

Technique de bouturage sur chênes pédonculés et sessiles

Bilan des campagnes de 1997 à 2008

Guy Roussel¹, Olivier Lagardère², Mimi Bertocchi¹, Antoine Kremer¹

« Le regard du jardinier, l'observation, bien qu'empiriques, restent **toujours d'actualité** »

Résumé : Le bouturage horticole d'arbres forestiers est pratiqué sur le site Inra de Pierroton depuis les années 70. Pratiqué à différentes époques pour le pin maritime, le chêne rouge, les chênes blancs européens, il a pris avec les chênes blancs une importance stratégique dans les programmes de recherche. En effet, il est aujourd'hui indispensable dans la production du matériel végétal utilisé en recherche génétique, notamment en cartographie génétique, nous clonons à volonté les individus obtenus par croisement contrôlé. Nous présentons ici les techniques utilisées et les résultats des campagnes de 1997 à 2008.

Mots clefs : chênes, bouturage, multiplication végétative, parc à pieds-mères, clonage, QTL Quantitative Trait Loci (Locus de Caractères Quantitatifs)



Photo ©G. Roussel / Inra : expérimentations de bouturage sur chêne rouge en tunnel (1986)

Introduction

Depuis 1997, nous réalisons sur le site de Pierroton du centre Inra de Bordeaux, des campagnes massives de bouturage, dans le but de multiplier les croisements contrôlés obtenus sur ce même site. La technique rustique que nous pratiquons pour une production massive de boutures, est le résultat de compromis élaborés à partir d'expérimentations antérieures sur le chêne rouge (Slak M.-F., Favre, J.-M. 1990 et Verger M., 1987)

¹ 202UMR BIOGECO Biodiversité, gènes et communautés – INRA – Pierroton F-33610 Cestas

☎ 05 57 28 41 ✉ guy.roussel@pierroton.inra.fr

² UE0570 INRA - Pierroton – F-33612 Cestas

« Le bouturage est une technique de multiplication végétative classique pour certains ligneux (le peuplier en est l'illustration la plus commune). Il consiste à prélever un organe sur l'individu à multiplier - on parle d'ortet ou également de « pied-mère » - et obtenir sur cet organe l'émission de racines et de pousses feuillées afin de former un nouveau plant le plus comparable possible à un jeune plant issu de semis, en particulier au niveau de la croissance (vitesse de croissance et architecture) ». In Le chêne rouge d'Amérique (Timbal J., Nepveu G. 1994)

Nous ne reprendrons pas les protocoles élaborés sur chêne rouge (Verger M., 1987). Nous présentons ici le traitement des pieds-mères, le conditionnement des boutures, l'ambiance de bouturage, le sevrage des boutures obtenues, les résultats obtenus lors des différentes campagnes de 1997 à 2008, des données climatiques locales, l'utilisation des boutures en recherche sur la génétique des chênes.

1. Le traitement des pieds-mères, la culture en parc à pieds-mères

Il ressort des protocoles élaborés sur chêne rouge que la condition la plus favorable à l'émission de racines est la multiplication de rejets de souches, prélevés sur des pieds-mères maintenus dans un état *juvénile* par recépage récurrent pratiqué à chaque intersaison.

La technique de bouturage pratiquée à Pierroton de 1997 à aujourd'hui consiste en un l'élevage de pieds-mères issus des croisements. En pratique les descendants à multiplier sont installés après semis dans un parc à pieds-mères en pépinière (**figure 1 A**). C'est une plantation classique à écartement 2 x 0,9 mètres où chaque plant est étiqueté à l'aide de fiche métallique car le plant dès qu'il est bien installé est recépé annuellement et doit être identifiable rigoureusement. Ce dispositif fait l'objet de suivis continus :

- désherbage chimique,
- binage mécanique,
- arrosage, fertilisation,
- traitement phytosanitaire (oïdium, insecticide...).

Les opérations propres au bouturage consistent :

- à recéper le matériel installé en fin d'hiver systématiquement. Nous attendons que ces plants soient suffisamment vigoureux (2 à 4 ans) pour les recéper une première fois, c'est-à-dire que le plant est rabattu au niveau du collet en le taillant à l'aide d'un sécateur (**photo 0**), puis cette opération est répétée tous les ans. On recèpe en février - mars, en rabattant le plant au niveau du sol, au collet (**figure 1B**). Les années suivantes le plant est de nouveau rabattu et prend la forme d'un *chignon* au cours des années. Ainsi traitée, la souche réagit en développant des rejets à partir des bourgeons *dormants* (**figure 1 C, photo 0**). Les boutures sont réalisées à partir de ces rejets une fois développés ;
- à prélever ces rejets suivant le plan de bouturage annuel,
- à laisser des rejets sur les clones prélevés pour leur permettre une alimentation correcte durant la période de végétation.

Les premiers pieds-mères (chêne pédonculé) ayant subi ce traitement répétitif de recépage ont été recépés 11 fois depuis le début. 3 à 6 % des pieds-mères sont morts sans doute à cause du traitement. Le chêne sessile et les hybrides semblent moins bien tolérer les recépages successifs (**tableau 1**)



croisement		année de croisement	date d'installation dans le parc	nbre plants installés	relevé mortalité 2008	% mortalité	nombre de recépage intervenu
3P x A4	intra	1992	1995-96	278	10	3,6	11
11P x QS29	inter	1997	novembre 1998	80	8	10,0	7
11P x QS29	inter	1999	janvier 2001	409	42	10,3	4
QS28 x QS21	inter	2000	janvier 2004	89	5	5,6	1
QS29 x QS21	inter	2000	janvier 2004	41	10	24,4	1
3P x A4	intra	2004-05	janvier 2007	40	1	2,5	0
QS28 x QS21	inter	2004-05	janvier 2007	73	9	12,3	0
QS29 x QS21	inter	2004-05	janvier 2007	120	8	6,7	0
11P x QS28	inter	2004-05	janvier 2007	99	9	9,1	0

..P et A..= chêne pédonculé, Qs.. = sessile

Tableau 1 : relevé de mortalité 2008 (% de plants morts) des croisements installés dans le parc

En 2008 le parc 3P × A4 a été répliqué à 2 copies pour rajeunir le pied-mère et pour obtenir davantage de matériel à bouturer.

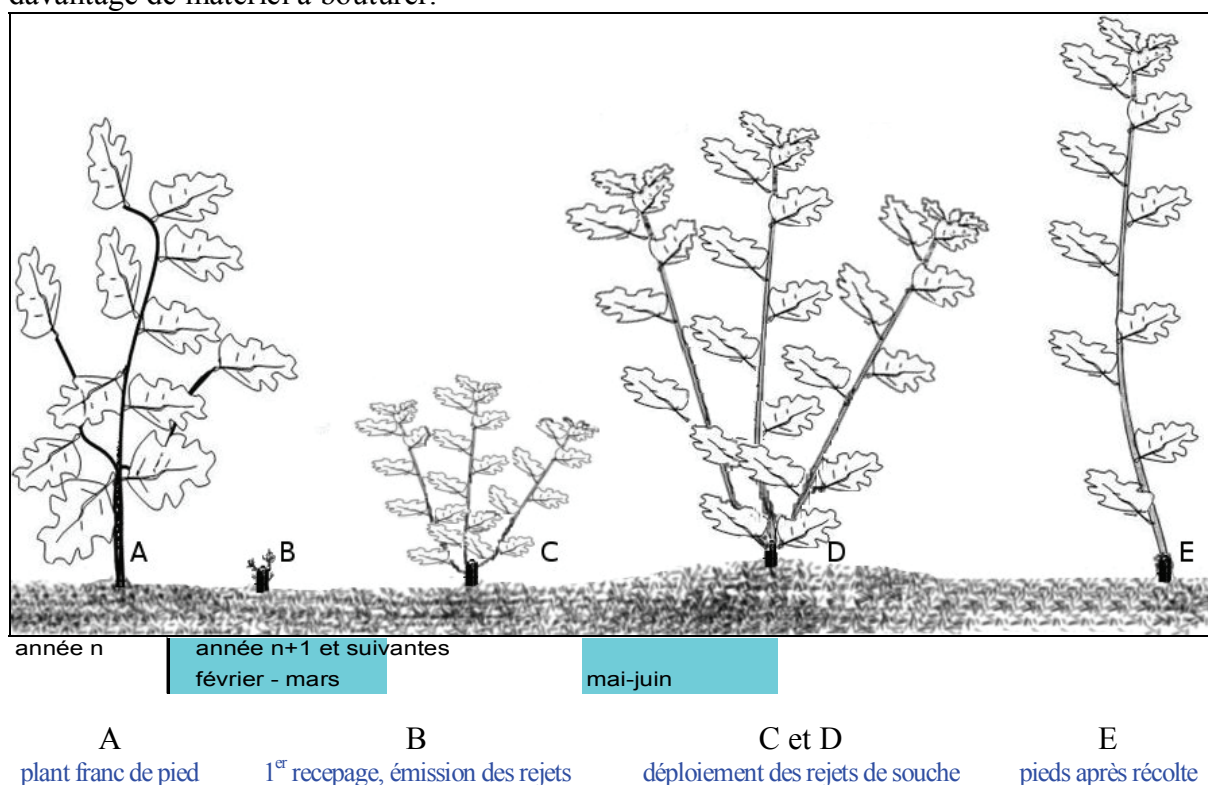


Figure 1 : schémas de la conduite des pieds-mères

2. Le prélèvement et le conditionnement des boutures

Après conditionnement les rejets sont installés en juin, juillet dans une serre tunnel à 80 % d'humidité. Pour cela les rejets sont récoltés sur le pied-mère, on laisse au moins un rejet pour permettre l'alimentation du pied durant l'été (**figure 1E**). Les rejets en fin d'élongation ont atteint le début de lignification³ (fin mai, juin).

³ Lignification : durant le développement du rameau on parle d'une croissance herbacée, croissance rapide avec des tissus tendres, suivie d'un raidissement par apparition de lignite dans les tissus.

On les découpe en segments de 10 à 15 cm (**figure 2**), comprenant au moins 2 bourgeons latéraux (feuilles) qui constituent les boutures. La découpe des feuilles tout en permettant la ventilation au niveau des caissettes est un facteur positif d'enracinement.

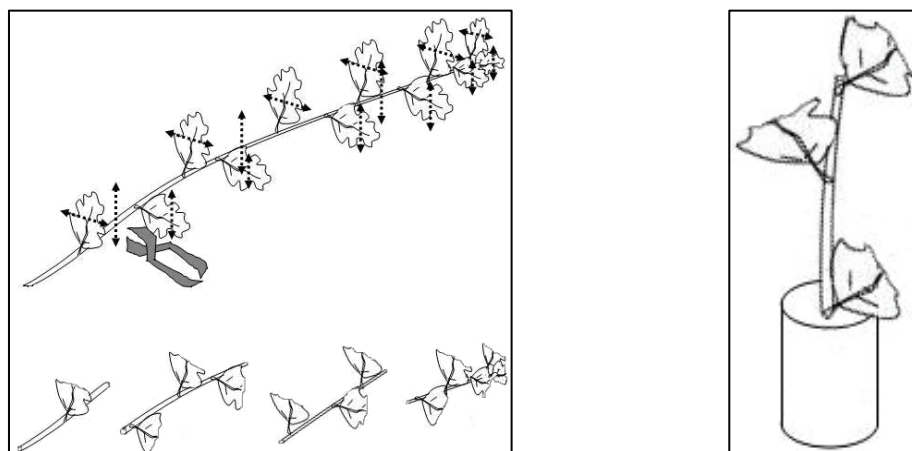
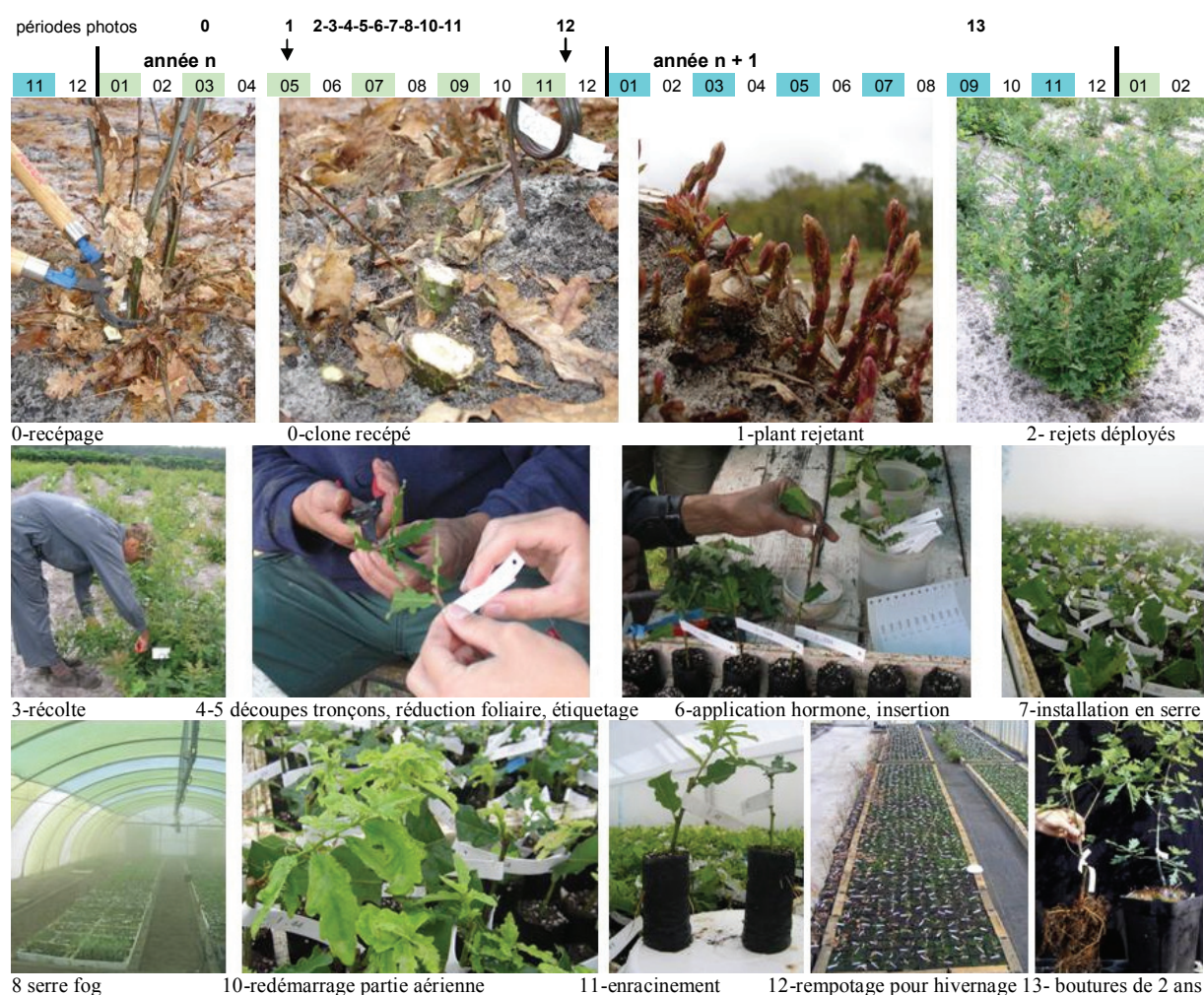


Figure 2 : schéma du conditionnement d'un rejet de souche en tronçons à bouturer



Photos 0 à 13 © Guy Roussel/Inra : chronologie des étapes du bouturage

La base du segment est enrobée d'une poudre contenant l'hormone de rhizogénèse et elle est insérée dans un substrat en ambiance de bouturage (**photos 3 à 8**). Dans ces conditions les segments auront le temps d'émettre de nouvelles racines sans faner.

3. L'hormone de rhizogénèse

L'hormone ou régulateur de croissance, l'auxine ou l'acide indole butyrique (AIB) est le régulateur le plus employé pour induire la rhizogénèse, émission de racine à partir d'un tronçon de plante tige, feuille etc. Nous utilisons actuellement une préparation poudrée à 1 %.

4. Le milieu de bouturage

Nous utilisons la motte Fertiss® (**photos 6 à 11**), prête à l'emploi. Le substrat est composé de tourbe blonde fine, de perlite et de vermiculite⁴. Le pH eau est de 6. La tourbe est moins vulnérable à la colonisation par des pathogènes du sol. Le substrat de bouturage se présente sous la forme d'un cylindre en non-tissé pénétrable par les racines et apportant un équilibre air/eau optimum pour le développement des racines. Il a une grande capacité à ressuyer. Le non tissé est dégradable et de conductivité inférieure à 0,5 ms. Ces cylindres sont installés en caissettes de manutention. Le non tissé, *perméable* aux racines permet de juger de l'enracinement de la bouture sans avoir à la déterrer de son milieu.

5. L'ambiance de bouturage

Les boutures étiquetées individuellement sont installées dans une serre tunnel. Cette serre est équipée d'un système contrôlé par un hygrothermostat : le *fog system* est un circuit d'eau mis sous 70 bars de pression qui en sortant sur des buses à aiguille est ainsi brumisée sous forme de brouillard (**photo 14B**). Cette serre-tunnel possède aussi un *cooling* c'est-à-dire une ventilation forcée de la serre pour évacuer les calories amassées en y introduisant de l'air extérieur préalablement rafraîchi au travers d'une paroi alvéolée et humide. Durant la campagne de bouturage de juin à octobre, l'ambiance à l'intérieur de ce tunnel est pilotée par un hygrothermostat qui selon l'hydrométrie mesurée commande ou pas l'injection de brouillard (oui < 80% < non) et selon la température intérieure commande ou pas le renouvellement de l'air ambiant (non < 40°C < oui). On voit que ce système à bascule est plus ou moins sollicité en fonction de la température extérieure du jour. Ainsi la campagne de bouturage est tributaire, chaque été de la météo. La serre de bouturage est passée au blanc pour réduire l'ensoleillement et l'échauffement.

Un responsable doit passer régulièrement pour régler les problèmes éventuels :

- réglage et consignes pour l'hygrothermostat,
- dessèchement, saturation du milieu d'eau,
- invasions par les algues etc.,
- incidents divers.

On observe l'apparition des premières racines au bout de 3 semaines et tout au long de la période estivale (**photo 11**).

Lors de la détection d'une hygrométrie inférieure à 60 % par l'hygrothermostat, une boîte vocale est activée par le réseau téléphonique et signale l'anomalie à la personne d'astreinte

⁴ tourbe blonde, perlite, vermiculite : milieux horticoles

qui ira intervenir sur le site. En effet, en été, la température d'une serre peut rapidement excéder 60°C, et, en quelques heures une campagne de bouturage « grille ». Si le problème n'est pas résolu, dans l'attente d'une réparation, l'intervenant mettra en route un arrosage permanent par asperseur, le mist.

6. La période d'entrée des boutures

La première campagne de bouturage est habituellement réalisée de juin à juillet. Nous avons fréquemment exécuté une deuxième campagne au mois d'août quand les pieds-mères réémettent suffisamment de rejets depuis le premier prélèvement de boutures. Il faut toutefois tenir compte de l'état physiologique des rejets et du temps nécessaire à l'enracinement.

7. Le sevrage et l'élevage

Le sevrage est le passage de la bouture d'une ambiance de survie durant laquelle elle prend racine à une ambiance plus classique d'élevage. Ce passage est réalisé par une diminution progressive de l'hygrométrie de 80 % à 40 %. À l'automne les boutures racinées sont transférées en pot de 4 litres. Les boutures sont installées en serre où le sevrage continue avec un arrosage par mist que l'on réduit. Elles passeront l'hiver hors gel car le matériel est encore fragile. Au printemps elles sont sorties et transférées sous tunnel ombragé où leur élevage se poursuit comme pour des plants issus de glands. Au bout d'une année d'élevage en pépinière les boutures sont installées dans les dispositifs expérimentaux en serres, pépinières ou en forêt selon les expérimentations scientifiques. Certaines boutures produisent seulement des cals durant l'été et un éventuel enracinement durant l'hiver ou au printemps. Au cours du sevrage et de l'élevage des boutures racinées ne survivront pas.

8. Calendrier de la multiplication végétative des chênes

Réalisation croisements contrôlés

année n

– semis et élevage des glands obtenus

année n + 1

Parc à pieds-mères

– installations des plants de 1 an

année n + 2

– recépage fin d'hiver des plants

suffisamment vigoureux (2 à 4 ans)

année n + 4

– prélèvements des rameaux déployés

année n + 4 et suivantes

Serre bouturage

– conditionnement et installation en serre bouturage des ortets

– relevé enracinement (septembre, octobre)

Sevrage et élevage des plants racinés

– sevrage et repiquage en pots de 4 litres (septembre, octobre)

– hivernage en serre

– tri des survivants et repotage des boutures printanières (avril, mai)

– élevage classique en pépinière

année n + 5 et suivantes

Utilisation dans divers protocoles scientifiques

année n + 6

9. Collecte des données techniques des campagnes de bouturage de 1997 à 2008

La décision de présenter les résultats de 12 campagnes de bouturage est récente et certains paramètres sont difficiles à aborder en raison de l'absence d'informations. Le **tableau 2** résume les principales interventions techniques relevées.

3P*A4		année de croisement	plantation dans le parc à pieds mère				1° recépage				1997	
campagne bouturage	parc à pieds mère	bouturage			suivi technique bouturage, parc					sevrage, hivernage en serre		élevage
		début bouturage	fin bouturage	2 ^e vague de boutures	panne	météo	engrais foliaire	arrosage	% enracinement	remontage	chauffage	sortie boutures pépinière
1997		15-mai	23-mai		24/08 panne fog 55°C				27	3>12/07 10>14/10		
1998		10-févr.	3-juin	10-juin					28	22/09>9/10/98		
1999		26-avr.	28-juin	2-juil.					44	9>20/09/99		
2000		26-avr.	5-juin	20-juin					32	20>27/09/00		
2001		22-mars	13-juin	19-juin					53	10>27/09/01		23/6/02
2002		18-mars	17-juin	21-juin	7-août	23/07 réparation ventillateur, coup de chaleur sur les jeunes pousses			39	17>24/09/02		23/6/03
2003	jan fev mar	30-juin	10-juil.		05+16/07 dysfonctionnement pilotage	canicule		15/5	37	06>16/10/03	1/12	
2004		1-mars	22-juin	8-juil.	15/7	31/7		X	26	4>11/10/04	25/11	
2005		21-mars	20-juin	6-juil.	27-juil.	09/06 alarme		X	33	20>26/09/05		4/5/06
2006		27-févr.	28-juin	10-juil.	9-août	15>25/07 canicule	20/9	X		2>8/10/06	26/12	3/5/07
2007		22-févr.	18-juin	4-juil.	30/07>3/08/07	campagne fraiche				6>16/10/07		15/4/08
2008		11-févr.	7-juil.	11-juil.					61	30/09> 10/10/08		18/5/09

**Tableau 2 : récapitulatif des campagnes de bouturage réalisées durant 12 ans.
Interventions techniques et incidents relevés**

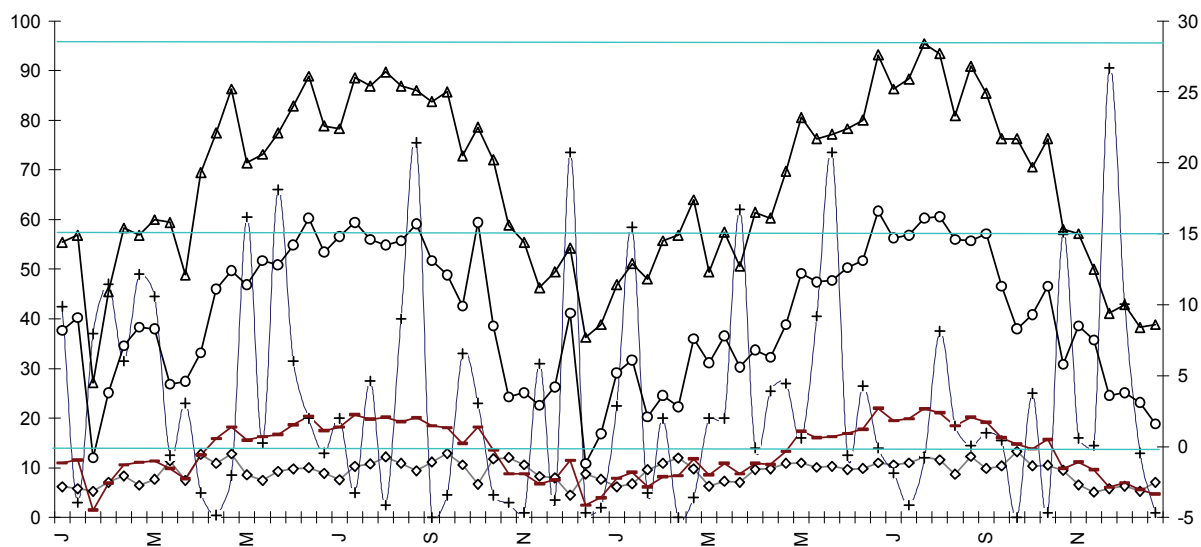
Nous n'avons pas de relevés climatiques locaux sur la période des campagnes de bouturage. Nous avons essayé d'aborder les conditions climatiques de la station, en utilisant la base *Inra Climatik*⁵. Le bouturage, technique rustique est certainement tributaire des variations climatiques locales estivales.

9.1 Comparaison de relevés locaux

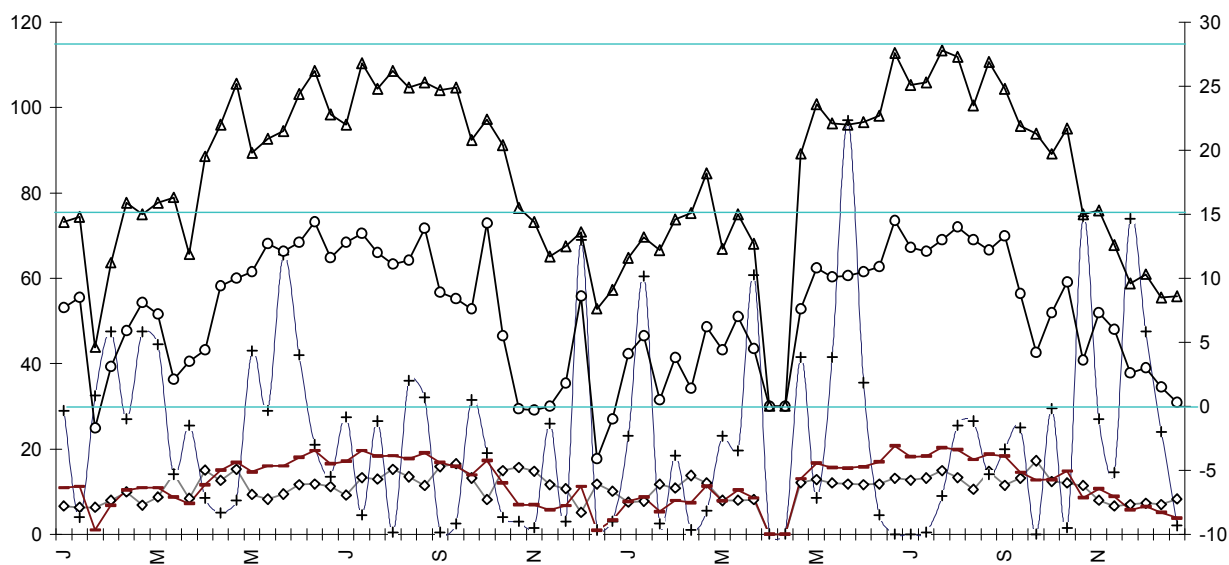
Après comparaison de relevés locaux des sites Inra de Pierroton et de Villenave d'Ornon pour 2007 et 2008 (**graphe 1 et 2**), sites éloignés de 20 km, nous présentons les relevés décennaux minima et maxima des températures ainsi que le relevé pluviométrique de la région

⁵ Les graphes de données climatiques présentés ont été obtenus à partir de la base Climatik - Unité de Service Agroclim Inra – F-84914 Avignon

de Villenave d'Ornon (**graphe 3**), pour approcher les conditions climatiques de la station de Pierroton sur cette longue période.



Grappe 1 : relevé d'écadair de Villenave d'Ornon années 2007-2008

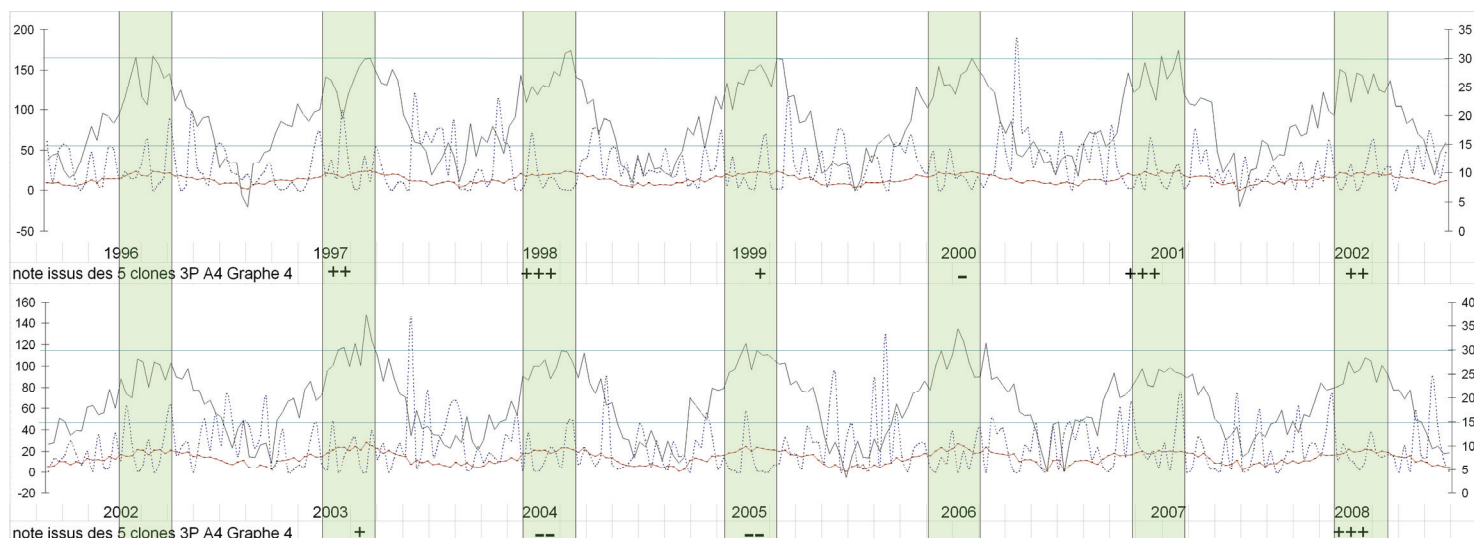


Grappe 2 : relevé d'écadair de Cestas Pierroton années 2007-2008

Légende	△	TX_MD	TEMPERATURE MAXIMALE D'ECADAIR (DEGRES CELSIUS)
	○	TN_MD	TEMPERATURE MINIMALE D'ECADAIR (DEGRES CELSIUS)
	⛶	RR_CD	HAUTEUR DES PRECIPITATIONS D'ECADAIR (MILLIMETRES)
	—	TM_MD	TEMPERATURE MOYENNE D'ECADAIR (DEGRES CELSIUS)
	◇	AMP_MD	AMPLITUDE THERMIQUE D'ECADAIR (DEGRES CELSIUS)

Les graphes décennaires des stations de Pierroton et de Villenave d'Ornon 2007-2008, montrent le parallélisme des données météo de ces deux sites pour les profils de températures à quelques écarts près. La pluviométrie, en revanche, diffère davantage.

9.2 Profil annuel décennaire du climat régional relevés à Villenave d'Ornon 1996-2008



Graph 3 : *profil annuel décennaire du climat régional relevés à Villenave d'Ornon 1996-2008, température maxi --, mini --, pluviométrie ..., zone colorée = période bouturage en serre*

À l'aide de ces courbes nous avons identifié les étés chauds en 1999, 2001, 2003, 2006, et les étés frais en 2002, 2007, 2008. Les notes de -- à +++ sont issues du classement des campagnes de bouturage (**graph 3**), au vue des scores de 5 clones 3P × A4 représentatifs du classement des résultats de l'ensemble des clones. Elles ne mettent pas en évidence une relation entre saison *favorable* et réussite particulière de la campagne de bouturage.

10. Présentation des résultats obtenus lors des 12 campagnes de bouturage

Les deux **tableaux 3** présentent les résultats des 12 campagnes réalisées à Pierroton sur deux croisements fournissant du matériel végétal étudié à l'unité Biogeco. Nous utilisons les résultats du bouturage en fin de campagne à l'automne. Ceux sont les données les plus complètes. Au cours du sevrage et de l'élevage des boutures les effectifs peuvent évoluer de façon très différentes suivant les années.

3P*A4 croisement de 2 sujets pédonculés l'arbre mère 3P de Pierroton, A4 l'arbre père d'Arcachon												11P*Qs29 croisement de 2 sujets l'arbre mère pédonculé 11P de Pierroton, Qs29 l'arbre père sessile d'Orléans													
de bouturage	Campagne	insérées	nombre de boutures	nombre de clones	nombre de boutures racinées	l'automne	% boutures racinées à l'automne	printemps	% boutures racinées au printemps	vivantes	% boutures	classement	de bouturage	Campagne	entrées pour	nombre de clones	nombre de boutures racinées	l'automne	% boutures racinées à l'automne	% mortalité hivernale sur	printemps	% boutures racinées au printemps	vivantes	% boutures	classement
1997	3992		238		1233		27	4																	
1998	5360		233		1517		28	21																	
1999	4906		234		2171		44	1				++													
2000	6002		271		1920		32	5																	
2001	5852		269		3126		53					+++													+++
2002	5833		269		2303		39					++								34			j-03	16	++
2003	5460		253		2024		37																n-04	6	
2004	5684		265		1482		26		j-09	22	-												j-05	9	-
2005	5039		255		1642		33		j-09	28													m-06	15	-
2006																							m-07	6	
2007																									--
cumul	48128				18567									cumul	31911		5173								
moyenne			254				39							moyenne		186			20						
2008	1518						61					+++		2008	6531				63						+++

Tableau 3 : Récapitulatif des campagnes de bouturage réalisées durant 12 ans, résultats obtenus avec le croisement 3P × A4 (intra pédonculé) et 11P × Qs29 (pédonculé x sessile)

10.1 Le pourcentage d'enracinement automnal lors du sevrage.

Le résultat le plus complet est le pourcentage d'enracinement à l'automne. Nous voyons qu'au cours des années il est relativement stable et le vieillissement des souches des pieds-mères ne semblent pas affecter les résultats. Le pourcentage d'enracinement pour 3P × A4 varie entre 27 et 53 %.

10.2 Influence du climat lors de la campagne de bouturage

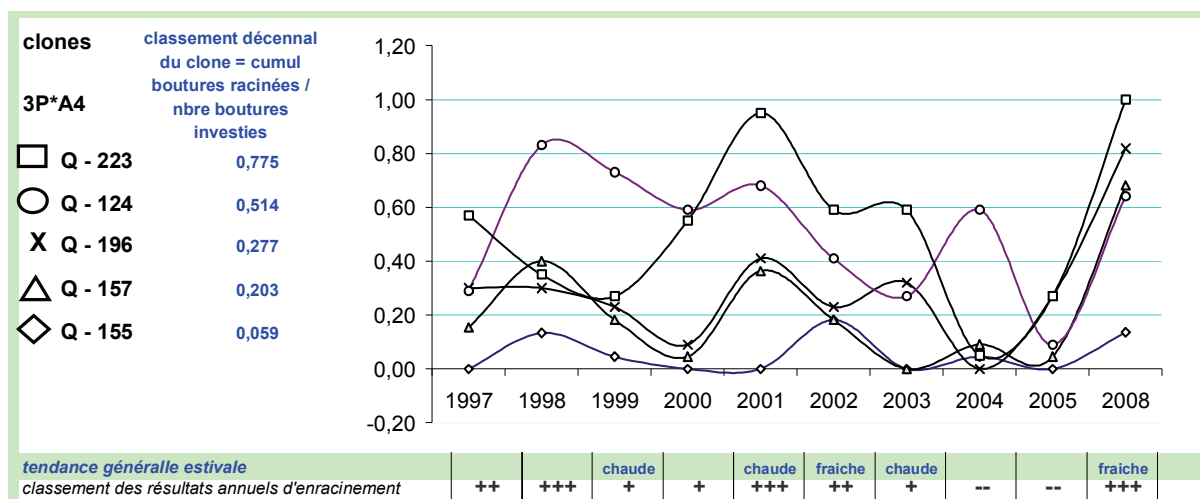
À la lecture du profil général des relevés météo de la région et des résultats des campagnes de bouturage, on ne distingue pas d'influence des années chaudes et ensoleillées 1999, 2001, 2003, 2006. Les hivers pluvieux auraient pu avoir une influence sur les pieds-mères et par conséquence, sur le bouturage de l'année suivante. Inversement les étés frais 2002, 2007, 2008 auraient pu peser négativement.

Nous pensons que des types d'événements non relevés interviennent de façon plus marquée comme le stress hydrique dû à de courtes périodes d'incidents techniques sur la brumisation, la pathologie en atmosphère saturée, les coups de chaleur... et leur combinaison.

Des événements particuliers ont été observés, par exemple en 2007, la fraîcheur estivale n'a pas fait disparaître l'oïdium lors de l'entrée des boutures en serre comme cela se produit les années plus chaudes et cela a entraîné une perte massive de boutures avant enracinement.

10.3 Comportement clonal (graphe 4)

Nous avons comparé les résultats annuels de l'ensemble des clones 3P × A4 (254 clones) sur une période de 10 ans où ils ont été bouturés massivement. Il en ressort que bien que fluctuant annuellement le taux d'enracinement ne semble pas diminuer avec l'âge de la souche du pied-mère.



Graph 4 : courbes annuelles du rapport boutures racinées / boutures installées pour 5 clones 3P × A4
Le classement décennal des clones est obtenu par le rapport du cumul des boutures racinées / le cumul des boutures installées

Ce graphe reprend le taux de réussite pour 5 clones 3P × A4 représentant la gamme générale de ce taux. Les clones sont issus de croisements réalisés en 1992 ; les plants sont donc âgés de 5 ans en 1997. Les 5 courbes ont des profils plus ou moins parallèles où l'on voit un effet campagne annuelle. Nous dirons finalement que les campagnes les moins favorables seraient 2000, 2004, 2005. Les plus favorables seraient 1997, 1998, 2001. La campagne 2008 étant hors compétition du fait des conditions de bouturage différentes dans la nouvelle serre.

10.4 Evolution du classement

En parallèle à la capacité d'enracinement des clones, le classement entre clone marque une certaine stabilité pour l'aptitude au bouturage. Les clones donnant les meilleurs résultats ou les moins performants gardent leur classement d'une année sur l'autre.

10.5 Les points nous posant questions

La technique de bouturage que nous utilisons donne satisfaction quant aux quantités de boutures obtenues. Plusieurs postes gagneraient sans doute à être surveillés et améliorés :

- la conduite du parc à pieds-mères : l'emploi régulier d'herbicide sur des sols très pauvres n'a-t-il pas un rôle sur la qualité du matériel obtenu ?
- le stade de récolte des boutures : La mise en place des boutures en fonction de la priorité des travaux tient peu compte du stade physiologique des rejets (récolte massive). Ne gagnerait-on pas à le prendre davantage en compte ?
- le sevrage : Nous voyons qu'un pourcentage d'enracinement estival supérieur à d'autres années ne débouche pas également sur un pourcentage équivalent de survivants au bout de 2 ans. L'amélioration de la technique de sevrage devrait être une priorité.

11. La nouvelle serre de multiplication (2007-2008)

En 2003 lors d'un stage de E. Bertocchi à station de recherches forestières de Pontevedra-Lourizan en Espagne à la lumière des expérimentations, il est apparu que le système de bouturage pouvait être amélioré. En 2006, O. Lagardère lors d'une mission à l'INH d'Angers

a étudié le système utilisé en termes de distribution de brouillard en tunnels individualisés et de pilotage correspondant. En 2007, l'unité expérimentale de Pierroton a profité de la construction d'une nouvelle serre pour mettre en œuvre un système semblable. La serre est équipée de tablettes semi roulantes, supportant chacune un mini tunnel (**photos 14C**). Chaque tunnel dispose d'une rampe de 2 buses *fog* avec une alimentation souple haute pression, pilotée par une électrovanne. L'hygrométrie est contrôlée par un hygromètre placé à l'intérieur du mini tunnel. Le pilotage général de la station *fog* et de la distribution est assuré par l'automate gérant l'ensemble des paramètres et des équipements climatiques de la serre. Cette nouvelle unité de bouturage a obtenu des résultats positifs lors de la campagne de bouturage 2008, quant à la réaction du matériel végétal et à l'enracinement.

ancienne serre (photo 13 A) 1997-2007	nouvelle serre (photo 13 C) 2008-20..	observation campagne 2008
caissettes de boutures posées sur un lit de gravier	caissettes de boutures sur plateau mobile	manutention en dehors du fog et à hauteur d'homme
enceinte unique, l'ensemble de la serre	autant d'enceinte que de plateau (minis tunnels)	confinement homogène dans le temps
ambiance unique, balance fog / cooling	ambiances séparées fog / serre + coolbox	multiplification des traitements

Tableau 4 : comparaison des ambiances de bouturage 1997>2007, 2007>2008⁶

Les nouvelles conditions ont apporté un excellent confinement, la séparation Coolbox / fog système en mini tunnel tout en ayant un confinement très homogène permettrait d'avoir autant de traitements que de tunnels et de les gérer différemment dans le temps. La manutention est plus aisée dans les tunnels sur plateau.



14A : tunnel bouturage unique
(1980-2007)



14B : buse à aiguille du fog système



14C : mini tunnels en serre (2007...)

Photos 14 ©Guy Roussel / Inra

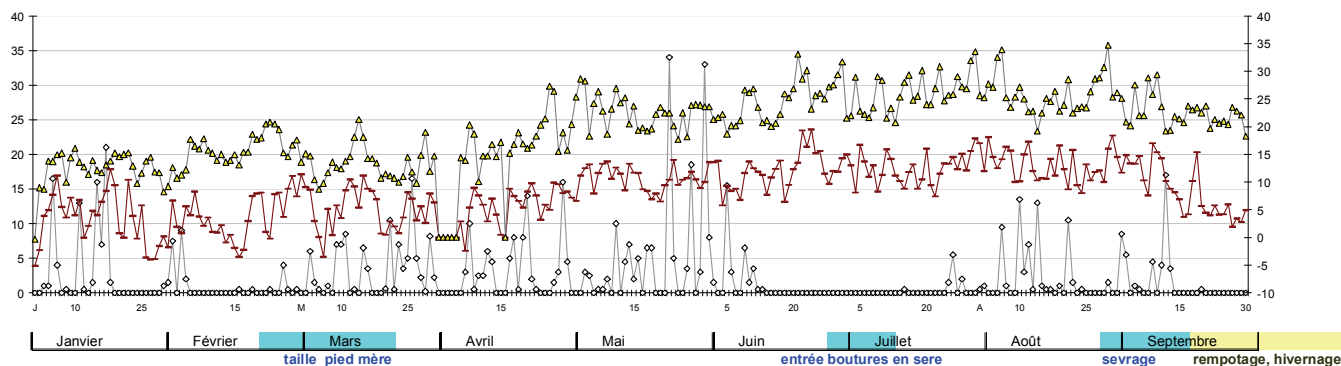
12. Types de suivis pour une campagne de bouturage (2008)

	nombre clones	date d'insertion en serre	total insertion	date repotage										
				30/9	1/10	2/10	3/10	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	9/12	
3P*A4	69	09/07>10/07	1518	511 422										
11P*Qs29	311	30/06>09/07	6804	1029	1012	621	98	766	96	360	289			137
général campagne	380	12 jours	8322	période repotage sur 71 jours, 10 jours effectifs										
				total racinées novembre 2008		% enracinement		total racinées mai 2009		% enracinement		perte hivernale		
												effectif		%
3P*A4		22,0	13,5	933		61,5		11		0,7		922		60,7
11P*Qs29		21,9	14,2	4408		64,8		931		13,7		3477		51,1
général campagne		21,9	14,1	5341		63,1		11		0,1		5330		63,0

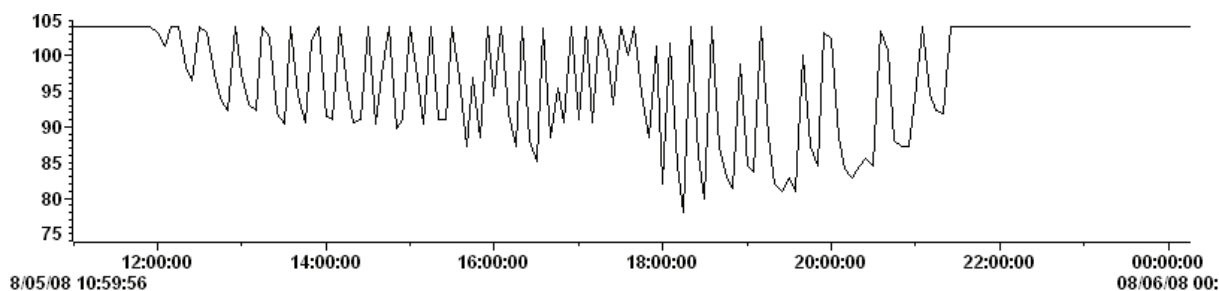
Tableau 5 : Campagne de bouturage 2008, données O. Lagardère (Décembre 2008)

⁶ Coolbox : la régulation thermique se fait conjointement par l'ouverture de la serre en faitage et l'addition d'air refroidi pulsé, le tout piloté par un automate.

Un suivi précis peut faire apparaître des facteurs qui nous échappaient (**tableau 5**). De la même manière, aujourd’hui nous avons des outils (**graphes 5, 6**) qui nous permettent de suivre le climat extérieur ainsi que dans les serres.



Graphe 5 : suivi climatique Pierroton 2008, courbes mini \square , maxi \triangle , pluviométrie \diamond , données Climatik



Graphe 6 : Réponse de l’hygrostat pour maintenir l’hygrométrie d’un tunnel, réponse au réchauffement solaire journalier sur une journée 5/08/2008 (une mesure d’hygrométrie toutes les 5 mn, suivi par hobo). Nous observons qu’il y a eu 35 injections d’eau brumisée

Remarque : Toutes ces campagnes de bouturage ont été réalisées dans la pépinière de l’unité expérimentale de Pierroton dont l’équipe assure la maintenance des équipements ainsi que le suivi sanitaire. Depuis 2008, avec le départ à la retraite de Mimi Bertocchi de l’unité Biogeco, l’unité expérimentale se charge de l’ensemble des réalisations.

13. L’utilisation des boutures

Les boutures ainsi obtenues après un an d’élevage en pépinière sont utilisées dans des dispositifs d’étude en forêt, en conditions artificielles etc. S’agissant de plants bouturés d’individus « plein frères » appartenant à des pedigrees de cartographie génétique, les plants sont essentiellement utilisés en vue de mettre en place des plantations expérimentales pour la détection de QTLs. De manière générale la détection de QTLs, est d’autant plus précise que le nombre de descendants sur lesquels portent les mesures phénotypiques est élevé (au moins plusieurs centaines). La multiplication végétative est utilisée pour améliorer la précision des mesures phénotypiques, grâce à la possibilité d’installer un même génotype dans plusieurs conditions environnementales. Trois séries d’expérimentation ont été installées à ce jour. Elles portent toutes sur la famille $3P \times A4$.

13.1 Détection de QTLs : Dispositifs en forêt

Ces dispositifs ont pour objectif de détecter des QTLs pour des caractères d'intérêts écologiques et forestiers qui ne peuvent être évalués qu'à partir d'un certain âge (croissance, forme, débourrement, coloration des feuilles...)

Dispositifs et localisation	Année de plantation	Nombre de clones testés	Nombre moyen de copies clonales par test	Principaux caractères mesurés
Bourran 1 (47)	1999	174	6	Croissance, débourrement, morphologie des feuilles, fructification, discrimination isotopique du carbone
Bourran 2 (47)	2000	207	11	Croissance, débourrement, morphologie des feuilles, fructification, discrimination isotopique du carbone
Champenoux (54)	2004	204-251	5	

Tableau 6 : *dispositifs forestiers installés à long terme.*



Photo 15 © Guy Roussel / Inra : *dispositif forestier de Bourran 2 (47) en 2008*

13.2 Détection de QTLs : Dispositifs en pépinière ou en serre

Il s'agit de dispositifs visant à la détection de QTLs pour des caractères juvéniles en liaison avec l'adaptation à leur milieu. Les prélèvements sont souvent destructifs et l'expérimentation est menée à court terme.

Lieu de l'expérimentation	année	Nombre de descendants	Nombre de boutures	Doctorants ou chercheurs	Principaux caractères mesurés
Champenoux Nancy	2002	183	2x183	Xavière Torti	Réponse des plants à l'augmentation de CO ₂
Grande Ferrade Bordeaux	2003	232	680	Amira Mougou	Résistance à Phytophthora et à l'oïdium
	2006	236	671		
Champenoux	2004	120	360	Julien Parelle	Résistance à l'ennoyage
Pierroton Cestas	2007	228	1351	Antoine Kremer	Coloration des feuilles, arrêt de croissance
Pierroton	2008	135	405	Grégoire Le Provost	Niveau d'expression des gènes candidats du débourrement

Tableau 7 : *dispositifs expérimentaux en conditions particulières.*

13.3 Physiologie comparée de clones

La détection de QTL pour la discrimination isotopique du carbone en forêts a permis d'identifier des clones de comportement contrasté vis-à-vis de l'efficacité d'utilisation de l'eau. Ces clones ont été multipliés végétativement en plus grand nombre et ils ont fait l'objet de caractérisation du métabolisme de l'eau très détaillée (thèse de Magali Roussel, 2008), dans le cadre d'une coopération entre deux unités Inra, l'unité Biogéco (Grégoire Le Provost) et l'unité EEF et (Ecologie et Ecophysiologie Forestière, Oliver Brendel).

Conclusion

Nous n'avons pas un suivi technique suffisant des campagnes de bouturage pour tirer des conclusions nettes. Des pratiques toutefois se confirment. Le confinement à une température élevée jusqu'à 40°C est un facteur déterminant pour l'enracinement des boutures ; les années avec un été chaud sont les plus favorables. Les nouvelles installations et les conditions fraîches de 2007-2008 ont montré qu'un été frais dans les conditions du système « ancienne serre » sont défavorables, et que la nouvelle ambiance procure un meilleur confinement du matériel et, aussi une ambiance plus chaude que dans le système à bascule. Moyennant l'adaptation aux conditions nouvelles de la serre à mini tunnels et à un suivi de *jardinier* des collections nous pouvons espérer affiner la technique.

Remerciements : Nous remercions l'équipe de la pépinière : B Montoussé, O Lagardère, H Bignalet, L Salera ainsi que A. Kremer pour sa participation à la rédaction de cet article en particulier les paragraphes traitant de l'utilisation des boutures.

Bibliographie

Verger M. (1987) *Le bouturage du chêne rouge d'Amérique*, Bordeaux : Inra, 27P (Mémoire : de stage BTS Bouturage chênes rouges, protocoles d'essais)

Slak MF., Favre JM. (1990) Possibilités actuelles de la multiplication végétative chez les chênes, *Revue forestière française*, <http://hdl.handle.net/2042/26066> (consulté le 12 /10 /2010)

Cornu D., Garbaye J., Le Tacon F. (1975) Résultat d'un essai préliminaire sur le bouturage du chêne et du hêtre, *Revue forestière française*, <http://hdl.handle.net/2042/20926> (consulté le 12/10/2010)

Timbal J., Nepveu G. (1994) *Le chêne rouge d'Amérique*, Editions Quae, 564 pages

Roussel M. (2007) Variabilité intraspécifique de l'efficacité d'utilisation de l'eau dans une famille de chêne pédonculé (*Quercus robur* L.), p.216



Photo16 : *parc à pieds-mères, croissance rejets, 25 mai 2008*