



HAL
open science

**Atelier sur la transformation de dispositifs
expérimentaux en structure de production de MFR ou
en unité de conservation de ressources génétiques:
Guide de bonnes pratiques**

Jean-Charles Bastien, Francois Lefèvre, Luc E. Pâques, Leopoldo Sanchez

► **To cite this version:**

Jean-Charles Bastien, Francois Lefèvre, Luc E. Pâques, Leopoldo Sanchez. Atelier sur la transformation de dispositifs expérimentaux en structure de production de MFR ou en unité de conservation de ressources génétiques: Guide de bonnes pratiques. INRA. 2019. hal-04216348

HAL Id: hal-04216348

<https://hal.inrae.fr/hal-04216348>

Submitted on 24 Sep 2023

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.

**Atelier sur la transformation de
dispositifs expérimentaux en structure
de production de MFR ou en unité de
conservation de ressources génétiques**

Guide de bonnes pratiques

Elaboré par INRA, CIRAD, FCBA, GIE SFA, IRSTEA et ONF

Paris – MAA - 20 mars 2019

*Coordination : Jean-Charles Bastien, François Lefèvre,
Luc Pâques, Leopoldo Sanchez*

**Test de descendance de Mélèze
d'Europe *polonica* (Bort - 87)**





Test de provenances de
chêne rouge (Ibos - 65)



Test de provenances descendances de
Sapin de Céphalonie (St Lambert -84)

Atelier sur la transformation de dispositifs expérimentaux en structure de production de MFR ou en unité de conservation de ressources génétiques

Guide de bonnes pratiques

Elaboré par INRA, CIRAD, FCBA, GIE SFA, IRSTEA et ONF

Paris – MAA - 20 mars 2019

Coordination : Jean-Charles Bastien, François Lefèvre, Luc Pâques, Leopoldo Sanchez

Introduction

Dans le cadre des actions prévues au volet 3 de la convention "Conservation et Sélection de Ressources Génétiques Forestières" l'INRA (JC Bastien & L. Pâques UMR BioForA Orléans, F. Lefèvre URFM Avignon,) a organisé, à Paris (MAA) le 20 mars 2019, un atelier de réflexion sur la transformation de dispositifs expérimentaux en structures de production de graines ou en unités de conservation. Les vingt et une personnes qui ont participé à cet atelier, représentaient les organismes suivants: MAA (1), INRA (13), CIRAD (1), FCBA (2), GIE Semences Forestières Améliorées (SFA) (1), IRSTEA (3) et ONF (1). La liste complète des participants figure en [annexe 1](#).

Cette réflexion se place dans la continuité de bilans réalisés, et pour certains en cours, avec le soutien du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA), sur les variétés forestières améliorées (VFA) et leur déploiement en France. On peut citer entre autre :

- Variétés forestières améliorées – Réflexions à l'horizon 2020 (Coord. E. Teissier du Cros – INRA, 2001)
- Qualification des variétés forestières améliorées et des peuplements sélectionnés (Coord. B. Heois – IRSTEA, 2002)
- Reproduction sexuée des conifères et production des semences en vergers à graines (Coord. G. Philippe – IRSTEA, 2006)
- Variétés Forestières Améliorées – Pour une forêt d'avenir (Coord. GIE SFA - 2013)
- Conseils d'utilisation des matériels forestiers de reproduction (Coord. IRSTEA – actualisés depuis 2003).

Par ailleurs, la section technique Arbres Forestiers du CTPS a mis en place en 2017 un groupe de travail intitulé "Matériels Forestiers de Reproduction (MFR) et relance du reboisement" (Coord. C. Ginisty – IRSTEA), dont l'objectif est de faire un état des lieux du dispositif actuel de production de MFR afin d'évaluer en quoi ce dispositif est compatible avec une relance/reprise des reboisements dans les années à venir. Parmi les leviers identifiés par ce groupe de travail pour répondre à une demande en MFR croissante en quantité et en diversité, figure la **transformation de dispositifs expérimentaux en sources de graines**.

La conversion d'un dispositif expérimental en source de production de MFR peut constituer en effet une valorisation d'un travail de long terme réalisé par les instituts de R&D en devenant le point d'aboutissement d'une expérimentation souvent unique en son genre par la nature de l'espèce (souvent "secondaire"), la nature du pool génétique (parfois d'acquisition difficile) ou la nature du site (éventuellement atypique) dans lequel cette expérimentation a été mise en place. Cette conversion présente un grand nombre d'avantages, mais aussi de risques associés, dont les principaux sont les suivants :

- La conversion d'un dispositif expérimental en source de production de MFR, permet, sans investissement excessif, de mettre rapidement sur le marché des semences (ou créer un conservatoire de ressources génétiques) pour des espèces "secondaires" pour lesquelles il n'existe pas (ou pas encore) de structure "conventionnelle" de production de graines (ou d'unités conservatoires). Cela peut concerner également des espèces « primaires » pour diversifier les sources de graines actuellement disponibles. D'un autre point de vue, cela peut venir en concurrence des VFA issues de programmes d'amélioration à long terme, qui optimisent gain génétique et diversité, sur un marché limité.
- Dans certains cas, notamment lorsque le dispositif est situé en station atypique, voire extrême pour l'espèce (ex. station d'altitude / en climat chaud et sec / en zone infectée), il est possible de mettre à profit la sélection naturelle pour produire de la semence d'une population localement mieux "adaptée" (land race). D'un autre point de vue, les sites d'installation propices à l'expérimentation ne sont pas toujours propices à la production grainière ou à la récolte des graines.
- Dans le cas de dispositifs multi-provenances, il est possible de tirer profit de la juxtaposition de populations qui naturellement peuvent être distantes géographiquement ou génétiquement afin de produire les semences d'une population synthétique, dotée d'une grande diversité génétique (hybrides inter-populations, voire interspécifiques). D'un autre point de vue, l'élimination de provenances indésirables qui pourraient subsister au sein du dispositif expérimental peut conduire à générer des trouées qu'il faudra gérer du point de vue sylvicole et éventuellement susceptibles d'affecter les flux de gènes au sein du futur verger.
- Pour certaines espèces (ex. Douglas) la propagation végétative d'arbres adultes suppose la disponibilité en porte-greffes compatibles au greffage. La conversion d'un test en structure de production de gaines ou de conservation supprime cette contrainte.
- Sous réserve de disposer d'informations suffisantes sur les géotypes testés, un test "génétique" peut, avec accord du CTPS, obtenir une homologation dans une catégorie réglementaire prévue par la [directive 1999/105/CE](#) du Conseil de l'Union Européenne, concernant la commercialisation des MFR.

En réunissant des partenaires de différents organismes impliqués dans la filière "ressources génétiques – graines – plants forestiers", la présente réunion avait pour objectif d'aboutir à un guide de bonnes pratiques pour convertir un test comparatif de géotypes (au sens large) en source de graines, prenant en compte les aspects scientifiques, opérationnels et réglementaires. Les questions posées sont de trois ordres :

- Quelles sont les conditions initiales requises pour que les bénéfices attendus soient supérieurs aux risques associés ?
- Lorsque la décision de conversion est prise, comment procéder au mieux ?
- Pour les prochaines expérimentations à mettre en place, faut-il mettre quelques contraintes au plan d'expérience afin d'anticiper une éventuelle conversion ultérieure ?

Le présent compte rendu s'articule autour des deux grands volets que comportait la réunion :

- Matin :
 - Éléments de contexte sur les structures de production de graines forestières en France,
 - Aspects scientifiques sur le fonctionnement d'un verger à graines (VG)
 - Projets de conversion réalisés ou en cours et espèces susceptibles d'être concernées par la transformation de dispositifs expérimentaux en sources de graines

- Après- midi :
 - o Bilan des avantages et limites de la transformation de dispositifs expérimentaux en sources de semences,
 - o Points clé à envisager avant le lancement et lors de la mise en œuvre d'un projet de conversion
 - o Aspects réglementaires liés à la diffusion des MFR qui en sont attendus.

Eléments de contexte sur la production de MFR sous forme de graines en France

Dans sa présentation (Cf. [annexe 2](#)), Joël Conche (GIE SFA) rappelle que la France utilise actuellement pour ses reboisements 70 millions plants par an (62 millions résineux et 8 millions feuillus). La DGPE¹ publie chaque année les résultats d'une [enquête sur le nombre de plants vendus](#) de 79 espèces forestières. Pour la plupart des espèces résineuses dépassant le million de plants vendus par an², les graines sont produites en VG à hauteur de 60 à 100% des besoins. Trois exceptions cependant : Chêne sessile, Pin taeda et Epicéa de Sitka. A l'inverse, 7% du marché des MFR impliquent 45 espèces et, pour la moitié d'entre elles, les besoins en graines sont inférieurs à 3 kg par an.

Joel Conche rappelle ensuite tout l'intérêt que présentent les VG pour le GIE SFA : concentration des récoltes sur un petit nombre de sites, accessibilité, sécurité et traçabilité des récoltes, maîtrise de la fructification et de la surveillance sanitaire. Tous ces avantages représentent néanmoins des charges importantes réparties entre le MAA et le GIE : environ 850 € par an et par ha productif de verger³ (hors investissements : achat du terrain, fourniture des plants, mise en place du verger et entretiens sur le 8 premières années)..

En conclusion, Joël Conche dresse une liste de points sur lesquels les créateurs et gestionnaires des futurs vergers devront porter leur attention : dimensionnement (en fonction des marchés), sites adaptés (sol, climat, isolement pollinique, etc.), renouvellement régulier. Il ajoute que ce n'est pas le marché des MFR d'aujourd'hui qui doit guider la préparation et la mise en place des sources de graines de demain mais plutôt les prévisions de marché futur (avec toutes leurs incertitudes).

Eléments conceptuels sur la génétique des vergers à graines

En introduction de sa présentation ([annexe 3](#)) L. Sanchez rappelle qu'un VG représente une population de production de semences dont le matériel de base (géniteurs) est extrait d'une population d'amélioration gérée sur le long terme. Un VG constitue donc un point d'aboutissement d'un stade d'amélioration génétique de cette population. Contrairement aux choix de sites d'évaluation de la population d'amélioration, les critères pris en compte pour un futur VG sont axés sur la fonction de "reproduction" : sol, climat, isolement vis-à-vis de la contamination pollinique.

On considère généralement deux types de VG :

- VG de clones : constitué de copies végétatives (ramets) d'individus "élite" de la population d'amélioration. Le gain génétique attendu des MFR produits par un VG de clones est directement lié à

¹ Direction générale de la performance économique et environnementale des entreprises (une des quatre Directions Générales du MAA).

² Nombre de plants forestiers commercialisés en 2017/2018 (source MAA) : Pin maritime (40 millions), Douglas (10 millions), Chêne sessile (3,3 millions), Epicéa commun (2,4 millions), Mélèzes (2 millions), Pin taeda (1,9 millions), Epicéa de Sitka (1 million).

³ Sans compter l'investissement pour l'acquisition du foncier, la production de plants, plantation (18keuros) et l'entretien soigné des 8 premières années (2000 euros).

la "qualité" de la sélection des constituants. Les ramets étant plantés à espacement quasi définitif, ce gain génétique évoluera peu par éclaircie génétique au cours de la vie du VG.

- VG de familles : constitué de semis de familles ½ frères ou plein frères d'individus "élite" de la population d'amélioration. Ces semis étant plantés à forte densité, le gain génétique attendu des MFR produits par un VG de familles évoluera significativement grâce aux éclaircies génétiques qui seront réalisées au cours de la vie du VG.

L. Sanchez met ensuite l'accent sur la diversité génétique des géniteurs, un paramètre important qui, au même titre que leur mérite, contribue à la "qualité" des MFR. La diversité génétique est souvent exprimée en nombre efficace de géniteurs⁴ (N_e). Appliqué à un VG, ce paramètre, tient compte du nombre de géniteurs (clones ou familles), des relations d'apparentement entre ces derniers et de leur contribution gamétique (floraison, fructification). L. Sanchez montre que de faibles écarts à l'équilibre des contributions (équi-contribution des géniteurs) se traduisent par une diminution très significative du N_e . Pour fixer les idées, un écart systématique de 10% dans une série de contributions décroissantes divise en gros N_e par 2 (voir [annexe 3](#) diapo 6). Parmi les leviers possibles pour renforcer le nombre efficace on peut citer :

- Installation d'un nombre élevé de génotypes
- Positionnement spatial des géniteurs maximisant la distance entre apparentés
- Induction de la floraison chez les espèces à floraison récalcitrante ou irrégulière
- Mélange de graines de différentes années de récoltes

L. Sanchez signale que des logiciels sont disponibles pour préparer la distribution spatiale des clones dans un verger à graines en vue maximiser le nombre des recombinaisons parentales⁵.

L. Sanchez signale en conclusion l'impact de la stratégie adoptée pour conduire la population d'amélioration sur l'hétérogénéité des MFR engendrés par les populations de production résultantes. Sans entrer dans les détails, une stratégie d'amélioration en population conduite en lignée simple engendre des MFR plus homogènes pour les caractères sélectionnés qu'une stratégie basée sur une population d'amélioration subdivisée en lignées. Ce phénomène est équivalent à la ségrégation au sein des descendances, retrouvée après croisement de lignées parentales distantes.

L. Bouffier complète ces éléments en présentant des résultats d'observations sur l'impact de la pollution pollinique et des contributions parentales sur le gain génétique et la diversité des MFR produits en VG ([annexe 4](#)). Il rappelle qu'en cas de pollution pollinique, le gain réel équivaut au gain théorique diminué en proportion de la moitié du taux de pollution⁶. Ainsi, avec un taux de pollution de 60% (issue de parents avec un gain nul): un gain théorique de 30% donnera un gain "réel" de 21% seulement. Plusieurs études basées sur des génotypages de parents et de descendants (marqueurs microsatellites et SNP) ont permis d'évaluer les taux de pollution dans des VG de clones de Pin maritime, Douglas et Mélèze (projet QUASEGRAINE). Les résultats sont présentés ci-après.

⁴ $N_e = \frac{1}{2(\sum(P_i P_j c_{ij}))}$ 0,5 / $\sum(P_i P_j c_{ij})$ où P_i = contribution gamétique du parent i ; P_j = contribution gamétique du parent j ;
 c_{ij} = coefficient d'apparentement entre les parents i et j

⁵ Voir par exemple : K. Chaloupkova; J. Stejskal; Y. El Kassaby, M. Lstiburek. 2016. Optimum neighborhood seed orchard design. *Tree Genetics & Genomics* 12:105; 7 p.

⁶ Gain réel = Gain théorique $\left(1 - \frac{\text{taux de pollution}}{2}\right)$

Deux études conduites sur des VG de Pin maritime VF2 dans 4 zones disposées suivant un axe ouest-est, ont montré que le taux de contamination moyen est de 37%. Selon les VG, ce taux peut varier de 32 à 81%. Sur trois VG VF3 le taux observé a varié de 20 à 96 % selon les VG et les années.

Une grande variabilité du taux de pollution a également été observée dans 2 VG de Douglas et un VG de Mélèze d'Europe :

- Douglas VG Darrington: 34% en 2012⁷ et 49% en 2016;
VG France2: 6% en 2012 et 40% en 2016
- Mélèze VG le Theil : 16 à 42% selon les années

En termes de contributions parentales, d'importants déséquilibres ont également été observés dans les VG des trois espèces :

- Douglas VG Darrington (70 clones) : 0,1 à 11,7% selon les clones; 6 clones ne contribuent pas.
VG France2 (138 clones) : 0.1 à 5.8% selon les clones; 14 clones ne contribuent pas.
- Mélèze VG Le Theil : (177 clones) : selon les années 95 à 111 clones contribuent et 15 clones ne contribuent jamais
- Pin maritime Tous les clones contribuent en tant que père à la descendance, de façon très hétérogène. Cette contribution est indépendante du nombre de ramets par clone, présents dans le VG.

Conclusion : l'isolement pollinique est un facteur prioritairement pris en compte lors de la décision de certifier les matériels de base de futurs MFR. Pour des matériels de base de type "peuplement", en cas de non (ou mauvais) isolement, ce peut être un facteur d'exclusion notamment lorsque les peuplements qui environnent des peuplements autochtones/indigènes à classer sont non autochtones/non indigènes ou d'origine inconnue. Dans le cas des VG la présentation ci-dessus démontre l'importance du choix d'un site isolé de contamination pollinique.

Projets de conversion de dispositifs expérimentaux en structures de production de semences

A ce jour, deux vergers à graines admis en catégorie qualifiée sont issus, l'un de la conversion d'un test de provenances (Sapin de Céphalonie – INRA), l'autre de la transformation d'un test de descendances (Pin taeda – FCBA). Un projet très avancé concerne la transformation de tests de provenances INRA de Chêne rouge.

Au cours de la présente réunion, les projets de conversion de deux dispositifs ont été présentés en détail: Sapin de Céphalonie (réalisé) et Chêne rouge (en cours):

Test de provenances descendances Sapin de Céphalonie de Saint Lambert (présentation de B. Fady et C. Scotti-Saintagne – Cf. [annexe 5](#))

Le test de provenances descendances de Saint Lambert (Vaucluse) fait partie d'un groupe de trois tests plantés en 1981 avec des ressources génétiques provenant des meilleures origines grecques identifiées dans une série de tests de provenances plantés dix ans plus tôt. Six provenances sont représentées : île de Céphalonie, Massif de l'Erymanthe, Massif du Mainalon, Massif du Parnon, Massif du Taygète et île d'Eubée. Planté sur 6 ha à 650 m d'altitude, ce test a fait l'objet de mesures de survie, croissance et phénologie. Ce test a mis en évidence une excellente résistance du Sapin



⁷ 2012 était une année de faible floraison

de Céphalonie à la sécheresse (provenance Evia notamment). En 30 ans, la mortalité naturelle a ramené l'effectif initial de 5856 plants à 3546 aujourd'hui.

Depuis 2003, les arbres de ce test de provenances descendance fructifient régulièrement (en moyenne tous les 3 ans), avec un taux de graines pleines de l'ordre de 40%. La parcelle est par ailleurs isolée de toute contamination pollinique par d'autres sapins. Compte tenu de la surface de la parcelle (4 ha), la production en graines attendue est suffisante pour satisfaire les besoins des reboiseurs français⁸.

En septembre 2017, la conversion du test de provenances descendance de Sapin de Céphalonie de Saint Lambert a été proposée à la section Arbres Forestiers de CTPS qui a validé son admission en catégorie qualifiée sous forme d'un verger à graines de clones. En effet, il était impossible d'utiliser la dénomination VG de familles, car dans la zone périphérique du test, les arbres ne sont pas identifiés par familles. Les individus étant tous identifiés par provenance, c'est la dénomination VG de clones qui a été préférée, chaque clone n'étant représenté que par un seul ramet. Les MFR issus de ce verger sont destinés aux zones d'utilisation suivantes :

- Au-dessus de 600 m en région à influence méditerranéenne
- Au-dessus de 300 m en région à influence continentale (Massif central, Est de la France)

Tests de provenances de chêne rouge (présentation de A. Ducouso – Cf. [annexe 6](#))

Originaire de l'est de l'Amérique du nord, le Chêne rouge a été très planté sous l'égide du Fonds Forestier National. Il constitue actuellement l'essence principale sur 57 000 ha de forêts en France. Beaucoup d'erreurs commises lors des plantations (choix inapproprié de station et de sylviculture) ont entraîné un désintérêt des reboiseurs pour le Chêne rouge (300 000 plants vendus en 2017/2018 contre 8 millions en 1988). Actuellement les seules sources de MFR sont les peuplements sélectionnés (72 au total).

L'INRA a installé en France entière une vingtaine de tests de comparaison de provenances et/ou de descendance. A. Ducouso présente une liste de 10 tests de provenances, plantés entre 1982 et 1993, pour lesquels un processus de conversion en sources de semences est engagé⁹. L'objectif, dans chaque test, est de désigner les arbres retenus suite à une sélection combinée multicaractère provenance/descendance – individu, tenant compte leur performance mais également leur répartition spatiale. La sélection vise en outre à maintenir une diversité génétique maximale. Dans trois sites (Roumare, Peyrilhac et La Réna), les arbres destinés à devenir les géniteurs des futurs VG ont déjà été désignés.

Recensement des projets de conversion de dispositifs expérimentaux en structures de production de MFR

Un inventaire réalisé au cours de la présente réunion entre les partenaires présents a mis en évidence que des projets de conversion de dispositifs en sources de graines pourraient concerner les espèces suivantes :

- Conifères : Cèdre du Liban, Cryptomère du Japon, Douglas, Mélèze d'Europe, Mélèze hybride, Pin d'Alep, Pin brutia, Pin de Salzmann, Pin taeda, Sapin de Céphalonie, Sapin noble
- Feuillus : Chêne rouge, Orme, Teck.

Parmi ces projets, le cas du Cèdre du Liban est particulier car l'intention initiale lors de l'installation du dispositif était bien la constitution de VG de familles de la provenance Arslankoy (seule provenance de *C. libani* admise en dérogation dans la réglementation actuelle) en passant par une phase de test de descendance à convertir.

⁸ Ces besoins, pour le moment faibles (8 159 plants vendus en 2017-2018) augmentent très rapidement.

⁹ Surface totale de ces tests : 37,4 ha

Une liste simplifiée de ces projets est présentée en [annexe 7](#). Cette liste n'est évidemment pas exhaustive et pourrait être complétée dans l'avenir. Ainsi, certains genres pour lesquels des ressources génétiques ont été introduites et mises en comparaison ne sont pas cités, par exemple : *Alnus*, *Cupressus*, *Nothofagus*, *Thuja*. Cette liste met surtout en évidence la richesse des collections de ressources génétiques forestières gérées par les partenaires présents à la réunion et le potentiel de diversification de MFR qu'elles sont à même de proposer.

La liste présentée en [annexe 7](#) ne comporte pas de priorités en termes de mise en œuvre du processus de conversion. Les partenaires présents à la présente réunion ont suggéré que l'attribution de ces priorités pourrait être confiée au groupe de travail "Matériels Forestiers de Reboisement et relance du reboisement" de la section technique Arbres Forestiers du CTPS.

Le Cryptomère du Japon, le Sapin noble, l'Orme, le Teck, le Cyprès, le Nothofagus et le Thuja ne font pas partie de la réglementation MFR ([annexe 8](#)). Ils pourront néanmoins être récoltés, commercialisés et utilisés sans dispositif réglementaire particulier. Pour les essences réglementées, un dossier de proposition d'admission au registre national des matériels de base devra être constitué (voir page 9).

Points de vigilance à considérer lors de la transformation de dispositifs expérimentaux en structure de production de MFR

Le brainstorming instauré entre les partenaires présents à la réunion a permis de dégager un certain nombre de points à prendre en considération non seulement lors d'un projet de transformation de dispositifs expérimentaux mais également lors de la conception d'un dispositif prévoyant à terme sa conversion en source de MFR.

Localisation

Le site dans lequel est (ou sera) implanté de dispositif à convertir en source de semences pourra être retenu en fonction des MFR visés :

- Le plus souvent un site représentatif d'une zone d'utilisation "courante" des MFR
- Parfois, pour une variété plus ciblée, un site plus marginal qui "imprime" une contrainte sélective au matériel génétique évalué, par exemple : altitude, stress hydrique, sol calcaire, zone infectée, etc.

Le principal point de vigilance concerne néanmoins la protection des contaminations polliniques extérieures au dispositif. Ce point de vigilance n'est jamais pris en considération dans le choix d'un site lors de l'installation d'une expérimentation conçue uniquement pour l'évaluation/comparaison de géotypes. En cas de risque de contamination, outre un impact sur le gain génétique attendu des MFR, il serait contre-productif de produire des graines fortement polluées par les hybridations inter spécifiques ou inter populations non souhaitées. Ce point ne concerne évidemment pas les espèces non hybridantes.

Diversité génétique du matériel de base

Lors de l'installation d'un VG, la diversité génétique du matériel de base est raisonnée, en principe, en fonction de la surface sur laquelle seront disséminées les MFR, de la durée de production du VG et de la durée de la révolution sur laquelle les arbres seront conduits. Néanmoins, compte tenu de la durée de vie non prévisible, mais souvent longue, d'une source de graine, le nombre efficace devrait être en pratique supérieur à 50. Certains auteurs (Lindgren et al 2005¹⁰) préconisent toutefois pour des VG de clones testés et non apparentés de s'en tenir à 20 géotypes. Certains vergers très particuliers peuvent même comporter un nombre de parents

¹⁰ Lindgren D;; Prescher . 2005. Optimal clone number for seed orchards with tested clones. *Silvae Genetica* 54, 2; p 80-92

efficaces très faible (inférieur à 5 voire 2) comme par exemple les VG de mélèze hybride ou de noyer hybride. En pratique, dans le cas d'un test de provenances ou de descendance converti en source de semences, le nombre d'arbres sur pied sera le plus souvent de l'ordre de la centaine, voire du millier d'individus. Le problème de la diversité génétique du matériel de base pourrait éventuellement se poser dans le cas de la conversion de tests clonaux comportant un très petit nombre de géniteurs en évaluation.

Floraison et fructification

Un site choisi pour une plantation comparative (provenances, familles, clones) n'est pas forcément situé dans une zone favorable à la floraison (ex fréquence des gelées tardives de printemps). Il sera probablement utile d'attendre que la floraison/fructification soit avérée pendant quelques années avant de prendre la décision de convertir un dispositif expérimental en source de semences. Sur certaines stations, il faudra éventuellement prévoir des apports d'engrais pour stimuler la floraison et la production de semences. Enfin chez certaines espèces, il faudra, notamment au stade juvénile, avoir recours à des traitements inductifs de la floraison (culturaux et/ou hormonaux). La mise en œuvre de ces opérations n'est envisageable que lorsque le dispositif est situé à une distance "raisonnable" d'un centre de recherche.

Age de la conversion

En lien avec la floraison, on peut imaginer qu'il serait souhaitable de convertir des plantations comparatives suffisamment tôt pour que les arbres soient en mesure de réagir aux éclaircies et aux applications éventuelles d'engrais : en pratique à partir de 12-15 m de hauteur totale et au plus tard, la moitié de l'âge de la révolution. En principe ces choix ne devraient pas entrer en conflit avec les choix sylvicoles retenus pendant la durée de vie "scientifique" du test.

Choix des arbres à conserver

Il résultera d'un triple compromis entre le "mérite" des arbres, leurs relations d'apparentement et la distance minimale à maintenir entre ces derniers, en fonction du stade de développement du peuplement.

- Le mérite résultera le plus souvent de la valeur d'un index multicaractère combinant les valeurs des génotypes (provenance, famille) et des individus qui les composent
- Les relations d'apparentement seront le plus souvent connues, permettant de mettre à distance les individus apparentés. La gestion des apparentements sera facilitée si la mise à distance des individus consanguins a été prise en compte dès l'installation du test.
- La distance entre arbres pourra s'appuyer sur un facteur d'espacement¹¹ qui devra être nécessairement très élevé pour favoriser le développement des houppiers et donc de la fructification; en pratique >50% pour les conifères, voire 60% pour les feuillus.

Faisabilité et efficacité :

Un dispositif en parcelles unitaires pluri-arbre subissant un régime d'éclaircies systématiques serait plutôt orienté vers la conservation, un dispositif en parcelles unitaires mono-arbre, subissant un régime d'éclaircies systématiques puis sélectives serait plutôt orienté vers la production de semences "améliorées". L'expérience montre par ailleurs que des éclaircies génétiques, si elles ne sont pas suffisamment énergiques, se traduisent le

¹¹ Facteur d'espacement de Hart-Becking :

$$S\% = \left(\frac{a}{H_{dom}} \right) \times 100 \quad \text{où } a = \sqrt{\frac{10000}{N \times 0,866}}, \quad N = \text{nombre de tiges/ha et } H_{dom} = \text{hauteur dominante du test (en mètres).}$$

plus souvent par une mauvaise mise à distance des arbres (futurs semenciers). *In fine* le nombre de semenciers à l'ha devrait être inférieur à 300.

Autres opération à prévoir

Une fois arrêté le choix des arbres à conserver pour devenir semenciers de la structure de production de graines, plusieurs interventions réalisées "classiquement" en vergers à graines seront nécessaires pour faciliter la gestion du test en structure de production de semences:

- Elagage pour faciliter l'accès aux équipes de récolte
- Fertilisation : peut- être envisagée sur une base de 2N/1P/2K (ex 112 kg d'azote, 56 kg de Phosphore et 112 kg de Potassium)
- Protection contre le gibier
- Destruction régulière de la végétation herbacée

Il ne faudra pas sous estimer le coût de ces interventions qui devront être en rapport avec la demande commerciale de la variété. Certains entretiens comme l'élagage et le gyrobroyage pourraient n'être envisagés que lors des années de bonne récolte.

Catégories réglementaires dans lesquelles admettre un dispositif converti en source de graines

Pour les espèces non réglementées, le dispositif sera récoltable sans procédure administrative. Il pourra directement être proposé à la récolte aux organismes semenciers.

Pour les espèces règlementées, quatre catégories existent :

Catégorie	Matériel de base	Niveau de connaissance
Identifiée ¹²	Source de graines	Origine géographique (région de provenance)
Sélectionnée	Peuplement porte-graines	Sélection phénotypique (vigueur, forme, résistance à des agresseurs biotiques ou abiotiques, qualité du bois) à l'échelle de la population et au sein d'une région de provenance
Qualifiée	Verger à graines	Sélection phénotypique individuelle en forêt ou sur tests ; amélioration génétique à confirmer
Testée	Verger à graines Peuplement porte-graines Clone/mélange de clones	Amélioration génétique avérée

Dans notre cadre de travail, deux catégories sont appropriées pour convertir les dispositifs : [sélectionnée](#) et [qualifiée](#). Pour la catégorie sélectionnée, le demandeur doit transmettre un dossier de proposition à Irstea qui est chargé de la procédure de sélection. Pour la catégorie qualifiée, le demandeur doit transmettre un dossier de demande d'admission du matériel de base auprès du Président ou du Secrétaire Technique de la section technique des arbres forestiers du CTPS. L'avis de cette dernière, s'il est positif, se traduira par l'édition d'un arrêté d'admission par le MAA pour son inscription dans le [registre des matériels de base des essences forestières](#)..

¹² Cette catégorie ne concerne pas en principe les dispositifs expérimentaux qui seraient convertis en sources de semences

Un plateau (éventuellement conservatoire) d'une provenance unique pourra être converti en peuplement admis comme matériel de base dans la catégorie sélectionnée. Pour mémoire, les MFR issus de matériels de base admis en catégorie sélectionnée sont certifiés au niveau de la Région de Provenance (et une tranche altitudinale) dans laquelle est situé le peuplement.

Sauf exception, la conversion, pour la production de semences, d'un test de provenances, de descendance ou de clones devrait aboutir à des matériels de base de type verger à graines, admis en catégorie qualifiée.

- Test de provenances : verger à graines de clones
- Test de descendance : verger à gaines de familles
- Test clonal : verger à graines de clones

Remarque importante : un test de descendance dans lequel il n'est plus possible de rattacher un arbre à son origine parentale (au moins 1 parent) est assimilé à un test de provenance et sera, après conversion, transformé en VG de clones; Cf. plus haut le cas récent de conversion en verger à graines de clones du test de provenances/descendance d'*Abies cephalonica* de St Lambert (Vaucluse) admis en catégorie qualifiée en septembre 2017. Chacun des arbres des 6 provenances comparées étant assimilé à un clone, le verger comporte, au jour de son admission, 3646 clones.

Au cas où les MFR issus des plateaux ou tests feraient ultérieurement l'objet d'une évaluation respectant les prescriptions d'un règlement technique défini par le CTPS, ces matériels de base pourraient faire l'objet d'une admission en catégorie testée,

Pour les vergers, le propriétaire du matériel de base varie entre obtenteur, gestionnaire et propriétaire du terrain, au cas par cas selon les vergers. La récolte appartient au récolteur sous convention avec le propriétaire.

Bilan

Le tableau suivant récapitule les points de discussion abordés et les questions restées en suspens :

Critères à prendre en compte pour la <u>décision</u> de conversion	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de pollution indésirable (ex. sensibilité, pureté spécifique) • Diversité initiale trop faible (nb d'individus) par rapport aux besoins spécifiques • Conditions environnementales marginales limites (sélection naturelle souhaitée ou risque de faible production) • Densité spatiale restante (nécessité de regarnir ?) • Rendement en graines • Besoins en graines (mais difficile à anticiper sur le temps d'entrée en production) • Date d'entrée en production et durée attendue d'exploitation
Critères à prendre en compte pour la <u>mise en œuvre</u> de la conversion	<p>Les mêmes que précédemment, plus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La qualité et la quantité d'information génétique a priori • Le fonctionnement reproducteur dans la parcelle • Le cas des provenances (réduire ou pas le nb de provenances) • La possibilité d'appliquer la charte de récolte des graines VG/peuplements classés • L'âge / stade de conversion par rapport à la gestion sylvicole (le plus tôt est le mieux dès que l'information génétique a été obtenue, équivalent de la 1^{ère} éclaircie)
Suggestions de catégories de MFR selon le dispositif initial	<ul style="list-style-type: none"> • Test clonal => VG clones qualifié • Test descendance intra-provenance => VG familles qualifié • Test provenance/descendance => VG familles qualifié • Test provenances => trouver un statut ? (Par défaut VG de clones qualifié) • Plateau conservatoire de provenance authentifiée => peuplement sélectionné (le cas échéant, testé)
Questions restées en suspens	<ul style="list-style-type: none"> • Estimation des coûts à prévoir pour la transformation, à partir de quand passe-t-on d'une prise en charge « expérimentation » à une prise en charge « MFR » (estimation pour le Pin taeda) ? • Faut-il définir des durées mini et maxi d'exploitation ?

Conclusion

La journée de réflexion sur la transformation de dispositifs expérimentaux en structure de production de MFR ou en unité de conservation est la première du genre entre les partenaires de la filière graines et plants forestiers. Elle a permis de mettre en évidence l'intérêt de ce processus pour valoriser un travail d'investigation sur les ressources génétiques forestières en diffusant des MFR de "qualité" associant performance et diversité.

Cette réunion a également mis en évidence la richesse des pools génétiques forestiers, aux niveaux des espèces et des populations, qui ont été rassemblées et gérées par les instituts de R&D pour acquérir des connaissances sur leur diversité. Ces pools génétiques peuvent trouver une autre finalité en produisant des semences aptes à diversifier l'offre actuelle du marché des MFR. Dans certains cas, si un besoin plus important en semences s'exprime, la production de MFR par des dispositifs "convertis" permettra d'assurer un relai le temps que des VG issus d'un travail de sélection plus approfondi soient installés.

Les participants à cette réunion suggèrent que les instances participatives de la filière graines et plants (section technique arbres forestier du CTPS, Comité Technique de Coordination des Vergers à graines de l'Etat) s'expriment en termes de priorités sur les espèces et les dispositifs proposés par les instituts de R&D pour être convertis en sources de semences

ANNEXE 1 : Liste des participants

Nom	Prénom	Institut
BASTIANELLI	Carole	MAA
BASTIEN	Jean-Charles	INRA
BOUFFIER	Laurent	INRA
DOWKIW	Arnaud	INRA
DUCOUSSO	Alexis	INRA
FADY	Bruno	INRA
LEFEVRE	François	INRA
PAQUES	Luc	INRA
RAFFIN	Annie	INRA
REI	Franck	INRA
SANCHEZ	Leopoldo	INRA
SCOTTI	Caroline	INRA
VERGER	Michel	INRA
MONTEUUIS	Olivier	CIRAD
CHAUMET	Marin	FCBA
FRAYSSE	Jean-Yves	FCBA
CONCHE	Joel	GIE SFA
PHILIPPE	Gwenaël	IRSTEA
GUIBERT	Monique	IRSTEA
RICODEAU	Nicolas	IRSTEA
MUSCH	Brigitte	ONF

ANNEXE 2 : Les VFA dans le marché des MFR

Présentation de J. Conche (GIE SFA))

Les VFA (VG) dans le marché des MFR

La production nationale des plants forestiers

Groupe d'espèces	Ventes 2017/2018 France + export en milliers de plants	%	Nombre d'espèces concernées	part de VFA (environ)
pin maritime	40 128	58%	1	100%
douglas	9 874	14%	1	100%
épicéa commun (dont arbres de Noël)	2 382	3%	1	70%
pin à encens	1 924	3%	1	
pin sylvestre & laricio	1 307	2%	3	60%
mélèzes	1 994	3%	3	90%
arbres de Noël	1 492	2%	3	
autres résineux	2 347	3%	>16	
TOTAL RESINEUX	61 448	88%	>29	
chênes	4 193	6%	7	
peupliers-saules-eucalyptus	990	1%	6	90%
autres feuillus	2 902	4%	>29	
TOTAL FEUILLUS	8 085	12%	>42	
TOTAL	69 533	100%	79	>80%

En France métropolitaine

- 139 espèces ligneuses sont répertoriées à l'inventaire national des RGF
- 79 espèces sont renseignées au titre de l'enquête annuelle MFR
- 66 espèces sont réglementées au titre des MFR
- Ces MFR se déclinent en 185 régions de provenances + 61 VG + 78 compositions clonales
- 72 % du marché des MFR n'implique qu'une dizaine de VG (pin maritime, douglas)
- 7 % du marché des MFR implique 45 espèces
- Pour 25 espèces, les besoins annuels en semences sont < 3 kg

La gestion des vergers à graines (vue par le marchand de semences)

- ✓ Les vergers à graines doivent être calibrés en fonction des besoins du marché (en projection à 15-40 ans)
- ✓ Leur gestion doit être économiquement supportable par les opérateurs semenciers qui les exploiteront (business plan – ex 20 K€/ha pour VG douglas)
- ✓ Leur renouvellement doit être programmé afin de tenir compte de l'évolution des programmes de sélection et d'évaluation : préférer un cadencement régulier d'installation
- ✓ Le site d'accueil doit tenir compte des contextes pédoclimatiques, des paramètres de floribondité et de l'isolement pollinique
- ✓ Afin d'optimiser la gestion, il est préférable de regrouper les sites d'installation
- ✓ Cependant, la diversification des sites permet de partager les risques (climatiques, incendies, phytosanitaires...)

Beaucoup d'intérêts pour les VFA (vergers à graines)

- ✓ Identification précise du site à récolter (confort de gestion) - professionnalisation
- ✓ Commodité de récolte (accessibilité, sécurité, infrastructures...)
- ✓ Traçabilité
- ✓ Amélioration
- ✓ Meilleure maîtrise des paramètres (induction, fertilisation, surveillance phytosanitaire, traitements...)

mais des charges...

- ✓ Investissement (5-10 ans sans production) : 7500 €/ha (foncier) + 2000 €/ha (préparation du terrain) + 2000 €/ha (greffage) + 6300 €/ha (plantation) soit 17,8 K€/ha
- ✓ Coût de gestion (entretiens 2000 €/ha pendant 8 ans) soit 16 K€/ha sur la période puis autour de 850 €/ha en gestion au stade productif

- On ne peut pas analyser la préparation des futures ressources génétiques uniquement par le prisme du marché des MFR d'aujourd'hui
- Les évolutions (climatiques, sociétales) justifient la préparation de futures ressources génétiques
- Mais qui les finance : les producteurs de MFR, l'Etat via les MIG, les gestionnaires, autres (collectivités territoriales, mécénat...)?

ANNEXE 3 : Génétique de vergers à graines Présentation de L. Sanchez (INRA))

Verger à graine: Concepts



Atelier sur la transformation de dispositifs expérimentaux en structure de production de MFR ou en unité de conservation

Paris, 20/03/2019

Concept de VG, VG et population d'amélioration



Un **verger à graines (VG)** est une collection de **clones** ou de **familles** sélectionnés, établis dans un lieu -préférentiellement isolé (sans conspécifiques avoisinants) et climatiquement favorable pour la reproduction- et gérés pour produire des semences génétiquement améliorées pour la reforestation.

VGs est souvent le type de population de dissémination du gain génétique le plus courant.

Types de VG : clones, famille



Clones

Les génotypes sélectionnés sont directement les composants du VG: le produit du VG sera une F1

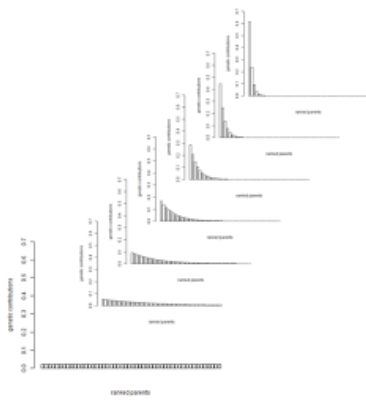
- Propagation végétative facile et opérationnelle
- Espèces de floraison tardive
- Population conçue et dédié à la production de graines (?)
- Potentiellement plus de gain si sélection des génotypes efficace

Familles OP ou plein-frères

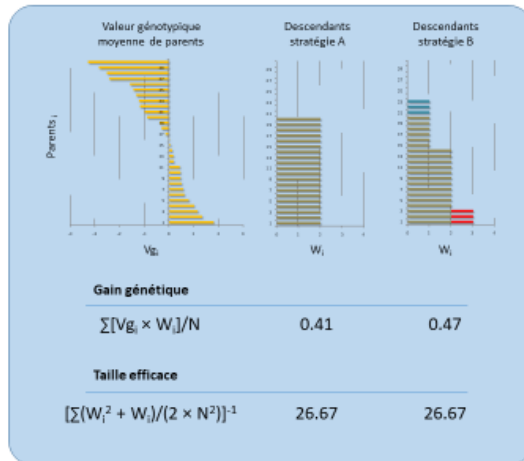
Les génotypes sélectionnés sont utilisés en croisements pour produire en descendance les composants du VG: le produit du VG sera une F2

- Reproduction sexuelle facile et précoce
- Manque d'accès aux adultes (exotiques)
- Population à utilisations multiples: test de familles et population de production
- Potentiellement moins de gain (sauf pour des structures basées sur quelques familles élites maintenues pour des croisements intensifs, « family forestry »)

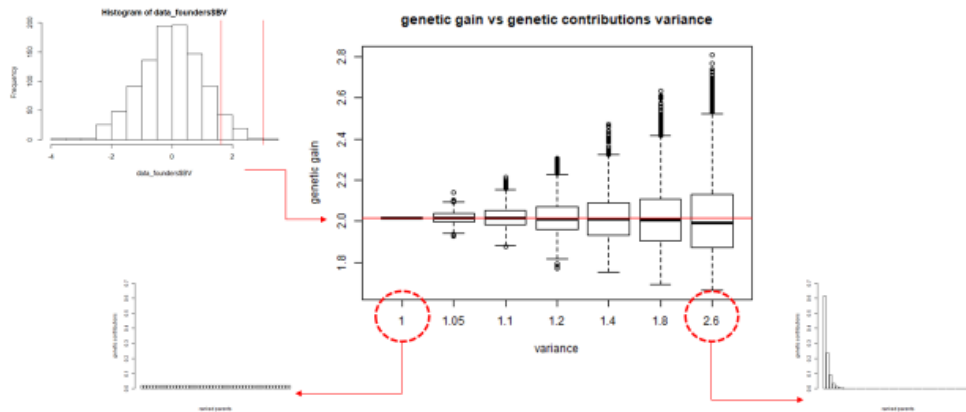
Gain génétique et diversité: paramètres fondamentaux de la qualité d'un VG



Différents scenarios de distribution de contributions génétiques



La modulation du gain génétique en fonction des contributions génétiques : hétérogénéité temporelle entre années de production



La modulation de la diversité génétique en fonction des contributions génétiques : concept de taille efficace d'un VG

4. Effective number of founders

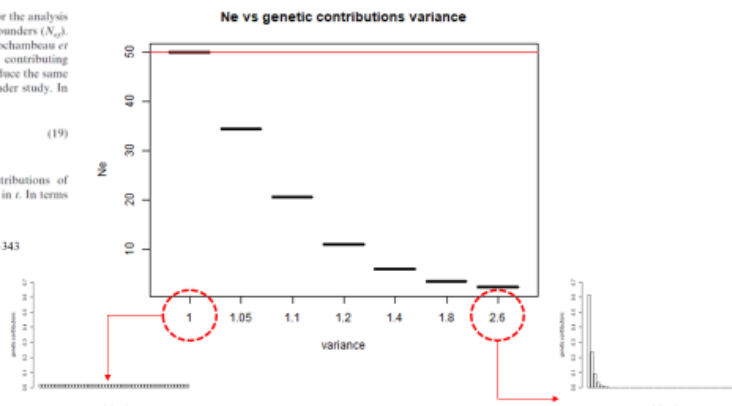
One of the main parameters proposed for the analysis of pedigrees is the effective number of founders (N_{ef}). This was defined by Lacy (1989) and Rochambeau *et al.* (1989) as the number of equally contributing founders that would be expected to produce the same genetic diversity as in the population under study. In our notation,

$$N_{ef} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{c_{i,0,t}}{N} \right)^2} \quad (19)$$

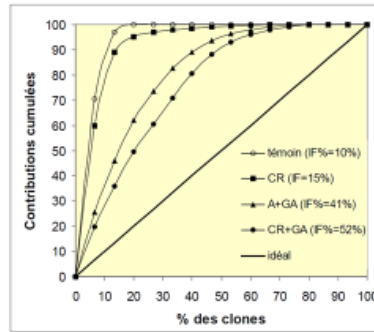
where the summation is for the contributions of founders in generation 0 to descendants in t . In terms

A. Caballero and M. A. Toro

Genet. Res., Camb. (2000), 75, pp. 331–343



Efficacité des techniques d'induction florale seules ou combinées sur l'homogénéisation des contributions génétiques à la floraison dans un VG de Douglas



CR: cernage racinaire
 A+GA: Annélations semi-circulaires du tronc et injection de Gibbérellines
 CR+GA: Cernage racinaire et injection de Gibbérellines

IF: nombre de parents efficaces

IRSTEA, G. Philippe

Structure de la population d'amélioration et impact sur l'hétérogénéité du VG : lignées versus single-population

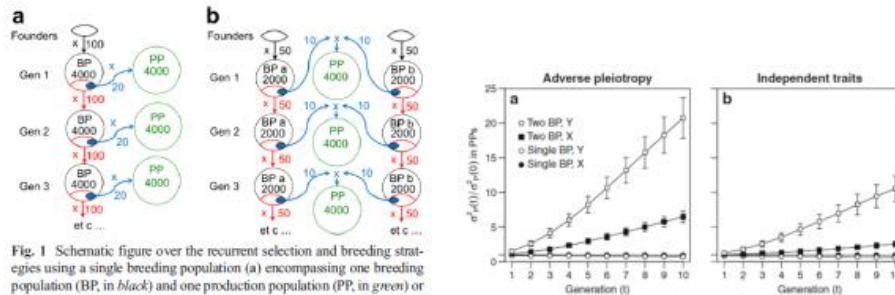


Fig. 1 Schematic figure over the recurrent selection and breeding strategies using a single breeding population (a) encompassing one breeding population (BP, in black) and one production population (PP, in green) or a subdivided breeding population strategy (b) encompassing two smaller breeding populations (BP a and BP b) and one production population (PP). The figure also show the population sizes and the numbers of individuals selected as parents to the next generation BP (in red) or as elite parents (in blue) to the PP.

Hallingbäck et al 2013

Disposition spatiale des géotypes pour une panmixie optimisée

Tree Genetics & Genomes (2016) 12: 305
 DOI 10.1007/s12254-016-1967-y

ORIGINAL ARTICLE

Optimum neighborhood seed orchard design

Kateřina Chabouková¹ · Jan Stejkal¹ · Yousry A. El-Kassaby² · Milan Lotřbáček¹

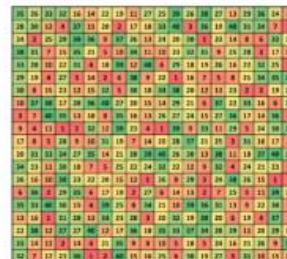


Fig. 1 Balanced scenario with 40 clones each with equal clonal size of 10 ramets/clones



ANNEXE 4 : Pollution pollinique contributions parentales dans les VG

Présentation de L. Bouffier (INRA))

Pollution pollinique et les contributions parentales dans les VG

• Conséquences en terme de gain génétique

Le calcul théorique du gain génétique suppose:

- une contribution proportionnelle au nbre de copies par parent
- une absence de pollution pollinique

Gain «réel» = Gain théorique (1-pollution/2)

[Par ex, avec 60% de pollution (issue de parents avec un gain nul): un gain théorique de 30% donnera un gain «réel» de 21%]

• Conséquences en terme de diversité génétique

La diversité génétique réelle sera différente de la diversité théorique:

- si les parents contribuent de façon non proportionnelle à leur représentativité dans la pop parentale
- en présence de pollution pollinique

1

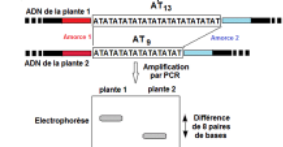
Les marqueurs moléculaires permettent d'évaluer la pollution et les contributions parentales

- Développer un jeu de marqueurs moléculaires adapté pour discriminer tous les génotypes du VG
- Génotyper la population parentale (et de la source de pollution suspectée)
 - Identification de tous les parents possibles (attention aux erreurs d'identité sur le terrain!)
 - « simple » pour les VG de clones ≠ VG familles
- Génotyper des graines / plantules issues des VG selon un échantillonnage permettant de tester l'effet de différents facteurs (localisation VG, position intra-VG, année, génotype maternel...)
- Reconstituer le pedigree (recherche de parenté ou de paternité)

Marqueurs microsatellite vs SNP

Microsatellite (SSR):

Variation du nbre de copies d'un motif de base



- Marqueurs très polymorphes
- Nbre limité de marqueurs disponibles
- Multiplexage difficile
- Lecture délicate et parfois peu répétable
- Problème des allèles « nuls »

Single Nucleotide Polymorphism (SNP):

Variation d'un nucléotide



- Marqueurs bialléliques
- Potentiellement nbre très élevé de marqueurs
- Génotypage automatisable
- Lecture facile et très répétable

Deux études sur les VG pin maritime

1 Pollen contamination in a maritime pine polycross seed orchard and certification of improved seeds using chloroplast microsatellites

Can. J. For. Res. 31: 1816-1825 (2001)

C. Plomion, G. LeProvost, D. Pot, G. Vendramin, S. Gerber, S. Decroocq, J. Brach, A. Raffin, and P. Pastuszka

- VG polycross VF2 Mimizan (34 G0 x PMX) à 9 ans
 - Bulk (93 graines) + 4 zones selon un axe ouest – est (216 graines)
 - 6 marqueurs microsatellites chloroplastiques (héritage paternel) → possibilité de définir des lignées paternelles donc très facile de savoir si le pollen vient de l'extérieur ou non
 - Résultats: **taux de contamination = 37%** avec une très forte variabilité entre zones (de 19% à 76%) non expliquée
 - Limite principale: c'est en fait un **taux de contamination minimal**
- En effet: marqueurs très peu variables → les profils ne sont pas uniques (17 profils pour 28 arbres G0). Il est probable que des arbres extérieurs au verger aient des profils moléculaires identiques aux constituants du verger.

4

2 Développement de marqueurs microsatellites nucléaires chez le pin maritime et utilisation dans le cadre de la traçabilité des lots de graines issus des vergers à graines

Projet DGFAR (Direction Générale de la Forêt et des Affaires Rurales) coordonné par Christophe Plomion et Luc Harvenget en 2005

- 3 VG polycross VF2 (34 G0 x PMX): Mimizan (analyse INRA), Berdillan (=Hourtin) et Saint Augustin (analyse FCBA), entre 11 et 17ans?
- Marqueurs microsatellites nucléaires
- Méthodologie différente entre INRA et FCBA
- Mimizan: 200 G1 + 75 G2 avec 8 microsat → **32% de pollution**
- Berdillan et St Augustin: 40 G1 + 290 G2 avec 6 microsat → **81% de pollution à Berdillan et 60% à St Augustin**
- Limites principales:
 - le **génotype des parents n'est pas connu** → estimation indirecte du taux de pollution qui repose sur un certain nombre d'hypothèses (en particulier pour l'origine des peuplements extérieurs au verger)
 - Estimation d'un **taux de contamination minimal** car les marqueurs utilisés sont faiblement discriminants (on montre, par simulations, que dans 20% des cas on ne retrouve pas les bons parents)

5

Etude QUASEGRAINE (2015-2018)



Action 1. Qualité génétique et traçabilité des lots de graines produits dans les vergers

3 espèces étudiées:

- **Douglas**: VG Darrington (70 génotypes) et France2 (138 génotypes)
- **Mélèze d'Europe**: VG du Theil (177 génotypes)
- **Pin maritime**: 3 VG VF3 (46-48 génotypes)

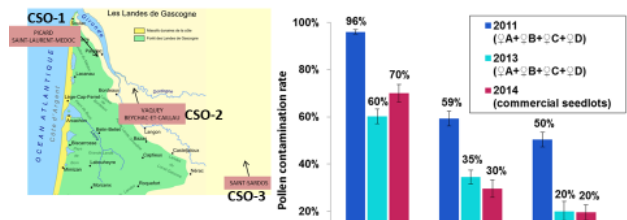


6

Pollution pollinique dans les VG

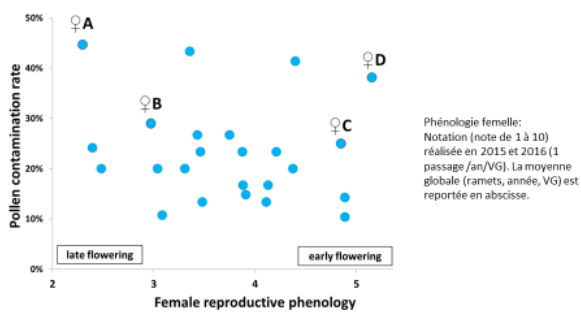
- **Douglas:**
VG Darrington: 34% en 2012 / 49% en 2016
VG France2: 6% en 2012 / 40% en 2016
- **Mélèze:**
16 à 42% selon les années
- **Pin maritime:**
20 à 96% selon les VG et les années

Taux de pollution VG pin maritime



- Taux de pollution élevé: CSO-1 >> CSO-2 > CSO-3
- Effets confondus: proximité du massif landais, année et âge des vergers (installation CSO-1 en 2006 vs CSO-2-3 en 2002-2003); 2011 >> 2013~2014
- Pas d'effet de la zone intra-verger (CSO-1)

Taux de pollution VG pin maritime



- Forte variabilité du taux de pollution selon le génotype de la mère considérée
- Pas de corrélation entre phénologie femelle et le taux de contamination

Pollution pollinique dans les VG

- **Douglas:**
VG Darrington: 34% en 2012 / 49% en 2016
VG France2: 6% en 2012 / 40% en 2016
- **Mélèze:**
16 à 42% selon les années
- **Pin maritime:**
20 à 96% selon les VG et les années

- > **Pollution pollinique peut être élevée**
- > **Importance de la localisation du VG**
- > **Forte variabilité inter-annuelle**
- > **Limites méthodologiques:**
 - allèles nuls dans le cas des microsatellites
 - génotypage de la pop parentale peut être incomplète si erreur d'identification ou rejet de greffe

Autofécondation pin maritime

	nbre-dés-avec-père-retrouvé	nbre-autofécondation	% autofécondation
0022-1	26	7	27%
F1.0766	24	4	17%
F1.0810	23	4	17%
0251-6	22	3	14%
F1.0783	144	12	8%
F1.2368	24	2	8%
00741-1	17	1	6%
0022-2	22	1	5%
F1.0791	117	6	5%
0045-1	23	1	4%
0123-1	26	1	4%
0217-3	25	1	4%
0602-3	146	6	4%
F1.0770	151	6	4%
F1.2631	25	1	4%
0217-2	23	0	0%
0820-4	24	0	0%
0831-3	22	0	0%
F1.0540	24	0	0%
F1.0721	23	0	0%
F1.0724	24	0	0%
F1.0785	26	0	0%
F1.2643	23	0	0%
F1.2853	17	0	0%

Echantillon-A-B:
2 114 plantules, père retrouvé pour 1023 plantules dont 56 autofécondation (soit 5,5%).

Echantillon-C:
438 graines, 2 parents retrouvés pour 264 plantules dont 12 présentent une autofécondation (soit 4,5%).

Contributions parentales dans les VG

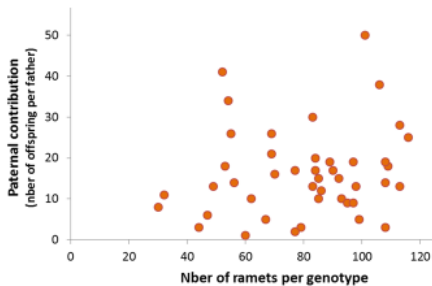
- **Douglas:**
VG Darrington:
6 génotypes / 70 ne contribuent pas
Contributions varient de 0.1 à 11.7%
- VG France2:
14 génotypes / 138 ne contribuent pas
Contributions varient de 0.1 à 5.8%

- **Mélèze:**
15 génotypes / 177 ne contribuent pas
95 à 111 génotypes contribuent / an

- **Pin maritime**

- > Certains génotypes ne contribuent pas
- > Contribution hétérogène (pas corrélée au nbre de copies/parent)
- > Variation de la composition génétique du VG selon les années

Contributions parentales pin maritime



- Tous les pères contribuent à la descendance
- Contribution paternelle hétérogène non liée au nbre de ramets par génotype

ANNEXE 5 : Test de provenances/descendances de Sapin de Céphalonie de St Lambert
Présentation de B. Fady et C. Scotti-Saintagne (INRA))

Le test de provenances / descendances de sapin de Céphalonie de St Lambert
Un VG pour la diversité

Bruno Fady, Caroline Scotti-Saintagne
INRA – URFM – Ecologie des Forêts Méditerranéennes, Avignon, France

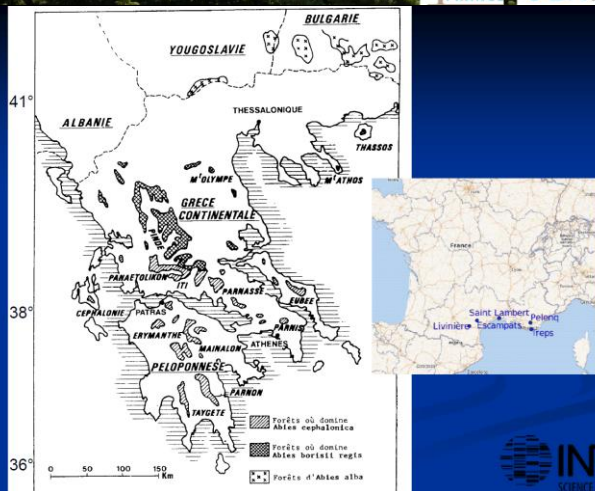


Atelier sur la transformation de dispositifs expérimentaux en structure de production de MFR ou en unité de conservation - 20 Mars 2019, Paris

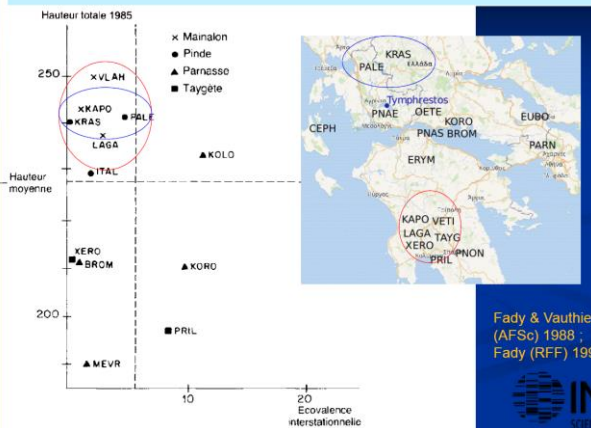


Le programme d'amélioration du sapin de Céphalonie : 2 tranches, 7 tests

- Plantations comparatives de provenances (Grèce) : plants de 5 ans installés au cours de l'hiver 1970-1971 (Treps, Pélenq, Livinière)
- Plantations comparatives de provenances / descendances (Péloponnèse et centre Grèce) : plants de 4 ans installés au cours de l'hiver 1980-1981 (St Lambert, Escampats, St Jurs, Tuchan)



Mainalon (et Pinde) : croissance et stabilité



Fady & Vauthier (AFSo) 1988 ; Fady (RFF) 1993



Saint Lambert (Vaucluse) VG1 – Un test de provenances / descendances homologué en verger à graines de clones en 2017

- Plantation comparative de provenances / descendances du Péloponnèse (VG1) et centre Grèce (VG2) ;
- VG1: 6 ha, altitude 650 m, P = ~1000 mm/an, calcaire
- Installation hiver 1980-1981, plants de 4 ans (2x2), structure BICA mono-arbre ;
- Croissance, résistance à la sécheresse, débournement pas relativement peu précoce ;
- Sélection génétique « naturelle non dirigée » : 5856 plants installés, 2199 morts en 1983, 2244 en 2013 – Taux de survie = 61%.



Les provenances de Saint Lambert

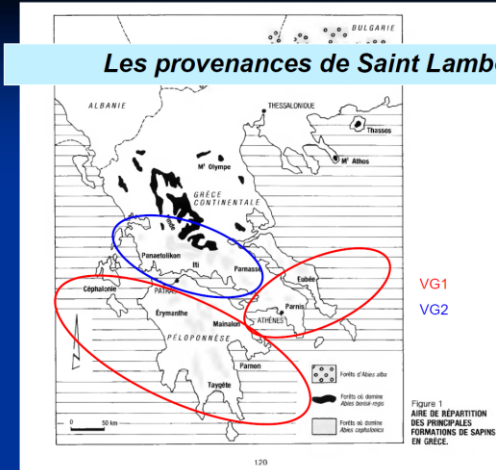


Figure 1
AIRE DE RÉPARTITION DES PRINCIPALES FORMATIONS DE SAPINS EN GRÈCE.



La provenance EVIA : une croissance faible mais une excellente tolérance à la sécheresse

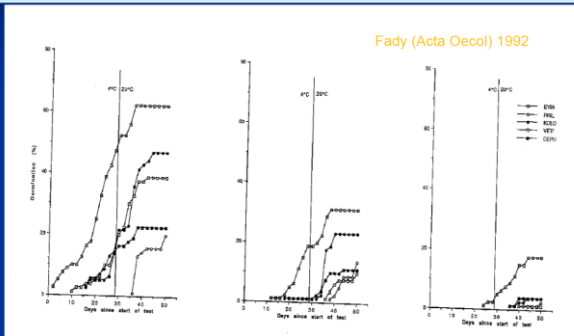


Fig. 1. – Mean germination curves of five *Abies cephalonica* provenances: 14) for -0.1 MPa, 19) for -0.7 MPa and 13) for -1.6 MPa osmotic treatments.

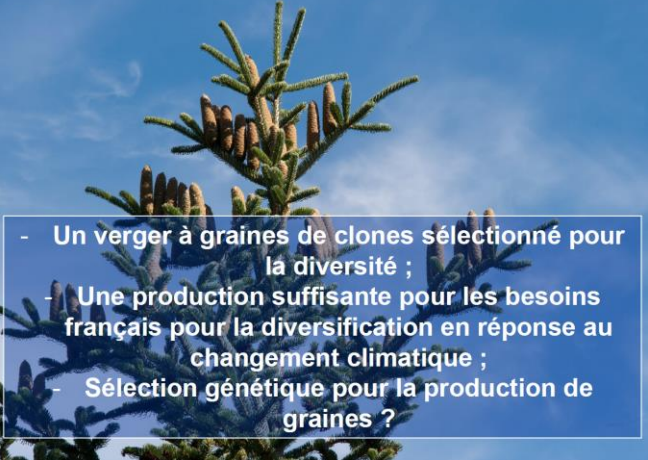
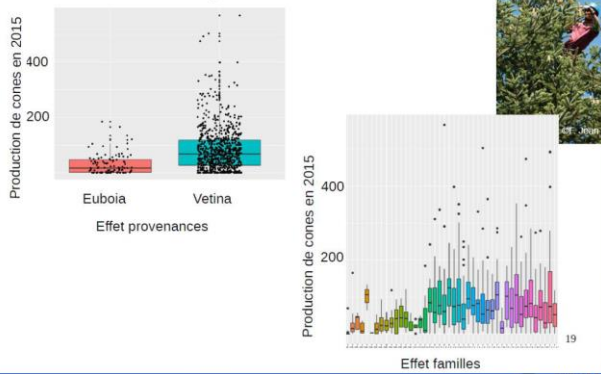
Une production en dents de scie : masting



Taux de graines pleines : ~40%



Un verger à graines de 35 ans très productif



- Un verger à graines de clones sélectionné pour la diversité ;
- Une production suffisante pour les besoins français pour la diversification en réponse au changement climatique ;
- Sélection génétique pour la production de graines ?



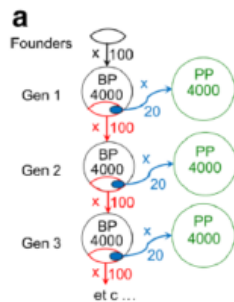
GEN4x – GENx

Réseau de **Génétique Forestière** pour la Recherche et l'Expérimentation

ANNEXE 6 : Conversion en VG de tests génétiques - Cas du chêne rouge

Présentation de A. Ducouso (INRA)

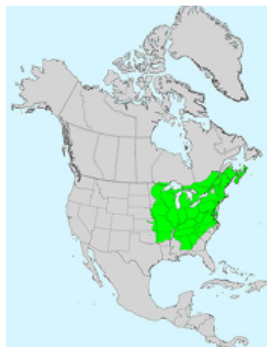
Concept de VG, VG et population d'amélioration



Un **verger à graines (VG)** est une collection de **clones** ou de **familles** sélectionnés, établis dans un lieu -préférentiellement isolé (sans conspécifiques avoisinants) et climatiquement favorable pour la reproduction- et gérés pour produire des semences génétiquement améliorées pour la reforestation.

VGs est souvent le type de population de dissémination du gain génétique le plus courant.

Présentation rapide du chêne rouge



- Espèce Nord Américaine
- Introduction XVIIIème siècle

UNE ESSENCE MIRACLE

- Sylviculture intensive : révolution 60 ans (40 ans)
- Bois de qualité et production élevée [9-15 m³/ha/an (25)]

UNE ESSENCE LUCIFÉRIENNE

- 30.000 ha malgré 400.000 ha subventionnées par le FFN
- Beaucoup d'erreurs à la plantation : sylviculture, pathologie, station,...
- Plantation :
 - 1988 : 8.000.000 plants
 - 2014 : 400.000 plants
 - 2017 : 303.000 plants
- Exigeant écologiquement : sol profond sans hydromorphie, sensible au calcaire, pluviométrie > 800 mm, RU élevée
- Problèmes pathologiques : encre, collybie, zeuzère du poirier, pézize...
- Invasion biologique

Le réseau de tests convertis en VG

- Tests de provenances
- Tests de provenances-descendances
- Tests non convertis

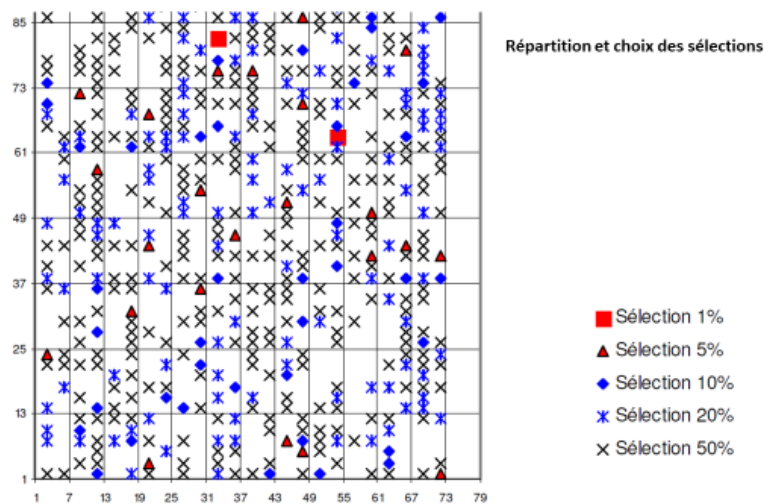


Description des tests en conversion

	Années de plantation	Surface	Nombre de provenances
Peyrilhac	1988	2,00 ha	22
Roumare	1987	2,00 ha	23
La Réna	1987	2,01 ha	01
Capvern	1991	0,90 ha	26
Ibos 1	1982	6,10 ha	31
Ibos 2	1983	8,20 ha (?)	&
Ibos 4 (?)	1985	3,11 ha	11
Ibos 5	1986	1,78 ha	10
Capvern 1	1991	7,30 ha	26
Capvern 2	1993	4,00 ha	13

LA SÉLECTION DES ARBRES

- Caractères
 - Hauteur (8-12 ans)
 - Diamètre (20 ans)
 - Note de forme (20 ans)
 - Caractères à la discrétion du sélectionneur : pathologie, vice caché,...
- Méthodologie (DIOEGENE)
 - Sélection du index : Provenance – descendance – individu
 - Choix du 1^{er} et du 2nd dans chaque cellule
 - Maintien de la diversité génétique maximale





ANNEXE 7 : Liste simplifiée des projets de conversion de dispositifs expérimentaux en sources de graines (INRA, CIRAD, FCBA, IRSTEA, ONF)

Espèce	Matériel végétal et type d'expérimentation	Objectif	Espérances de gain / diversité	Zone d'utilisation	Terme	Statut
Cèdre du Liban	Test de descendances de la provenance turque Arslankoy (Parlatges)	Production de semences	adaptation à la sécheresse	Zone méditerranéenne calcaire, plutôt basse altitude, sans risque de gel tardif	fructification pas encore stabilisée, sélection à faire dans le test de descendance	En cours
Cryptomère du Japon	Tests de descendances de Belloc et du Cranou	Production de semences	Vigueur et forme	Zone océanique principalement Pays Basque et Bretagne	Arbres en âge de fructifier	Projet
Douglas	Tests de provenances IUFRO septentrionales en altitude	Conservation dynamique	Survie et vigueur	Moyenne et haute altitude	Arbres en âge de fructifier	Projet
Mélèze d'Europe	Tests de descendances Centre Pologne à Bort, Eu, Plachet, Croze, Arcey	Production de semences	Vigueur et forme	Jusqu'à 700 m	Arbres en âge de fructifier	Projet
Mélèze hybride	Test clonal hybrides F1 d'Eclaches	Production de semences	Vigueur et forme	Jusqu'à 1400 m	Arbres en âge de fructifier	Projet
Pin brutia & Pin d'Alep	Tests de provenances descendances (Cf C. Pichot)	Production de semences				Projet
Pin de Salzmann	Ensemble de la collection archivée dans la vallée du Gardon) et à Cadarache	Production de semences				Projet
	40 clones (prov. col du Glas) installés dans la vallée de Mialet.	Conservation dynamique				Projet
Pin taeda	Test de descendances maternelles de clones sélectionnés en tests de provenances du Nord de l'aire (Maryland, Virginie, Caroline du Nord)	Production de semences	8% sur le diamètre et 16% sur la forme	Zone océanique, basse altitude hors zone calcaire et zone sèche (landes à callune du Sud-Ouest) jusqu'au Pays de Loire	Arbres en âge de fructifier	Réalisé : admis en catégorie Qualifiée en mars 2019
Sapin de Céphalonie	Test de provenances / descendances de St Lambert (provenances du Sud de l'aire)	Production de semences	Vigueur, tardiveté du débourrement, adaptation générale au climat méditerranéen avec sécheresse estivale	* Au-dessus de 600 m en région à influence méditerranéenne * Au dessus de 300m en région à influence continentale (Massif Central, Est de la France)	Arbres en âge de fructifier	Réalisé : admis en catégorie Qualifiée en octobre 2017

	Test de provenances d'Escampat (noyau au cœur du dispo) – Provenances continentales grecques.	Production de semences				Projet
Sapin noble	2 tests de provenances IUFRO (Cézallier et Ariège)	Production de semences	Survie et vigueur	Moyenne et haute altitude	Arbres en âge de fructifier	Projet
Chêne rouge	Test de provenances de Peyrilhac	Production de semences	Amélioration : croissance en hauteur, diamètre et forme	Plaine jusqu'à 600 m, pluviométrie > 800 mm, terrain sans hydromorphie, sol non compact, RU élevée	2021	En cours
	test de provenances de la Réna	Production de semences	Amélioration : croissance en hauteur, diamètre et forme	Plaine jusqu'à 600 m, pluviométrie > 800 mm, terrain sans hydromorphie, sol non compact, RU élevée	2021	En cours
	test de provenances de Capvern	Production de semences	Amélioration : croissance en hauteur, diamètre et forme	Plaine jusqu'à 600 m, pluviométrie > 800 mm, terrain sans hydromorphie, sol non compact, RU élevée	2025	En cours
	test de provenances de Roumare	Production de semences	Amélioration : croissance en hauteur, diamètre et forme	Plaine jusqu'à 600 m, pluviométrie > 800 mm, terrain sans hydromorphie, sol non compact, RU élevée	2021	En cours
	Tests de provenances-descendances d'Ibos tranche 1, 2, 4, 5	Production de semences	Amélioration : croissance en hauteur, diamètre et forme	Plaine jusqu'à 600 m, pluviométrie > 800 mm, terrain sans hydromorphie, sol non compact, RU élevée	2021	En cours
	Tests de provenances-descendances de Capvern 1 et 2	Production de semences	Amélioration : croissance en hauteur, diamètre et forme	Plaine jusqu'à 600 m, pluviométrie > 800 mm, terrain sans hydromorphie, sol non compact, RU élevée	2025	En cours
Orme	St Herblain collection conservatoire					
Teck	Clones - tests clonaux convertibles en vergers à graines de clones et conservatoires. Possibilité d'"infilling"	Selection de clones pour plantations clonales puis de graines	Productivité précoce et qualité du bois	Stations très arrosées et non hydromorphes de la zone intertropicale (Guyane)	Evaluation des clones dans différents contextes	En cours et en projet

ANNEXE 8 : Liste des espèces forestières réglementées par le code forestier, actualisée en juillet 2017

Nom botanique	Nom commun	Catégories des matériels de base disponibles en France
<i>Abies alba</i> Mill.	sapin pectiné	Sélectionnée
<i>Abies bornmuelleriana</i> Mattf.C	sapin de Bornmuller, sapin de la mer Noire	Qualifiée
<i>Acer campestre</i> L.	érable champêtre	Identifiée
<i>Abies cephalonica</i> Loud.	sapin de Céphalonie	Identifiée
<i>Abies grandis</i> Lindl.	sapin de Vancouver	Identifiée
<i>Abies pinsapo</i> Boiss.	sapin pinsapo	Identifiée
<i>Acer platanoides</i> L.	érable plane	Identifiée
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	érable sycomore	Identifiée (Provenance APS 400 « Massif Central ») Sélectionnée
<i>Alnus cordata</i> (Loisel.) Duby.	aulne à feuilles en cœur	Identifiée
<i>Alnus glutinosa</i> Gaertn.	aulne glutineux	Identifiée
<i>Alnus incana</i> Moench.	aulne blanc	Identifiée
<i>Betula pendula</i> Roth	bouleau verruqueux	Identifiée
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	bouleau pubescent	Identifiée
<i>Carpinus betulus</i> L.	charme	Identifiée
<i>Castanea sativa</i> Mill.	châtaignier	Identifiée (Provenance CSA 800 « Corse ») Sélectionnée
<i>Cedrus atlantica</i> Carr.	cèdre de l'Atlas	Sélectionnée Testée
<i>Cedrus libani</i> A.Richard	cèdre du Liban	-
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	gommier bleu	Identifiée
<i>Eucalyptus gunnii</i> Hook.f	gommier à cidre	Identifiée
<i>Eucalyptus gunnii x dalrympleana</i>	eucalyptus Gundal	Testée
<i>Fagus sylvatica</i> L.	hêtre	Sélectionnée
<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl.	frêne oxyphylle	Identifiée
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	frêne commun	Identifiée (Provenance FEX 400 « Massif Central ») Sélectionnée Qualifiée
<i>Juglans major x regia</i> L.	noyer hybride	Identifiée Qualifiée
<i>Juglans nigra</i> L.	noyer noir d'Amérique	Identifiée
<i>Juglans nigra x regia</i> L.	noyer hybride	Identifiée Qualifiée
<i>Juglans regia</i> L.	noyer royal	Identifiée
<i>Larix decidua</i> Mill.	mélèze d'Europe	Sélectionnée Qualifiée
<i>Larix kaempferi</i> Carr.	mélèze du Japon	-
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	mélèze de Sibérie	-
<i>Larix x eurolepis</i> Henry	mélèze hybride	Qualifiée Testée
<i>Malus sylvestris</i> Mill.	pommier sauvage	Identifiée
<i>Picea abies</i> Karst.	épicéa commun	Sélectionnée Qualifiée
<i>Picea sitchensis</i> Carr.	épicéa de Sitka	Sélectionnée
<i>Pinus brutia</i> Ten.	pin brutia	-
<i>Pinus canariensis</i> C.Smith	pin des Canaries	-
<i>Pinus cembra</i> L.	pin cembro	Identifiée
<i>Pinus contorta</i> Loud.	pin tordu	-
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	pin d'Alep	Sélectionnée
<i>Pinus leucodermis</i> Antoine	pin de Bosnie	-
<i>Pinus nigra</i> Arn. ssp <i>salzmannii</i> (Dunal) Franco	pin de Salzmann	Sélectionnée
<i>Pinus nigra</i> var. <i>calabrica</i> (J.W.Loudon) Hyl.	pin laricio de Calabre	Qualifiée
<i>Pinus nigra</i> var. <i>corsicana</i> (J.W.Loudon) Hyl.	pin laricio de Corse	Sélectionnée Qualifiée Testée
<i>Pinus nigra</i> Arn. ssp <i>nigra</i>	pin noir d'Autriche	Sélectionnée
<i>Pinus pinaster</i> Ait	pin maritime	Sélectionnée Qualifiée
<i>Pinus pinea</i> L.	pin pignon , pin parasol	Identifiée Sélectionnée
<i>Pinus radiata</i> D.Don	pin de Monterey	Identifiée
<i>Pinus sylvestris</i> L.	pin sylvestre	Sélectionnée Qualifiée
<i>Pinus taeda</i> L.	pin à encens	Sélectionnée
<i>Populus</i> ssp.	cultivars hybrides du genre peuplier	Testée

<i>Populus nigra</i> L.	peuplier noir	Qualifiée (mélanges clonaux)
<i>Populus tremula</i> L.	tremble	Identifiée
<i>Prunus avium</i> L.	merisier	Identifiée Sélectionnée Qualifiée Testée
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	douglas vert	Sélectionnée Qualifiée Testée
<i>Quercus cerris</i> L.	chêne chevelu	Identifiée
<i>Quercus ilex</i> L.	chêne vert	Identifiée
<i>Quercus petraea</i> Liebl.	chêne sessile	Sélectionnée
<i>Quercus pubescens</i> Willd.	chêne pubescent	Identifiée
<i>Quercus robur</i> L.	chêne pédonculé	Sélectionnée
<i>Quercus rubra</i> L.	chêne rouge	Sélectionnée
<i>Quercus suber</i> L.	chêne liège	Identifiée Sélectionnée
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	robinier faux-acacia	Identifiée
<i>Tilia cordata</i> Mill.	tilleul à petites feuilles	Identifiée
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop	tilleul à grandes feuilles	Identifiée
<i>Sorbus domestica</i> L.	cormier	Identifiée Qualifiée
<i>Sorbus torminalis</i> L.	alisier torminal	Identifiée