014. The silent shareholder in deterioration of oak growth: common planting practices affect the long-term response of oaks to periodic drought. *Forest Ecology and Management*, 318:133-141.

Liste des valorisations effectuées dans le cadre du projet actuel (2012-2014) et de la précédente convention (2009-2011)

Communications et poster

Gavinet J., Prévosto B., Fernandez C., 2015. Rôle des interactions entre plantes pour la régénération des chênes méditerranéens. Congrès des Doctorants en Sciences de l'Environnement. Cassis, 21-22 avril 2015

Prévosto B., Ripert C., Estève R., Guerra F., Lopez JM, Gavinet J., 2014. Diversifier et restaurer les formations forestières méditerranéennes dégradées. Application au cas des pinèdes à pin d'Alep en Provence calcaire. 2ème assises régionales de la biodiversité 27/11/2014, Marseille
Poster

Prévosto B., Gavinet J., Ripert C., Fernandez C., 2014. Identifying the roles of emergence, survival and growth in a regenerating pine forest submitted to a range of disturbance intensities. 5th international conference on Mediterranean pines, Solsona, ESP, 22/09/2014
Communication orale

Gavinet J., Vilagrosa A., Ripert C., Chirino E., Granados ME, Vallejo R., Prévosto B., 2014. Effect of Aleppo pine thinning on development of introduced hardwood species in SE France and SE Spain. 5th international conference on Mediterranean pines, Solsona, ESP, 22/09/2014
Communication orale.

Gavinet J., Vilagrosa A., Prévosto B., Chirino E., Ripert C., Vallejo R., Fernandez C., 2013. Improving Mediterranean forest resilience by pine thinning and introduction of hardwood species. International Conference on Sustainability Science, 18/09/2013, Marseille
Poster

Articles scientifiques

Gavinet J., Vilagrosa A., Chirino E., Granados Me, Vallejo R., Prévosto B., 2015. Hardwood seedling establishment below Aleppo pine depends on thinning intensity in two Mediterranean sites. *Annals of Forest Science*, 72:999-1008.

Prévosto B., Gavinet J., Ripert C., Fernandez C., 2015. Identification of windows of emergence and seedling establishment in a pine Mediterranean forest under controlled disturbances. *Basic and Applied Ecology*, 16: 36-45

Monnier Y., Bousquet-Melou A., Vila B., Prévosto B., Fernandez C., 2013. How nutrient availability influences acclimation to shade of two (pioneer and late-successional) Mediterranean tree species? *European Journal of Forest Research*. 132:325-333.

Prévosto B., Monnier Y., Ripert C., Fernandez C., 2012. To what extent do time, species identity and selected plant response variables influence woody plant interactions? *Journal of Applied Ecology*, 49: 1344-1355.

Prévosto B., Amandier L., Quesney T., De Boisgelin G., Ripert C., 2012. Regenerating mature Aleppo pine stands in fire-free conditions: Site preparation treatments matter. *Forest Ecology and Management*, 282: 70-77.

Monnier Y., Prévosto B., Ripert C., Corbani C., Fernandez C., 2012. Forest microhabitats differentially influence seedling phenology of two co-existing Mediterranean oak species. *Journal of Vegetation Science*, 23: 260-270.

Articles techniques

Prévosto B., Ripert C., Gavinet J., Estève R., Lopez J.M., Guerra F., Audouard M. Travaglini C., 2016. Plantation de chênes méditerranéens avec accompagnement ligneux : amélioration de la forme mais réduction de la croissance. *Forêt Méditerranéenne*, t. XXXVII, n° 1, 1-8.

Prévosto B., Reque J.A., Ripert C., Gavinet J., Estève R., Lopez J.M., Guerra F., 2015. Semer les chênes méditerranéens *Quercus ilex*, *Quercus pubescens* : pourquoi, comment et avec quelle réussite ? *Forêt méditerranéenne* 36(1): 1-14

Prévosto B., Amandier L., Quesney T., De Boisgelin G., Ripert C., 2012. Régénérer efficacement les peuplements de pin : des travaux souvent indispensables ! L'exemple des peuplements à pin d'Alep en zone méditerranéenne. *Forêt Méditerranéenne*, t XXXIII, 4: 1-10.

Visites du site expérimental de St-Mitre

-Visite du site de St-Mitre lors des journées de l'Ingénierie Ecologique le 3/06/2012
Sous l'égide du CNRS <http://www2.cnrs.fr/presse/communiqu/2617.htm>

-Visite du site de St-Mitre lors des journées de l'Ingénierie Ecologique le 29/06/2014
Sous l'égide du CNRS

-Visite du site par les étudiants Erasmus, summer school Soil an Plant Ecology and Management piloté par Univ. Aix-Marseille, 12/09/2014

-Visite du site par des étudiants en master allemands (Université de Iena), 28/05/2015.