

# PROJET VULNERABILES

QUELLES RESSOURCES GÉNÉTIQUES AU SEIN DU  
GENRE ABIES POUR FAIRE FACE AUX  
CHANGEMENTS CLIMATIQUES ?



## CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

Le sapin pectiné (*Abies alba*) est très sensible à la sécheresse atmosphérique et édaphique (Fig. 1). Les simulations d'évolution des aires potentielles sont d'ailleurs très inquiétantes pour cette espèce. Des baisses de productivité et des dépérissements sont d'ores et déjà observés en Méditerranée car la succession des sécheresses y a impacté sa croissance. Ces dépérissements posent dès aujourd'hui des questions pour la gestion forestière dans ces zones, mais aussi sur la place de cette essence dans le reste de la France dans un avenir plus ou moins proche. Sur le long terme, il semble que les caractéristiques écophysiologiques du sapin pectiné le rendent trop vulnérable aux sécheresses et aux fortes températures attendues. Il est donc aussi nécessaire de réfléchir à l'évolution de nos sapinières vers des forêts plus adaptées aux nouvelles conditions.

Le réseau AFORCE avait pour objectif l'utilisation du sapin pectiné comme un cas d'étude permettant d'affiner une méthodologie générique de recherche de ressources génétiques adaptées au changement climatique.

## CONTENU DU PROJET

OUVRAGE  
TECHNIQUE



RAPPORT  
SCIENTIFIQUE

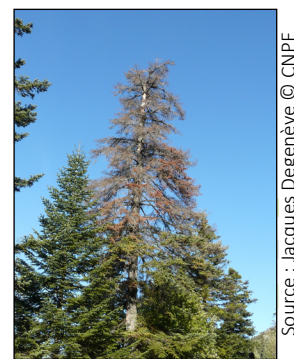
OUTIL  
OPÉRATIONNEL

OUTIL DE  
RECHERCHE

Ce projet vise à accroître les connaissances sur deux axes d'adaptation : l'utilisation de provenances moins vulnérables à la sécheresse, mais aussi d'autres espèces du même genre, comme les sapins méditerranéens notoirement plus résistants. Les différents sapins méditerranéens présentent des niveaux de résistance à la sécheresse et une sensibilité aux gelées printanières très contrastés qui doivent être prise en compte afin d'éviter tout écueil.

**Le projet se scinde en trois parties :**

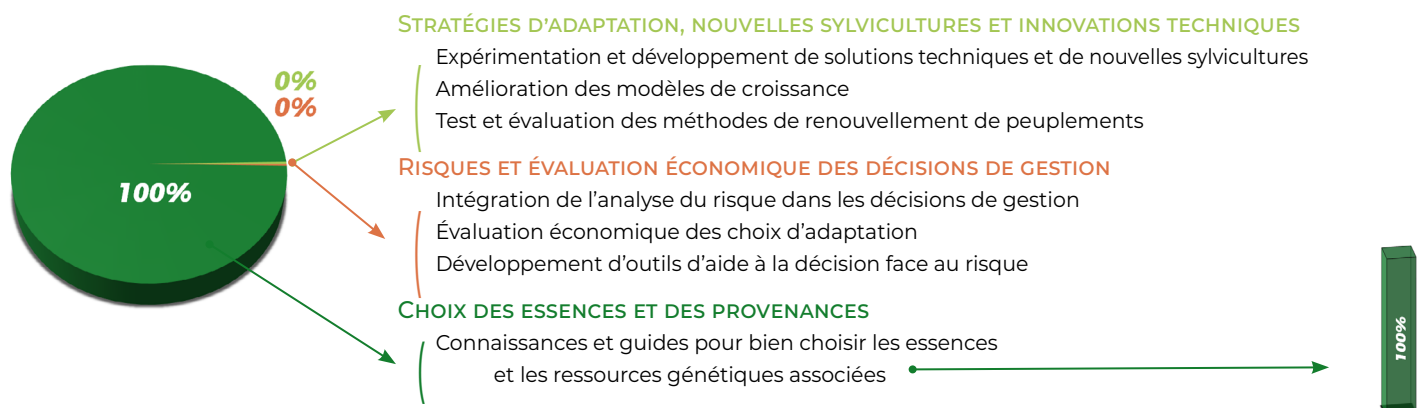
- Une comparaison des provenances d' *Abies Alba* ;
- Une comparaison d'espèces au sein du genre *Abies* ;
- Une comparaison des provenances d' *Abies Cephalonica*.



Source : Jacques Degenève © CNPF

Figure 1 : Photographie d'un sapin pectiné dépérissant.

## CONTRIBUTION DU PROJET AUX THÉMATIQUES D'AFORCE



## PARTENAIRES DU PROJET



## DISPOSITIFS ET ANALYSES

### Méthodologie

La 1<sup>re</sup> étape a consisté à faire un bilan des dispositifs existants avec une caractérisation des sites de plantation ainsi qu'une liste des ressources génétiques testées et des mesures effectuées.

La 2<sup>d</sup> étape a permis de réaliser en 2010 de nouveaux inventaires sur des dispositifs mesurés à la fin des années 1990, soit sept plantations comparatives (Fig. 2).

Enfin, la dernière étape a été, sur un sous-échantillon de dispositifs et de régions de provenances, de réaliser des mesures complémentaires des largeurs de cernes et de hauteur pour rechercher des indicateurs fiables de la vulnérabilité éventuelle des provenances aux changements climatiques.

Les dispositifs comparatifs d'*Abies alba* sont Sagnassols (34) et les chauvets (48). Le dispositif comparatif d'espèces du genre *Abies* est le Treps-1 (83). Les dispositifs comparatifs de provenances d'*Abies cephalonica* sont Treps-2 (83), Pelenq (83) et la Livinière (34) (Fig. 3).

Site	Latitude - Longitude	Altitude (m.)	Espèces	Type	Blocs	Unités Génétiques	Taille (ha)	Nombre initial de plants	Opérations sylvicoles	Date d'opération(s)
Sagnassols (34)	43°54' - 2°73'	973	<i>A. alba</i>	mono-arbre	32	32	0.42	1056	Une éclaircie systématique (1 ligne sur 5) suivie d'une éclaircie sélective et sanitaire	2007
Chauvets (48)	44°30' - 3°22'	1050	<i>A. alba</i>	Bloc incomplet		20	2.70	6778	Une éclaircie systématique (1 ligne sur 6) suivie d'une éclaircie sélective et sanitaire	2007
Le Treps - 1 (83)	43°10' - 6°10'	575	<i>A. Cephalonica</i>	Bloc incomplet	4	15	0.73	1570	Aucune éclaircie	
			<i>A. nordmanniana</i>							
			<i>A. bormulleriana</i>							
			<i>A. pinsapo</i>							
			<i>A. numidica</i>							
			<i>A. concolor</i>							
Le Treps - 2 (83)	43°10' - 6°10'	575	<i>A. Cephalonica</i>	Bloc incomplet	20	16	2.03	5760	Deux éclaircies. Une éclaircie systématique (1 ligne sur 3) suivie d'une éclaircie sélective et sanitaire. Une éclaircie sélective uniquement sur la partie B du dispositif.	1991 puis 2009-2010
			<i>C. atlantica</i>							
			<i>A. concolor</i>							
Pelenq (83)			<i>A. Cephalonica</i>	Bloc incomplet	20	16	2.28	5760	Aucune éclaircie mais l'inter-bande (abri latéral) a été enlevée 2 fois	1980 puis 1992
			<i>C. atlantica</i>							
			<i>A. concolor</i>							
Livinière (34)	43°23' - 2°40'	450	<i>A. Cephalonica</i>	Bloc incomplet	20	16	2.04	5120	Une éclaircie systématique (1 ligne sur 3) suivie d'une éclaircie sélective et sanitaire	1992
			<i>C. atlantica</i>							
			<i>A. concolor</i>							

Figure 2 : Liste des dispositifs remesurés dans le cadre du projet.

Unité génétique	Espèce	Pays	Région	Altitude moyenne
AMAN	<i>A. Cephalonica</i>	France	Artificielle	
BROM	<i>A. Cephalonica</i>	Grèce	Parnasse	1800
ITAL	<i>A. Cephalonica</i>	Italie	Artificielle	
KAPO	<i>A. Cephalonica</i>	Grèce	Mainalon	1300
KORO	<i>A. Cephalonica</i>	Grèce	Parnasse	1500
KOLO	<i>A. Cephalonica</i>	Grèce	Parnasse	1500
			Pinde	
KRAS	<i>A. Cephalonica</i>	Grèce	Furna	1200
LAGA	<i>A. Cephalonica</i>	Grèce	Mainalon	750
MEVR	<i>A. Cephalonica</i>	Grèce	Parnasse	1220
			Pinde	
PALE	<i>A. Cephalonica</i>	Grèce	Furna	900
PRIL	<i>A. Cephalonica</i>	Grèce	Taygète	1450
SACR	<i>A. Concolor</i>	Etats-Unis	Colorado	
SEVA	<i>A. Cephalonica</i>	Turquie	Bolu	
VENT	<i>C. atlantica</i>	France		
VLAH	<i>A. Cephalonica</i>	Grèce	Mainalon	1300
XERO	<i>A. Cephalonica</i>	Grèce	Taygète	1200

Figure 3 : Liste des unités génétiques testées.

### Analyses

#### Évaluation de la compétition

Suivant Cailleret (2011)<sup>1</sup>, deux indices dépendants de la distance ont été utilisés pour évaluer la compétition entre arbres (voir les équations 1 et 2).

Avec comme indicateurs : un niveau de compétition subi par un arbre *i* ( $Cl_i$ ) calculé à partir de son diamètre ( $dbh_i$ ), celui du voisin *j* ( $dbh_j$ ) et la distance les séparant ( $d_{ij}$ ), en considérant tous les arbres (*n*) dans un rayon (*r*) autour de l'arbre (*i*) considérés comme compétiteurs.

$$\text{Équation 1} \quad Cl_{\text{Hegyi}, i} = \sum_{j=1}^n \frac{dbh_j / dbh_i}{d_{ij}}$$

$$\text{Équation 2} \quad Cl_{\text{MAEK}, i} = \frac{1}{dbh_i} \sum_{j=1}^n (dbh_j \times \exp \left[ -\frac{16 \times d_{ij}}{dbh_i + dbh_j} \right])$$

#### Évaluation des taux de mortalité annuelle

Le taux de mortalité annuelle (*m*) se définit grâce à l'équation suivante (calculée à partir de l'intervalle entre les années de mesure).

$$\text{Équation 3} \quad N_{y+n} = N_y (1 - m)^n \text{ et } m = 1 - \left( \frac{N_{y+n}}{N_y} \right)^{\frac{1}{n}}$$

#### Analyse de la variabilité spatiale de la fertilité :

Un modèle linéaire de la hauteur centrée réduite ( $H'$ ) en fonction des coordonnées (*x*, *y*) des arbres a été utilisé, en rajoutant un effet bloc dans les modèles si celui-ci est significatif.

#### Analyse de la croissance et de la mortalité à partir des inventaires

**Première série d'analyses :** Analyse de variance (ANOVA) pour étudier les effets de la provenance et du bloc sur la croissance.

Deux modèles ont été considérés : un modèle linéaire et un modèle hiérarchisé à effets fixes.

**Seconde série d'analyses :** Régression logistique (lm et glm) pour étudier les facteurs expliquant les causes de la mortalité.

Plusieurs modèles ont été considérés successivement.

#### Analyse de carottes

Les carottes ont été analysées selon le protocole Cailleret et Davi<sup>2</sup> sur le logiciel CDendro.

Un modèle linéaire a été utilisé avec l'indice de compétition comme cofacteur pour regarder l'effet des provenances et des pays d'origine sur les variables dendrométriques :

- Largeur moyenne des cernes ;
- Sensibilité au climat et coefficient de Gini après avoir utilisé la fonction detrend (mode spline) ;
- Résistance à la sécheresse (croissance année sèche / croissance des 10 années précédentes) ;
- Résilience à la sécheresse (croissance année sèche / croissance des 10 années suivantes) ;
- Effet coupe (croissance après coupe / croissance avant coupe).

## Provenances d'*Abies alba*

### Sagnassols provenances issues de différents pays européens

Il existe sur ce site un fort gradient de fertilité d'ouest en est observable. Les variations de croissance sont avant tout déterminées par la compétition pour la lumière et intervient ensuite un effet provenance à hauteur de 10 %. La mortalité comprise entre 6 et 35 % selon les provenances, s'explique surtout par la compétition et l'effet provenance est faible (3 % de la variance). Les provenances autrichiennes et bulgares sont celles présentant le plus de mortalité, celles polonaises et danoises le moins. Plus les provenances présentent une faible croissance, plus la mortalité y est élevée. Les provenances française (la JouxIII), la provenance autrichienne (Triebe) et yougoslave (Laze) sont plus résistantes à la sécheresse. Une provenance italienne (Serra San Bruno) a des largeurs de cernes plus fortes.

### Les Chauvets provenances issues de différentes régions françaises

L'accroissement des arbres est significativement impacté par le bloc, la provenance et le niveau de compétition à courte distance. Les effets spatiaux ne sont pas significatifs. L'accroissement augmente avec l'altitude de la provenance et est plus faible pour les provenances de la région sud. La mortalité, relativement faible, 4,6 % en 15 ans, s'explique par la compétition, puis par les blocs et enfin par la provenance. La provenance d'Ardèche (SJEU) présente une mortalité significativement plus forte que les autres. La mortalité diminue avec l'altitude de la provenance. Par contre, les différences entre régions ne sont pas significatives. Il n'y a pas de lien entre largeurs de cerne moyennes et mortalité.

## Comparaison d'espèces du genre *Abies*

### Le TREPS - 1 comparaison de différentes espèces issues du bassin méditerranéen

Aucun gradient spatial n'a été détecté. La corrélation croissance - compétition est plus faible que sur les autres sites. La compétition y est plus forte dans le bloc 2. Le taux de mortalité moyen est assez élevé sur le dispositif (48%).

Il varie entre deux groupes d'espèces :

a) *A. numidica*, *A. equi-trojani* et *A. concolor* ont une forte mortalité ; b) *A. bornmuelleriana*, *A. cilicica*, *A. nordmanniana*, *A. cephalonica* ont une faible mortalité ; *A. pinsapo* a une mortalité intermédiaire. *A. concolor* est l'espèce dont la croissance baisse le moins avec la sécheresse et *A. bornmuelleriana* celle qui diminue le plus. Aucune différence entre espèces n'a été notée pour ce qui est de la résilience.

## Provenances d'*Abies Cephalonica*

### Le Treps - 2, Pelenq, Livinière

Nous observons un fort effet bloc pour l'accroissement sur les trois sites. Cet effet bloc est plus fort que l'effet provenance à la Livinière et au Treps, mais pas à Pelenq. L'accroissement d'*A. cephalonica* est beaucoup plus faible à la Livinière qu'au Treps et à Pelenq et est plus faible au Treps qu'à Pelenq. *A. cephalonica* a une croissance plus importante que *C. Atlantica* et *A. nordmanniana*, qui n'ont pas de différence entre eux. L'effet provenance (région de provenance et son altitude) d'*A. cephalonica* est significative, mais l'effet provenance n'est pas le même selon le dispositif. La croissance est plus faible pour les provenances venant de Pinde Fournas et plus forte pour Mainalon et Parnasse. La mortalité est la plus faible à Pelenq (4,4 % sur 20 ans), et elle est plus forte au Treps (22,1 % sur 20 ans) qu'à la Livinière (13,3 % sur 20 ans). En moyenne, les provenances PRIL et XERO présentent une plus forte mortalité et celles de MEVR et KORO en ont une plus faible, mais le classement des provenances selon leur vulnérabilité change selon les dispositifs. La sensibilité de la croissance au climat est plus forte à Pelenq pour les provenances présentant peu de mortalité, mais plus forte à la Livinière pour celle présentant le plus de mortalité.

## LES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

Pour *A. alba*, il existe un seuil de sécheresse attendu au-delà duquel cette espèce risque de présenter de fortes mortalités. Dans ces sites, *A. cephalonica*, *A. bornmuelleriana* et *A. nordmanniana* semblent bien adaptés comme nous le montrent les résultats sur les sites secs du Treps. Mais, il est nécessaire de tenir compte de la plus grande précocité du débourrement d'*A. cephalonica* et des risques de gelées tardives. Sur les sites plus septentrionaux comme les Chauvets, il est plutôt recommandé de choisir des provenances de haute altitude débouillant tardivement pour éviter les fourches qui sont la conséquence des gelées.

La largeur de cerne moyenne et la sensibilité au climat sont deux indicateurs potentiellement intéressants pour évaluer la vulnérabilité des provenances.

Mais, pour mieux comprendre les effets de la diversité génétique sur la croissance et la mortalité, nous avons besoin de plus de connaissances concernant leurs réponses physiologiques au stress hydrique et au froid.

## PUBLIC CIBLE ET FINALITÉ DU PROJET

Difficulté d'appropriation :  FAIBLE  MOYENNE  FORTE Absence de cette finalité pour ce public :

FINALITÉ PUBLIC CIBLE	Gestion	Recherche et développement	Pédagogie
	Outils et recommandations	Outils et création de contenu	Acquisition des connaissances
Propriétaires forestiers	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Personnel forestier technique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Acteurs de la recherche et du développement	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Étudiants de l'enseignement supérieur	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Étudiants de l'enseignement technique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Cet outil sert à former et à faire avancer les réflexions des acteurs de la recherche et du développement (actuels et futurs) sur les questions traitant des essences et provenances en contexte de climat changeant.

## CASTING

Le coordinateur du projet est M. Hendrik Davi (INRAE Avignon).

Ce projet a été mené avec la participation de M. Bruno Fady, M. Denis Vauthier, M. Christian Pichot, Mme Céline Emberger, Mme Hélène Parizat, M. Nicolas Mariotte, M. William Brunetto, M. Pierre Panteix et Mme Mariem Memah (URFM) ; Mme Nathalie Bréda, Mme Hélène Genet et M. Pierre Legroux (EEF & UEFL) ; Mme Christel Anger (PlantaComp) ; M. Jean Ladier et Mme Brigitte Musch (ONF) et enfin M. Pierre Gonin (CNPFF-IDF).

## POUR OBTENIR PLUS D'INFORMATIONS

Plus d'informations sur la [page projet VULNERABILES](#) du RMT AFORCE.

<sup>1</sup> Cailleret Maxime (2011). Causes fonctionnelles du dépérissement et de la mortalité du sapin pectiné en Provence. Thèse de Doctorat de l'Université Paul Cézanne. Ecole Doctorale Sciences de l'environnement.

<sup>2</sup> Cailleret M., Davi H. (2011). Effects of climate on diameter growth of co-occurring *Fagus sylvatica* and *Abies alba* along an altitudinal gradient. *Trees - Structure and Function* 25 (2) 265-276.

## FINANCEURS DU PROJET