



**HAL**  
open science

## Révision des régions de provenances et peuplements sélectionnés : le cas des chênes pédonculé et sessile

Alexis Ducouso, Jean-Marc Louvet, Marc Faucher, Pierre Legroux, Pascal Jarret, Antoine Kremer

### ► To cite this version:

Alexis Ducouso, Jean-Marc Louvet, Marc Faucher, Pierre Legroux, Pascal Jarret, et al.. Révision des régions de provenances et peuplements sélectionnés : le cas des chênes pédonculé et sessile. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2004, hors-série 1, pp.33-42. hal-02676425

**HAL Id: hal-02676425**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02676425>**

Submitted on 12 Jul 2024

**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.

# Révision des régions de provenance et peuplements sélectionnés : le cas des chênes pédonculé et sessile



F. Chièze, ONF

Chênaie adulte en forêt domaniale de Montargis (45)

La surface de la chênaie française est estimée à 4 800 000 ha (40 % de la superficie forestière) dont 1 600 000 ha pour le chêne sessile (13 %) et 2 100 000 ha (17,5 %) pour le chêne pédonculé. Les chênes fournissent 60 % des sciages feuillus et procurent 40 % des revenus de la filière graines et plants. Leurs bois sont très recherchés pour l'ébénisterie, la tonnellerie et la menuiserie. Entre tous les types de forêts tempérées, c'est la chênaie qui recèle la plus forte diversité\* animale et végétale : en Grande-Bretagne par exemple, le nombre d'espèces d'insectes inféodés au chêne pédonculé est de 284 contre 64 pour le hêtre, 28 pour le charme

ou 16 pour le sapin (Speight et Wainhouse, 1989). Cette particularité confère aux chênaies de nombreux autres usages grâce à leurs potentialités cynégétiques, l'abondance et la qualité des champignons, leurs paysages. Les chênaies sont donc l'éco-

système majeur forestier en France tant sur le plan économique que celui de la biodiversité.

Actuellement, la régénération naturelle est devenue une priorité car :



Fig. 1 : carte de répartition du chêne pédonculé à droite et du chêne sessile à gauche

## r é s u m é

Les recherches conduites sur les chênes blancs européens se sont axées sur la description et l'origine de la diversité génétique. Différents outils sont mis en œuvre pour ce travail avec des marqueurs moléculaires et des marqueurs quantita-

tifs étudiés en forêt. L'organisation de cette diversité résulte de différentes forces évolutives neutres et adaptatives. Les résultats confortent les pratiques sages de gestion des chênaies à savoir (i) choisir une essence adaptée à la station (chêne sessile versus chêne pédonculé), (ii) priorité à la régénération naturelle si les semenciers sont de l'espèce objectif,

nombreux et de bonne qualité et (iii) en cas de plantation il faut prendre des ressources génétiques issus de peuplements sélectionnés les plus proches possibles géographiquement et écologiquement. Le développement de contrats de culture est souhaitable. Il faut remarquer que les grands crus de chênes montrent une supériorité génétique dès le jeune âge.

\* Voir glossaire p 117

- elle minimise les risques d'introduire un matériel végétal inadapté,
- les techniques employées sont plus respectueuses de l'écosystème,
- le paysage mieux accepté socialement,
- elle est plus résistante aux dégâts du gibier que les plantations,
- elle est dans certains cas moins onéreuse.

Mais la chênaie est encore régénérée artificiellement pour une large part. Dans le cas de plantations, les semences sont récoltées dans des populations naturelles. Cette récolte est soumise aux dispositions du code forestier et donc circonscrite aux peuplements sélectionnés pour leur phénotype\*, leur homogénéité et leur pureté spécifique. Ces peuplements sont regroupés en régions de provenances (voir Bilger *et al.* page 51). La fructification est très variable entre individus, entre populations et selon les années, ce qui entraîne des pénuries récurrentes en semences.

Les travaux en matière de génétique des chênes ont débuté au cours de la dernière décennie suite à une initiative commune de l'Inra et de l'ONF. Contrairement aux autres espèces, l'objectif poursuivi dans le cas des chênes indigènes n'est pas la création de variétés issues de vergers à graines mais vise à introduire un raisonnement génétique dans les opérations de régénération naturelle ou artificielle de manière à mieux valoriser les ressources génétiques existantes. Le choix de la meilleure source de graines pour la plantation et la définition d'une méthode de régénération naturelle garantissant une diversité génétique\* maximale constituent deux préoccupations

### Autécologie des espèces

**Le chêne pédonculé** couvre une majeure partie de l'Europe car son aire naturelle s'étend de l'Irlande à l'Oural, du Nord-Ouest de la péninsule Ibérique au Sud de la Scandinavie (figure 1). C'est une espèce post-pionnière nomade. Il a une très large amplitude écologique : on le rencontre depuis les sols très acides à calcaires, humides à mésophiles mais son optimum écologique se situe sur les sols acides riches et bien alimentés en eau. Il supporte mal la concurrence. Les plus belles chênaies se rencontrent dans les forêts ripicoles (vallée du Rhin, vallée de la Loire, vallée de la Saône, vallée de l'Adour...) mais du fait de son caractère nomade, on trouve ce taxon dans toutes les forêts de l'étage collinéen, les friches, les haies et les accrus. Les traitements en taillis et en taillis-sous-futaie lui sont très favorables. Des phénomènes de dépérissements sont régulièrement observés dans les peuplements hors vallée, dits hors station : ils sont dus au processus sylvigénétique\*. Pendant longtemps les forestiers ont mené une sylviculture traditionnelle en futaie dense, indifférenciée de celle du chêne sessile, favorisant l'apparition de dépérissements et de nombreux défauts. Cette conduite des peuplements est aujourd'hui abandonnée au profit d'une sylviculture beaucoup plus dynamique.



Fleurs de chêne pédonculé

A. Ducousso, Inra Bordeaux

L'aire naturelle du **chêne sessile** (figure 1) est, quant à elle, incluse dans celle du chêne pédonculé mais s'arrête vers l'Est à la frontière ukrainienne. Il a une très large amplitude écologique et climatique : on le rencontre depuis le niveau de la mer jusqu'à 2 400 mètres et sur des sols très acides à basiques, humides à très secs. C'est une espèce post-pionnière sociale et qui forme des peuplements purs mais le plus souvent des mélanges avec le chêne pédonculé, le charme ou le hêtre. La sylviculture traditionnelle du chêne sessile en futaie dense a généré des peuplements remarquables mais les forestiers s'orientent vers une sylviculture plus dynamique.



Feuilles et glands de chêne sessile

A. Ducousso, Inra Bordeaux

majeures de ce programme. Ces questions se sont traduites par des recherches axées sur la description

et l'origine de la diversité génétique au sein du complexe des deux chênes, sessile et pédonculé.

### abstract

Researches on European white oaks focused on description and origin of genetic diversity. Different molecular and quantitative markers have been used to analyse forest stands. The diversity patterns result from different

neutral and adaptive evolutionary forces. Results obtained confirm wise oak stands management practices such as i) selection of adapted species (sessile oak versus pedunculate one), ii) priority given to natural regeneration if there are enough seed trees with high quality level and if they belong to the selected species and iii)

if plantation is necessary, selection of genetic sources coming from registered seed collection stands closely related on geographical and ecological point of view. Development of nursery contracts is needed. The most famous oak stands show higher genetic performances in field tests even during the first years of growth.

## Les forces évolutives en action chez les chênes

L'organisation spatiale des ressources génétiques résulte, quelle que soit l'espèce considérée, de deux forces évolutives, l'une qualifiée de neutre (histoire des populations, flux de gènes\*...) et l'autre étant la sélection\* (naturelle et anthropique). Différents outils ou marqueurs\* sont mis en œuvre pour révéler et caractériser l'impact de ces forces (tableau 1).

### Les processus évolutifs neutres

Le climat a subi de nombreuses modifications au cours du Quaternaire avec une alternance de longues périodes glaciaires et de périodes plus clémentes. Lorsque le climat était froid, les espèces se sont repliées dans des refuges méridionaux. Lors de la dernière glaciation, l'aire de répartition des chênes blancs européens (représentés en France par quatre espèces : chêne sessile, chêne pédonculé, chêne pubescent, chêne tauzin) se limitait à la péninsule ibérique, au Sud de l'Italie, aux Balkans et peut-être au Caucase (Brewer et al., 2002). La recolonisation de l'Europe a commencé vers 13 000 ans BP (Before Present = année 1950 par définition) et s'est achevée vers 8 000 ans BP (Kremer et Petit, 2001). Cette recolonisation a laissé son empreinte génétique\* et elle a pu être reconstituée avec les marqueurs moléculaires, en particulier en étudiant l'ADN\* contenu dans les chloroplastes\* des feuilles de chênes (Petit et al., 1997).



A. Ducouso, Inra Bordeaux

Régénération naturelle dans un grand cru de chênes en forêt domaniale de Bercé

Aux conséquences de ces phénomènes naturels anciens s'ajoutent celles des flux de pollen et de glands. Les études sur le régime de la reproduction\* des chênes ont ainsi montré que le pollen des chênes se disperse sur de grandes distances : dans une parcelle de 5 ha de la forêt de la Petite Charnie (72), plus de 60 % des pères venaient de l'extérieur de la parcelle (Streiff et al., 1998). Les flux de gènes\* via le pollen sont très intenses car ils ont effacé, pour les marqueurs à hérédité biparentale, la structuration initiale post-glaciaire (Zanetto et al., 1996). L'ampleur de la dispersion des glands est beaucoup moins connue.

### Les processus sélectifs

La phénologie, la vigueur, l'architecture, la qualité du bois constituent des marqueurs quantitatifs qui sont soumis à la sélection naturelle et qui montrent une forte différenciation\* entre les populations (Ducouso et al., 2004). Ces caractères conditionnent la réussite technique d'une régénération de chênes. De gros efforts ont donc été consentis pour les étudier et se sont concrétisés par la mise en place d'un réseau de comparaison de provenances\* de chêne sessile grâce aux efforts conjugués de plusieurs organismes (Inra, ONF, Cemagref, pépinière expérimentale de Guéméné Penfao) (Ducouso et al., 1997). Dans cet article, nous

Types de marqueurs	Processus neutres		Processus sélectifs
	Histoire post-glaciaire	Flux de gènes	
Moléculaires*	Marqueurs moléculaires à hérédité maternelle : ADNcp*	Marqueurs moléculaires à hérédité bi-parentale : isoenzymes*, microsatellites*	
Phénotypiques* ou quantitatifs			Marqueurs quantitatifs : phénologie, vigueur, architecture, qualité du bois...

Tab. 1 : types d'information fournis par les différents marqueurs génétiques\* cités dans cet article



A. Ducouso, Inra Bordeaux

*Chêne de juin. Variabilité d'un caractère clef de l'adaptation : le débourrement. Voici un exemple de chêne très tardif en forêt domaniale de Vierzon*

analyserons essentiellement cet aspect car le succès d'une régénération dépend de ces caractères.

### L'organisation de l'adaptation chez le chêne sessile

#### Le réseau expérimental

Il est constitué de 4 plantations sœurs réparties selon un gradient Ouest-Est. Trois sont situées sur de bonnes stations à chêne sessile et une (FD Vierzon) est en situation extrême sur podzol hydromorphe (tableau 2). Dans cette expérimentation, sont testées 124 populations\* de chênes provenant de toute l'Europe, de l'Irlande au Caucase et de la Turquie au Danemark. Elles se répartissent de la manière suivante : 107 de chêne sessile et 17 de chêne pédonculé, 73 françaises et 51 étrangères.

#### Description de la diversité génétique

*La différenciation entre les populations suivant les caractères*

La différenciation génétique\* entre populations pour des caractères (ou marqueurs) phénotypiques se mesu-

Nom de la forêt	Région	Type de sol	Climat
FD de la Petite Charnie	Pays de Loire	brun (limon et argile)	atlantique
FD de Vierzon	Centre	podzol (sable)	atlantique sec
FD de Vincence	Bourgogne	brun (limon et argile)	atlantique montagnard
FD Sillegny	Lorraine	brun (limon et argile)	semi-continentale

Tab. 2 : localisation et principales caractéristiques des quatre tests de provenances

re à l'aide de l'indice Qst\* (Kremer et al., 1997). Lorsque sa valeur est proche de zéro, la différenciation entre les populations est très faible ; par contre lorsqu'il tend vers un, elle est très forte. Dans le tableau 3, figurent les valeurs de Qst, pour trois types de caractères sous contrôle génétique\* plus ou moins fort.

Les marqueurs quantitatifs que constituent ces caractères de phénologie, de croissance et d'architecture montrent un Qst élevé sauf pour la fourchaison, et ce quel que soit le niveau de contrôle génétique sur ces caractères. La confrontation des valeurs de Qst et de Gst\* – le Gst est équivalent au Qst mais

il est adapté aux marqueurs moléculaires qui sont neutres, c'est à dire non soumis à la sélection naturelle – permet de détecter indirectement les effets de la sélection. Pour les marqueurs nucléaires, transmis par le père et la mère, le Gst est faible et varie de 0,03 à 0,05 : cela signifie que les populations analysées sont fortement différenciées pour la phénologie, la vigueur et pour certains caractères architecturaux seulement et que cette différenciation résulte de processus de sélection naturelle forts.

#### Organisation spatiale de la variabilité génétique

Ces différences constatées entre populations sont-elles réparties

Caractères	Qst <sub>moyen</sub>	Qst <sub>max</sub> - Qst <sub>min</sub>
<b>PHÉNOLOGIE</b> <i>Sous contrôle génétique fort</i>		
Débourrement	0,55	0,71 - 0,45
Marcescence	0,54	0,71 - 0,44
Rugosité de l'écorce	0,36	0,51 - 0,26
<b>CROISSANCE</b> <i>Sous contrôle génétique moyen à faible</i>		
Hauteur totale à 4 ans	0,61	0,76 - 0,44
Hauteur totale à 10 ans	0,70	0,82 - 0,54
<b>ARCHITECTURE</b> <i>Sous contrôle génétique moyen à très faible</i>		
Hauteur de la 1ère branche	0,24	0,76 - 0,14
Nombre de branches	0,36	0,85 - 0,22
Nombre de fourches	0,10	0,54 - 0,06
Flexuosité	0,68	0,96 - 0,52
Forme	0,71	0,96 - 0,55

Tab. 3 : valeurs de Qst estimés pour différents caractères chez le chêne sessile

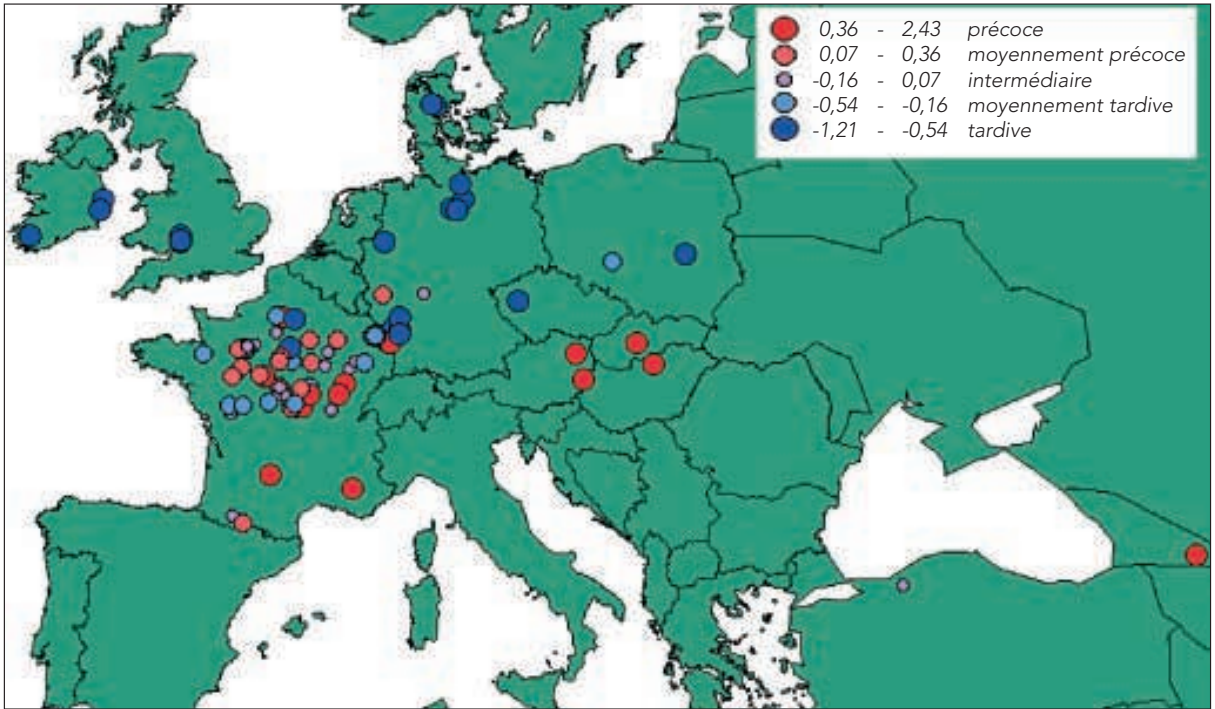


Fig. 2 : répartition des populations selon leur précocité de débournement

géographiquement de manière aléatoire ou au contraire observe-t-on une structuration spatiale des caractères adaptatifs mesurés ? Dans la figure 2, la phénologie du débournement des populations est cartographiée : les populations les plus précoces (cercle large rouge) sont toutes situées dans le Sud et le Sud-Est de l'Europe alors qu'au contraire les populations tardives sont localisées dans le Nord de l'Europe. Nous observons donc un gradient Nord-Sud pour ce caractère. Une analyse détaillée de la figure 2 nous montre, en plus du cline Nord-Sud, une répartition en agrégats des populations : le secteur Ligérien est par exemple plus précoce que les régions voisines. Ces hétérogénéités spatiales peuvent être analysées par des méthodes graphiques comme les distogrammes\* (figure 3). En abscisse, nous avons la distance en kilomètres entre couples de populations et en ordonnées la distance génétique\* entre ces populations. Le distogramme comprend trois courbes : deux (vert foncé et bleu foncé) donnent l'intervalle de confiance sur les

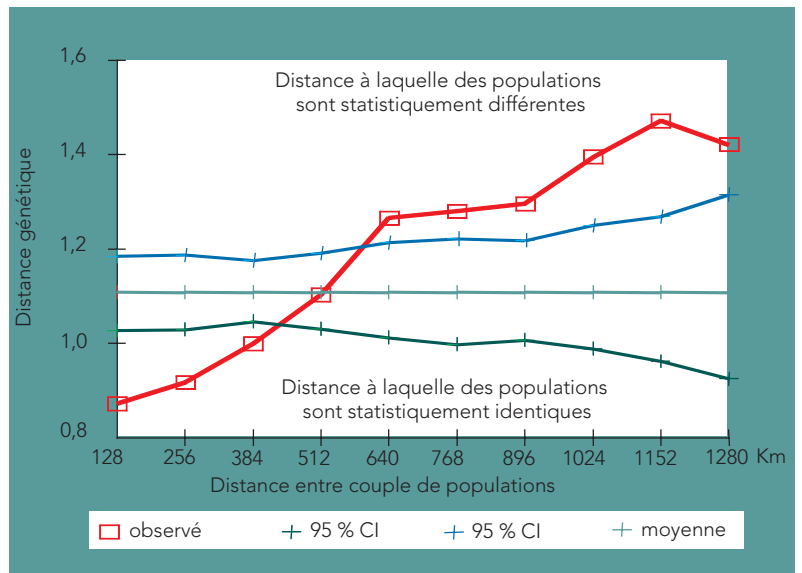


Fig. 3 : distogramme pour un ensemble de 10 caractères (débournement, marcescence, hauteur totale à 4 et 10 ans, accroissement en hauteur entre 4 et 10 ans, flexuosité, densité fourche, densité branche, et forme) mesurés sur 79 populations. La courbe vert clair est la distance génétique moyenne

distances génétiques (CI) et la troisième (bleu ciel) représente l'évolution de la distance génétique entre populations en fonction de leurs distances géographiques. Au-dessous de la courbe de l'intervalle de confiance en vert foncé, les couples de populations ne se différencient pas, au contraire au-dessus de la courbe bleu foncé elles sont statistiquement différentes.

On observe sur ce distogramme que la taille des agrégats est en moyenne de 400-500 km pour l'ensemble des 10 caractères mesurés. Elle varie de 150 km pour la hauteur à 10 ans à 450 km pour le débourrement (données non présentées sur ce distogramme). Nous ne disposons pas actuellement de suffisamment de données climatiques, pédologiques, écologiques et historiques sur les populations testées pour interpréter ces résultats.

### D'où vient cette structuration géographique ?

Cette distribution géographique particulière de la variabilité génétique peut avoir plusieurs origines : l'histoire des populations, la sélection naturelle et l'action de l'homme. Chacun de ces facteurs a été étudié séparément.

#### L'histoire des populations

Sept couples de populations de chêne sessile, originaires d'une région allant de la Bourgogne au Nord de l'Allemagne ont été comparés pour la phénologie et la croissance en hauteur mesurées dans les tests de provenances. Chaque paire comprenait une population issue du refuge glaciaire ibérique et l'autre du refuge italien ou balkanique. L'origine post-glaciaire n'a pas laissé d'empreinte génétique sur les caractères quantitatifs. Les échanges de gènes\* entre populations (pollen, graines) et les effets de la sélection naturelle ont effacé, pour les caractères quantitatifs, toute trace de différenciation provenant des zones refuges et de la recolonisation post-glaciaire alors que les marqueurs



A. Ducouso, Inra Bordeaux

*Régénération naturelle dans un grand cru de chêne (forêt domaniale de Tronçais). Le forestier, par son travail soigneux, a créé dans ces forêts des ressources génétiques de grande valeur. Ces populations montrent leur supériorité pour la vigueur dès l'âge de 4 ans et pour la forme dès 10 ans*

moléculaires permettaient de mettre en évidence la persistance des conséquences génétiques de l'histoire post-glaciaire des chênes blancs.

#### Les sélections naturelles

Le facteur mortalité a pu être étudié sur deux sites (Vierzon, Vincence) pour 38 populations de chêne sessile. En FD

de Vierzon (Cher), la mortalité est due à la nature du sol tandis qu'en FD de Vincence (Nièvre) elle trouve son origine dans la compétition avec les bouleaux, saules et trembles. Une analyse des relations entre le taux de mortalité et différents paramètres géographiques et climatiques montre :

■ qu'en milieu fertile (Vincence), la mortalité augmente avec la distance

de transfert entre l'origine du lot de plants et le lieu de plantation ;

■ qu'en site extrême (podzol de Vierzon), la mortalité est liée aux conditions climatiques du milieu d'origine de la population (pluviométrie durant la saison de végétation, évapo-transpiration potentielle [ETP]). Les plants issus de zones à forte pluviométrie et ETP élevée ont mieux survécu.

On voit sur cet exemple la diversité des composantes de la sélection naturelle.

### L'action de l'homme

Certaines forêts résultant d'une longue tradition sylvicole sont remarquables pour la qualité de leurs arbres. Par homologie avec l'œnologie, elles sont souvent dénommées « grands crus ». Elles se rencontrent essentiellement en Allemagne dans le Spessart et en France depuis le secteur Ligérien jusqu'aux Vosges. Tous les forestiers français connaissent les noms de ces grands crus tels que Bellême, Bercé, Les Bertranges, Réno Valdieu, Tronçais, etc. La figure

4 montre la supériorité des performances de ces grands crus à l'âge de 10 ans.

Il apparaît que les grands crus sont plus performants pour la forme et surtout pour la vigueur dès l'âge de 10 ans, indépendamment de leur région d'origine. Par leur travail soigneux, les forestiers ont créé des ressources génétiques de grande valeur chez le chêne sessile.

### La gestion des ressources génétiques : des règles de sagesse

Les évaluations des tests de provenances donnent des informations précieuses sur le choix des matériels forestiers de reproduction (MFR). Le tableau 3 donne comme exemple les moyennes pour la hauteur moyenne à 4 et 10 ans de grandes régions géographiques ainsi que la moyenne de la population la moins et la plus vigoureuse. Ce tableau concerne le test de provenances de la Petite Charnie qui montre que les popula-

tions locales expriment très rapidement leur supériorité et ce dès le jeune âge. À première vue, les différences observées peuvent sembler négligeables. Elles ont pourtant des conséquences financières importantes. En effet, une plantation doit être soigneusement entretenue jusqu'à une hauteur de 3 m ; or la durée pour qu'elle atteigne cet objectif variera de 7 ans à près de 11 ans selon les MFR retenus, ce qui augmentera d'autant les dépenses d'entretien pour les provenances à croissance juvénile faible. Ce critère ne doit toutefois pas être le seul pris en compte dans le choix d'une provenance. Ainsi, certaines populations lointaines présentent des performances remarquables dans ce tableau mais nous ne pouvons cependant pas les recommander car certaines d'entre elles ont déjà posé de gros problèmes. Par exemple, la population galloise « Blakeney » qui est actuellement en tête de classement était très chétive en pépinière et nous avons dû retarder l'installation du test d'une année pour que

Regroupement des populations testées des RP ou pays suivants		Hauteur à 4 ans (cm)			Hauteur à 10 ans (cm)			Nombre populations
		Moyenne	Min	Max	Moyenne	Min	Max	
RP locale	QPE 106	129, 8	<b>122, 5</b>	137, 2	<b>334, 5</b>	<b>317, 8</b>	350, 1	5
RP périphériques	QPE 103, 104, 105, 107 et 311	122, 1	104, 2	133, 5	321, 7	275, 4	343, 0	17
Nord et Nord-Est	QPE 102, 203, 204 et 212	125, 6	<b>94, 2</b>	144, 2	317, 8	275, 3	360, 5	19
Centre et Bourgogne	QPE 205, 411 et 422	124, 0	116, 3	136, 2	319, 2	283, 0	346, 2	13
Sud France	QPE 362, 403 et 500	122, 5	117, 1	130, 0	307, 0	303, 0	<b>399, 2</b>	3
Îles Britanniques	Royaume Uni et Irlande	<b>133, 3</b>	121, 2	<b>144, 6</b>	331, 7	300, 0	<b>364, 1</b>	6
Nord-Est de l'Europe	Allemagne, Danemark et Pologne	125, 3	115, 4	138, 2	311, 2	286, 2	330, 6	11
Centre et sud-est de l'Europe	Autriche, Turquie et Arménie	<b>112, 5</b>	107, 4	<b>122, 2</b>	<b>294, 0</b>	<b>258, 7</b>	322, 0	4

Tab. 3 : hauteur à 4 ans et 10 ans du test de provenances de la Petite Charnie - Tranches 1, 2 et 4 ) RP Secteur Ligérien (QPE 106). Les populations de grandes régions géographiques ont été regroupées. Les moyennes les plus élevées sont repérées en rouge et les plus faibles en bleu. (RP = région de provenance)



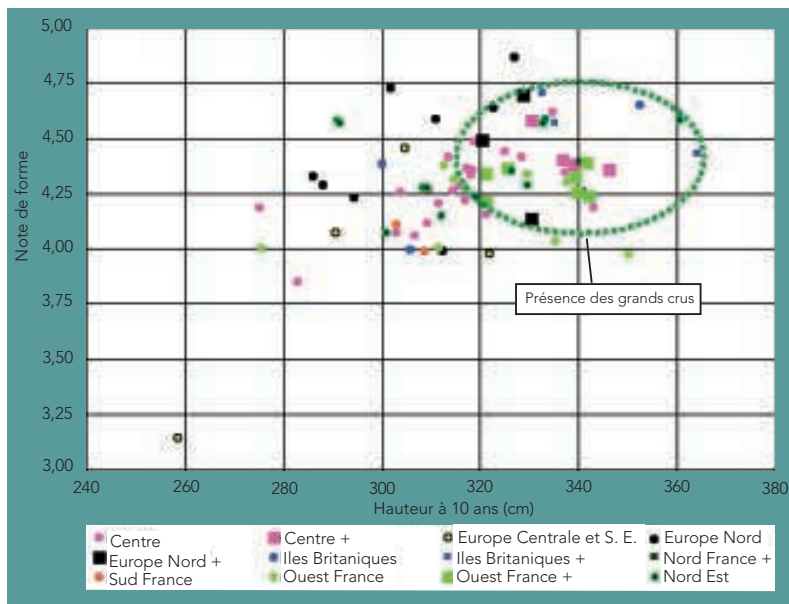


Fig. 4 : relation entre la vigueur et la forme des différentes populations de chêne sessile (test en forêt domaniale de la Petite Charnie, tranche 4-10 ans). Chaque couleur correspond à une région, les ronds correspondent à des populations normales et les carrés à des grands crus

les plants de cette provenance atteignent une hauteur de 15 cm. Les ouvriers forestiers avaient même refusé de planter un matériel si malingre ! Obstacle que nous avons réussi à lever par de longues explications sur les contraintes expérimentales.

Le forestier aura donc tout intérêt à utiliser le matériel le plus proche géographiquement et écologiquement de sa plantation. Il minimisera alors les risques de mortalité, de vigueur trop faible et de défaut de forme majeur. De plus, ces MFR seront globalement les plus performants sur de nombreux caractères. Le choix d'un grand peuplement proche permet ainsi d'accéder à des ressources génétiques de grande qualité pour la vigueur et la forme (figure 4).

### Les nouvelles régions de provenances

L'entrée en vigueur de la nouvelle directive européenne (n° 1999/105/CE) concernant la commercialisation des matériels forestiers de reproduction

a conduit à redéfinir les régions de provenances des espèces soumises au Code forestier, telles que les chênes sessile et pédonculé.

Les nouvelles connaissances acquises en génétique et en écologie au moment des discussions sur le redécoupage ont guidé cette réorganisation. De nombreux arguments scientifiques militent pour disposer d'un grand nombre de régions de provenances : structuration de la diversité et de la variabilité génétique, performances du matériel local, réduction des introductions de génotypes exotiques...

Mais de nombreuses contraintes en limitent la possibilité :

■ **contraintes techniques** : difficultés pour les marchands grainiers et les pépiniéristes de gérer un grand nombre de lots de semences et de plants ;

■ **contraintes biologiques** : du fait de l'hétérogénéité spatio-temporelle des glandées, une augmentation du nombre de régions de provenances entraînerait une difficulté croissante

d'approvisionnement du marché et une augmentation des échanges entre régions de provenance ;

■ **critères de sélection des peuplements sélectionnés (pureté spécifique, qualités phénotypiques et sanitaires)** : le nombre de peuplements retenus est très inférieur à celui des candidats et une augmentation du nombre de régions de provenances obligerait à une réduction de ces contraintes afin de disposer de plusieurs peuplements sélectionnés dans chacune d'entre elles (voir article Bilger et al. p. 51). Certaines nouvelles régions de provenances du chêne sessile ne comportent d'ailleurs pas encore de peuplements sélectionnés (QPE100, QPE201, QPE403, QPE500 et QPE601 (MAAPAR, 2003)).

Les contraintes technico-commerciales ont donc conduit à adopter des stratégies différentes pour le



A. Durcouso, Inra Bordeaux

Exemple d'arbre issu d'un grand peuplement français (forêt domaniale de Réno Valdieu). À l'âge de 7 ans, il montre une forme et une vigueur exceptionnelles. La forme a été notée 9 sur une échelle de 1 à 10 ; seuls les grands crus européens produisent des arbres pouvant atteindre les notes 9 et 10

chêne sessile et pour le chêne pédonculé :

■ **réduction du nombre de régions de provenances pour le chêne pédonculé :**

c'est une espèce de vallées. Les besoins pour ce type de milieu sont marginaux car les ripisylves sont rares. La majorité des 6 000 000 plants commercialisés sont plantés hors station. Nous pouvons nous attendre à une forte réduction future de ces reboisements résultant d'une meilleure prise en compte des exigences écologiques de cette espèce et de la protection des ripisylves. Très peu de données sur la diversité génétique sont disponibles pour le chêne pédonculé. Le redécoupage fut organisé dans ce cas sur des bases écologiques. Comme le chêne pédonculé est une espèce de vallée, les régions de provenances ont été définies selon une logique de bassins versants. Du fait des différentes contraintes évoquées plus haut, le nombre de régions de provenances a du être réduit à sept : QRO202 pour la vallée du Rhin, QRO203 pour celle de la Saône, QRO100 pour les vallées de la Loire et de la Seine,

QRO361 pour le bassin de l'Adour, QRO301 pour le bassin Nord de la Garonne, QRO201 pour ceux de la Meuse et de la Moselle et QRO421 pour le Massif central.

Dans le cadre de la réhabilitation des ripisylves, un raisonnement génétique plus poussé est nécessaire et adapté à chaque cas. Le reboisement s'effectuera alors en dérogation.

■ **légère augmentation du nombre de régions de provenances pour le chêne sessile :**

cette essence des plaines et collines devrait rester une essence majeure de reboisement car c'est une espèce potentiellement intéressante dans le cadre de la reconstitution des peuplements après les tempêtes de décembre 1999 et également pour remplacer les 1 800 000 ha de chêne pédonculé situés hors station optimale. Les populations de chêne sessile se différencient fortement pour les caractères quantitatifs (phénologie, croissance, forme...). Cette structuration résulte de pressions de sélection qui ont donné des adaptations\* locales. La sagesse requiert donc de limiter les transferts de populations ; pour cela le nombre

de régions de provenances a été augmenté et le nombre de régions d'utilisation par région de provenance a été réduit.

Le nouveau découpage des régions de provenance donné dans la figure 5 résulte ainsi d'un difficile compromis entre les contraintes administratives, socio-économiques et les connaissances scientifiques.

**Les conseils de sagesse**

Les résultats de la recherche confortent et renforcent les bonnes pratiques sylvicoles. Considérée comme prioritaire par l'ONF (voir Oddou et al. page 3), la régénération naturelle n'est cependant conseillée que si l'espèce objectif est dominante (chêne sessile vs. pédonculé) et si les semenciers sont de bonne qualité phénotypique. Si ces conditions ne sont pas remplies, le gestionnaire doit se tourner vers la plantation et reboiser au minimum avec du matériel issu de peuplements sélectionnés de sa région de provenance afin de réduire les transferts de populations. Nous conseillons fortement d'utiliser le peuplement sélectionné le plus proche

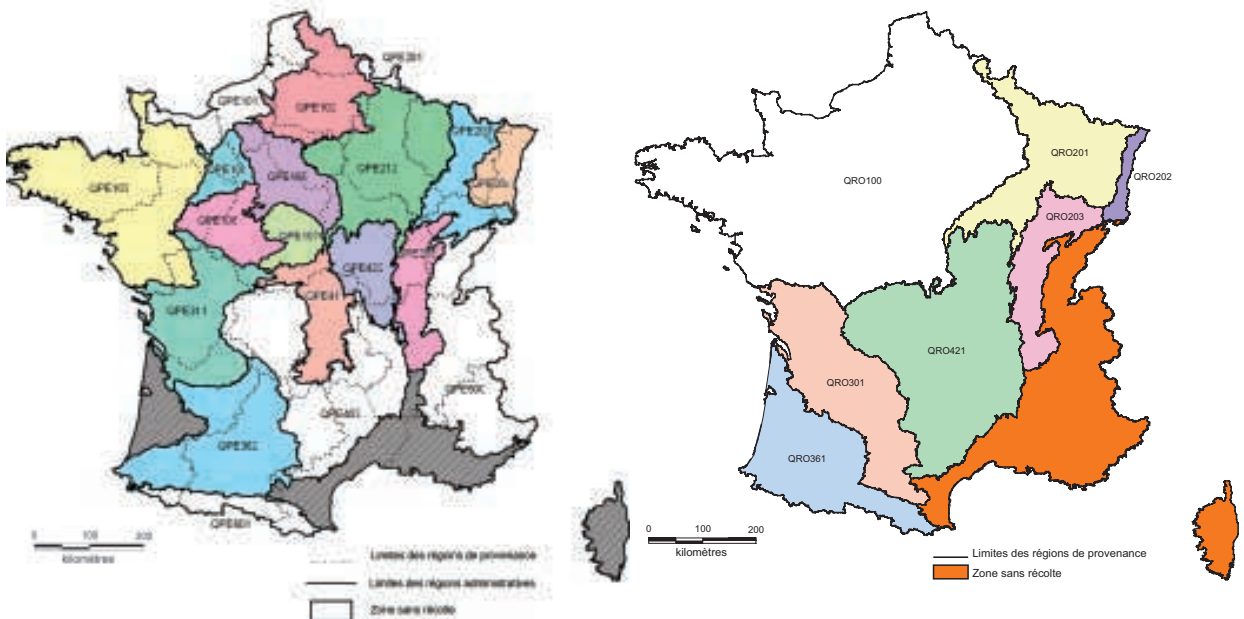


Fig. 5 : cartes des nouvelles régions de provenance des chênes sessile et pédonculé (MAAPAR, 2003)

(géographiquement ou écologiquement) dans sa région de provenance surtout s'il s'agit d'un « grand cru ». Une telle évolution nécessite la généralisation des contrats de culture. Les diverses techniques disponibles actuellement aux niveaux de la récolte et de la conservation des semences, et de la production des plants devraient rendre les pénuries relativement rares. En outre, les informations suivantes doivent être consignées dans le sommier de la forêt :

■ en cas de régénération naturelle : la densité et la qualité des semenciers, le nombre, l'abondance et la répartition des glandées,

■ en cas de régénération artificielle : l'origine du matériel planté.

Ce message s'affinera dans un avenir proche grâce aux résultats des travaux de génétique en cours et évoluera probablement sur le long terme pour faire face aux changements climatiques globaux, en s'infléchissant vers l'injection, dans les populations autochtones, de gènes d'adaptation aux nouvelles conditions de croissance que rencontreront les plantes. Cela demande bien entendu de meilleures connaissances sur les conditions climatiques du futur, sur les mécanismes adaptatifs et aussi de mettre au point de nouvelles techniques de gestion des ressources génétiques.

Les recherches s'orientent de plus en plus sur les bases génétiques de l'adaptation en identifiant les gènes impliqués dans la résistance à la sécheresse, à l'hydromorphie, dans la date du débourrement puis en recherchant des variants\* à l'intérieur de ceux-ci. Les tests de provenances devront être évalués régulièrement car ils fourniront de précieuses informations sur les composantes génétiques des différentes performances sylvicoles.

**Alexis DUCOUSSO**

Inra, UMR Biodiversité gènes et écosystèmes  
Pierroton  
ducoussou@pierroton.inra.fr

**Jean-Marc LOUVET**  
Inra, UMR Biodiversité gènes et écosystèmes  
Pierroton  
jean-marc.louvet@pierroton.inra.fr

**Marc FAUCHER**  
Inra, unité expérimentale  
Orléans  
marc.faucher@orleans.inra.fr

**Pierre LEGROUX**  
Inra, unité expérimentale  
Nancy  
legroux@nancy.inra.fr

**Pascal JARRET**  
ONF, DT Centre-Ouest  
Service techniques et recherche,  
Boigny sur Bionne  
pascal.jarret@onf.fr

**Antoine KREMER**  
Inra, UMR Biodiversité gènes et écosystèmes  
Pierroton  
antoine.kremer@pierroton.inra.fr

**Remerciements**

Plus de 60 personnes ont participé à la mise en place et à l'évaluation du réseau de tests de provenances\* de chêne sessile. Cet article est le fruit de leurs collaborations et de leurs investissements dans ce projet sur la génétique des chênes. Les auteurs remercient les équipes de terrain de l'ONF en FD de la petite Charnie, de Vierzon, de Vincennes et de Sillegny, les équipes de recherche et développement des territoires Centre-Ouest, Bourgogne et Lorraine et les unités expérimentales de l'Inra d'Orléans et de Nancy. Depuis le début, ce programme a été soutenu très fortement par la direction technique, département recherche de l'ONF.

**Bibliographie**

BREWER S, CHEDDADI R., de BEAULIEU JL, REILLE M, 2002. The spread of deciduous throughout Europe since the last glacial period. *Forest Ecology and Management*, vol. 156, n° 1-3, pp. 27-48

MAAPAR. Direction générale de la forêt et des affaires rurales, Cemagref, 2003. *Conseils d'utilisation des matériels forestiers de reproduction : régions de provenance, variétés améliorées*. 174 p.

DUCOUSSO A., BACILIERI R., DEMESURE B., DUMOLIN-LAPEGUE S., KREMER A., PETIT R., ZANETTO A., 1997. Structuration géographique de la diversité génétique chez les chênes à feuilles caduques européens. *Bulletin Technique de l'ONF*, n° 33, pp. 7-19

DUCOUSSO A., LOUVET J.M., JARRET P., KREMER A., 2004. Geographic variations of sessile oak in French provenance tests. *Tsukuba, Japon*, sous presse.

KREMER A., ZANETTO A., DUCOUSSO A., 1997. Multilocus and multitrait measures of differentiation for gene markers and phenotypic traits. *Genetics*, vol. 145, n° 4, pp. 1229-1241

KREMER A., PETIT R., 2001. L'épopée des chênes européens. *La Recherche*, n° 342, pp. 40-43

PETIT R.J., PINEAU E., DEMESURE B., BACILIERI R., DUCOUSSO A., KREMER A., 1997. Chloroplast DNA footprints of postglacial recolonization by oaks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 94, n° 18, pp. 9996-10001

SPEIGHT M.R., WAINHOUSE D., 1989. *Ecology and management of forest insects*. Oxford : Clarendon press. 373 p.

STREIFF R., DUCOUSSO A., KREMER A., 1998. Organisation spatiale de la diversité génétique et flux polliniques dans une chênaie mixte. *Genetics Selection Evolution*, vol. 30, suppl. 1, pp. S137-S152

ZANETTO A., KREMER A., 1996. Geographical structure of gene diversity in *Quercus petraea* (Matt) Liebl. 1. Monolocus patterns of variation. *Heredity*, vol. 76, n° 4, pp. 421-423