

VARIETES FORESTIERES DU FUTUR

Réflexion à l'horizon 2020-2030



Eric Teissier du Cros
(coordonnateur)
DERF, Paris
INRA, Avignon
Décembre 2001

VARIETES FORESTIERES DU FUTUR

Réflexion à l'horizon 2020-2030

Eric Teissier du Cros
INRA, avenue Vivaldi, 84000 Avignon
(Coordonnateur)

Sommaire

	Page
I - Lettre de mission	1
II - Cadrage de la réflexion	3
III - Méthode d'acquisition de l'information. Membres du comité de réflexion	5
IV - Les espèces. Sources actuelles et futures de MFR pour les espèces de reboisement en France	7
♦ Espèces a	7
- Pin maritime. <i>Patrick Pastuszka, Inra et GIS Pin maritime</i>	9
- Douglas. <i>Bernard Héois, Cemagref et GIS Variétés Forestières Améliorées</i>	17
- Peuplier. <i>C. Bastien, J. Pinon, Marc Villar, Inra, V. Breton, Cemagref, A. Berthelot, Afocel pour le GIS Peuplier</i>	25
♦ Espèces β	33
- Variétés issues de vergers à graines	34
- Variétés qui proviendront de vergers à graines constitués à coût minimum	36
- Clones et variétés clonales	37
- Espèces dont le MFR est ou sera issu des peuplements sélectionnés et contrôlés	38
- Reboisement basé uniquement sur une ressource située à l'étranger	40
V - Politiques de nos voisins en matière de reboisement.	41
VI - Recherches de nos voisins en vue des sorties variétales.	43
VII - Etude d'opportunité sur l'épicéa	45
VIII - Biotechnologies au service de l'amélioration des arbres forestiers et des sorties variétales	47
IX - Conséquences de la tempête sur les programmes d'amélioration	51
X - Arbres de Noël	53
XI - Conclusion	55
Remerciements	57
Annexes	
Annexe 1. Lettre de mission. <i>Cyrille Van Effenterre, Derf</i>	59
Annexe 2. Fiches des espèces β	63
Cèdres de l'Atlas et du Liban. <i>Michel Bariteau, Inra</i>	67
Châtaignier. <i>Isabelle Bilger, Cemagref, Cécile Robin, Inra</i>	71
Chêne pédonculé. <i>Alexis Ducouso, Inra</i>	75
Chêne rouge. <i>Alexis Ducouso, Inra</i>	77
Chêne sessile. <i>Alexis Ducouso, Inra</i>	79
Cyprès. <i>Christian Pichot, Inra</i>	81
Epicéa commun. <i>Hervé Van De Sype, Inra</i>	83
Erables. <i>Isabelle Bilger, Cemagref</i>	85
Eucalyptus. <i>Alix Pernet, Afocel</i>	89
Frêne. <i>Jean Dufour, Inra</i>	91
Hêtre. <i>Eric Teissier du Cros, Inra</i>	93
Mélèze hybride. <i>Luc Pâques, Inra</i>	95
Mélèze d'Europe. <i>Luc Pâques, Inra</i>	97
Merisier. <i>Jean Dufour, Inra</i>	99
Noyer. <i>Bruno Fady, Inra</i>	103
Pin d'Alep. <i>Christian Pichot, Inra</i>	105
Pin laricio. <i>Patrick Baldet, Cemagref</i>	107
Pin pignon. <i>Bruno Fady, Inra</i>	111
Pin sylvestre. <i>Catherine Bastien, Inra</i>	113
Pin taeda. <i>Pierre Alazard, Afocel</i>	115

Sapin de Bornmüller. <i>Patrick Pastuszka et Bruno Fady, Inra</i>	117
Sapin de Céphalonie. <i>Bruno Fady, Inra</i>	119
Sapin pectiné. <i>Patrick Pastuszka et Bruno Fady, Inra</i>	121
Tuliper. <i>Jean Brach, Inra</i>	123
Annexe 3. Le politique forestière en Europe. <i>Michel Lenoir, Ets Vilmorin</i>	125
Annexe 4. Les biotechnologies chez les arbres forestiers. <i>Gilles Pilate, Christophe Plomion, Jean-Charles Leplé, Inra et Marc Pâques, Afocel</i>	133

VARIÉTÉS FORESTIÈRES DU FUTUR

I - LETTRE DE MISSION

Le 25 mars 1999, Cyrille Van Effenterre, Directeur de l'Espace Rural et de la Forêt, au Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, confie au GIS Variétés Forestières Améliorées (VFA) une mission de réflexion (Annexe 1, page 59) sur ce que seront les variétés forestières de l'avenir, compte tenu :

- des investissements de l'Etat depuis 50 ans qui se traduisent maintenant par des sources diversifiées de Matériel Forestier de Reproduction (peuplements sélectionnés et contrôlés, vergers à graines),
- des programmes en cours dans les instituts de recherche forestière,
- des outils classiques et avancés à la disposition des chercheurs,
- des délais nécessaires à la sortie de variétés nouvelles.

Certains points de cette mission ont été précisés le 26 octobre 1999 par Christian Barthod qui suit ce dossier à la Direction de l'Espace Rural et de la Forêt. Une version provisoire de ce rapport a été discutée avec Christian Barthod le 10 juillet 2001. Cette version définitive tient compte des suggestions de Christian et répond à ses questions. La lettre de mission précise certains des principaux domaines de ce qu'a été la Réflexion sur les Variétés du Futur. Ils feront l'objet des différentes parties de ce rapport.

- **Espèces a et b.** Les espèces étudiées par les organismes de recherche seront classées selon une typologie correspondant au degré d'intensification souhaitable des programmes d'amélioration. Pour trois d'entre elles, les espèces α (pin maritime, douglas et peuplier), les programmes feront appel à tous les outils disponibles et supposeront des équipes de recherches étoffées. Pour les autres, le programme de création variétale sera simplifié et optimisé sur la base des prévisions de reboisement que l'on peut raisonnablement envisager dans les décennies à venir, compte tenu notamment du renouvellement des boisements en fin de révolution, constitués depuis la fin des années 1940 grâce au FFN. Il sera aussi tenu compte de l'évolution du paysage forestier : déprise agricole, montée en puissance des reboisements feuillus.
- **Politique des pays voisins en matière de reboisement et de recherche.** Dans une Europe forestière il est impossible d'envisager un programme purement national. Nos voisins seront-ils intéressés par notre matériel forestier de reproduction ? Devrons-nous surdimensionner certains de nos programmes pour prévoir une exportation de graines et plants ? Par ailleurs, certains de nos voisins conduisent des programmes parallèles aux nôtres. Devons nous les considérer comme concurrents ou bien devons nous, au contraire, tenter des économies d'échelle en répartissant l'effort ?
- **Etude d'opportunité sur l'épicéa.** Cette espèce occupe une place majeure dans l'espace boisé français, notamment en altitude. Elle produit un bois blanc très apprécié de certaines filières de transformation. Bien que sa part dans le reboisement soit en baisse constante, elle pourrait se ressaisir et regagner partiellement sa place d'antan, en particulier dans les zones d'altitude où d'autres espèces semblent lui avoir été substituées, peut être sans toutes les garanties nécessaires. Un chapitre particulier lui sera consacré qui prendra en compte le point de vue des régions concernées et la position des transformateurs du bois.

- **Biotechnologies.** Du fait du débat passionné sur les Organismes Génétiquement Modifiés (OGM), le DERF a souhaité que certaines biotechnologies à la disposition des chercheurs, outils possibles pour améliorer les espèces, pour optimiser le gain génétique ou pour accélérer les sorties variétales, soient présentées en toute impartialité. Une analyse de ces outils et leur place dans les programmes d'amélioration seront proposées.

Enfin, le groupe de réflexion a souhaité apporter des idées nouvelles dans deux domaines d'actualité.

- **Tempête.** Les dégâts considérables provoqués par les tempêtes de Noël 1999 ont conduit à trois réactions :
 - La stabilité des arbres se traduit-elle par de nouveaux critères de sélection non pris en compte jusqu'ici ?
 - La reconstitution des boisements après ces tempêtes et celles qui suivront malheureusement, correspond-elle à un élément nouveau qui pourrait orienter les reboisements du futur et une diversification des espèces demandées ?
 - Ce type de cataclysme qui a touché une grande partie de la forêt française et l'ensemble de l'opinion est une occasion à ne pas manquer pour développer les variétés améliorées dans les reboisements.
- **Arbres de Noël.** La production d'arbres de Noël n'a jamais été considérée en France comme un atout pour le reboisement parce que son objectif final n'est pas une production de bois. De plus ce marché, bien que très rémunérateur, ne s'est jamais traduit par un effort particulier en matière de sélection. Faut-il prendre en compte ce marché et les contraintes scientifiques et techniques particulières qu'il engendre ?

II - CADRAGE DE LA REFLEXION

Ce document a pour but de répondre aux questions posées précédemment. Mais il ne sera pas exhaustif pour plusieurs raisons :

- 1- Même s'il a fait appel aux opinions de représentants de l'ensemble de la filière de production et de diffusion des Matériels Forestiers de Reproduction, il est essentiellement la compilation de propositions de chercheurs en génétique et amélioration des arbres forestiers. Il devra donc servir de base à une réflexion socio-économique plus approfondie à engager espèces par espèce avec l'ensemble de cette filière.
- 2- L'analyse de la politique forestière de nos voisins européens nécessite plusieurs mois d'enquête. Elle a été prise en charge par l'ENGREF, sous la direction de Jean-Luc Peyron. Une première enquête sur la politique de reboisement en Irlande a été réalisée en juillet 2001. Un résumé en est présenté dans ce rapport (Chapitre V, page 41). D'autres enquêtes du même type seront réalisées dans les années à venir auprès des pays voisins de la France. Leurs conclusions seront confrontées à une première esquisse des données de cette politique basée, sur la connaissance que l'on a des ventes de graines, information rassemblée par Michel Lenoir des Etablissements Vilmorin (Annexe 3, page 125).
- 3- Une grande partie de cette réflexion est basée sur les prévisions et propositions des chercheurs responsables des programmes de sélection et d'amélioration génétiques. Compte tenu du caractère biologique de leurs recherches et de la grande incertitude dans laquelle ils se trouvent actuellement sur l'avenir du reboisement, ils ne sont pas entrés dans le détail de la stratégie d'amélioration avec des échéances dont la marge d'erreur est trop grande pour être fiable. De plus, ils ne se sont pas prononcés sur des espèces encore trop peu étudiées, les feuillus précieux, par exemple, qui mériteraient, par une stratégie simple d'amélioration, de faire l'objet de sorties variétales.
- 4- Il n'a pas paru utile à la DERF et au signataire principal de ce rapport d'attendre de tout connaître dans le détail pour aboutir à une synthèse cohérente qui permettra à la DERF de définir les grandes lignes du reboisement dans les années futures et d'orienter en conséquences les recherches nécessaires à la sortie variétale. En particulier, il nous a souvent manqué une information sur la demande actuelle des essences et des divers matériels forestiers de reproduction, et sur la prévision d'évolution dans le temps de cette demande. Et lorsque nous l'avons obtenue, elle ne va pas au delà de 2015 : pin maritime. Ceci veut dire que la dimension des structures de production de matériel forestier de reproduction (vergers à graines et peuplements sélectionnés) devra être optimisée pour assurer le meilleur compromis possible.

III - MÉTHODE D'ACQUISITION DE L'INFORMATION

Membres du Comité de Réflexion

Le GIS-VFA a confié la conduite de la réflexion sur les variétés du futur à Eric Teissier du Cros, chercheur à l'INRA d'Avignon, ancien président de ce GIS et chef jusqu'à 1998 du Programme de « Génétique et d'Amélioration des Arbres Forestiers », maintenant « Génome, Sélection et Diversité ». Celui-ci s'est entouré de représentants de la filière de sélection et de diffusion du Matériel Forestier de Reproduction, et d'observateurs :

<i>Recherche</i>	- Jean Charles Bastien , INRA Orléans et président du GIS-VFA, - Bernard Héois , Cemagref, Nogent-sur-Vernisson, - Philippe Monchaux , directeur de l'AFOCEL,
<i>Graines et plants</i>	- Guy Sancey , Pierre Boutteaud et Michel Lenoir , Etablissements Vilmorin, - Hervé Le Bouler , directeur de la pépinière forestière de l'Etat, Guémené-Penfao, représentant l'ensemble des pépinières forestières de l'Etat, - Daniel Genthialon , pépiniériste, président de la FNPHP, représentant la profession,
<i>Reboisement</i>	- Benoît Jacquemin , ISTIR-ONF Auvergne, représentant le Département Recherche et Développement de l'ONF,
<i>Transformation</i>	- Nicolas Sarrauste de Menthière , CTBA, représentant la transformation
<i>Politique forestière</i>	- Michèle Phélep , Christine Mevel , DERE,

Des missions spécifiques ont été confiées à des membres de ce groupe, par exemple, Michel Lenoir, pour les ventes de graines et plants à nos voisins européens, ou à des membres extérieurs, comme par exemple le document sur les biotechnologies, à Gilles Pilate et Jean-Charles Leplé, INRA Orléans, Christophe Plomion, INRA Bordeaux et Marc Pâques, AFOCEL, Nangis.

Les fiches d'espèces ont été réalisées par un certain nombre de chercheurs de l'INRA, du Cemagref et de l'AFOCEL.

La version finale de ce rapport a reçu l'aval du Comité dont s'est entouré l'auteur principal, Eric Teissier du Cros.

LES ESPÈCES

Le 26 octobre 1999, Christian Barthod a souhaité fixer un certain nombre de limites à notre réflexion pour nous éviter de rêver à d'hypothétiques sources de fonds illimitées venant de la DERF et à leur utilisation hors d'un cadre prédéfini. En effet, quelles que soient les sources de financement et la liberté légitime qu'ont les organismes de recherche de soutenir des thèmes d'intérêt cognitif ou de portée internationale, une cohérence dans les grandes orientations de recherche est indispensable.

Espèces a

Une large majorité des crédits que la DERF souhaite destiner à l'accompagnement des sorties variétales seront orientés vers les trois espèces suivantes : **pin maritime, douglas, peuplier**. Il est attendu des organismes et des chercheurs concernés l'utilisation de tous les outils disponibles pour sortir des variétés :

- **adaptées** aux différentes zones de production et à l'évolution prévisible du climat,
- **résistantes** aux maladies et aux insectes vis à vis desquelles une sélection est possible,
- **vigoureuses** pour couvrir une partie significative des besoins en bois de notre pays,
- produisant un bois d'une **qualité** adaptée aux débouchés principaux de la filière de valorisation de l'espèce.

Pour le pin maritime, une diversification des variétés est attendue.

Pour le douglas et le peuplier l'objectif est de rendre la France autonome d'ici 10 à 20 ans sur le plan des variétés pour qu'elle n'ait plus à asseoir une partie de son reboisement sur des sources matériels forestiers de reproduction dont la qualité génétique n'a pas été testée systématiquement dans les zones de reboisement (cas de sources américaines de douglas) ou n'est pas durable (cas des clones belges de peuplier dont la sensibilité aux rouille foliaire évolue au cours du temps en fonction de l'apparition de nouvelles races contournant les résistances).

La coordination des efforts de recherches pour les espèces a est facilitée par le regroupement des organismes concernés en :

- GIS : pin maritime du futur (INRA, AFOCEL, ONF, CPFA),
- GIS : peuplier (INRA, Cemagref, AFOCEL),
- et d'une manière non formalisée pour le douglas (INRA, Cemagref, AFOCEL).

Compte tenu de l'enjeu présenté par les trois espèces a, il a paru opportun de détailler les programmes correspondants d'amélioration dans les trois chapitres qui suivent.



PIN MARITIME

Rédacteur principal : Patrick Pastuszka, INRA Pierroton, au nom du GIS Pin maritime du futur
Partenaires : AFOCEL, ONF, CPFA

Contexte

Création d'un Groupement d'Intérêt Scientifique dénommé *Programme coopératif pin maritime du futur* (Groupe Pin maritime du futur), par une convention liant l'Association Forêt Cellulose, le Centre de Productivité Forestière d'Aquitaine, l'Institut National de la Recherche Agronomique et l'Office National des Forêts, signée en 1995 et prorogée par avenant en 1999.

Préambule

Le dernier inventaire de l'IFN a montré, sur la décennie 1988-98, une accélération de la mobilisation des bois en Aquitaine : le taux de prélèvement global est ainsi passé de 72 % sur la période 1977-87 à 94 % sur 1987-98, traduisant ainsi une augmentation constante et régulière des besoins en bois d'œuvre et bois d'industrie.

Ces chiffres sont le reflet de la vitalité du massif de pin maritime et de la réalité de cette forêt cultivée. La tempête de fin 1999, qui s'est traduite par 30 millions de m³ de chablis de pin maritime, soit près de 15 % du volume sur pied, va marquer profondément le massif landais et modifier la structure des classes d'âges : 100 à 150.000 ha devront être régénérés dans les années à venir, à rapprocher des 17.000 ha de coupes rases annuelles.

Aujourd'hui, environ 50 % des surfaces sont encore reboisées par la technique du semis direct et utilisent donc du matériel non amélioré pour des raisons évidentes de coût de la graine. Les variétés améliorées utilisées sur les 50 % restant (reboisés par plantation), ont été sélectionnées sur des critères d'adaptation, de vigueur et de rectitude.

Demain, pour faire face aux besoins des producteurs et de l'industrie, la recherche, et en particulier le GIS pin maritime du futur, doit se donner comme objectifs :

- de définir des variétés montrant des gains significatifs sur la croissance et rectitude, mais également sur des nouveaux critères de sélection sanitaires et technologiques,
- de fournir aux opérateurs le matériel végétal de base permettant de mettre en place rapidement des structures de production de graines ou plants améliorés permettant de faire face aux 20 à 25.000 ha de reboisements annuels prévisibles à l'horizon 2000/2015.

1- Vergers à graines de pin maritime. Surfaces et capacités de production suite à la tempête 1999

1.1- Conséquences de la tempête sur les vergers à graines

Le programme d'amélioration génétique conduit par l'INRA et l'AFOCEL a permis à ces deux organismes d'initier la mise en place de vergers à graines :

- **1^{ère} génération de Vergers à graines** : St Sardos, Sore, Cabanac, Lavercantière (246 ha installés entre 1962 et 1978). Cette première génération de vergers est à la base des 80.000 ha reboisés par plantation entre 1980 et 2000, pour un gain génétique réalisé de 15 % sur le volume et sur la rectitude. Ils ne devraient quasiment plus être récoltés à partir de 2000, la 2^{ème} génération de vergers étant en production.
- **2^{ème} génération de Vergers à graines** : vergers polycross (Mimizan, Hourtin, Saint-Augustin), verger de clones G1 (Vaquey), vergers de pollinisation contrôlée, soit 200 ha installés à partir de 1986. Ces vergers permettent de doubler les gains génétiques obtenus sur la 1^{ère} génération de vergers. La commercialisation de la 2^{ème} génération de variétés, initiée depuis le début des années 1990 (croisements contrôlés multipliés par bouturage), est devenue effective en 1998 avec l'arrivée en production des vergers polycross et du verger de clones de Vaquey.

La tempête de Décembre 1999 a eu un impact important sur ces vergers de production :

- **1^{ère} génération de vergers** : 90 ha détruits, soit 37 % des surfaces de production ; 156 ha restent opérationnels.

- 2^{ème} génération de vergers : 40 ha détruits, soit 20 % des surfaces de production, les plus gros dégâts étant concentrés sur le verger polycross de Berdillan (détruit à 50 %) et sur le verger de clone G1 de Vaquey (détruit à 100 %) ; 157 ha de vergers restent opérationnels.

Le récapitulatif des vergers à graines disponibles pour la production figure dans le tableau 1 :

Tableau 1. Vergers de production créés sur l'initiative de l'INRA et de l'AFOCEL pour le massif forestier aquitain et issus du programme de sélection récurrente sur la race landaise

Appellation	1 ^{ère} génération de vergers		2 ^{ème} génération de vergers		
	Vergers de clones G0 <i>St Sardos</i>	Vergers de semis <i>Sore / Cabanac Lavercantière</i>	Vergers polycross <i>Mimizan/Berdillan St Augustin</i>	Vergers pollinisation contrôlée <i>Moulis/Beychac Le Porge</i>	Vergers de clones G1 <i>Vaquey</i>
Caractéristiques					
Début et fin d'installation	1962 1967	1967 1978	1986 1992	1989 1995	1987 1989
Date d'entrée en production	1975	1987	1999	1993	1995
Gain génétique relatif sur le volume du fût	7 %	15 %	30 %	30 %	30 %
Gain génétique relatif sur l'écart à la verticalité basale du tronc	10 %	15 %	30 %	30 %	40 %
Surfaces en ha (vergers)	6	240	180	7	11
Surfaces détruites par la tempête 12/1999 (ha)	-	90	30	0	11
Surfaces disponibles pour la production après la tempête (ha)	6	150	150	7	-

1.2- Capacité de production de la 2^{ème} génération de vergers à graines de pin maritime

Sachant que :

- La première génération de verger n'est plus récoltée, les pépiniéristes aquitains utilisant de la graine issue de la deuxième génération de verger,
- Les vergers de pollinisation contrôlée ne sont plus utilisés depuis 1997 pour produire de la graine landaise,

Les capacités de production des vergers de pin maritime sont décrites dans le tableau n°2, sur la base de deux hypothèses de production (basse et haute).

Hypothèses de production des vergers	
<i>Les hypothèses de production basses (et hautes) sont calculées sur la base d'une production moyenne de :</i>	
<ul style="list-style-type: none"> .. 10 kg/ha/an (20 kg/ha/an) entre 10 et 15 ans, .. 12 kg/ha/an (25 kg/ha/an) entre 15 et 20 ans, .. 15 kg/ha/an (30 kg/ha/an) entre 20 et 25 ans, 	
<i>Ces hypothèses de productions sont basées sur les années où la production est suffisante pour envisager une récolte économiquement rentable. Il faut compter en moyenne 2 années sur 10 où la floraison quasiment nulle ne permet pas d'envisager de récolte. De plus, on compte 12 000 à 20 000 graines/kg.</i>	

Tableau 2. Surface et capacités de production de la deuxième génération de vergers à graines de pin maritime après la tempête de 1999

	Surface (ha)	Production 2000-2005 (kg/an)	Production 2005-2010 (kg/an)	Production 2010-2015 (kg/an)
Hypothèse basse	150	1.500	1.700	2.200
Hypothèse haute	150	3.000	3.700	4.500

On constate donc, pour la période 2000 -2015 :

- que la tempête a provoqué une baisse de production moyenne de 0,5 à 1 tonne de graines par an,
- que le potentiel de production moyen évoluera entre 2,5 et 3,5 tonnes de graines par an.

2- Analyse des surfaces reboisées et des modes de régénération en aquitaine (période 1985-1998)

Les surfaces de reboisement sont évaluées par mode de régénération, sur la base des hypothèses suivantes :

- ◆ semis direct : quantités annuelles de graines récoltées sur peuplements classés (étiquette verte, source SERFOB) divisées par la quantité moyenne de graines/ha utilisée en semis (2,7 kg/ha).
- ◆ plantation : quantité annuelle de plants de pin maritime commercialisée par les pépinières d'Aquitaine (étiquette bleue, source SERFOB), divisée par le nombre moyen de plants plantés/ha (1350/ha).

On observe depuis 1985 une évolution significative des modes de régénération pratiqués en aquitaine (figure 1).

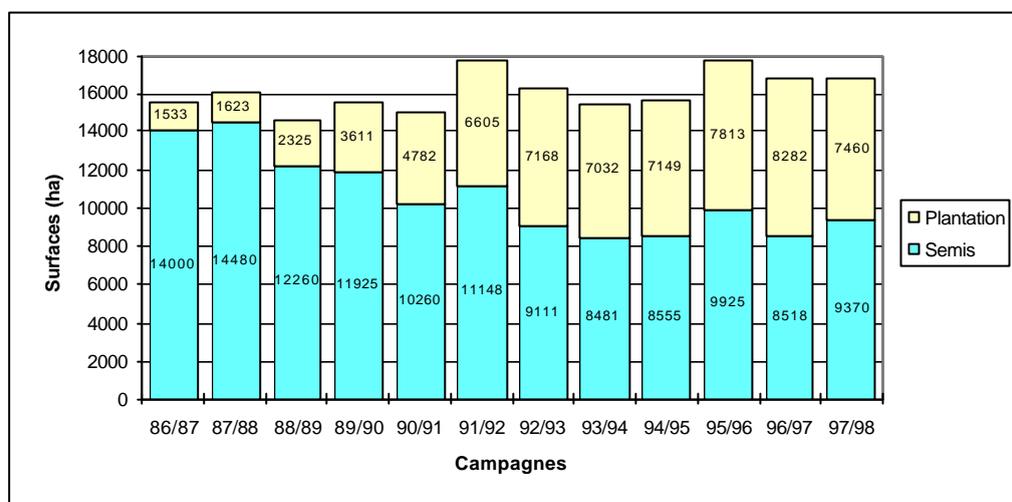


Figure 1. Evolution des surfaces plantées et semées (ha) par année.

Les surfaces régénérées par semis direct ont connu une forte diminution (-33 %), en passant de 14 000 ha en 1986/87 à 9 370 ha en 1997/98. Cette diminution se traduit par une baisse notable du marché de la graine récoltée sur peuplements classés (étiquette verte) : 38 tonnes en 1986/87 et 25 tonnes en 1997/98 (figure 2).

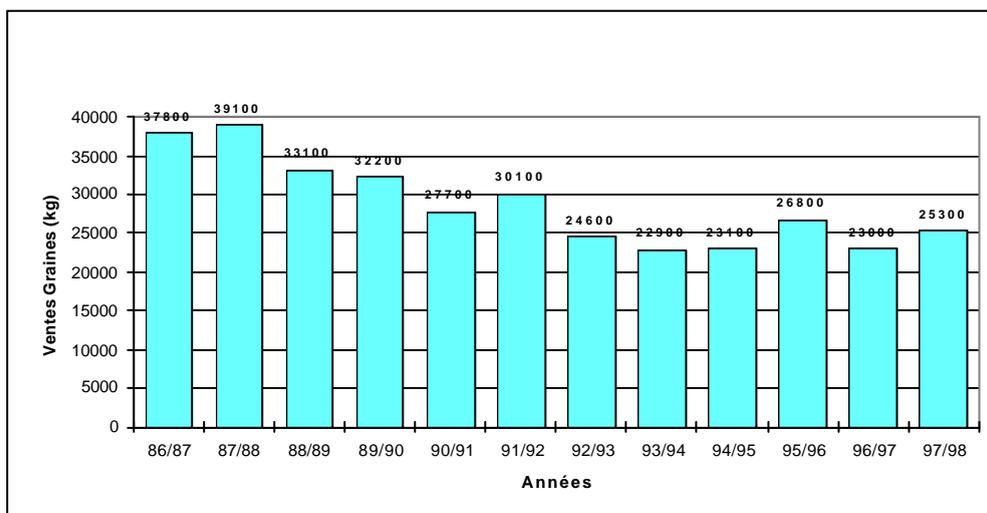


Figure 2. Ventés annuelles de graines de pin maritime récoltées sur peuplements classés (étiquette verte) (Source SERFOB)

Dans le même temps, on observe un accroissement des surfaces régénérées par plantation, qui se substitue au semis direct. Ces surfaces passent sur la même période de 1 500 ha à 7 500 ha, avec un pic à 8 300 ha en 1996/97. Cette augmentation s'est traduite par l'explosion de la production de plants commercialisée par les pépinières d'Aquitaine : 1 million de plants en 1981/82, puis 2 millions en 1986/87 et plus de 10 millions en 1997/98. On notera par ailleurs que l'Aquitaine produisait en 1996/97 près de 99% de la production nationale de plants de pin maritime.

Cette substitution du semis direct par la plantation, qui se traduit aujourd'hui par un équilibre entre les deux techniques, s'est réalisée en trois étapes (figure 3) :

- 1987/1992 : développement fort de la plantation, qui passe de 10% à 40% des reboisements en 6 ans,
- 1993/1995 : stabilisation des surfaces annuelles reboisées par plantation, autour de 45% des surfaces reboisées,
- 1996/1998 : progression lente et non régulière des surfaces reboisées par plantation (+ 300-500 ha/an), avec un équilibre semis/plantation proche des 50/50%, tendance qui semble s'être confirmée sur la campagne 1998-99.

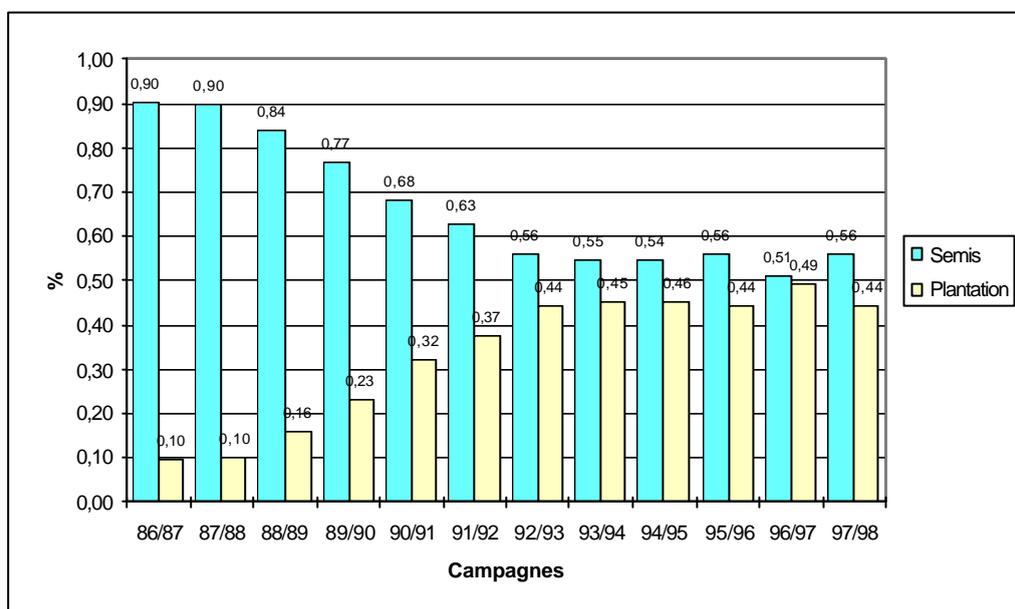


Figure 3. Evolution des surfaces plantées/semées (en % des reboisements totaux)

Les hypothèses retenues aboutissent à une surface reboisée annuellement de 16 400 ha entre 1990 et 1997, à comparer aux 17 500 ha de coupes rases annoncées par l'IFN sur la même période. La différence peut s'expliquer par :

- les coupes exploitées et non reboisées,
- les coupes en régénération naturelle ou en régénération naturelle assistée réalisées sur la dune par l'ONF, et pour lesquelles le matériel de reproduction (graines ou plants) n'est pas ou peu utilisé,
- des reboisements réalisés avec d'autres espèces de pins : pin taeda (300 ha/an), pin maritime de Corse (200ha/an), pin laricio....
- une légère surestimation des quantités de graines/ha ou de plants/ha utilisées en semis ou en plantation.

3- Evolution prévisible des besoins en graines améliorées sur la période 2005-2015

Facteurs d'évolution des besoins de graines améliorées

Plusieurs facteurs peuvent influencer le marché de la graine améliorée dans les années à venir :

➤ La tempête de décembre 1999

Les estimations de l'IFN font état, pour le pin maritime, de 30 millions de m³ de chablis, essentiellement concentrés sur les peuplements de plus de 20 ans (volume moyen : 220 m³/ha).

- Conséquence sur la récolte de bois sur pied : déficit d'environ 1 million de m³/an sur la période 2005-2015, par rapport aux estimations réalisées sur la même période avant la tempête (à scénario de récolte égal).
- Conséquence sur les reboisements : on peut faire l'hypothèse que $\frac{3}{4}$ de ces volumes correspondent à des coupes rases et donc à des surfaces potentielles à reboiser, le $\frac{1}{4}$ restant correspondant à des récoltes par éclaircies.

La surface potentielle à reboiser peut donc être estimée entre 100 et 110.000 ha correspondant à 7 années de reboisement. Ces surfaces ne tiennent pas compte des jeunes peuplements fortement perturbés qu'il faudra régénérer également à terme.

➤ Le marché du bois

L'analyse des EAB (Enquêtes Annuelles de Branche) montre une augmentation régulière de volumes exploités en Aquitaine de 1,8 % par an sur la période 1972/1997, avec des variations décennales fortes : + 3,5 % par an sur la décennie 1977/87 et + 1,5 % par an sur la décennie de 1987/1997.

Cette augmentation de la récolte se traduit par une augmentation des coupes rases et donc des surfaces à reboiser (associée à un raccourcissement important de la révolution).

➤ La sylviculture

- L'augmentation des densités initiales en plantation. Du fait des inconvénients liés au choix de densités initiales faibles (problèmes de morphologie notamment), le standard sylvicole évolue depuis 2-3 ans vers des densités initiales voisines de 1400-1500 tiges/ha, soit une augmentation de 10 à 20 % par rapport aux densités initiales pratiquées jusqu'alors (1250 tiges/ha). Cette densité se justifiera d'autant pour le reboisement des chablis que les risques de mortalité y sont importants (risque sanitaire, hylobe...).
- Le développement de nouvelles techniques permettant de reboiser avec du matériel amélioré :
 - le semis prégermé (2500 plants/ha), utilisant 0,25 kg de graines améliorées/ha. Cette technique est utilisée sur landes sèches et landes humides à molinie et commercialisée à un prix intermédiaire entre le semis direct non amélioré et la plantation. Elle nécessite un travail du sol soigné mais un seul depressage vers 3-5 ans suffit ; de plus elle limite les entretiens grâce à une installation et une croissance initiale équivalentes à celles de la plantation,
 - le semis direct de graines améliorées à basse densité (1 kg/ha). Cette option est équivalente en terme de coût d'installation à une plantation ; par contre elle entraîne une augmentation des coûts de reboisement par rapport au semis direct de graines non améliorées (préparation du sol soignée, fourniture de 1 kg de graines améliorées/ha) ; à l'inverse, cette réduction de la quantité de graines semées peut conduire à ne faire qu'un seul depressage.

En conclusion on peut dire que l'accroissement très net des besoins en graines améliorées, à la fois pour répondre à l'augmentation des surfaces à reboiser et les nouvelles possibilités d'utilisation de cette graine, ne pourra être satisfait que par la poursuite et le développement d'un programme ambitieux de création et de diversification variétale, soutenu par l'ensemble des partenaires de la filière.

Par ailleurs, il faut insister sur les besoins croissants des industries du bois. Le massif landais est le seul à pouvoir rivaliser avec les grands massifs forestiers du sud-est des Etats-Unis.

4- Variétés existantes

- *Première génération de VG*

Nom du verger	Nature <i>nb clones ou familles</i>	Gain pour	Début	Fin
<i>St Sardos</i>	VGC 80	<i>Vol. Forme</i>	1975	1998
<i>Sore</i>	VGS 1800	<i>Vol. Forme</i>	1985	1998
<i>Cabanac</i>	VGS 1800	<i>Vol. Forme</i>	1985	2000 ?
<i>Lavercantière</i>	VGS 1800	<i>Vol. Forme</i>	1985	2000 ?

- *Deuxième génération de VG*

Nom du verger	Nature <i>nb clones ou familles</i>	Gain pour	Début	Fin
<i>Moulis</i>	VGC G0 40	<i>Vol. Forme</i>	1992	1997
<i>Beychac</i>	VGC G0 40	<i>Vol. Forme</i>	1995	1997
<i>Le Porge</i>	VGC G0 40	<i>Vol. Forme</i>	1995	1997
<i>Vaquey</i>	VGC G1 100	<i>Vol. Forme</i>	1997	1999
<i>Mimizan</i>	VGC G0 34	<i>Vol. Forme</i>	1997	2010-15
<i>Berdillan</i>	VGC G0 34	<i>Vol. Forme</i>	1996	2010-15
<i>St Augustin</i>	VGC G0 34	<i>Vol. Forme</i>	1999	2010-15

5- Programme d'amélioration de pays voisins

Programme de faible envergure en Espagne et au Portugal

6 –Débouché à l'exportation de MFR français

Actuellement une partie des plants de pin maritime produits en pépinière en Aquitaine, donc à partir de matériel amélioré, est commercialisée à l'exportation, essentiellement en Espagne et peut-être un peu au Portugal.

7 - Variétés du futur

Il s'agit de la troisième génération de variétés.

Nom du verger	Nature <i>nb clones ou familles</i>	Gain pour	Début	Fin
Var. 1 : Landes x Corse LC2	VGC G0/G1 40 à 50	<u>Forme- vigueur</u>	2006 ???	?
Var. 2 : Landes VF3	VGC G1 ou VG polycross G1 40	<u>Vol. Forme</u>	2008	?

En ce qui concerne la variété VF3, l'appel d'offres a été lancé par le GIS en liaison avec AgriObtention, les contrats de licence non exclusive sont en cours de signature et la multiplication du matériel de base des vergers (clones d'élite et polycross) a déjà débuté. Les déclarations d'intention des multiplicateurs prévoient l'installation d'environ 150 hectares, dont une partie remplacera les sites détruits par la tempête.

NB : les composants de base de la variétés VF3 sont également évalués pour leur résistance à la rouille courbeuse (*Melampsora pinitorca*).

En ce qui concerne les variétés Landes x Corse, l'utilisation de la variété LC1 a été réglementairement limitée à 80 hectares par an. La variété LC2 définie par le GIS répond actuellement à toutes les exigences et interrogations mentionnées dans le rapport d'expertise Birot (*), notamment vis à vis des risques sanitaires. Mais dans l'attente de connaître l'avenir réglementaire réservé à cette variété, les multiplicateurs potentiels s'interrogent. Les chercheurs estiment qu'il n'y a pas lieu de limiter les surfaces d'implantation de cette variété : d'une part toutes les précautions ont été prises pour garantir sa capacité d'adaptation, et d'autre part les ressources génétiques naturelles landaises seront très prochainement sauvegardées dans un réseau de conservation. Comme pour toutes les autres variétés ou matériel amélioré, l'utilisation des variétés Landes x Corse sera simplement à proscrire dans la zone d'isolement des parcelles du réseau conservatoire et près des vergers à graines.

(*) Birot Y., 2000. *Rapport d'expertise sur la création et l'utilisation en Aquitaine de variétés de pins maritimes résultat de croisements inter-raciaux Landes x Corses*. DERF. Paris. 61p.

8 - Propositions des chercheurs

En trois générations de variétés, le gain génétique par rapport au matériel non amélioré sur les critères volume et rectitude a progressé de 15 et 15% respectivement (gains réalisés), à 30 et 30% puis 45 et 35% (gains espérés). La poursuite de ce programme d'amélioration fournira à la fois une diversification et un renouvellement des variétés, et des gains supplémentaires conséquents sur les critères classiques (les limites biologiques de l'espèce étant encore loin d'être atteintes en deux cycles de sélection seulement, et au vu des performances actuellement réalisées par les meilleurs des géniteurs).

Le plan d'action 2000-2004 du GIS Pin Maritime du Futur prévoit en particulier de :

- ◆ Développer le programme d'amélioration : estimation des valeurs génétiques des sélections en exploitant l'ensemble des données, caractérisation moléculaire des géniteurs, structuration de la population d'amélioration, définition de la stratégie de sélection à long terme, production de la nouvelle génération (G2') à tester, mobilisation des géniteurs déjà testés.
- ◆ Définir et mettre en œuvre de nouveaux critères de sélection (résistance à *Dioryctria*, résistance à *Matsucoccus*, résistance à *Melampsora*, branchaison, qualité du bois) : les études en cours sur les paramètres génétiques liés à ces nouveaux critères permettront l'évaluation des géniteurs en tests et la définition de la quatrième génération de variétés éventuellement spécialisées pour ces critères à l'horizon 2010.
- ◆ Définir les vergers du futur permettant d'optimiser le gain génétique : évaluation des gains génétiques potentiels en fonction des formules variétales.
- ◆ Améliorer la diffusion du gain génétique par la promotion des variétés améliorées et le recours à une communication adéquate : publication d'un ouvrage collectif du Groupe Pin Maritime du Futur faisant le point sur le programme de sélection (NB : une étude marketing sur l'utilisation des variétés améliorées est actuellement en cours sous la maîtrise conjointe de la DERF et du GIS).

Parallèlement à ce programme de sélection, l'INRA et l'AFOCEL renforcent leur collaboration sur les thèmes de recherche liés aux biotechnologies, après les travaux initiés dans le cadre des projets européens GEMINI et GENIALITY.

9 – Propositions du comité

Un effort scientifique, technique et financier soutenu.

Soutenir ce programme dans tous ses aspects cognitifs et pratiques car il est l'un des fleurons des recherches destinées à produire des nouvelles variétés. De plus il est l'un des phares mondiaux de la génétique et de l'amélioration des arbres forestiers utilisant les biotechnologies dont il sera fait état plus loin dans ce rapport.

Un programme important est indispensable pour assurer la compétitivité et donc la pérennité et le développement des industries du bois installées sur le massif landais. Par ailleurs, les efforts antérieurs de R & D dans le domaine de l'amélioration sont déjà mis en œuvre et prouvent leur efficacité économique (cf. la demande sur les graines améliorées et l'amélioration de productivité des plantations constatées au travers des comparaisons d'inventaires IFN).

Remarques complémentaires pour répondre à des questions de la DERF posées après lecture d'une version provisoire de ce rapport.

Question 1. Pourquoi poursuivre le classement « post mortem » alors que la récolte de graines dans les vergers de première génération serait abandonnée ?

Réponse 1. Le classement de peuplements abattus (post mortem) est une particularité du pin maritime. Le MFR correspondant bénéficie indûment, par rapport aux autres espèces forestières, de la qualification « sélectionnée ». Indûment, car les seules sélections consistent à vérifier avec des marqueurs moléculaires que le peuplement n'est pas d'origine ibérique et que sa conformation n'est pas trop mauvaise. Avec la nouvelle réglementation sur le MFR, ce type de MFR obtiendra la qualification de « source identifiée ». De plus ce type de classement va poursuivre sa décroissance. Il sera remplacé par le classement phénotypique de jeunes peuplements sur pied qui, lui, sera conforme à la qualification « sélectionnée ».

L'abandon de vergers à graines de 1^{ère} génération ne peut pas être mis en face du classement post mortem. En effet, la récolte dans ces vergers aboutit à une graine dont le prix est environ 6 fois plus élevé que celui de la récolte sur peuplement abattu. Ce différentiel de prix est accentué par l'âge et la hauteur des arbres de ces vergers. La graine récoltée dans ces vergers ne trouve plus acquéreur.

Le reboiseur aura quatre sources possibles de MFR :

1. Graines de Source Identifiée pour le reboisement classique par semis direct,
2. Graines de peuplements sélectionnés pour le reboisement classique par semis direct (actuellement 4 Régions de Provenance mais seulement 65 peuplements couvrant 1.987 ha).
3. Graines de vergers de seconde génération pour le reboisement par semis direct à faible densité,
4. Graines de vergers de seconde génération pour le reboisement par plantation.

La production actuelle des vergers, en moyenne de 25% inférieure aux prévisions qui ont permis de définir leur surface, est insuffisante pour pourvoir aux modes de reboisement 2 et 3, ci-dessus. La récolte sur peuplement sélectionné et source identifiée devra donc se poursuivre et son prix se rapprochera de celui de la récolte en verger.

Question 2. Le gain de croissance sera-t-il toujours aussi élevé qu'actuellement au fil des générations ?

Réponse 2. Oui, pour au moins deux raisons. Le gain constaté dans les variétés est loin d'exploiter complètement la fourchette obtenue dans les tests de descendance entre familles extrêmes. La constitution et la gestion de la population d'amélioration se traduit par des combinaisons génétiques nouvelles, sources de vigueur. L'absence de plafonnement est d'ailleurs constaté chez le maïs, malgré un nombre de générations d'amélioration beaucoup plus élevé que chez le pin maritime.

Question 3. De nouveaux critères de sélection seront-ils pris en compte pour les variétés de l'horizon 2020-2030 ?

Réponse 3. Cet horizon est beaucoup plus proche. Les variétés sortant en 2010 incluront la résistance à *Matsucoccus feytaudi* et *Melampsora pinitorqua*, une meilleure rectitude et une qualité améliorée du bois.

Question 4. Doit-on limiter l'utilisation de l'hybride Corse x Landes ?

Réponse 4. Non, mais en conservant une marge autour des vergers à graines et des peuplements à inclure dans le réseau de conservation de ressources génétiques. Cette marge a été estimée pour les vergers. Elle reste à vérifier pour les peuplements conservatoires, mais comme ceux-ci seront essentiellement situés dans la zone dunaise, la situation sera favorable (vent dominant d'ouest).



DOUGLAS

Rédacteur principal : Bernard Heois, CEMAGREF, Nogent sur Vernisson
Partenaire : Jean Charles Bastien, INRA, Orléans

Contexte

Avec 333 000 hectares, la France est le premier pays de l'Union Européenne pour sa surface en douglas. La douglasaie française est principalement concentrée dans le « grand » Massif Central (5 régions, 15 départements). Le massif est très jeune (âge moyen pondéré : 19 ans) et très majoritairement privé (82%). La part du douglas, par rapport aux autres espèces résineuses est d'environ 30% des surfaces reboisées. Le nombre de plants commercialisés par an se situe entre 9 et 10 millions. Le volume de bois de douglas issu du massif français est en constante progression. En régime de croisière, vers 2020, il devrait atteindre 8 millions de m³ par an.

Préambule

En France, trois organismes collaborent depuis de nombreuses années dans un cadre non formalisé sur l'amélioration génétique du douglas :

- **Cemagref**. Sélection et classement de peuplements remarquables en France, mise au point des techniques de stimulation florale, gestion scientifique et technique des vergers à graines de l'Etat, évaluation de la valeur génétique de ces vergers et d'une partie de leurs composants par des tests multi-stationnels menés en commun avec l'INRA.
- **AFOCEL**. Etude de la variabilité génétique des populations naturelles et de provenances artificielles françaises, constitution d'une collection de clones d'élite sélectionnés dans les tests de provenances ou descendances, participation à l'évaluation d'une population de base pour un programme d'amélioration à long terme.
- **INRA**. Etude de la variabilité génétique des populations naturelles et de provenances artificielles françaises, sélection de clones d'élite dans les tests de provenances ou descendances pour constituer les vergers à graines de l'Etat, évaluation aux côtés du Cemagref de la valeur génétique d'une partie des composants de ces vergers, participation aux côtés de l'AFOCEL à l'évaluation d'une vaste population de base (1000 descendances maternelles) pour un programme d'amélioration à long terme.

Ces trois organismes sont à l'origine des recommandations en vigueur en matière d'importation de graines depuis l'aire naturelle. Par ailleurs, seuls ou en partenariat, ils ont développé des méthodologies orientées vers une augmentation de l'efficacité des processus de sélection (ex : sélection précoce) et mis au point des techniques de diffusion du gain génétique (multiplication végétative, induction florale).

1- Variétés existantes

Les variétés existantes de douglas en France sont de deux types : des variétés "population" (peuplements artificiels français sélectionnés ou testés) et des variétés synthétiques (vergers à graines).

▪ *Peuplements sélectionnés*

Nombre et surface	189 - 576 ha
Date du dernier registre	2001
Commentaires	Depuis une dizaine d'années, ces peuplements sont très peu récoltés.
Performances juvéniles	Bonne vigueur, mais débourrement précoce et forme déficiente

▪ *Peuplements contrôlés*

Nombre et surface	9 - 12,59 ha
Date du dernier arrêté :	30/06/1987
Commentaires	Plus de récolte depuis 1991
Performances juvéniles	Bonne vigueur, mais débourrement précoce et forme déficiente

▪ *Vergers à graines*

	VG1	VG2	VG3
Vergers à graines en production	6 Vergers d'arbres + dits "Bouvarel"	Luzette VG	Darrington VG 08-DG-001 Vayrières
Organisme gestionnaire	ONF INRA	ONF - GIE Cemagref	ONF - GIE Cemagref
Surface	17 ha	34 ha	14 ha
Type de matériel de base et caractérisation de la base génétique (nombre) : familles, clones, polycross (nombre de G0)	209 clones arbres-plus sélectionnés dans de peuplements français	343 clones issus de plus de 40 provenances	70 clones d'origine Darrington
Type de croisement en verger (open, polycross, bi-parentaux, ...)	open	open	open
Caractères améliorés et gains espérés :			
vigueur	+++	+++	-
Tardiveté de débourrement	---	++	++
Forme	---	+	+
Qualité du bois	?	?	++ ?
Date d'entrée en production commerciale	1971	1993	1987
Catégorie réglementaire (sélectionné, testé, en dérogation)	sélectionné	dérogation	sélectionné
Eclaircies génétiques à prévoir (date)	2005 (Bout24)	2005	2005 ?
Evaluation des composants (en cours, à faire)	en cours	en cours	en cours
Quantité produite en conditions optimales avec une induction de la floraison tous les 3 ans - moyenne annuelle (~ 20 kg/ha.an)	300 kg	600 kg	200 kg
Récoltes effectives réalisées depuis 10 ans	300 kg	1700 kg	600 kg
Commentaires : année de fin de production Motif – commentaires	2000 sauf Bout24 éclairci	> 2020 ? Verger prometteur	> 2020 ? Verger bien positionné commercialement

	VG4	VG5	VG6	VG7
Vergers à graines susceptibles d'entrer en production vers 2000-2005	3 vergers dits régionalisés	Cendrieux	Verger dit 1.717	Verger dit Californien
Organisme gestionnaire	ONF Cemagref	ONF Cemagref	ONF Cemagref	ONF Cemagref
Surface	21 ha	8 ha	8 ha	6 ha
Type de matériel de base et caractérisation de la base génétique (nombre) : familles, clones, polycross (nombre de G0)	443 clones multi-provenances	137 clones multi-provenances	378 clones multi-provenances	108 clones multi-provenances
Type de croisement en verger (open, polycross, bi-parentaux, ...)	open	open	open	open
Caractères améliorés et gains espérés :				
- Vigueur	+++ ?	++ ?	+ ?	+ ?
- Tardiveté de débourrement	- ?	++ ?	+ ?	+ ?
- Forme	+ ?	+ ?	? ?	? ?
- Qualité du bois	? ?	? ?	? ?	? ?
Date d'entrée en production commerciale	2005	2005	2005	2005
Catégorie réglementaire (sélectionné, testé, en dérogation)	qualifiée	qualifiée	qualifiée	qualifiée
Eclaircies génétiques à prévoir (date)	2015 ?	2015 ?	? ?	? ?
Evaluation des composants (en cours, à faire)	en cours	en cours	à réaliser	à réaliser
Quantité produite en conditions optimales avec une induction de la floraison tous les 3 ans – moyenne annuelle (~ 20 kg/ha.an)	400 kg	100 kg	100	100
Récoltes effectives réalisées depuis 10 ans	~0	~0	0	0
Commentaires : année probable de fin de production motif- commentaires	> 2030 ? Vergers issus de tests de descendance	> 2030 ? Verger issu d'un test de descendance	> 2030 ? Verger issu d'une sélection en pépinière	> 2030 ? Verger conçu pour la zone méditerranéenne

Nb : sans compter les vergers haute densité de l'INRA et des Barres

Commentaires sur les variétés existantes.

Du point de vue quantitatif, la surface des vergers français de douglas est de l'ordre de 100 ha. Plus de 60 ha sont d'ores et déjà capables de produire plus de graines que la demande actuelle estimée à 600 kg/an. Environ 40 ha de vergers entreront en production dans les dix prochaines années. La production potentielle dépasse donc et de beaucoup, les besoins actuels du marché. Il s'agit cependant d'une ressource précieuse qui permettra le cas échéant de faire face aux besoins grandissants qui pourraient émerger lorsque la première génération des plantations de douglas réalisée après la seconde guerre mondiale sera exploitée.

Du point de vue qualitatif, les objectifs d'amélioration génétique de la productivité et de la tardiveté du débournement sont atteints avec les variétés Luzette et Vayrières. Quant aux critères de forme (rectitude du fût, branchaison, fourchaison), si les produits des vergers en production se classent dans une moyenne honorable, il n'en reste pas moins qu'une demande de l'aval se manifeste pour une amélioration de ces caractéristiques. Ceci sera possible via des éclaircies génétiques qui pourront valoriser d'une part les informations issues des tests de descendance des clones des vergers, et d'autre part le fait que ces vergers sont souvent composés d'un nombre très élevé de clones (souvent plusieurs centaines), ce qui permet d'obtenir un gain substantiel pour les critères soumis à sélection, tout en conservant une base génétique assez large.

La stratégie d'amélioration de la forme n'est pas complètement définie ; la liaison génétique éventuelle entre différents types de polycyclisme et de fourchaison permettra d'utiliser ce prédicteur dans un index de sélection des clones. Notons aussi que l'amélioration de la qualité du bois est espérée pour Vayrières, mais qu'elle ne pourra être confirmée que plus tardivement. Enfin, sur le plan des caractères d'adaptation, et en particulier pour anticiper des changements climatiques éventuels, des tests de résistance au froid pourraient être menés.

Par conséquent, le sur-dimensionnement de l'outil de production permettra de gérer cette ressource génétique sur les plans de l'amélioration des performances des MFR et de la diversité génétique des reboisements :

- arrêt des récoltes sur les vergers les moins performants génétiquement,
- éclaircies génétiques sur la base des performances des descendance,
- récolte dirigée des meilleurs parents.

En revanche, pour l'améliorateur, cet état de surproduction potentielle limite à court terme les besoins de création variétale nouvelle. Cependant, définir une éclaircie génétique ou une variété élite, participe aussi de la création variétale, même s'il ne s'agit que d'une amélioration douce du matériel de base existant. Un investissement dans une variété complètement nouvelle ne devrait être entrepris que s'il se manifestait une demande spécifique pour un matériel de haut niveau pour tel ou tel critère, non disponible dans les vergers actuels ou éclaircis génétiquement. Deux pistes apparaissent : une variété « altitude > 900m » et une variété « forme ».

2 – Programme d'amélioration conduits sur douglas en Europe

La plupart des instituts de recherche Européens qui ont, dans les années 50 ou 60, engagé un programme d'amélioration du douglas ont commencé par valoriser leurs propres ressources génétiques. Ces dernières sont constituées, en majorité, de peuplements classés issus d'introductions, depuis l'aire naturelle, de graines dont l'origine est le plus souvent inconnue. Ces instituts ont évalué en tests de provenance la valeur d'un certain nombre de ces peuplements et parfois sous forme de tests de descendance, la valeur génétique d'arbres remarquables sélectionnés à l'intérieur de ces populations.

A partir de la fin des années 60, des graines d'origine connue ont été récoltées dans l'aire naturelle sous l'égide de l'IUFRO (Union Internationale de Instituts de Recherches Forestières) ou par des équipes des instituts européens eux-mêmes. Ces ressources génétiques ont permis de mettre en place, souvent de manière concertée entre instituts d'Europe de l'ouest, de nombreux tests de provenances et de descendance. Deux collections en particulier méritent d'être citées pour l'ampleur de leur diffusion :

- La collection IUFRO, constituée de 175 provenances originaires de l'ensemble de l'aire naturelle de l'espèce.
- La collection de plus de 1000 descendance maternelles de douglas récoltées dans les états de Washington et Oregon conjointement par l'INRA, l'Institut de recherche forestière de Basse Saxe en Allemagne, la Station de Recherche Forestière de Gembloux en Belgique et la Forestry Commission en Grande Bretagne.

Les principales retombées de ces introductions ont été :

- L'installation de placeaux conservatoires de provenances authentifiées (près d'un millier d'ha en Europe dont plus de la moitié en France).
- La publication de recommandations en matière d'importation de graines depuis l'aire naturelle.
- La sélection d'individus remarquables pour constituer des populations de base pour des programmes d'amélioration à long terme.

- La création d'une base de données européenne de ressources génétiques du douglas : peuplements classés, tests de provenances/descendances, parcs à clones, vergers à graines.

En terme de variétés on trouve actuellement en Europe :

- Des peuplements sélectionnés (étiquette verte) et testés (étiquette bleue).
- Des vergers à graines de clones sélectionnés dans les peuplements classés européens ou dans les tests de provenances.
- Des vergers à graines de familles issus de récoltes dans les peuplements classés européens ou dans l'aire naturelle.

Dans le cadre d'un projet de recherche financée par l'Union Européenne (EUDIREC), des tests d'évaluation de semences de vergers à graines de différents pays ont été mis en place. Ces réseaux européens de tests permettront vers 2010 de juger de l'intérêt des vergers français pour d'autres pays européens, ce qui peut aboutir à des débouchés à l'exportation de graines ou de plants.

Par ailleurs de gros investissements ont été consentis en matière d'induction florale et de propagation végétative par bouturage juvénile chez le douglas. Des études économiques ont montré l'intérêt indiscutable de la stimulation florale en verger à graines. En revanche, l'utilisation du bouturage juvénile pour amplifier des lots de graines de familles d'élites produites par croisements contrôlés ne se justifie pas économiquement. Par contre, l'intérêt de vergers à graines à haute densité est en cours d'évaluation.

Des informations succinctes sur les programmes d'amélioration conduits dans différents pays d'Europe sont données ci-dessous :

Allemagne. Programme aussi ancien que le programme français basé sur l'étude de la variabilité intraspécifique des peuplements allemands et US. Deux vergers à graines, l'un de clones, l'autre de familles, plantés en Basse Saxe, sont évalués dans 4 sites en France depuis plus de 10 ans. Les plants issus de ces vergers ont un débournement végétatif particulièrement précoce et ne présentent aucune supériorité pour la vigueur par rapport au témoin français (Verger « Bout 24 » dans l'Allier). Par ailleurs, de nombreux tests clonaux, issus de sélections très intensives et très précoces dans les tests de provenances et de descendances en pépinière, ont été plantés depuis près de 3 décennies par le centre de recherche forestière de Basse Saxe. Ces tests clonaux sont progressivement éclaircis et transformés en vergers à graines. Ils rendront à terme l'Allemagne autosuffisante en graines de douglas. Il convient enfin de mentionner que le centre de recherche de Graupa, Saxe, a créé des familles entre les races côtière et intérieure de douglas. Ce matériel, propagé en vrac par multiplication végétative, présente un très bon niveau de vigueur et une excellente adaptation aux froid hivernaux caractérisant cette région à forte continentalité. Ce matériel végétal mériterait d'être évalué dans des conditions analogues en France. Les vergers français sont en cours de test en Allemagne et certains vergers allemands le sont dans des dispositifs multi-sites en France.

Autriche. Programme de sélection limité à un tri de provenances de l'aire naturelle.

Belgique. Nombreux peuplements classés qui ont fait preuve de leur performance dans des tests de provenances en France. Il existe un verger à graines encore peu productif, en cours de test en France. Les graines des vergers français devraient pouvoir être facilement exportées en Belgique, d'autant que les vergers français sont en cours de test en Belgique (Programme européen EUDIREC).

Danemark. Pas de programme de sélection connu hormis l'action engagée conjointement avec l'INRA dans les années 70 ayant abouti à la création du verger à graines de clones franco-danois de Lavercantière (appelé Vayrière dans les tableaux). Pour mémoire, ce verger est composé de 70 clones sélectionnés (vigueur, forme, tardiveté du débournement, qualité du bois) dans des peuplements classés danois d'origine Darrington. Ce verger donne d'excellents résultats au Danemark : la demande y est soutenue.

Espagne. Programme d'amélioration limité à l'étude de la variabilité intraspécifique. Aucun verger à graines. Les vergers français sont en cours de test en Espagne (Programme européen EUDIREC). Le douglas offre en effet des potentialités en reboisement dans les zones humides de Galice et du Pays Basque. L'Espagne pourrait absorber un éventuel surplus de graines produites dans les vergers français.

Grande Bretagne. Le douglas est une espèce considérée comme mineure en Grande Bretagne comparativement à l'épicéa de Sitka, au pin sylvestre et au mélèze. Les besoins en MFR, faibles globalement, sont couverts par des

récoltes en peuplements classés et par des importations depuis l'aire naturelle. La graine produite par les vergers français devrait trouver un débouché dans ce pays, d'autant que les vergers français sont en cours de test en Grande Bretagne (Programme européen EUDIREC).

Italie. Le programme de sélection est limité à un tri de provenances et à l'archivage récent en verger à graines de clones sélectionnés dans ces tests. Les vergers français sont en cours de test en Italie (Programme européen EUDIREC).

Pays Bas. Au sein de l'Union Européenne, c'est le pays qui consacre au douglas la plus forte proportion de sa surface forestière (4,8%). Un gros programme d'amélioration a été conduit par l'institut de recherche forestière de Wageningen. Ce programme est fondé sur l'identification, et la valeur de leur descendance, des meilleurs géniteurs parmi 650 clones d'arbres « plus » sélectionnés en forêt. Environ 50 clones ont été retenus *in fine* pour leur vigueur et tardiveté du débourrement pour créer, entre 1975 et 1981, 3 vergers à graines : 2 aux Pays Bas (8 ha) et un en France (8 ha à Couze près de Lalinde en Dordogne). Le volume de graines potentiellement produit par ces vergers est très excédentaire par rapport aux besoins actuel des Pays Bas. Des changements dans la politique forestière du pays, intervenus depuis moins de 10 ans, ont considérablement réduit la part des espèces exotiques dans les reboisements. Les Pays Bas cherchent actuellement un repreneur pour leurs vergers, du moins des clients pour utiliser les graines qu'ils sont actuellement aptes à produire en quantité significative. En vue de juger l'intérêt des graines produites par le verger de Couze, l'INRA a mis en place au printemps 1998 un test comparant à divers témoins les descendance open de 47 clones constitutifs du verger. Des informations pertinentes sur la valeur de ces clones pourront être fournies vers 2005.

Pologne. Programme d'amélioration axé sur :

- l'exploration de la variabilité intraspécifique (tests de provenances de l'aire naturelle et peuplements classés polonais),
- la sélection d'arbres plus dans les peuplements classés polonais en vue de créer des vergers à graines de clones. Ces vergers créés dans les années 1990 devraient rendre la Pologne autosuffisante en graines de douglas. Par ailleurs dans le cadre d'une collaboration entre l'INRA et l'Institut de Recherches Forestières de Varsovie, des descendance open de vergers français sont en cours d'évaluation en Pologne.

Roumanie. Comme en Pologne, évaluation de provenances naturelles et artificielles, sélection d'arbres plus en peuplements classés et création de vergers à graines de clones (nombre et surface totale de ces vergers inconnues)

République tchèque. Programme de sélection limité à un tri de provenances de l'aire naturelle.

Pays non européens. Deux autres pays, situés hors de l'aire naturelle du douglas, conduisent des programmes d'amélioration sur cette espèce : le Chili et la Nouvelle Zélande. La Nouvelle Zélande, en particulier, a relancé activement dans les années 90 un programme d'amélioration avec sur stratégie proche de celle adoptée en France : création de vergers à graines de clones d'arbres sélectionnés en tests de provenance et constitution d'une population de base pour le long terme à partir de descendance maternelles récoltées dans les meilleures provenances de l'aire naturelle (Sud Oregon, Nord Californie).

Aire naturelle : USA, Canada. Compte tenu de l'importance économique de l'espèce, le douglas fait, dans son aire naturelle, l'objet d'importants travaux de sélection. Les investissements sont majoritairement privés aux USA et publics au Canada. Il existe actuellement plus de 1000 ha de vergers à graines de douglas aux USA. Le surdimensionnement de ce dispositif par rapport aux besoins domestiques se traduit actuellement par une exportation du surplus de graines des vergers de première génération vers le Canada. La province de Colombie Britannique possède en effet moins de 50 ha de vergers de douglas et importe ainsi des USA plus de la moitié de ses besoins en graines. Quelques tentatives d'exportation vers l'Europe de surplus de graines des vergers US de première génération ont été faites dans les années 90. Afin d'évaluer l'intérêt potentiel présenté par ce matériel pour les reboisements français, l'INRA a comparé dans 5 sites les graines produites par 6 vergers de la Compagnie Weyerhaeuser (4 du Washington, 2 d'Oregon) avec des témoins commerciaux récoltés sur peuplements sauvages dans les seed zones 030, 403, 411 et 412. L'origine du matériel de base de ces vergers est représentatif des zones d'importation des graines de douglas utilisées en France. Dix ans après plantation, les principaux résultats sont les suivants :

- Les vergers de l'Oregon ont un débourrement végétatif précoce et ne présentent aucune supériorité de vigueur par rapport aux lots commerciaux témoins. Ils ont par ailleurs un comportement très instable selon

les sites de test. En revanche, les vergers du Washington montrent tous une supériorité de vigueur sur les lots témoins (en moyenne 10 à 12 % sur la hauteur totale).

- Les vergers du Washington sont en moyenne plus précoces que les peuplements sauvages originaires de la même « seed zone ». Ils présentent aussi un taux d'arbres fourchus plus élevé. Ces défauts résulteraient d'une sélection sur l'unique critère de vigueur sans contrôle sur les caractères de phénologie.

Malgré l'évidence d'une amélioration pour la vigueur, il ne semble pas opportun d'importer en France la graine des vergers américains en raison :

- de l'entrée en production des vergers français dont les premières évaluations montrent qu'ils sont aussi améliorés pour la vigueur,
- d'un taux d'arbres fourchus plus élevé que les peuplements sauvages,
- d'un coût très élevé de la graine (2 à 3 fois le prix de la graine issue de peuplement sauvage).

3- Débouchés à l'exportation de MFR français

Il est a priori exclu d'exporter des variétés françaises de douglas vers les pays de l'aire naturelle : USA ou Canada.

Les facteurs qui pourraient inciter les autres pays plantant du douglas à importer des variétés produites en France seraient :

- un prix de vente significativement plus faible que celui de la graine issue de récolte sur peuplements sauvages. Un démarchage actif des clients potentiels sera également nécessaire.
- des performances supérieures aux provenances traditionnellement importées ou aux variétés nationales. Ceci suppose naturellement une politique volontariste de test des variétés françaises dans les pays potentiellement concernés.

En première approche, les pays les plus intéressés par les variétés françaises de douglas devraient être : Belgique, Espagne et Grande-Bretagne. Il serait peut-être judicieux de faire évaluer les vergers français de douglas français en Nouvelle Zélande qui a des besoins élevés en graines et qui reste encore tributaire d'importation depuis l'aire naturelle.

4- Variétés du futur

Enjeu. Il est nécessaire de proposer à la profession un panel lisible de variétés, ce qui nécessite de les définir les unes par rapport aux autres, ce qui a aussi peut-être pour conséquence de limiter le nombre maximum de variétés différentes. Encore faut-il déterminer sur quel(s) critère(s) établir cette différence.

Avec l'hypothèse de maintien de la demande en graines entre 600 et 1000 kg/an, les améliorations envisageables sont les suivantes :

- 2001 : arrêt des récoltes de tous les vergers d'arbres-plus et consolidation de l'utilisation des graines Luzette et Vayrières, abandon des vergers d'arbres « plus », sauf Bout 24 qui possède la base génétique la plus large et peut bénéficier d'une éclaircie génétique,
- Environs de 2005 : entrée en production et gestion par le GIE « Semences forestières » de 6 nouveaux vergers. A positionner par rapport au trio Bout-Luzette-Vayrières ; éclaircies génétiques dans les vergers Bout, Luzette et Vayrières et/ou supplémentation pollinique, induction florale des meilleurs clones,
- Environs de 2010 : création d'une ou plusieurs variétés élite de verger, et/ou à partir de la nouvelle base génétique du programme d'amélioration.

Ces créations variétales pourraient correspondre à deux demandes dont les enjeux doivent être mieux identifiés :

- une variété « altitude > 900m » : le comportement des vergers actuels est satisfaisant jusqu'à une altitude d'environ 900m ; des tests dits d'adaptation ont été installés au delà pour mesurer les performances et l'adaptation des variétés existantes ; certains résultats juvéniles montrent que dans certains cas, les vergers français actuels ne sont pas adaptés à de telles conditions. Avant de développer une nouvelle variété, il est nécessaire d'attendre des informations moins juvéniles (2008), et de mieux apprécier la surface potentielle à reboiser avec cette variété.
- Une variété « forme » s'il s'avérait que les éclaircies génétiques menées dans les vergers actuels ne permettraient pas d'atteindre un seuil de qualité suffisant.

	VG1 +	VG2 +	VG3 +	Var. 4	Var. 5
Nom				Elite	
Origine du matériel	Bout24	Luzette	Darringt.	Luzette	Populations d'Amélioration
Nature de la variété (Vergers à graines, familles, clones)	Vergers éclaircis génétiquement			Parents de familles	Parents de familles
Objectif et intérêt par rapport à l'existant	Amélioration en priorité de la forme (branchaison, fourchaison)			?	?
Principales recherches à conduire en matière de diversité, sélection de matériel de base, ingénierie de la production variétale, ...	Test de d'AGC Etudes de diversité			Ingénierie de la production de VFA	
Date de sortie (clones, familles) ou d'installation (verger)	2005			2005	
Date d'entrée en production	2006			2006	
Partenaires	INRA - ONF - Cemagref - GIE				+ AFOCEL
Commentaires				Récolte dirigée	VHD* ou bulk

* : verger haute densité

5- Verrous

Les informations acquises, les recherches en place ou à engager pour la création variétale peuvent être résumées dans le tableau ci-dessous :

	Acquis	En place	A engager	Inutile
◆ Connaissance diversité « neutre » (marqueurs) et paramètres de diversité			Sur VG	
◆ Connaissance de la diversité pour le choix des provenances (tests en forêt)	x			
◆ Caractères pertinents pour la délimitation des régions de provenances				x
◆ Connaissance des paramètres génétiques (h ² , cor. gén.) :	-	-	-	-
◆ pour la gestion des peuplements porte-graines				x
◆ pour la poursuite de l'amélioration : sélection composants futures variétés		A poursuivre		
◆ pour la production des semences en verger		A poursuivre		
◆ pour la production des clones de variétés multiclones				x
◆ Installation de tests d'évaluation des variétés		A poursuivre		
◆ Evaluation de la diversité génétique des variétés		A poursuivre		
◆ Induction de la floraison	x			
◆ Développement de nouveaux vergers :	-	-	-	-
◆ sous serre				x
◆ intensifs		A poursuivre		
◆ hybrides				x
◆ Propagation clonale	x			
◆ Propagation « bulk » :	x			
◆ Vitro méthodes	-	-	-	-
◆ micropropagation				?
◆ embryo-somatique				?

6- Propositions des chercheurs

Pour préparer les options présentées dans le paragraphe 4, il serait nécessaire de disposer de financements sans doute essentiellement nationaux, pour bien « connecter » les ressources génétiques des vergers à graines de l'Etat avec celles mobilisées dans le cadre du programme d'amélioration génétique. Il s'agirait en résumé d'évaluer conjointement ces deux ensembles pour préparer les variétés des années 2020. Le financement devra être nécessairement récurrent .

7 – Propositions du comité

Compte tenu de l'enjeu représenté par cette espèce pour le reboisement et la filière bois en France, il est important de mener un programme d'amélioration adapté et de favoriser la coopération harmonieuse entre les organismes français impliqués dans le programme d'amélioration : notamment, AFOCEL, Cemagref, INRA, GIE Semences forestières, ONF.

Une réflexion est conduite sur l'opportunité de régénérer naturellement la douglaie. Elle apportera des éléments sur les coûts comparés par rapport à la régénération par plantation, utilisant les nouvelles générations

de vergers. Cependant, il faut conserver à l'esprit que les peuplements arrivant actuellement à maturité ont été constitués il y a plusieurs décennies sur une base génétique incertaine et souvent étroite. Les futurs semenciers risquent donc d'être apparentés. De plus les descendances issues de ces peuplements ont un débourrement plus précoce que le matériel forestier de reproduction issu des vergers et aucun gain n'est à espérer pour les autres caractères dont la sélection est nécessaire, tels que la vigueur et surtout la forme (taux de fourches élevé et architecture de la branchaison mauvaise). Il est donc indispensable de :

- valoriser l'acquis des dernières décennies en éliminant les vergers dépassés et en procédant aux sélections possibles dans ceux qui doivent être maintenus,
- favoriser le programme d'amélioration du douglas selon le schéma très raisonnable proposé par les chercheurs,
- de promouvoir les variétés améliorées grâce à des dispositifs de démonstration et à tout autre mode de publicité.

Le poids des efforts financiers à consacrer à la recherche en amélioration du douglas devra être mis en rapport avec les gains économiques à espérer de l'amélioration supplémentaire apportée.

Les organismes de développement devront inclure dans leur information une estimation du gain financier lié à l'utilisation des variétés améliorées.



PEUPLIER

Rédacteurs : C. Bastien (1), A. Berthelot (3), V. Breton (2), J. Pinon (1), Marc Villar (1) au nom du GIS 'Peuplier'

(1) INRA, (2) Cemagref, (3) Afocel.

Contexte

La populiculture française

Le peuplier cultivé concerne environ 250 000 ha de plantations monoclonales et assure la seconde production en volume de bois d'œuvre feuillu après les chênes. Sa récolte est partiellement exportée et sa transformation alimente une part importante de l'industrie du déroulage. Sa filière implique de nombreux acteurs et constitue un gisement d'emplois. La croissance rapide de cette essence et les usages industriels de bois de peuplier qui sont parmi les plus variés (sciage, déroulage, emballage, panneaux ...) constituent des avantages indéniables justifiant l'investissement privé.

Sa courte révolution procure aussi une remarquable souplesse pour l'aménagement du territoire, en particulier dans le cadre de la politique agricole. Enfin, le peuplier est potentiellement un candidat de choix pour d'autres productions comme la pâte ou l'énergie dès lors que la conjoncture économique y est favorable. Des programmes R & D sont maintenus en veille pour être prêts à proposer rapidement des solutions opérationnelles en cas de besoin.

Fragilité de la populiculture

La productivité de cette essence repose sur la culture d'un faible nombre de cultivars issus des programmes d'amélioration des pays voisins de la France : Pays-Bas, Belgique, Italie. Bien que la France soit très nettement le premier producteur européen, sa populiculture présente une certaine fragilité. Si sa place a été récemment mieux définie dans le souci de préserver les zones humides, sa production est soumise à plusieurs contraintes croissantes qui peuvent remettre en cause sa stabilité à long terme.

Populiculture française basée sur les cultivars de nos voisins. Dans les quinze années à venir, ce sont essentiellement des cultivars sélectionnés dans les pays voisins qui seront mis en culture sur notre territoire. Leurs performances sur les lieux d'obtention ne sont pas systématiquement transposables à nos conditions climatiques, édaphiques et sanitaires. La France, sise au milieu de l'Europe, se situe au carrefour des flores pathogènes. Or le comportement des obtentions étrangères envers ces parasites est rarement connu, souvent faute d'avoir été pris en compte dans la sélection pratiquée par nos voisins. La mise en culture de nouveaux cultivars étrangers, constitue donc une voie de diversification mais exige des études complémentaires bien ciblées. De plus cette solution ne pourrait se révéler que temporaire du fait de la fragilité actuelle voire de l'arrêt des recherches en amélioration et en pathologie des instituts étrangers travaillant sur le peuplier. Même si ces instituts produiront de nouveaux clones, l'analyse des stratégies de sélection actuellement utilisées ne permet pas de garantir l'accession à des cultivars performants et à résistance durable aux parasites dans le contexte populicole français.

Instabilité de la résistance. Depuis un siècle, l'histoire de la populiculture est émaillée d'accidents sanitaires, parfois graves (voir Pinon, Frey et Villar, La populiculture à la recherche de la résistance durable aux maladies, La Forêt Privée, mars - avril 2001, pp. 25-32). Concernant la rouille, les difficultés liées à l'évolution du pathogène ne constituent pas une fatalité car vers 1977 ce risque avait été annoncé. Les programmes d'amélioration en Europe ont souvent privilégié la solution aisée de la sélection de clones présentant une résistance complète. Comme sur d'autres espèces de grande culture agricole, cette stratégie s'est révélée trop fragile, les contournements de résistance ayant été particulièrement favorisés par une culture du peuplier pauciclonale à l'échelle des régions de production. De ces expériences passées, nous pouvons cependant conclure qu'aucun niveau de performance n'est acquis définitivement et surtout que l'idée d'une variété clonale miracle est une utopie.

Le petit nombre prévu de nouveaux clones étrangers, en particulier pour une utilisation nordique, ne permet pas de juguler cette relative disette, d'autant plus que la stabilité du niveau de résistance de ceux-ci ne saurait être garantie.

Forces de la recherche française sur le peuplier

Les forces de la recherche française sur le peuplier ont été réunies en mars 2001 en un Groupement d'Intérêt Scientifique dénommé « Génétique, Amélioration et Protection du Peuplier » associant trois partenaires : l'AFOCEL, le Cemagref et l'INRA. Ainsi, la France possède actuellement le dispositif de recherche et d'expérimentation du peuplier le plus complet et le plus intégré en Europe.

Le principal objectif du GIS est de proposer à la populiculture du matériel végétal performant, adapté aux principales conditions stationnelles et offrant une tolérance suffisante et stable envers les principales adversités et en particulier les maladies les plus dommageables. La stratégie adoptée repose à court terme sur la recherche des cultivars prochainement disponibles dans les instituts étrangers et susceptibles d'offrir de telles garanties. Parallèlement, un programme national de création variétale, fédérant les recherches en cours chez les différents partenaires du GIS, repose sur la valorisation de la variabilité génétique rassemblée au sein de 3 populations de base représentant respectivement des trois espèces *Populus nigra*, *P. deltoides* et *P. trichocarpa*. Une veille sanitaire et scientifique est incluse dans cette stratégie de manière à prendre en compte rapidement toute nouvelle adversité ou toute percée technologique (étude du génome par exemple) permettant de réduire les délais de sélection ou de mieux répondre aux objectifs.

La filière autour du peuplier est également organisée et structurée autour de la Commission Nationale du Peuplier, des organismes professionnels (notamment l'IDF et son groupe Peuplier, et la Chambre Syndicale du Peuplier), et d'un ensemble d'éléments réglementaires.

1 – Variétés existantes

• Remarques préliminaires

- ✓ Depuis l'apparition de la race E4 de la rouille *Melampsora larici-populina*, aucun clone interaméricain (*Populus trichocarpa* x *P. deltoides*) du catalogue français ne présente une résistance complète à ce champignon.
- ✓ Sur les 23 clones du catalogue national, les hybrides interaméricains (tous apparentés), ont représenté, vers la fin des années 1990, 50 % du commerce de plants. Si on ajoute 'I-214' et 'I 45-51' cette proportion monte à 80 % (8 clones au total). En réalité, deux clones sont principalement en production en France : 'I-214' et 'Beaupré'. Cette caractéristique pauciclonale tend à évoluer actuellement vers une plus grande diversification, du fait de l'abandon progressif du cultivar 'Beaupré', qui était jusqu'en 1995 le clone universel du bassin Nord de la France.
- ✓ Deux clones du catalogue ont été sélectionnés en France : 'Alcinde' (Seita et Cemagref), 'Rajane' (INRA)
- ✓ Il existe d'autres clones inscrits dans les autres pays de l'Union Européenne qui peuvent circuler et être librement commercialisés en France : leur utilisation sur le territoire français ne nécessite pas obligatoirement une inscription au catalogue national. Parmi ces clones, deux cultivars sont en pleine progression : ce sont les cas du cultivar 'Triplo' (*P. x euramericana*) inscrit au catalogue italien et du cultivar 'Koster' (*P. x euramericana*) inscrit au catalogue néerlandais et qui sont éligibles aux aides de l'Etat français.

• Catalogue national

<i>Populus x euramericana</i>	10	<i>P. deltoides</i>	3
<i>P. x interamericana</i>	6	<i>P. trichocarpa</i>	3
<i>P. x canescens</i>	1	Total	23

2 – Programme d'amélioration de pays voisins

- Aux **Pays-Bas**, le programme d'amélioration est abandonné. Cependant certaines obtentions sont en cours d'expérimentation en France et pourraient être valorisées si elles se révélaient performantes.
- Le programme d'amélioration en **Belgique** est de nouveau en activité, principalement en Flandres. Initialement axé sur les hybrides interaméricains F1, ce programme se diversifie avec la valorisation de combinaisons réalisées dans les années 70, comme par exemple *P. trichocarpa* x *P. maximowiczii* et des rétrocroisements *P. x interamericana* x *P. deltoides*. Cependant, aucune réflexion sur la valorisation de résistances partielles aux ravageurs, supposées plus durables, ne semble avoir été engagée.

- En **Italie**, le programme de l'Institut de Casale Monferrato est actuellement en veilleuse pour des raisons administratives et devrait repartir prochainement sous la responsabilité de l'Etat. Néanmoins, de nombreux clones euraméricains sont en cours d'expérimentation en France et devraient permettre d'aboutir à une diversification recherchée pour au moins le grand Sud-Ouest de la France.

3 –Débouché à l'exportation de MFR français

Les mêmes pays que ci-dessus, plus l'Espagne, la Hongrie, la Roumanie, la Turquie, le Royaume-Uni et l'Allemagne.

4 - Variétés du futur

- *Valorisation de l'existant* : clones étrangers en cours de sélection et d'évaluation en France

<i>Origine</i>	<i>Clones</i>	<i>Début d'évaluation en France</i>	<i>Homologation</i>
Italie	A2A, Arno, Brenta, Enza, Isonzo, Lambro, Lima, Mella, Olona, Serchio, Sesia, Soligo, Ticino, Timavo, Trebbia, Taro.	1992	En Italie - retirés : Enza, Olona, Ticino, Serchio ; - homologation provisoire demandée pour 2001 : Brenta, Lambro, Mella, Soligo, Timavo, Taro ; - 2002-2005 pour les autres.
	PAL-M01, PAL-R31, PAL-R55, PAL-S39, PE66-019, 74-102, 80-062, 83-027, 83-036, 83-048, A4A, Pegaso	1998	En Italie - retirés : PAL-M01 et PAL-R31 ; - homologation provisoire demandée pour 2001 : A-4-A et Pegaso ; - 2005-2010 pour les autres.
Belgique	69.037/2, 69.038/1, 70.045/1, 71.085/1, 72.030/7,81.014/102, 81.016/185, 82.010/1509, 82.024/3494, 82.024/3591,	1997	En Belgique - abandonnés : 69.037/2, 69.038/1, 70.045/1, 71.085/1, 72.030/7,81.014/102 ; - 2005-2010 pour les autres.
	Muur, Vesten, Oudenberg, 78.010/33, 78.015/118, 78.018/202, 78.016/155, 78.018/192, 78.018/180, 78.022/228	2000	En Belgique - déjà homologués (en 2000) : Muur, Vesten, Oudenberg ; - 2005/2010 pour les autres.
Pays-Bas	NL3149, NL3972, NL4040, NL4042, NL4247, NL7137	1980	En France ou aux Pays-Bas. Issus de tests de sélections installés en France. - homologation vers 2005.
	25 clones NL-	1988	En France ou aux Pays-Bas Sélection à faire à partir des tests de terrain installés en France.
	NL2228, NL7145, NL2233	?	En France ou au Pays-Bas Issus de tests de sélections installés en France. - homologation ?
	NL3261, NL3494, NL6187, NL7939, NL10653, NL10670	1995	Aux Pays-Bas - 2001-2005

NB. Les homologations ne concerneront vraisemblablement qu'une partie des clones actuellement sélectionnés.

- *Test du matériel français*

A – AFOCEL

- **Objectif**: diversification à moyen terme du catalogue français
- **Base génétique** : clones hybrides ou parents de clones issus des collections belges, néerlandaises et italiennes

<i>Clones</i>	<i>Effectif</i>	<i>Stade d'évaluation</i>	<i>Age des tests</i> (ans)	<i>Année d'homologation provisoire</i>
AFOCEL	67	Au champ	13	En attente (1)

- B – INRA/Cemagref**
- **Objectif** : diversification à moyen terme du catalogue français, recherche de clones tolérants aux rouilles (abandon de la sélection de clones totalement résistants)
 - **Base génétique** : des trois espèces *Populus nigra*, *P. deltoides* et *P. trichocarpa*, en très grande majorité nouvelle par rapport aux variétés actuelles.

<i>Espèces</i>	<i>Nb de clones</i>	<i>Premières installations en plantation</i>	<i>Année d'homologation provisoire</i>
Interaméricains	42	1994	en attente (1)
<i>P. deltoides</i>	156	1991	2005/2010

NB. Les homologations ne concerneront évidemment qu'une partie des clones actuellement en cours de test.

(1) *Devant la situation sanitaire très complexe actuelle et notamment avec l'apparition d'une nouvelle race E5 de rouille à Melampsora larici-populina, l'ensemble des hybrides interaméricains sont de nouveau en cours de test et leurs comportements sanitaires doivent être précisés. Dans ce sens, des dispositifs expérimentaux ont été installés au printemps 1999 dans le cadre du GIS peuplier.*

Le prochain matériel français qui sera créé et sélectionné sera du matériel « GIS Peuplier ». La stratégie choisie par le GIS est présentée ci-après et devra être confortée dans les cinq prochaines années à partir des premiers résultats acquis. Son objectif est de fournir un portefeuille de variétés clonales, non apparentées, aux performances comparables pour un contexte climatique et édaphique connus, en particulier une bonne tolérance aux différentes attaques de ravageurs connus.

5 - Preuve de plasticité du MFR

Les dispositifs d'évaluation systématiquement multisites permettent de démontrer :

- l'adaptation des clones testés aux conditions pédoclimatiques des principales régions populières françaises,
- la résistance à des populations de rouille variables.

Ils sont complétés par des tests pathologiques en laboratoire permettant de confirmer le bon comportement des clones vis à vis des différentes races connues de *M. larici-populina*.

6 – Verrous

Le verrou reste incontestablement la recherche de résistances durables vis-à-vis des rouilles à *Melampsora* (surtout dans le cadre de variétés hybrides interaméricaines, voir paragraphe 7).

7 – Propositions des chercheurs

Les chercheurs regroupés au sein du GIS Peuplier privilégient plusieurs pistes permettant la création et un déploiement optimal de nouvelles variétés améliorées.

A - un programme de création variétale tourné vers la diversification génétique

Compte tenu de la diversité des conditions écologiques et sanitaires de la populiiculture française, il apparaît important de poursuivre le travail de sélection dans différents types botaniques simultanément.

L'importante variabilité génétique disponible dans la population de base *P. deltoides* (environ 1000 génotypes) offre des bases solides au développement de cultivars *P. deltoides* pour la moitié Sud de la France. L'acquis méthodologique de deux plans de croisements factoriels 6 x 6 et 5 x 5 permettra très prochainement d'affiner le

choix des géniteurs de nouvelles combinaisons sachant qu'une sélection précoce pour la croissance se révèle d'ores et déjà efficace.

L'exceptionnelle vigueur exprimée jusqu'ici par les hybrides interaméricains justifie une poursuite des efforts de sélection sur des combinaisons entre *P. deltoides* et *P. trichocarpa*. L'impossibilité actuelle d'éradiquer *M. larici-populina* et de se prémunir contre l'apparition de nouvelles races nous conduit à rechercher des génotypes qui, quelle que soit la race du parasite, présentent des symptômes peu nombreux et de petite taille (notion de **résistance partielle**) tout en conservant de bonnes qualités de production (notion de **tolérance**). Plusieurs voies sont ou seront explorées pour atteindre cet objectif :

- au contraire de ce qui a été réalisé jusqu'ici en France ou à l'étranger, seront privilégiés en croisement des parents *P. deltoides* ne présentant pas de résistance complète mais une très forte tolérance envers toutes les races connues de *M. larici-populina*.
- l'impact de la maladie sera évalué de façon complémentaire à l'aide de tests pathologiques en laboratoire contrôlant les différentes races du pathogène, en conditions naturelles d'infection dans un site de pépinière particulièrement favorable au développement des rouilles, et en dispositif expérimental permettant une évaluation plus spécifique de la tolérance. La sélection réalisée permettra ainsi de combiner au mieux toutes les stratégies de résistances (complètes et partielles) ou de tolérance.
- les travaux de l'Unité de pathologie forestière de l'INRA Nancy révèlent l'intérêt d'une sélection en faveur d'une composante passive de la résistance liée à la faible persistance de rosée, phénomène favorable à la pénétration du champignon. Cette propriété, liée à la mouillabilité des feuilles mesurée en laboratoire et indépendante de la variabilité du pathogène, pourrait rendre compte du meilleur état sanitaire des clones *P. deltoides*, *P. nigra* et hybrides euraméricains en comparaison à des génotypes *P. trichocarpa* et hybrides interaméricains.
- il conviendrait d'engager une véritable évaluation de l'intérêt de rétrocroisement de ces clones interaméricains vers le parent *P. deltoides* aux performances sanitaires plus satisfaisantes.
- des études sont également en cours à l'INRA d'Orléans afin d'évaluer l'intérêt d'une sélection assistée par marqueurs permettant un tri précoce des individus combinant les différentes sources potentielles de résistance ou tolérance aux maladies.

Comme il n'existe actuellement aucune certitude sur la possibilité de combiner résistance durable aux ravageurs et forte productivité dans des hybrides interaméricains, les efforts de sélection porteront également sur des hybrides euraméricains. Une importante variabilité génétique représentative de l'aire naturelle française de *P. nigra* a ainsi pu être rassemblée dans une population de base constituée d'environ 500 génotypes. Un plan de croisement factoriel 5 x 4 ainsi qu'une première collection de croisements « single-pair » permettront prochainement de préciser le déterminisme génétique de la résistance aux rouilles dans ce type d'hybride et de mesurer l'importance d'une éventuelle vigueur hybride pour les caractères de croissance. Le développement de clones euraméricains pourrait néanmoins favoriser, sous certaines conditions climatiques, un retour des attaques de *Marssonina brunnea*. Des questions scientifiques nouvelles se posent sur ce parasite et seront abordées par l'INRA de Nancy en liaison avec le Cemagref.

Pour les autres types botaniques ou hybrides plus complexes, une veille scientifique sera assurée auprès des sélectionneurs étrangers. Cette dernière pourrait concerner dans un premier temps l'intérêt potentiel d'hybrides entre *P. trichocarpa* et *P. maximowiczii*.

Afin d'optimiser les opérations de création variétale, il conviendrait d'apporter des réponses à plusieurs questions méthodologiques :

- répartition des efforts de création de matériel et d'évaluation à accorder aux niveaux familial et individuel respectivement,
- possibilité de sélection précoce pour différentes propriétés du bois,
- aide possible des marqueurs moléculaires pour le choix de géniteurs, le tri précoce de clones et une bonne gestion de la diversité génétique.

Toute création de nouveau cultivar devra s'accompagner du développement des marqueurs moléculaires permettant une identification sans faille. En effet, l'identification variétale à l'aide de marqueurs moléculaires constitue pour l'obteneur « GIS peuplier » une garantie de valorisation des efforts de sélection et pour le populteur la garantie de disposer du matériel performant qu'il a choisi.

B - la gestion spatiale des cultivars

L'intérêt des mélanges de cultivars est évoqué avec souvent une imprécision sur le type de mélange et de sérieuses lacunes sur les bases scientifiques qui justifieraient de tels mélanges. Les travaux récents de l'INRA n'ont pas mis en évidence un réel intérêt en termes d'état sanitaire et de croissance d'un mélange pied à pied alors qu'il génère des contraintes techniques fortes. Des mécanismes contribuant à expliquer ce constat ont été mis en évidence dont l'émergence de races complexes. Si l'étude de ce type mélange devait être poursuivie, il faudrait envisager des parcelles de grande taille. Dans les pays où ce type de mélange est envisagé, l'objectif est essentiellement environnemental et écologique, à savoir recréer une hétérogénéité.

Une alternative consiste en la mosaïque de parcelles monoclonales, nettement plus acceptable. La question en suspens est celle de la taille des parcelles monoclonales et du nombre de cultivars. Seule une expérimentation grandeur nature et sur une surface importante pourrait permettre de progresser. Toutefois si l'objectif est principalement phytosanitaire, il faudra se souvenir que les trois parasites majeurs du Peuplier cultivé (*Xanthomonas populi*, les *Melampsora* et *Marssonina brunnea*) n'ont pas les mêmes modes de dissémination, ce qui a toutes chances d'aboutir à des réponses spécifiques de chaque parasite.

C - Conclusions

L'amélioration génétique du peuplier est confrontée à une situation délicate mais l'histoire montre qu'une issue a toujours été possible. La France a certes pris du retard pour la sortie variétale (sauf pour l'amélioration de l'espèce pure *Populus deltoides*, grâce à des tests d'homologation de variétés INRA-Cemagref qui seront installés en hiver 2002-2003), mais elle dispose d'un potentiel important en terme de matériel végétal et de compétences multidisciplinaires coordonnées au sein du GIS peuplier.

L'expérience des rouilles foliaires et des *P. nigra* suggère qu'une approche vraiment écologique de la populiculture pourrait résider dans la compréhension des équilibres naturels et de leur traduction/transposition à la populiculture, qu'il s'agisse de mécanismes de résistance individuelle, de stratégie d'évitement ou de résistance du peuplement. Si la sélection et le choix du cultivar constituent des pièces maîtresses d'une lutte intégrée contre des ravageurs, il est illusoire de les considérer comme la réponse unique. Les effets du milieu, de la sylviculture, de l'entretien et des communautés végétales voisines (mélèze = hôte alternant de *Melampsora larici-populina*, peupliers du compartiment non cultivé) sont importants pour moduler les attaques en termes de précocité et d'intensité. La création de nouveaux cultivars doit en effet s'accompagner d'une réflexion sur les impacts économiques et environnementaux de leur déploiement, non seulement à l'échelle de la parcelle mais aussi à celle du territoire national.

Dans les toutes prochaines années, les nouveaux cultivars seront encore d'origine étrangère avec la cohorte de tests que cela exige pour ne retenir que ceux dignes d'intérêt dans notre contexte et éviter à la filière de s'engager sur des « nouveautés » ne rimant pas avec « supériorité ». Une difficulté vient de la mise sur le marché européen assez brutale de cultivars étrangers qui bien souvent n'ont été soumis aux acteurs du GIS que peu avant leur commercialisation. Au mieux les tests sanitaires peuvent être conduits à temps pour répondre aux questions de la profession. Cette situation va encore se compliquer avec l'arrivée de nouveaux types botaniques (tel *P. trichocarpa* x *P. maximowiczii*) qui ne permettent pas une extrapolation.

Le moyen terme passe très probablement par une culture en parcelles monoclonales avec une évolution des types cultivés et donc une nouvelle pression de sélection sur les parasites. L'état actuel des connaissances, s'il ne condamne pas définitivement d'autres arrangements spatiaux entre clones, incite à ne pas orienter actuellement la profession vers le mélange pied à pied en l'absence d'élément nouveau et nettement favorable qui ne pourrait surgir que d'une expérimentation lourde et d'issue non prévisible. La mosaïque de parcelles monoclonales (dont le nombre et la taille restent à expérimenter) constitue probablement un compromis acceptable et réaliste à condition de l'accompagner d'une politique très volontaire de diversification. Cette politique exige de disposer d'indicateurs numériques par région qui précisent la part de chaque cultivar. Ces indicateurs pourraient permettre d'orienter la politique de subvention. Face à une période difficile, on peut aussi se poser la question des attendus d'une telle politique. Doit-elle continuer à porter sur des valeurs présumées sûres ou doit-elle, dans le cadre d'une incitation à une diversification, constituer une prime à l'innovation pour des cultivars nouveaux a priori dignes d'intérêt mais pour lesquels le recul est encore jugé faible ? En d'autres termes, l'attitude doit elle être attentiste et prudente ou offensive et risquée ?

8- Propositions du comité

La réserve en clones nouveaux de nos voisins du Nord, Pays-Bas et Belgique, est quasiment épuisée du fait de l'accent qui a été mis sur des clones souvent apparentés en général sensibles à une ou plusieurs des races de rouilles constatées sur notre territoire. Du côté italien, la situation est meilleure car le programme d'amélioration a démarré sur une base génétique large et utilise une stratégie limitant l'apparentement entre populations d'amélioration. Pourtant, les clones de nos voisins transalpins ne sont pas tous adaptés à l'ensemble des conditions de la populiculture française, notamment du nord du pays.

Dans quelques décennies, la situation ouest européenne devra être retournée par rapport à ce qu'elle est actuellement. Nos voisins du Nord auront besoin de nos clones pour constituer leurs peupleraies car leurs programmes d'amélioration est actuellement ralenti ou arrêté. Nous serons en mesure de les leur fournir si nous continuons dans la voie actuelle :

- regroupement des forces de recherche,
- lien fort avec le développement,
- valorisation de l'énorme population de base rassemblée depuis les années 1970,
- exploitation des connaissances acquises sur le contrôle génétique des caractères,
- maintien d'une stratégie d'amélioration limitant l'apparentement,
- test des clones nouveaux sur une palette large de conditions de milieu.

Espèces β

La force des programmes français entrepris depuis le début des années 1950 est de pouvoir offrir une diversité d'espèces et de variétés pour la majorité des facettes du reboisement, que l'on ne retrouve chez aucun de nos voisins. C'est peut être sa faiblesse aussi. En effet, il entraîne le maintien de plusieurs milliers d'hectares de dispositifs comparatifs de terrain et la gestion de nombreuses sources de graines : peuplement classés et vergers. Il semble souhaitable que la DERF puisse apporter un certain soutien financier à l'accompagnement des sorties variétales .

Pour engager notre réflexion, les espèces concernées ont été incluses dans les catégories suivantes :

- pins : pin sylvestre, pin laricio de Corse, pin pignon, pin d'Alep, pin taeda,
- bois blancs : épicéa commun, épicéa de Sitka, sapin pectiné et autres sapins,
- grand feuillus sociaux : chênes sessile et pédonculé, hêtre,
- feuillus précieux : merisier, noyer, frêne, érables,
- autres espèces : mélèzes, chêne rouge, eucalyptus, cyprès, cèdre, châtaignier, tulipier.

Mais pour plus de clarté dans ce rapport pour présenter l'effort de recherche engagé et à poursuivre nous avons préféré classer les espèces β en groupes présentant une approche semblable sur le plan de la production de variétés améliorées ou de la diffusion d'information sur les sources de graines les plus appropriées pour le reboisement.

Cette liste n'est pas limitative. En particulier, elle n'inclut pas toutes les espèces de la dernière vague des arboretums d'élimination coordonnés par l'INRA, en vue de la diversification du reboisement de zones difficiles :

- zones à pollution atmosphérique (Rouen, Fos-sur-Mer),
- pinède du Sud-Est partiellement détruite par les incendies et *Matsucoccus feytaudi*,
- hauts plateaux du Massif Central (Col des Trois Sœurs).

Ce patrimoine, dont le coût d'entretien a été mentionné plus haut, doit être considéré comme une ressource génétique mobilisable.

Pratiquement toutes les espèces que nous allons maintenant aborder font l'objet, par ordre alphabétique, d'une fiche synthétique en Annexe 2 de ce rapport (page 63 et suivantes). Dans ces fiches, les informations concernant les types de matériel forestier de reproduction ont été mises à jour à l'automne 2001 grâce au document suscité par la DERF et réalisé par le Cemagref, intitulé « **Répertoire national des matériel forestiers de base des essences forestières. 9^{ème} édition. Juillet 2001** ».

- ❖ **Variétés issues de vergers à graines.** Pin sylvestre, pin laricio, épicéa commun, mélèze, cyprès toujours vert, sapin de Bornmüller, merisier, noyer, frêne.

Pin sylvestre	<p>Deux sources de graines sont disponibles : Haguenau et Taborz. Une diversification de ces sources est en cours. Les vergers correspondants seront productifs en 2002. Ils assureront les besoins en graines pour au moins 30 ans. Deux autres types de vergers pourront être envisagés pour assurer le relais : hybride Haguenau x Taborz qui combine vigueur du premier et forme et résistance aux insectes et pathogènes du second, et Bitche qui présente un bon compromis vigueur-forme et dont l'unique peuplement contrôlé a disparu dans la tempête de 1999. Les besoins seraient ainsi couverts jusqu'en 2030-2040.</p> <p>Verrou.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evaluation des composants des vergers actuels Haguenau et Lot et tests du MFR vergers dans des régions qui pourraient devenir des zones de reboisement. - Le reboisement de la moitié Sud de la France repose sur des peuplements classés issus de différentes provenances pour lesquelles il n'existe aucun test comparatif.
Pin laricio	<p>Les vergers productifs actuels de Vayrières (Lot), proposant des variétés Corse/Continent couvriront les besoins jusqu'en 2020. Un autre verger proche de Vayrières, proposant une variété Corse/Corse, entre actuellement en production et couvrira les besoins jusqu'en 2030. S'y ajoutent deux vergers de pin laricio de Calabre, Gipy et L'Isle-sur-le-Tarn, qui couvriront la demande au delà de 2030.</p> <p>Verrou.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evaluation des composants des vergers Vayrières et Lot.
Epicéa commun	<p>Trois vergers proposent des variétés adaptées à différentes tranches d'altitude. Le premier, Rachovo, est productif. Pour les deux autres, Chapois et Jura-Haute-Altitude, l'entrée en production est attendue. Une diversification de la ressource et la constitution de nouveaux vergers, notamment pour les boisements de moyenne altitude, est possible sur la simple base de tests clonaux déjà en place dans lesquels un choix de géotypes est réalisable rapidement. La prise d'une telle décision sera basée sur les besoins en « bois blanc » et la façons de les couvrir (voir le chapitre « Etude d'opportunité sur l'épicéa »). En attendant, la production actuelle des vergers est largement supérieure à la demande nationale.</p> <p>Verrou.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Valoriser les tests de moyenne altitude pour déterminer si les sources de graines de vergers en place conviennent à ces situations.
Mélèze hybride	<p>Deux vergers associant un clone de mélèze d'Europe et de 50 à 100 clones fortement apparentés de mélèze du Japon sont en production (Les Barres et Lavercantière). Ils assureront une partie des besoins jusqu'en 2020. Une autre combinaison hybride dont les parents japonais sont en plein champ et sous serre assurera, à partir de 2002, une diversification de la base génétique. Deux nouveaux types de variétés prendront le relais : une variété hybride F1 utilisant la technique de multiplication en vrac (« bulk ») et devant entrer en production</p>

en 2002, et deux variétés F1 qui produiront, après validation des vergers, de la graine F2 devant entrer en production avant 2010. L'objectif des vergers à graines F1 est de ne plus avoir à tenir compte du décalage de floraison entre mélèze du Japon et mélèze d'Europe.

Rappel. Le mélèze hybride peut être considéré comme un excellent substitut par rapport à la monoculture du douglas dans certaines régions. Il est même considéré comme plus plastique. Son bois contient des composés chimiques qui lui confèrent une durabilité supérieure à celle du douglas. C'est la seule essence pour laquelle le surcoût de la recherche, inclus dans le prix des plants, est accepté par les acheteurs-reboiseurs. Par ailleurs, la production actuelle des vergers ne parvient pas à faire face à la demande. La production de plants restera encore plusieurs années tributaire d'importations du Danemark, d'Allemagne et de Grande Bretagne.

Verrous.

- Opportunité et solutions techniques pour le passage en vraie grandeur de la méthode de propagation «bulk».
- Marqueur permettant de détecter le taux d'hybrides dans les lots de graines.
- Développement de la voie F2.

**Mélèze
d'Europe**

Trois vergers à graines sont installés, représentant deux parties de l'aire centre européenne : Sudètes et Pologne. Le premier est productif. Un quatrième verger est envisagé pour représenter la zone de l'aire naturelle de Basse Autriche. Leur durée de vie probable, comme pour le mélèze hybride, n'est pas connue. C'est plutôt un souhait de diversification génétique, ou tout simplement des considérations économiques (amortissement des investissements), qui conduiront à arrêter la production de certains vergers. La production de plants restera encore plusieurs années tributaire d'importations de République tchèque, de Pologne et d'Allemagne.

Verrous.

- Test de la valeur et de la plasticité des VG "Sudètes".
- Evaluation collective des VG européens existants.

**Cyprès
toujours
vert**

Les besoins actuels, ornement et brise-vent, sont satisfaits par les clones français (INRA Antibes) ou italiens d'architecture fastigiée ou semi-fastigiée, résistants au chancre de l'écorce. La demande de plants forestiers sera couverte, à partir de 2005, par le verger à graines de Palayson (Var) dont la résistance au chancre est en cours de test. Une promotion de cette espèce, particulièrement bien adaptée au Midi méditerranéen et constituant des peuplements relativement plus résistants à l'incendie que le pin d'Alep, est en cours depuis 1999. La production attendue du verger de Palayson couvrira les besoins nationaux.

Verrous.

- Stabilité d'expression de la résistance au chancre et du port étalé dans les descendance.
- Incidence des insectes des cônes et des graines sur la production du verger.

**Sapin de
Bornmüller**

Un verger de l'Etat produit une quantité suffisante de graine pour le reboisement en France.

Verrou

- Néant

Merisier | En année normale, la demande de MFR est supérieure à la production des vergers ou des peuplements classés. Deux vergers à graines, l'un de familles, dans le Deux-Sèvres, l'autre de clones, dans le Lot, sont installés. Le premier est en production depuis 2000, le second le sera avant 2004. De nouveaux vergers à graines de clones devront être installés pour faire face à la demande et pour diversifier la base génétique. Par ailleurs pour éviter les années totalement sans merises, la méthodologie de vergers sous serre est en cours de test.

Verrou.

- Faisabilité des vergers sous serre.

Noyer | Trois vergers à graine, ou répliques de ces vergers, sont productifs, les deux plus anciens, depuis 1980 et le plus récent, depuis 2000. Ils sont tous basés sur un noyer noir hybridogène sur lequel sont récoltées les noix, entouré de noyer *regia* servant de mâles. La base génétique n'est pas considérable et il est suggéré de l'étoffer, non pas uniquement en poursuivant dans la voie hybride, mais en valorisant des collections de noyer *regia* qui ont démontré leur aptitude à résister aux conditions climatiques de nos régions. Il est probable que la demande restera élevée compte tenu de la haute valeur marchande du bois.

Verrou.

- Diversification des variétés.

Frêne | Un verger à graine de clones, privé (Pépinières Lemonnier), installé en Normandie est entré en production commerciale en 2000.

Verrou

- tester la richesse génétique de ce verger et les régimes de reproduction,
- tester sur le terrain la valeur de ses produits.

❖ **Variétés qui proviendront de vergers à graines constitués à coût minimum.** Chêne rouge d'Amérique, sapin de Céphalonie, épicéa de Sitka

Chêne rouge d'Amérique | Une méthode simple de production de graines améliorées, présentant une diversité génétique suffisante, est la transformation en vergers de tests de provenances-descendances. Une sélection génétique combinée (provenance-descendance-individu) dans ceux du Sud-Ouest, devra tenir compte aussi des performances des tests homologues du territoire français pour ne retenir que les provenances non interactives. Ainsi un verger unique pourra couvrir les demandes de MFR pour l'ensemble du territoire, voire pour l'exportation. Ainsi, à partir de 2010, la source actuelle de graine issue des peuplements classés sera remplacée par une source beaucoup plus fiable et diversifiée. En effet l'utilisation des peuplements classés représente un risque pour le reboisement puisqu'une quantité certaine d'entre eux a été constituée à partir d'une base génétique vraisemblablement très étroite.

Verrou.

- Evaluation des tests et sélection génétique.

Sapin de Céphalonie. | La demande actuelle est couverte grâce aux arboretums, mais avec risque d'hybridation. Un verger à graines de familles est installé à Saint Lambert, dans le Vaucluse. Son entrée en production est prévue vers 2010. Sa surface lui permettra de couvrir longtemps les besoins nationaux.

Verrou.

- Eclaircie génétique à Saint Lambert sur la base des tests de descendance homologues.

Epicéa de Sitka.

Cette essence productrice de bois blanc pourra pallier l'éventuel manque d'épicéa commun pour l'industrie de trituration. Plusieurs tests, installés par l'INRA et l'AFOCEL, seront transformables, moyennant éclaircie génétique, en sources de graines pour le reboisement des zones favorables à l'espèce.

Verrou.

- Conception des vergers à partir de tests pas tout à fait prévus dans cet objectif, et éclaircie génétique.

❖ **Clones et variétés clonales.** Merisier, tulipier, eucalyptus, épicéa commun.

Merisier

Huit clones sont homologués depuis 1994. D'autres le seront sur la base des tests clonaux en place. Il est déplorable de constater qu'il est actuellement quasiment impossible de diffuser ce type de MFR, même pendant les années de pénurie de graines, faute d'avoir pu démontrer l'intérêt technique et financier de la voie clonale.

Verrou.

- Diffusion de l'information sur les clones.

Tulipier

La variété polyclonale INRA est en cours de transfert et de développement par un pépiniériste du Sud ouest, sous contrat de licence géré par Agri-Obtention, et à partir de l'Unité expérimentale de l'Hermitage.

Verrou.

- Néant

Eucalyptus

Clones actuels et futurs testés au champ pour leur tolérance au froid et pour des critères de croissance. Les combinaisons parentales de ces clones sont *gunnii* pur ou *gunnii x dalrympleana*. Si la demande le justifie, les variétés du futur seront des clones et des vergers.

Verrous.

- développement auprès de pépiniéristes de la technique de multiplication végétative,
- test de résistance au froid en conditions contrôlées.

Epicéa commun

Ces variétés ont été conçues pour faire face à un manque provisoire de MFR issu de vergers, à une époque où le reboisement était euphorique. Elles ne débouchent pas commercialement. Rappelons cependant que la voie clonale assure le maximum de gain génétique. Deux variétés sont en cours de test avec des témoins tels que le verger à graine de Rachovo. Elles sont toutes deux composées de 50 clones représentant une diversité génétique bien supérieure à celle d'une provenance, voire à celle de certains vergers.

Verrous.

- Maintien des pieds mères en haie sans perte de juvénilité,
- Evaluation des tests.

❖ *Espèces dont le MFR est ou sera issu des peuplements sélectionnés et contrôlés.*

- *Grandes essences sociales.* Chênes blancs, hêtre, sapin pectiné.
- *Feuillus précieux.* Frêne, érables.
- *Essences d'intérêt régional.* Pin pignon, pin d'Alep.
- *Essences diverses.* Cèdre, sapins de Bornmüller, châtaignier.

➤ *Grandes essences sociales.*

Chêne sessile | Le reboisement, sa diversification et la limitation des transferts entre régions de provenance reposent sur l'utilisation de la grande quantité de peuplements classés par région et le renouvellement de ces peuplements lorsqu'ils seront exploités. Les résultats des tests de provenance en place orienteront le reboisement en mettant en évidence les bonnes provenances et en fixant des limites aux transferts inter-régionaux.

Verrous.

- Observations périodiques dans les tests de provenance.

Chêne pédonculé | Le reboisement repose sur les peuplements classés et leur renouvellement permanent. Pas de tests de provenance.

Verrou.

- Néant

Hêtre | Le reboisement, sa diversification et la limitation des transferts entre régions de provenance reposent sur l'utilisation de la grande quantité de peuplements classés par région et le renouvellement de ces peuplements lorsqu'ils seront exploités. Les résultats des tests de provenance en place orienteront le reboisement en fixant des limites aux transferts inter-régionaux.

Verrous.

- Observations périodiques dans les tests de provenance.

Sapin pectiné | Le reboisement, sa diversification et la limitation des transferts entre régions de provenance reposent sur l'utilisation de la grande quantité de peuplements classés par région et le renouvellement de ces peuplements lorsqu'ils seront exploités. Les résultats des tests de provenance en place orienteront le reboisement en fixant des limites aux transferts inter-régionaux.

Verrous.

- Observations périodiques dans les tests de provenance.

➤ *Feuillus précieux.*

Frêne commun | La majeure partie du MFR proviendra des peuplements sélectionnés dont il sera nécessaire de tester la valeur génétique en tests de provenance.

Verrous.

- Détection de la présence de frêne oxyphyllé ou de formes intermédiaires dans les lots de frêne commun dès la pépinière,
- Contrôle des peuplements classés en tests de provenances pour détecter ceux qui pourront passer dans la catégorie contrôlée.

Erables | Seul l'érable sycomore a fait l'objet de classement de peuplements. La ressource correspondante et celle des peuplements identifiés des régions de provenance seront la base du MFR. Signalons pour mémoire, l'existence d'un test de clones issus de multiplication végétative d'individus ondes. Résultats encore à venir sur l'hérédité de ce caractère.
Pour l'érable plane, la seule source de MFR sera les peuplements identifiés.
Verrou.
- Néant

➤ *Essences d'intérêt régional*

Pin pignon | La source de MFR est et restera constituée de peuplements classés. Des tests de provenance installés permettront éventuellement de faire progresser de « sélectionnés » à « contrôlés » certains des peuplements classés.
Verrou.
- Evaluation périodique des tests de provenance.

Pin d'Alep | Compte tenu de la dynamique de régénération naturelle de cette espèce, le reboisement à objectif forestier est limité. Les peuplement classés couvrent tout à fait la demande, à laquelle s'ajoute un reboisement à fins paysagères. Une crainte cependant, l'arrivée accidentelle de *Matsucoccus josephi* actuellement détecté au Proche Orient.
Verrou.
- Veille sanitaire.

➤ *Essences diverses.*

Cèdre | Le MFR est issu des peuplements sélectionnés de cèdre de l'Atlas plantés dans la deuxième moitié du 19^{ème} siècle. Trois d'entre eux ont été promus en catégorie contrôlée grâce à leur performance dans les tests de provenance. Un conservatoire de la provenance de *Cedrus libani* de Turquie, Arslanköy, produira à partir de 2020 une source de graines pour le reboisement de terrain calcaire.
Verrou.
- Evaluation périodique des tests de provenance.

Sapin de Bornmüller | Deux placeaux conservatoires, d'une provenance unique de Turquie, installés à la fin des années 60, l'un en forêt domaniale du Plachet (Haute Marne) et l'autre à Cayrols (Cantal) suffiront pour les besoins français pour plus de 30 ans. Il y a aussi un VG dans le Lot.
Verrou.
- Evaluation des tests de provenance pour estimer la plasticité du MFR produit par les deux placeaux conservatoires (2005).

Châtaignier | Le MFR français disponible est constitué par les peuplements sélectionnés et les sources de graines identifiées.
Verrou.
- Veille sanitaire.

❖ *Reboisement basé uniquement sur une ressource située à l'étranger*

Pin taeda La source US dite « Delmarva » représente des provenances du nord-est de l'aire. Elle est résistante au froid mais ne sera bientôt plus produite. Les vergers US de 2^{ème} génération couvrent des zones plus méridionales de l'aire avec risque de sensibilité au froid. Les vergers à graine de clones installés en France en 1993 seront productifs vers 2010, mais avec risque de faible fructification.

Verrou.

- Test pour la résistance au froid du MFR issu des vergers US de 2^{ème} génération.

V - POLITIQUE DE NOS VOISINS EN MATIERE DE REBOISEMENT

Deux sources d'information permettent une première approche pour déterminer dans quelle mesure la politique forestière des pays voisins de la France peut avoir une incidence sur l'exportation de Matériel Forestier de Reproduction. A court terme ces informations donneront une idée des stocks de graines à constituer en chambre froide ou des plants à produire en pépinière. A long terme, elles nous orienteront sur la taille à donner à nos sources de graines, notamment nos vergers.

1- Balayage de Michel Lenoir, Etablissement Vilmorin

L'étude est présentée in extenso en Annexe 3, page 125. En voici un résumé.

Les essences les plus demandées sont, par ordre décroissant, le douglas, le mélèze hybride, le pin laricio de Corse, le merisier, l'épicéa, le pin maritime, le noyer et l'eucalyptus. Les marchés actuellement ou potentiellement les plus porteurs semblent être l'Irlande, l'Allemagne, la Grande Bretagne et l'Espagne.

Par ailleurs, pour certaines espèces, des réseaux européens de comparaison de MFR sont en place. Ils nous indiqueront les débouchés possibles du matériel forestier de reproduction (MFR) produit en France, qu'il soit issu des peuplements classés, des vergers ou de variétés polyclonales.

2- Enquêtes de l'ENGREF sous la direction de Jean Luc Peyron

Compte tenu de ce qui vient d'être dit à propos des marchés les plus porteurs, la première enquête a été réalisée en Irlande au cours de l'été 2001. D'autres suivront.

« **Boisement et reboisement en Irlande** » est l'intitulé du rapport d'Isabelle Pacault (Engref-FIF, Nancy 2001, 42p.). En voici un résumé.

L'Irlande est lancée dans une politique forestière fondée sur le boisement de terres agricoles et l'investissement des agriculteurs, grâce à des subventions européennes. Par ce biais, l'Irlande compte doubler sa surface forestière et permettre le développement rural au rythme de 20.000 ha par an jusqu'en 2030. L'heure est à la diversification des essences, voire au mélange, et à la remontée en puissance des feuillus. Le Sitka, bien que moins utilisé qu'auparavant, occupera toujours une position de leader (60 % des boisements). D'autres résineux prendront le relais : douglas, mélèze, pin sylvestre, épicéa commun pour 20 % de la surface. Les 20 % restants seront constitués à base de feuillus dont le 5^{ème} pour les chênes sessile et pédonculé. Le choix des essences et leur taux d'utilisation sont basés sur le résultat de nombreux tests de terrain (arboretums d'élimination, tests de provenances) et sur la connaissance du potentiel des terres concernées.

Les programmes de sélection et d'amélioration du Centre de Recherches Forestières (Coillte Teoranta) de Kilbride, Comté de Wicklow, concernent diverses essences. Les feuillus y trouvent de plus en plus leur place mais les programmes les plus anciens traitent d'essences

résineuses et plus particulièrement le pin contorta et l'épicéa de Sitka. L'objectif de ces programmes est l'identification des meilleures provenances pour un certain nombre d'espèces, de manière à obtenir un matériel productif et de bonne qualité, adapté aux différentes conditions édaphiques et climatiques irlandaises. Les programmes traitent également des questions suivantes :

- Epicéa de Sitka : sélection clonale, tests de descendance, embryogénèse somatique.
- Pins : sélection de variétés à forte croissance.
- Feuillus : sélection phénotypique permettant la réalisation d'une banque de gènes.
- Mélèze : méthodes de propagation.
- If : composés anti-cancérogènes.
- Feuillus et épicéa : propagation végétative.
- Peuplier : vigueur, tolérance aux maladies.
- Arbres de Noël : sélection des meilleures sources.

Les graines seront, autant que faire se peut, récoltées en Irlande et les plants produits dans les pépinières irlandaises, dont celle de « Ballintemple » (190 ha, 4 millions de feuillus, 16 millions de résineux) et de « None So Hardy » (450 ha, 26 millions de plants). Mais les résultats des recherches indiquent aussi d'où doivent venir les graines lorsqu'elles ne sont pas disponibles en Irlande. Pour notre pays, la seule région recommandée est sa moitié nord, pour les chênes sessile et pédonculé, le chêne rouge, le merisier, le frêne commun, les érables sycomore et plane et l'aulne glutineux. Par ailleurs, une demande se fait jour pour du pin laricio de Corse et du mélèze hybride.

Des ventes de plants sont possibles pour les tilleuls à grandes et à petites feuilles, l'aulne cordé et le châtaignier.

En conclusion, le marché irlandais est considérable et de longue haleine. Une double démarche, scientifique et commerciale, sera nécessaire, non seulement pour occuper les places de marché évidentes (les graines d'un certain nombre d'espèces), mais aussi pour en conquérir d'autres lorsque des preuves de plasticité de notre MFR, voire des essais sur sol irlandais, seront disponibles.

Ce rapport, qui regorge de précisions et de bonnes adresses peut être obtenu sous forme de CD auprès d'Eric Teissier du Cros, eric.teissierducros@avignon.inra.fr.

Les études suivantes porteront sur l'Allemagne et l'Espagne.

VI - RECHERCHES DE NOS VOISINS EN VUE DES SORTIES VARIETALES

Existence de tests de MFR (essentiellement provenances) communs à la France.

A la connaissance des chercheurs français responsables de ces espèces, de tels tests concernent les essences suivantes : cèdre, châtaignier, chêne pédonculé, chêne sessile, douglas, épicéa, frêne, hêtre, mélèze (d'altitude uniquement), peuplier, pin pignon et pin sylvestre.

Les chercheurs ont été et seront questionnés par la filière graines et plants forestiers pour connaître les résultats de ces tests en vue de permettre l'exportation de MFR français vers les pays où notre patrimoine génétique forestier aura fait ses preuves.

Existence de programmes d'amélioration, avec dans certains cas, du matériel de base commun à celui qui est manipulé en France.

A la connaissance des chercheurs français responsables de ces espèces, de tels programmes existent pour les essences suivantes :

- Chêne pédonculé : Russie,
- Cyprès : Italie,
- Douglas : Allemagne, Belgique, Grande Bretagne et aussi USA,
- Epicéa de Sitka : Grande Bretagne, Irlande,
- Eucalyptus : Espagne, Portugal,
- Frêne : Allemagne, Belgique, Grande Bretagne, Irlande,
- Mélèze hybride : Allemagne, Belgique, Danemark, Irlande, Pays-Bas et Suède,
- Mélèze d'Europe : Allemagne, Belgique, Pologne, République tchèque,
- Merisier : Allemagne, Belgique, Espagne, Grande Bretagne, Grèce, Italie, Pays-Bas,
- Noyer : Allemagne, Espagne, Grèce
- Peuplier : Italie, Belgique, Pays Bas,
- Pin d'Alep : Espagne, Grèce,
- Pin maritime : Espagne, Portugal,
- Pin sylvestre : Pologne

Une coopération scientifique s'est développée entre la France et ces pays. On ne peut pas parler de concurrence dans la mesure où l'importation en France de variétés améliorées, même si elle est possible réglementairement dès l'instant où une variété est homologuée dans l'un des pays de l'Union Européenne, ne sera effective que lorsque la preuve sera faite de l'intérêt de ces variétés sur notre territoire. Une telle situation sera donc rare, faute d'avoir mis en place les tests adéquats. Une exception majeure doit pourtant être signalée. La France n'aurait pas de populiculture moderne sans les clones néerlandais, belges et italiens qui devront être utilisés jusqu'au relais pris par nos propres clones. Pour cette espèce, une coopération est indispensable.

VII - ETUDE D'OPPORTUNITE SUR L'EPICEA

L'information contenue dans ce paragraphe est la synthèse :

- d'une enquête réalisée par le CTBA auprès des transformateurs,
- d'un rapport commandé par la DERF à l'AFOCEL intitulé : « Ach. F., Valenzisi, M., 1997. Opportunité et condition d'une relance de l'épicéa commun en France dans le cadre d'une bonne gestion des territoire »,
- et de diverses informations rassemblées par les membres du Comité de Réflexion.

D'une manière plus conjoncturelle — les conséquences des tempêtes de Noël 1999 — une étude de disponibilité de résineux a démarré en septembre 2001 (AFOCEL/IFN).

L'industrie recherche un produit homogène et stable. Dans l'étude du CTBA, l'épicéa est considéré sous l'angle de son aptitude à produire des fibres blanches appréciées pour la production de pâte et de panneau MDF (Medium Density Fiberboard).

Dans le rapport de l'AFOCEL, l'épicéa est considéré sous l'angle de sa participation au paysage et à l'économie locale. Son caractère envahissant dans les zones de déprise agricole est un facteur d'expansion et provoque une crainte de fermeture des paysages.

Solutions proposées

- Dans son aire naturelle, le maintien de l'épicéa est nécessaire, s'il est demandé pour la sauvegarde de l'activité industrielle locale. Tout doit être fait pour reboiser avec des graines de la région de provenance locale, afin de ne pas dénaturer nos ressources génétiques. Dans ce sens, les peuplements classés pourront encore jouer un rôle à ne pas minimiser.
- L'épicéa a un rôle majeur à jouer au dessus de la limite supérieure de l'utilisation du douglas, comme par exemple dans le Massif Central. Il peut aussi être considéré comme un facteur de diversification des espèces et des paysages. Dans tous les cas il sera utilisé dans les sites qui lui conviennent pour limiter les risques sanitaires (*Fomes*). C'est dans ces situations que le verrou signalé au § épicéa dans la liste des MFR issus de vergers (page 34), prend toute sa dimension : grâce aux tests déjà en place, vérifier que les produits des vergers, notamment 'Rachovo', sont adaptés aux sites de haute altitude hors de l'aire naturelle.
- L'industrie de la pâte pourra s'approvisionner encore longtemps dans les peuplements d'épicéa, favorisant ainsi le débouché des éclaircies. Mais un jour viendra où, les peuplements plantés et d'accès facile auront atteint leur maturité. La ressource en épicéa de faible dimension manquera. Une solution de relais est la plantation de peuplements à courtes révolutions à objectif purement industriel avec de l'épicéa de Sitka, dans les régions où celui-ci est adapté. Mais il ne faudra pas attendre que la pénurie en bois blanc s'établisse pour planter car les révolution, bien que courtes, seront néanmoins de 20-25 ans au minimum. C'est pourquoi le verrou signalé au § Sitka (page 37) doit se traduire par les éclaircies génétiques nécessaires sans attendre que les peuplements issus des tests comparatifs, devenus trop denses, ne se détériorent. Cependant, la solution «Sitka» devra prendre en compte le fait que les usines sont actuellement dans le nord-est de la France, situation non compatible avec une production intensive dans l'Ouest (coût du transport à longue distance).

Avenir de l'amélioration de l'épicéa commun.

Bien que chercheurs et gestionnaires des vergers ne se prononcent pas sur la durée de vie d'un verger à graines d'épicéa en conditions normales de gestion, deux facteurs au moins font qu'il faudrait préparer le relais des vergers actuels, d'ailleurs pas encore tous productifs :

- certains d'entre eux peuvent disparaître avant leur fin de vie normale sous l'effet de facteurs biotiques,
- l'entrée en production commerciale est longue : 15 à 20 ans.

La solution proposée par les chercheurs pour les variétés d'épicéa du futur semble souple et peu onéreuse : mettre en collection des clones ayant fait leurs preuves dans des tests clonaux ou sélectionnés en tests de descendance de façon telle que ces collections puissent être aisément transformées en vergers.

Autre solution : convertir les tests clonaux, aujourd'hui âgés de 8 à 20 ans, en vergers à graines pour les zones de reboisement hors aire naturelle.

Conclusions

Cette étude sur l'épicéa montre qu'une demande de bois blanc pourrait se maintenir. Faut-il pour autant poursuivre l'activité de recherche proposée ci-dessus ? Actuellement, les indicateurs ne vont pas dans ce sens et les organismes de recherche ont déjà mis en veilleuse leurs programmes. Reste donc à valoriser l'existant : les peuplements classés, les vergers à graine tels que Rachovo en dehors de l'aire naturelle de l'espèce et Chapois pour le deuxième plateau de Jura.

Pour justifier ce replis, on constate que le douglas et le mélèze sont plantés de plus en plus haut en altitude. Les reboiseurs boudent l'épicéa du fait qu'il est attaqué par le dendroctone et le *Fomes*. Et l'industrie papetière, qui a les moyens de soutenir la filière épicéa, pourrait, elle aussi, changer de position. En effet, l'industrie s'adapte plus facilement à la ressource que la ressource à l'industrie.

Propositions du comité

En France, il faut analyser avec objectivité le coût d'un programme d'amélioration de l'épicéa uniquement tourné vers le débouché bois d'industrie. Cependant, les industriels de la pâte sont inquiets sur les disponibilités futures en épicéa commun, espèce privilégiée pour la production de pâte TMP (trois unités concernées en France) et souhaitent que l'épicéa retrouve une juste place dans les reboisements. Il faut préserver l'avenir et pour cela conserver les ressources génétiques sélectionnées. Il faut examiner les possibilités de conversion de tests clonaux et autres conservatoires *ex situ* en peuplements sources de graines pour les boisements hors zones naturelle.

VIII - BIOTECHNOLOGIES AU SERVICE DE L'AMELIORATION DES ARBRES FORESTIERS ET DES SORTIES VARIETALES

Un rapport technique sur cette question a été demandé à quatre chercheurs biotechnologistes de l'INRA et de l'AFOCEL. Ce rapport peut être lu en annexe 4, page 133. Le but de ce paragraphe est de replacer l'opinion des chercheurs dans le contexte de l'amélioration des arbres forestiers.

Par rapport à l'amélioration des arbres forestiers, les biotechnologies sont des outils qui engendrent des recherches propres pour leur mise au point sur des espèces pilotes et des applications sur des espèces faisant l'objet d'un programme avancé d'amélioration. Les auteurs du rapport ont d'ailleurs pris soin de rappeler ces points importants. Par exemple à quoi bon multiplier en masse un génotype dont la supériorité génétique n'a pas été démontrée ?

Sélection assistée par marqueur

Elle vise à augmenter l'efficacité des programmes de sélection en utilisant directement les gènes impliqués dans le contrôle génétique des caractères. Elle est applicable précocement et se traduit donc par un gain génétique par unité de temps. Elle est particulièrement recherchée pour des caractères peu à moyennement héréditaires et pour des caractères dont l'observation est coûteuse voire destructive. Sa mise au point nécessite des pedigrees très élaborés, des équipes puissantes et des laboratoires hautement équipés. Elle doit se concentrer sur le pin maritime et le peuplier. Cependant, si sa mise au point et son application se déroulent en France, essentiellement sur des espèces dont le programme d'amélioration est ancien et fait appel à une stratégie multi-génération, elle peut être appliquée à d'autres essences en faisant des raccourcis technologiques. Par exemple, on sera vraisemblablement amené un jour à utiliser la sélection assistée par marqueur, au delà du stade de mise au point, au merisier ou au mélèze.

Transformation génétique

La transformation génétique est d'abord un outil de recherche pour la compréhension de mécanismes génétiques et physiologiques. Mais il est vraisemblable que la transformation génétique sera appliquée un jour en routine et que des arbres génétiquement modifiés seront plantés avec les garde-fous nécessaires fixés par les comités d'éthique. Une telle éventualité nécessitent la mise en place d'importants tests d'évaluation, ne serait ce que pour définir ces garde-fous. Les programmes d'amélioration par voie quantitative classique sont parfois impuissants ou beaucoup trop longs pour incorporer une aptitude supplémentaire sur un organisme idéal par ailleurs. En France, l'espèce la plus propice à l'utilisation de la transformation génétique est le peuplier. Les programmes d'amélioration aboutissent à des variétés clonales performantes, à qui un caractère peut manquer, par exemple une tolérance aux parasites ou une propriété du bois. Comme la dissémination du transgène chez des peupliers « sauvages » n'est pas souhaitable, les variétés transformées seront exploitées avant leur maturité sexuelle (taillis à courte révolution). Des chercheurs étudient également les modalités de mise en œuvre d'une stérilité sexuelle

Embryogénèse somatique

Il s'agit clairement d'une micropropagation quasiment à l'infini de géotypes sélectionnés. La puissance de cet outil est considérable mais comme le coût de sa mise au point est élevé, il ne pourra pas être appliqué en tant qu'outil de propagation en masse à d'autres espèces forestières que celle dont le bassin de production représente un ou plusieurs millions d'hectares. Autrement dit, en France, il y a fort à parier que le pin maritime et le massif landais seront les seuls à pouvoir espérer atteindre ou dépasser ce seuil de rentabilité. Des études économiques réalisées à l'étranger montrent en effet que seulement le Sud-Est des Etats Unis et les zones d'utilisation du pin radiata peuvent rentabiliser ces techniques.

Cependant, l'intérêt majeur de cet outil réside aujourd'hui dans l'aide qu'il peut apporter aux améliorateurs « traditionnels » pour assister la multiplication de matériel à tester et bien plus encore sa propriété de maintien absolu de la juvénilité à long terme lorsqu'elle est couplée à la cryoconservation. Ainsi, de grandes compagnies forestières (Westvaco pour le pin taeda, Weyerhaeuser pour le douglas, CHHF et Fletcher Challenge pour le pin radiata) placent t'elles l'embryogénèse somatique couplée à la cryoconservation au centre de leurs nouvelles stratégies de sélection et d'amélioration. Et le potentiel de multiplication de l'embryogénèse facilite aussi le passage à de vrais essais multilocaux avec des dispositifs exigeants en nombre de copies qui permettent de fiabiliser l'évaluation des performances des clones testés ainsi que la mise en évidence de QTL et autres outils moléculaires qui faciliteront grandement le travail du sélectionneur (L. Harvengt, AFOCEL, communication personnelle).

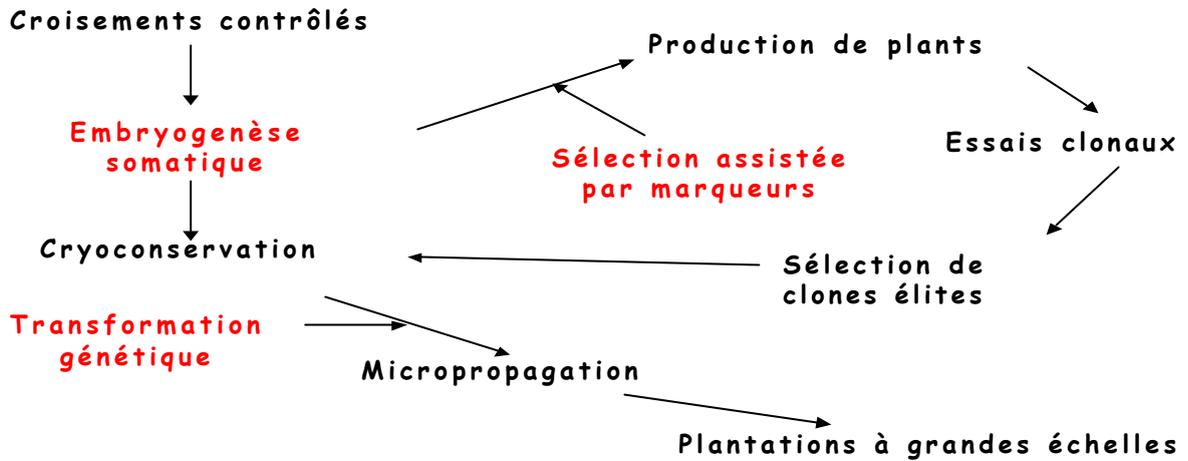
Conclusion

La figure de la page 49 montre comment l'insertion des techniques biotechnologiques est envisagée dans le programme d'amélioration du pin radiata en Nouvelle Zélande.

Les équipes françaises de génétique et d'amélioration ont acquis un niveau international sur ces biotechnologies. La conférence de Bordeaux, organisée dans le cadre de l'Union Internationale des Instituts de Recherche Forestière (IUFRO), intitulée « *International Conference on Wood, Breeding, Biotechnology and Industrial Expectations* » en juin 2001 en est une preuve de reconnaissance.

Les biotechnologies deviennent des outils incontournables de l'amélioration de certaines espèces (identification, sélection, amélioration *sensu stricto*) et de la production et de la diffusion de variétés. Les efforts de recherche devraient se concentrer sur des espèces majeures, en particulier le pin maritime et le peuplier. Elles devront faire l'objet d'une coordination accrue entre organismes pour que les programmes soient menés dans un esprit de concertation.

Intégration des biotechnologies dans le programme d'amélioration génétique d'un arbre forestier



(stratégie envisagée pour le pin radiata en Nouvelle-Zélande.
Information fournie par Gilles Pilate)

IX - CONSÉQUENCES DE LA TEMPÊTE SUR LES PROGRAMMES D'AMÉLIORATION

Les conséquences de la tempête de Noël 1999 conduisent à deux types de réflexions dans le contexte de la génétique et de l'amélioration des arbres forestiers.

- Doit-on envisager des critères de sélection nouveaux pour produire des génotypes plus résistants au vent ?
- Doit-on considérer que la tempête est le signe visible d'une modification plus profonde et durable du climat, justifiant une refonte profonde des objectifs de sélection ?

A la première question, il est sans doute possible de répondre que devant la complexité des facteurs physiques intervenant lors d'une tornade, il sera difficile d'identifier des critères génétiques simples à incorporer dans un programme d'amélioration. On éliminera d'emblée la densité des peuplements et leurs modes de conduite qui ne sont pas du ressort de la génétique. On ne considérera pas non plus l'architecture de l'appareil racinaire dont le rôle n'est pas clair. En effet, devant la puissance de la tempête, l'alternative semble malheureusement simple : un arbre à enracinement profond peut casser (volis) alors qu'un arbre à enracinement superficiel peut culbuter (chablis). Pourtant, en Australie, l'hybridation interspécifique est utilisée pour transférer la stabilité au vent de *Pinus caribea* à *Pinus elliottii*. Et, chez nous, il est remarquable de constater comment des parcelles d'essai de pin taeda installées par l'AFOCEL dans des peuplements de pin maritime ont résisté au vent.

Par contre on peut s'intéresser à la partie aérienne, celle qui donne prise au vent. Comment réduire sa traînée ? Rapport H/D réduit, branches souples et fines, répartition de la branchaison, cime étroite ? Les rapports scientifiques et techniques réalisés à la suite de l'évaluation de dégâts causés par la tempête montrent par exemple que le mélèze a souvent bien résisté. Mais cette tempête était en hiver et les mélèzes, sans aiguilles.

Enfin, il faudrait peut être envisager des études sur l'élasticité du bois conférant au fût une certaine aptitude à se plier sous la pression : l'éternelle question du chêne et du roseau !

Sur le plan des critères de sélection, hormis le choix des espèces, la finesse des branches est déjà incorporée dans les index de sélection, leur faible longueur souvent aussi. Leur souplesse, par contre, sans doute un caractère spécifique, ne l'est pas. La réduction du rapport H/D s'oppose à l'idéal du forestier : un tronc cylindrique et long. Réduire ce rapport se traduira vraisemblablement par une petite révolution au sein des programmes d'amélioration et des conduites de peuplements.

La seconde question, plus sujette à controverse, est fondamentale pour les programmes d'amélioration. Le choix des espèces est primordial. Il doit être basé sur les critères physiologiques que l'on espère pouvoir définir lorsque les modèles météorologiques à long terme nous préciseront les effets du changement climatique : plus chaud, plus sec, plus froid, plus humide, saisons sèches allongées, types d'extrêmes climatiques : froid, chaleur, vent ?

Une réflexion sur les variétés du futur à l'horizon 20-30 ans doit considérer ces éléments, notamment s'ils sont antinomiques. Prenons un caractère que les sélectionneurs aiment bien car il est souvent très héritable : la phénologie et, plus particulièrement, le débourrement

végétatif. Statistiquement, les géotypes débouillant tard évitent mieux les gelées tardives que les géotypes précoces. On sait qu'en général un débournement tardif n'a pas d'incidence sur la croissance car celle-ci est plus rapide ou décalée dans le temps. Or si le décalage est trop important, un autre facteur climatique risque d'intervenir : la sécheresse pendant la croissance. Certains modèles météorologiques prédisent une période de sécheresse accrue, notamment intervenant plus tôt en saison. Alors, que faire ?

X - ARBRES DE NOËL

La production d'arbres de Noël devrait être considérée en France comme un atout pour la forêt parce qu'elle peut assurer un revenu relais aux reboiseurs ou aux agriculteurs. De plus, cette production représente un marché rémunérateur qui pourrait financer tout ou partie des recherches nécessaires.

Les recherches nécessaires en génétique et amélioration ne sont probablement pas une simple dérivation des programmes orientés vers la production de bois. Les espèces diffèrent (sapin de Nordmann, sapin noble) et les critères de sélection sont beaucoup plus orientés vers une architecture équilibrée que vers une croissance focalisée sur la pousse terminale. D'autres critères, tels que la couleur du feuillage (caractère « glauca » de *Picea pungens*, par exemple), pourraient aussi être pris en compte. Au Danemark, où de tels programmes existent depuis des décennies, des vergers à graines produisent maintenant des semences spécialisées pour la production d'arbres de Noël.

Etant donné que cette production sort du champ strict des variétés à fins forestières, la seule suggestion qu'il soit possible de faire est de proposer la constitution d'un comité «arbres de Noël» au sein d'une instance existante, rassemblant l'aval (marchands de semences, pépiniéristes, producteurs) et l'amont (recherche et développement).

XI - CONCLUSION

L'amélioration des arbres forestiers est un travail de longue haleine. Les décisions d'aujourd'hui se répercuteront sur des décennies. Donc il est légitime de se préoccuper maintenant des sorties variétales pour les 20 à 30 ans à venir. C'est un exercice délicat compte tenu des incertitudes portant sur les besoins de nos successeurs, forestiers ou transformateurs, sur l'évolution des technologies et des mentalités, sur les changements du climat. Sur ce dernier point, tous les gestionnaires savent que la forêt d'aujourd'hui devra faire face aux aléas de demain. A fortiori, les stratégies d'améliorations, destinées à sortir des variétés à l'horizon 2020-2030, devront intégrer ce facteur d'adaptabilité.

Depuis 50 ans, des chercheurs français, avec des Pierre Bouvarel et des Jean-François Lacaze en tête, se sont engagés dans des voies d'amélioration, imitant les pays du Nord d'abord, se définissant une stratégie propre ensuite et, enfin, devenant leaders dans un certain nombre de domaines qui ont été signalés dans ce rapport. Avec l'appui des financements publics et privés, les organismes concernés se sont investis et ont consacré des efforts considérables à la sortie variétale. Ainsi ont-ils le souhait légitime que leur effort aboutisse et que leurs investissements ne soient pas brisés par des changements trop brusques d'orientation ou des visions à trop court terme.

Au delà de leur effort scientifique, les chercheurs sont prêts à continuer de s'investir dans la diffusion des nouvelles variétés :

- par transmission écrite et orale de leur savoir-faire et des avantages des nouvelles variétés,
- par leur implication dans les recherches complémentaires nécessaires à la valorisation et à l'allongement de la production des vergers à graines,
- par la coopération à l'installation de tests de démonstration avec les organismes qui en ont la charge,
- par la poursuite de leur investissement, notamment pour les variétés diffusibles par voie végétative, dans les structures de maintien et de pré-multiplication, en amont des pépinières forestières,
- par l'archivage de leur population d'amélioration en collections à usage multiple : conservation de ressources génétiques, redémarrage éventuel d'une nouvelle phase d'amélioration, production de sources de graines après une phase d'amélioration simplifiée.

Au cours de cette réflexion de deux ans sur les variétés du futur, des points forts et des lacunes ont été mis en évidence. En voici quelques exemples.

Points forts

- Les structures telles que les GIS (Variétés Forestières Améliorées, Pin maritime, Peuplier) ont permis une concertation au sein de la filière de production et de diffusion des variétés forestières, une coordination des travaux et une implication plus grande des partenaires de l'aval : semenciers, pépiniéristes, développeurs, gestionnaires publics et privés.
- Pour certaines espèces, le taux d'utilisation de variétés améliorées est en croissance permanente. S'il est évidemment de 100% pour le peuplier, il est de 50% pour le pin maritime.

Lacunnes

- à l'exception du pin maritime et du peuplier, et malgré l'effort de l'ensemble de la filière d'amélioration (recherche, développement, marchands de semences, pépiniéristes), on n'a toujours pas pu convaincre suffisamment de reboiseurs que le surcoût des variétés améliorées se traduira par un gain financier, pas uniquement à un terme lointain. Si la force de réglementation peut parfois aider à passer lentement des variétés commerciales lambda, moins chères, aux variétés performantes, un peu plus onéreuses, mais rémunératrices, rien ne remplace la force de conviction par la vulgarisation.
- produire et utiliser des variétés suppose une traçabilité et des possibilités d'identification et de reconnaissance. Bien que très «démocratisés» les marqueurs moléculaires ne sont pourtant pas les seuls outils de marquage. Avant eux, les critères d'identification étaient morphométriques et physiologiques. Depuis la vague de froid de janvier 1985, des tests moléculaires systématiques sont utilisés pour détecter des origines ibériques de pin maritime (trop sensibles au froid hivernal) dans les peuplements landais. Des tests du même type ont été mis au point et transférés à la pratique pour différencier des clones de peuplier. Les scientifiques travaillent actuellement à la recherche de marqueurs de pureté spécifique (chênes, frênes) ou de pourcentage réel d'hybrides dans des variétés diffusées dans des vergers hybridogènes (noyer, mélèze). De tels tests devraient rapidement être mis au point pour d'autres espèces. Pour les chênes, par exemple, alors qu'il n'est pas prévu de variétés de vergers à graines, ces tests permettront d'identifier et de localiser l'origine de sources allochtones, connaissance importante pour le classement des peuplements et les directives de reboisement. A l'avenir, il sera indispensable de pouvoir marquer aussi les variétés issues des vergers.

A l'issue de cette réflexion qui a été menée par des personnalités indépendantes du pouvoir de décision, mais cependant impliquées dans un au moins des maillons de la filière de production et de diffusion des variétés, il convient de rappeler quelques messages à transmettre aux organismes chargés de variétés du futur.

Ces messages pourraient comprendre :

- une indication des priorités à donner aux espèces β . Les chercheurs concernés se proposent de coopérer à ces choix en mettant en évidence des urgences techniques et scientifiques et en indiquant les périodes clés pour lesquelles un financement d'accompagnement est important.
- Un choix des espèces pour lesquelles un programme d'amélioration, même minimum, devra être poursuivi en ne tenant pas compte uniquement de l'incidence actuelle du reboisement ou de ses tendances passées, mais des projections à long terme.
- Un engagement à ne pas changer de cap trop rapidement, changement qui serait dommageable vis à vis des investissements financiers et humains que les programmes d'amélioration entraînent à long terme. A ce titre, un bilan sur l'évolution des variétés du futur est recommandé dans 10 ans.

La France est un pays à forte biodiversité naturelle. Elle doit maintenir ce potentiel absolument indispensable à la variété des paysages et au pouvoir d'adaptation des espèces en favorisant le reboisement avec des essences variées, chacun d'elle fondée sur une large base génétique. Favoriser quand faire se peut biodiversité et diversité génétiques pourrait être le mot de la fin de cette réflexion prospective qui devra servir de guide aux décisions politiques et financières de même qu'aux choix des orientations de la recherche.

REMERCIEMENTS

Le principal auteur de ce rapport remercie pour leur contribution, leur disponibilité et leur soutien :

- les membres du comité Variétés du Futur,
- les auteurs des fiches d'espèces,
- la DERF.

Eric Teissier du Cros, le 11 décembre 2001

Annexe 1

Lettre de Mission



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA PÊCHE

*Le Directeur de l'espace
Rural et de la Forêt*

Monsieur Jean-Charles Bastien
Président du GIS Variétés forestières
améliorées
INRA
Avenue de la Pomme de Pin
BP 20619
Ardon
45166 OLIVET CEDEX

Dossier suivi par : Christian Barthod
Notre référence : 9903120

Paris, le 25 mars 1999
Objet : variétés forestières du futur

Dans le cadre des réflexions menées au sein du CTPS « Arbres forestiers », le ministère de l'agriculture et de la pêche a souhaité réactiver les travaux concernant les choix stratégiques en matière de progrès génétique, en vue d'identifier les variétés pouvant arriver en production d'ici 20 à 30 ans. Il a été décidé de confier la responsabilité de cette réflexion prospective au GIS « Variétés forestières améliorées » que vous présidez, en vous laissant le soin de vous entourer de toutes les expertises nécessaires, y compris en matière d'évolution des process industriels et de la demande de qualité de bois (homogénéité et durabilité, notamment).

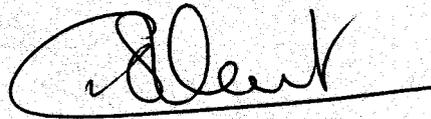
A partir d'un état des lieux national et international, vous identifierez d'ici à l'automne 1999 les caractéristiques des variétés forestières améliorées qu'il est scientifiquement et économiquement possible de produire à échéance de 20 ou 30 ans, les modalités scientifiques et techniques qu'il serait indispensable de mobiliser à cet effet, les organismes et les équipes capables de mener à bien de tels projets, les échéances envisageables et les budgets nécessaires. Vous prendrez bien évidemment en compte les grandes orientations des changements climatiques annoncés, dans l'état actuel des connaissances scientifiques, en accordant une grande importance à la rusticité et à la résistance aux aléas climatiques.

Dans l'état actuel des réflexions stratégiques et des moyens raisonnablement envisageables, il me semble a priori indispensable de privilégier un nombre limité de grandes essences, comme le peuplier, le Douglas et le pin maritime, ainsi peut-être que l'épicéa pour lequel je souhaiterais une réflexion d'opportunité plus poussée. Dans le cas des autres essences, il me semble à priori raisonnable que vous limitiez les ambitions du groupe de travail à examiner successivement, en fonction des programmes développés au cours des dernières décennies, les possibilités de faire sauter en peu de temps et à peu de frais un facteur de blocage important, pour définir ainsi des orientations a minima.

Dans cette réflexion, vous prêterez la plus grande attention à identifier les stratégies de progrès génétique dans les grands pays concurrents sur les marchés internationaux du bois, afin d'apporter aux décideurs les éléments d'information indispensables pour établir une stratégie et des priorités cohérentes avec la nécessité d'une compétitivité toujours plus grande dans les approvisionnements des industries du bois, dans le contexte d'une compétition internationale exacerbée.

Par ailleurs, il est indispensable que votre réflexion articule explicitement la phase actuelle de valorisation des variétés forestières améliorées actuellement disponibles avec les propositions d'élaboration d'une nouvelle génération de variétés forestières améliorées. Vous connaissez en effet l'extrême attention que porte le ministère de l'agriculture et de la pêche à réussir l'actuelle étape de valorisation des lourds investissements consentis par le FFN dans les trois décennies écoulées, et à garantir au GIE qui réunit la société Vilmorin et l'office national des forêts les conditions propices à d'une part la rentabilisation de leurs investissements commerciaux, d'autre part à la mise en place d'une stratégie « marketing » de diffusion du progrès génétique auprès des propriétaires forestiers sylviculteurs et des pépiniéristes.

Enfin la complexité et les difficultés du débat actuel sur les OGM ne doivent pas empêcher la filière de production forestière de s'interroger sur les contributions potentiellement intéressantes des biotechnologies à l'élaboration de variétés forestières améliorées, sans prendre de risques excessifs sur le rétrécissement de la base génétique et l'adaptation à un environnement changeant, compte tenu de la longueur des cycles de production. Il appartient au pouvoir politique de définir le cadre réglementaire d'élaboration et d'emploi de tels organismes, et de prendre en compte l'acceptabilité sociale d'une telle stratégie. Il est néanmoins indispensable de pouvoir bénéficier d'une expertise détaillée sur les projets scientifiquement et économiquement envisageables, avec un bilan détaillé des avantages et des inconvénients pour chaque projet défini par des équipes de recherche.



Cyrille VAN EFFENTERRE

Annexe 2

Fiches des espèces β

Annexe 2

Espèces B

Cèdre
Châtaignier
Chêne pédonculé
Chêne rouge
Chêne sessile
Cyprès
Epicéa commun
Erable
Eucalyptus
Frêne
Hêtre
Mélèzes
Merisier
Noyer
Pin d'Alep
Pin laricio
Pin pignon
Pin sylvestre
Pin taeda
Sapin de Bornmüller
Sapin de Céphalonie
Sapin pectiné
Tulipier

VARIETES DU FUTUR

CEDRES DE L'ATLAS ET DU LIBAN

Rédacteur principal : Michel Bariteau, INRA, Avignon
Partenaires : INRA Avignon, ONF- DTC et STIR Méditerranée, CRPF, SRFB...
(Convention nationale ONF/INRA sur l'amélioration génétique des Cèdres)

1 – Variétés existantes

- Régénération artificielle : *Cedrus atlantica*
 - 3 Régions de Provenance : 45 peuplements sélectionnés, 649 ha.
 - 3 peuplements contrôlés : 146 ha.

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

Aucun programme d'amélioration connu. Démarrage d'un réseau expérimental dans le cadre du programme « Sylviculture du Cèdre » de Silva Mediterranea mais actuellement pas de suivi coordonné (plantations réalisées au printemps 1994, avec du matériel commun, distribué par l'INRA d'Avignon, en Grèce, Italie, France et Portugal). Plusieurs contrats européens du 4^{ème} PCRD (1995-1999), traitant de la diversité génétique des 3 espèces méditerranéennes de Cèdre, dont «Mediterranean *Pinus* and *Cedrus* » qui a permis d'étudier les plantations françaises et grecques.

3 –Débouché à l'exportation de MFR français

En raison de la forte occurrence de périodes de sécheresse les Belges commencent à s'intéresser à *C. atlantica* : la Société Forestière Royale de Belgique a contacté l'INRA d'Avignon, puis a commandé des lots de Cèdre français pour expérimentation.

4 - Variétés du futur

- **Valorisation de l'existant.**
 - Etude du fonctionnement de la régénération naturelle du cèdre dans un écosystème artificiel en cours de naturalisation : incidence sur la gestion des peuplements classés.
 - Intérêt des 3 étiquettes bleues vérifié dans les tests récents ; mais nécessité de confirmer Ménerbes par des études plus approfondies (diversité des peuplements artificiels français sur la base des marqueurs moléculaires)
- **Transition vers une variété du futur.**
 - Renouvellement permanent des peuplements sélectionnés et contrôlés
- **Variété du futur.**
 - Pas de vergers à graines, mais peuplements sélectionnés et contrôlés
 - Plantation conservatoire (provenance authentifiée) de la provenance turque Arslanköy (*Cedrus libani*) ; cette provenance a de l'intérêt **sur calcaire uniquement.**

5- Preuve de plasticité du MFR

Les Cèdres résistent particulièrement bien à la sécheresse (études écophysiologicals en cours). Les résultats des arboretum des Barres, publiés par le Cemagref, démontrent la plasticité et l'intérêt de *C. atlantica*, y compris à des latitudes non méditerranéennes. Le débourrement précoce des *C. libani* (mis à part quelques provenances de l'Est du Taurus) limite leur utilisation en raison des risques majeurs de gel au printemps.

6 – Verrous

- Observations périodiques dans les tests de provenances : les derniers tests datent de 1994 et englobent un nombre important de provenances de *C. libani* de Turquie. Le premier bilan dressé à 5 ans n'est pas favorable à l'utilisation de *C. libani* en France. Cela doit être vérifié sur les 10 ans à venir, les classements pouvant encore bouger.
- Fonctionnement d'un écosystème artificiel en cours de naturalisation : les peuplements artificiels français représentent une source de graines de qualité pour le reboisement (y compris à l'étranger, comme vérifié par nos collègues grecs) ; mais les introductions sont « récentes » à l'échelle de la vie des populations forestières et il est nécessaire de mieux connaître l'évolution de ces pools génétiques, à la fois par leur naturalisation progressive, mais également en raison des impacts liés à la gestion. La raison de leur supériorité génétique actuelle, par rapport aux peuplements d'origine, n'est toujours pas expliquée.

7 – Coût R & D

7.1- Connaître la diversité génétique des peuplements artificiels français :

Utilisation des marqueurs moléculaires développés par l'INRA d'Avignon sur Cèdre pour évaluer de façon aussi exhaustive que possible la diversité génétique des différentes populations artificielles françaises et identifier leur origine génétique (cas de Ménerbes ; évaluer également les possibilités d'hybridation avec *C. libani*, cette hypothèse ayant été vérifiée récemment dans un peuplement du Var). La diversité sera comparée à celle des populations naturelles (Algérie, Maroc).

Programme sur 2 ans

Coût total 150 KF ; participation DERF 50%

Fonctionnement pour le laboratoire de marquage ; achat ou récolte des graines ; un étudiant (MST)

7.2- Connaître l'adaptation de *C. libani* en plantation comparative : seconde série de mesures sur les essais INRA/ONF. A partir de 2005

Programme sur 2 ans

Coût total 100 KF ; participation DERF 50%

Fonctionnement, déplacements

7.3- Evolution génétique de provenances artificielles françaises de Cèdre sous l'impact de la gestion forestière (modèle : étiquette bleue Ventoux)

Programme sur 2 ans

Coût total 150 KF ; participation DERF 50%

Fonctionnement pour le laboratoire de marquage ; un étudiant (DEA)

8 – Propositions des chercheurs

- Chaque tranche d'essais comparatifs de provenances devra être mesurée tous les 5 ans jusqu'à 15 ans, puis d'une manière plus espacée ensuite.
- L'étude du fonctionnement génétique d'un écosystème en cours de naturalisation doit être soutenue.

Hypothèse haute :

Sans envisager la création de variétés améliorées, les recherches aboutissant à une meilleure connaissance de la diversité génétique des différentes populations (utilisables comme sources de graines), sont soutenues, ainsi que l'étude du fonctionnement génétique des cèdres.

Réalisation, au minimum, des trois actions listées au point 7.

Si la demande est forte et soutenue, envisager de prolonger les actions sur une durée plus longue : mise en place de nouveaux essais de provenances de Cèdre dans des régions non méditerranéennes (avec appui de l'ONF dans le cadre de la convention nationale sur l'amélioration génétique des Cèdres), financer le suivi des essais existants sur une période longue, de façon à aborder progressivement le problème de la qualité des bois, transformer certains essais existants en peuplements producteurs de graines, soutenir la réalisation de « site-ateliers » permettant l'étude du fonctionnement génétique des cèdres naturalisés sur le long terme...

Hypothèse moyenne :

Semblable à l'hypothèse haute, mais en excluant l'étude du fonctionnement génétique des cèdres.
Réalisation, au minimum, des actions 1 et 2 listées au point 7.

Cette hypothèse permet de valider les acquis des programmes menés depuis 30 ans : conforter les conclusions sur les comparaisons *C atlantica/C. libani*, valider en toute connaissance de cause les choix opérés sur les peuplements classés et contrôlés, apporter les critères objectifs lorsque ces choix doivent être revus. Le raisonnement est cependant à plus court terme que dans l'hypothèse haute, puisqu'il ne tient pas compte de l'évolution des populations. Cette hypothèse permet d'accompagner en terme de recherches des besoins modérés en MFR, exprimés essentiellement par les régions où le Cèdre est planté de façon habituelle (essentiellement sous influence méditerranéenne).

Hypothèse basse :

Le programme « Cèdre » se termine en 2005, par un bilan des recherches menées depuis 30 ans. Dernières mesures sur les tests les plus récents à prévoir.

Réalisation de l'action 7.2 listée au point 7.

Cette hypothèse est construite sur une demande faible en MFR pour les Cèdres, et sans perspective d'avenir.

9 – Propositions du comité

L'ONF, demandeur et principal bénéficiaire des connaissances acquises dans ces essais, et l'INRA doivent s'accorder pour le financement de ces opérations (selon les « hypothèses ») qui ne peuvent être couvertes par la dotation reconductible de l'INRA.

VARIETES DU FUTUR

CHÂTAIGNIER

Castanea sativa Mill.

Rédacteurs : Isabelle Bilger Cemagref/Nogent-sur-Vernisson, Cécile Robin, INRA Bordeaux

0 – Contexte

Nombre de plants commercialisés par an :

Nombre de plants forestiers produits en France en 1996/97 : 1 584 800 plants

Nombre de plants forestiers utilisés en France en 1996/97 : 604 400 plants

Tendance probablement en baisse après une très forte hausse au cours de la dernière décennie (pas de données antérieures car cette espèce était jusqu'en 1996 associée aux autres feuillus dans l'enquête statistique sur les plants).

Il est possible que ces quantités comprennent des plants destinés à des plantations non forestières (porte greffe,...).

Poids de graines utilisé en France en 1998/99 : environ 37 tonnes.

Contexte réglementaire :

Cette espèce n'était jusqu'à présent pas soumise à la réglementation nationale sur le commerce des MFR (code forestier). Elle le sera à partir de 2002 au plan national et européen. Elle était par contre soumise à l'arrêté de 1991.

Autres éléments :

Les graines ne sont pas conservées d'où des pertes parfois importantes. Les fructifications sont régulières. Les récoltes se font au sol comme pour les chênes en sous-traitant à une main d'œuvre locale.

Les plantations se sont fortement développées dans le Nord-Ouest au cours de la dernière décennie du fait d'un enthousiasme qui a suivi la hausse du cours du bois de châtaignier. Le châtaignier a donc été considéré dans le Nord de la France comme un feuillu précieux à croissance rapide alors qu'il était traditionnellement considéré comme une essence de taillis présente sur les sols acides et pauvres.

Les problèmes dus à une mauvaise forme des plants rencontrés dans certaines plantations et l'extension depuis moins de 10 ans de la maladie du chancre de l'écorce (causée par *Cryptonectria parasitica*, anciennement *Endothia parasitica*) dans la moitié Nord de la France ont freiné ce développement. Cependant, la dissémination naturelle des souches hypovirulentes a résulté en une notable atténuation de la sévérité de la maladie dans la partie Sud, et devrait à plus ou moins long terme s'étendre dans les régions récemment contaminées.

La maladie de l'encre (causée par *Phytophthora cinnamomi* et *P. cambivora*), qui est répandue dans la moitié Sud, atteint les plants en pépinière et de ce fait les jeunes plantations. Cependant, les peuplements forestiers traités en taillis sont également affectés (plusieurs cas connus en Dordogne et Aveyron, et dans le Sud Est) ainsi que les vieux vergers.

La recherche d'éventuels facteurs génétiques intervenant dans la résistance à ces maladies n'est pas avancée. Une étude de la variabilité intraspécifique de la sensibilité à l'encre a été engagée dans le cadre d'un projet européen (CASCADE). Par contre rien n'est envisagé à court terme pour ce qui concerne l'étude du déterminisme du chancre à endothia.

1 – Variétés existantes

• *Peuplements classés*

Un travail de sélection de peuplements de châtaignier a été effectué de 1995 à 1997 par le Cemagref dans la perspective d'une soumission prochaine au code forestier : une soixantaine de peuplements avait été présélectionnée. La soumission avait finalement été différée pour cause d'un nombre de peuplements sélectionnés insuffisants et de refonte des régions de provenance. Il est prévu dans le cadre de la mise en œuvre de la nouvelle réglementation de créer 6 régions de provenance (information confidentielle) et de faire un effort de sélection de peuplements classés (catégorie sélectionnée). Il est également envisageable d'autoriser des récoltes dans des peuplements ou des sources de graines correspondant à la nouvelle catégorie identifiée.

Le travail de sélection devra donc être repris en tenant compte des nouvelles régions de provenance définies et des dégâts dus à la tempête avec comme objectif d'assurer le renouvellement des peuplements qui sont généralement exploités avant 40 ans ce qui imposera une forte rotation des peuplements classés.

Les critères de sélection pris en compte dans cette première tranche de sélection sont moins sévères et moins homogènes que pour d'autres espèces car :

- la ressource forestière est essentiellement constituée de peuplements encore traités en taillis depuis plus ou moins longtemps et ayant déjà subi ou non une éclaircie sylvicole ou de peuplements issus de taillis,
- la distribution, le traitement et l'impact de la culture fruitière sont très variables suivant les régions
- le caractère forestier des peuplements visités n'est pas toujours facile à apprécier. Il est certain que compte tenu du caractère spontané de cette espèce tous les peuplements sont issus directement ou indirectement de peuplements ou vergers artificiels. Mais certains peuplements qui apparaissent traités en taillis ou en jeune futaie sont en fait directement issus d'anciens vergers ou d'alignements. Les craintes liées à ce type de matériel portent sur les performances de croissance en situation de concurrence forestière, la qualité du bois et la base génétique.

Il serait souhaitable d'être à l'avenir plutôt plus sévère dans la sélection phénotypique.

Les risques d'hybridation en condition naturelle (notamment avec le clone CA 15 (ou Marigoule = *C. crenata* X *C. sativa*) ou avec des plantations de *Castanea crenata*) sont à évaluer. L'étude des flux des gènes chez *C. sativa* constitue un des objectifs du projet CASCADE.

• *Vergers*

Il n'existe pas de verger à graines de variétés forestières de *Castanea sativa* en France.

• *Clones*

Il n'existe pas de clone de *Castanea sativa* conseillé pour un usage forestier. Un clone hybride CA 15 a été diffusé avec un double objectif (production de bois et fruits) mais ce clone n'est pas résistant au chancre. Il n'est pas prévu d'admettre officiellement de clones pour un usage forestier.

En conclusion

A court terme, les MFR français autorisés seront :

- soit issus de peuplements classés (admis en catégorie « sélectionnée »)
- soit issus de peuplements ou de sources de graines admis en catégorie « identifiée »,

2 – Programme d'amélioration des pays voisins – Variétés étrangères

Jusqu'à présent les programmes d'amélioration étaient surtout axés sur la voie clonale avec souvent un double objectif (fruitier et forestier).

L'objectif du projet européen Cascade est la conservation des ressources génétiques du châtaignier espèce choisie comme modèle pour les essences à usage multiple. La variabilité génétique est étudiée à l'aide de

marqueurs moléculaires à l'échelle européenne (pays concernés Italie, Grèce, Espagne, Royaume Uni et France). Deux caractères adaptatifs sont plus particulièrement étudiés : la résistance à la sécheresse et à l'encre. Les Allemands avaient au préalable déjà mis en place des tests de comparaison de provenances.

3 – Débouché à l'exportation de MFR français

Vente de 984 200 plants à l'exportation en 1996/97 (soit 62% de la production nationale contre 32 000 plants importés) essentiellement vers l'Espagne et le Portugal.

Pour information : flux de graines déclaré en 1998/99 7,65 tonnes importées de l'UE contre 142 kg exportés vers l'UE.

4 - Variétés du futur

Il n'y a pas de programme d'amélioration de variétés forestière engagée sur cette espèce en France. L'équipe génétique de l'INRA Pierroton s'est engagée dans le cadre du projet CASCADE sur les aspects « connaissance du génome ». Il faut malgré tout mentionner que la France possède une compétence en matière de pathologie du châtaignier qui peut être mise à profit pour des programmes d'améliorations aussi bien fruitière que forestière.

5 - Preuve de plasticité du MFR

Les plantations récentes de châtaignier ont plutôt été faites sur des bons sols à feuillus, y compris sur d'anciennes terres agricoles alors que l'essentiel de la ressource se situait auparavant sur des stations plutôt ingrates. Ceci est un constat et non une preuve. Il serait intéressant de voir s'il existe une plasticité ou une adaptation en fonction de la pluviométrie ou même du régime hydrique.

6 – Verrous

Il s'agit essentiellement de problèmes phytosanitaires.

7 – Coût R & D

Ces coûts dépendent de ce qu'on peut proposer de faire en plus de ce qui est déjà engagé dans le projet européen et en plus du travail de sélection de peuplements classés.

Coût pour le suivi des actions déjà engagées :

Voir financements accordés dans le cadre des Conventions DERF/Cemagref sur les peuplements classés et éventuellement DERF/INRA ou Cemagref sur le suivi pathologique ainsi que le financement obtenu dans le cadre du projet européen CASCADE.

Coût supplémentaire à chiffrer : pas de réelle proposition à ce stade

8 – Propositions des chercheurs

Plutôt que des propositions, des questions :

Dans le cadre de la nouvelle réglementation et en complément du projet CASCADE, l'estimation de la sensibilité à l'encre et au chancre du matériel sélectionné (provenances, peuplements sélectionnés) s'avèrerait judicieux. Les tests de sensibilité sont disponibles mais la variabilité intraspécifique de la sensibilité n'est pas connue.

Pour l'encre, il est nécessaire de contrôler la qualité des plants issus de pépinières. Un cahier des charges sera bientôt mis en place pour la production de plants sains de châtaigniers fruitiers, ceci à la demande de la profession. Un effort doit être entrepris pour prendre en compte ces problèmes dans les pépinières forestières. Une carte de la distribution de *P. cinnamomi* et *P. cambivora* est en cours de réalisation au laboratoire. Dans les régions non contaminées et où ces agents pathogènes pourraient se développer, il est indispensable d'introduire du matériel non contaminé. Un zonage des risques d'encre sur chêne rouge en fonction du climat a été réalisé avec Météo France, une même étude est en projet pour les risques d'encre sur châtaignier.

Pour le chancre, une étude est en cours pour évaluer les risques liés au balivage (Cemagref, convention DERF). Par ailleurs, à l'INRA le suivi des épidémies de *C. parasitica* continue. Les efforts vont également porter sur l'étude des souches hypovirulentes, pour améliorer la dissémination de celles qui sont utilisées en lutte biologique et ainsi éventuellement étendre cette pratique, en l'adaptant, aux peuplements forestiers de la partie Nord.

9 – Propositions du comité

Veille sanitaire en pépinière.

Poursuite du classement des peuplements avec vraisemblablement des critères de sélection plus stricts.

Pas de prévision d'autres sorties variétales à fins forestières.

10 - Références bibliographiques utiles

Bourgeois C., Le châtaignier: un arbre, un bois, IDF, Paris, 1992, 367 p.

Salesses G., fiche Castanea - Châtaignier, in Les ressources génétiques forestières en France, tome 2 : Les feuillus, coord Michel Arbez, Jean François Lacaze, INRA, Paris 1998, 47-55.

Anziani C., Robin C. 1999. Le chancre du châtaignier en France: hypovirulence et structure des populations de *Cryphonectria parasitica*. Phytoma 517 : 44-47.

Baudry A. et Robin C. 1996. Le châtaignier: des plants, du bois, des fruits. Un point sur l'état sanitaire en France. Arboriculture fruitière 499: 21-27.

Robin C., Desprez-Loustau M.L. 1999. Evaluation des risques vis-à-vis de *Phytophthora cinnamomi* liés à la production de plants de feuillus en pépinières. Les Cahiers du DSF 1. La Santé des Forêts 1998, 90-92.

Robin C., Anziani C., Cortesi P. 2000. Relationship between biological control, incidence of hypovirulence, chestnut blight severity and the population structure of *Cryphonectria parasitica* in France. Phytopathology 90:730-737.

VARIETES DU FUTUR.

CHENE PEDONCULE

Rédacteur principal : Alexis Ducouso, INRA, Bordeaux

Partenaires : VALLANCE Michel (ONF Fontainebleau), CEMAGREF Nogent/Vernisson (classement)

1 – Variétés existantes

- Régénération artificielle : 10 Régions de Provenance : 129 peuplements sélectionnés, 3 355 ha.
- Recherche sur l'hérédité des caractères en forêt (amélioration douce)

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

- Description de la diversité et de la variabilité génétique basée sur des tests de provenances (Allemagne, Danemark, Hongrie, Pays Bas, Pologne, Roumanie, Russie, Ukraine) afin de définir par un raisonnement scientifique les régions de provenances et les peuplements classés.
- Création de variété synthétique issue de vergers à graines (Russie)

3 – Débouché à l'exportation de MFR français

- faible à nul. Un peu vers l'Irlande pour la moitié nord de la France.

4 - Variétés du futur

- **Valorisation de l'existant.** Amélioration douce des peuplements classés
- **Transition vers une variété du futur.** Renouvellement permanent des peuplements sélectionnés
- **Variété du futur.**
 - Pas de vergers à graines, mais peuplements sélectionnés
 - Amélioration graduelle des peuplements par la connaissance du niveau de contrôle génétique des caractères.

5- Preuve de plasticité du MFR

6 – Verrous

- Observations périodiques dans les tests de descendances
- Mise en place de tests de provenances et achèvement du réseau de descendances.

7 – Coût R & D

- 150.000 F/an à 250.000 F/an (hors salaire permanents) plus les coûts d'installation du réseau de provenances et de l'achèvement du réseau de descendances

8 – Propositions des chercheurs

- Chaque tranche d'essais comparatifs de descendances devra être mesurée tous les 5 ans jusqu'à 20 ans, puis d'une manière plus espacée ensuite.
- Des éclaircies devront être réalisées sans causer de préjudice à la diversité génétique représentée dans les dispositifs et sans compromettre l'avenir des individus : équilibre entre éclaircie sylvicole et génétique.

9 – Propositions du comité

L'ONF, demandeur et principal bénéficiaire des connaissances acquises dans ces essais, et l'INRA doivent s'accorder pour le financement de ces opérations qui ne peuvent être couvertes par la dotation reconductible de l'INRA.

VARIETES DU FUTUR.

CHENE ROUGE

Rédacteur principal : Alexis Ducouso, INRA, Pierroton
Partenaires : CEMAGREF Nogent s/ Vernisson (classement)

1- Variétés existantes

- 3 Régions de Provenance : 148 peuplements sélectionnés, 518 ha.
- Autres peuplements classés européens à importer en dérogation

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

- Description de la variabilité génétique basée sur des tests de provenances (Allemagne, Belgique, Pologne) afin de définir par un raisonnement scientifique les régions de provenances et les peuplements classés. Dans tous ces pays, le programme est mis en veilleuse.

3 –Débouché à l'exportation de MFR français

- Faible à nul. Une demande en Irlande de matériel issu de la moitié nord de la France.

4 - Variétés du futur

- *Valorisation de l'existant.*
 - Estimation de la diversité génétique dans les peuplements sélectionnés pour éliminer ceux dont la base génétique serait trop étroite.
- *Transition vers une variété du futur.*
 - Conversion de tests de provenances/descendances existants en VGS par éclaircie génétique
 - Mobilisation de 400 clones sélectionnés dans les tests de descendances (vigueur, forme et sensibilité à l'encre) et constitution d'un VGC
- *Variété du futur*
 - VGC 400 clones devant produire un maximum de 1-15 tonnes de glands par an à partir de 2003, sur un marché actuel de 40 t/an.

5 - Preuve de plasticité du MFR

6 – Verrous

- Mise au point de tests de sensibilité à deux nouveaux pathogènes et un insecte
- Réduction des échecs en plantation : connaissance en écologie, qualité des plants...
- Evaluation et méthodologie de la restauration la diversité et d'une variabilité génétique dans son aire d'introduction
- Entretien des tests de provenances et de descendances
- Reproduction végétative par bouturage pour contourner les rejets de greffe

7 – Coût R & D

- 150.000 F à 650.000 F/an selon l'option choisie (hors salaire permanents)

8 – Propositions des chercheurs

9 – Propositions du comité

- Faire un tri parmi les peuplements sélectionnés pour éliminer ceux dont la base génétique est trop restreinte et mélange des peuplements sélectionnés pour tenter d'élargir la base génétique.
- Transformer en VGS une partie des tests de provenances/descendances existants : par exemple, un dans le Sud-Ouest et un dans le Nord-Est.

Ces deux options sont complémentaires et assureront un MFR diversifié à deux vitesses : peuplements sélectionnés classiques, matériel amélioré issu de verger dont la qualité génétique peut continuer à être améliorée par éclaircie génétique.

- La dernière option (VGC constitué à partir d'une présélection de 400 clones) est trop incertaine (difficulté du bouturage) pour aboutir d'une manière sûre à une sortie variétale à court terme. Elle va bien au delà de la demande actuelle ou prévisible en MFR de cette espèce.

VARIETES DU FUTUR

CHENE SESSILE

Rédacteur principal : DUCOUSSO Alexis (INRA Bordeaux-Cestas)
Partenaires : ONF Fontainebleau, CEMAGREF Nogent/Vernisson (classement)

1 – Variétés existantes

- Régénération artificielle : 15 Régions de Provenance : 122 peuplements sélectionnés, 10 427 ha.
- Régénération naturelle : recherche sur l'hérédité des caractères en forêt (amélioration douce)

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

- Description de la diversité et de la variabilité génétique basée sur des tests de provenances (Allemagne, Danemark, Grande-Bretagne, Hongrie, Pays Bas, Pologne, Roumanie) afin de définir par un raisonnement scientifique les régions de provenances et les peuplements classés. De nombreux échanges de matériel génétique ont été réalisés entre les différents pays afin de comparer les résultats.

3 – Débouché à l'exportation de MFR français

- Faible à nul. Un peu vers l'Irlande pour la moitié nord de la France.

4 - Variétés du futur

- **Valorisation de l'existant.** Etude des transferts possibles entre Régions de Provenance par les tests de provenances INRA-ONF et la connaissance de la répartition spatiale de la diversité génétique neutre et adaptative.
- **Transition vers une variété du futur.** Renouvellement permanent des peuplements sélectionnés
- **Variété du futur.**
 - Pas de vergers à graines, mais peuplements sélectionnés
 - Amélioration graduelle des peuplements par la connaissance du niveau de contrôle génétique des caractères.

5 - Preuve de plasticité du MFR

6 – Verrous

- Observations périodiques dans les tests de provenances et de descendances.
- Achèvement de l'installation du réseau de descendances.
- Sélection des critères d'évaluation

7 – Coût R & D

- 300.000 F/an (hors salaire permanents)

8 – Propositions des chercheurs

- Chaque tranche d'essais comparatifs de provenances et de descendances devra être mesurée tous les 5 ans jusqu'à 20 ans, puis d'une manière plus espacée ensuite.
- Des éclaircies devront être réalisées sans causer de préjudice à la diversité génétique représentée dans les dispositifs et sans compromettre l'avenir des individus : équilibre entre éclaircie sylvicole et génétique.

L'ONF, demandeur et principal bénéficiaire des connaissances acquises dans ces essais, et l'INRA doivent s'accorder pour le financement de ces opérations qui ne peuvent être couvertes par la dotation reconductible de l'INRA.

9 – Propositions du comité

Maintien d'un nombre élevé de peuplements classés.
Bilans périodiques dans les tests de provenance et de descendance.

VARIETES DU FUTUR

CYPRES TOUJOURS VERT

Rédacteur principal : Christian Pichot, INRA, Avignon

Partenaires : Claudine Andréoli, INRA, Antibes

1 – Variétés existantes

- 'Mistral' = Variété de 5 clones homologuée (brise-vent) en 1991
- 1 clone français ('Sancorey') et 2 clones internationaux ('Agrimed' et 'Bolgheri') homologués (ornement)
- 2 clones italiens (brise vent)
- Graines pour le reboisement en forêt récoltées en peuplements divers en France

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

C.N.R, Florence Italie (objectif essentiellement ornemental)

3 –Débouché à l'exportation de MFR français

Bassin méditerranéen

4 - Variétés du futur

- VGC Palayson (Roquebrune sur Argens, Var) : 100 clones résistants au chancre à *Seiridium cardinale* et de port étalé. Début de production commerciale vers 2005.

5 - Preuve de plasticité du MFR

Avec le pin d'Alep, le cyprès vert est une des essences forestières méditerranéennes les plus résistantes à la sécheresse. Les populations naturalisées de France et d'Italie sont également assez tolérantes au froid. Il se développe sur sol calcaire ou acide. Contrairement au pin il produit un bois de très grande qualité technologique et particulièrement durable.

6 – Verrous

- Stabilité d'expression de la résistance au chancre et du port étalé dans les descendance.
- Incidence des insectes des cônes et des graines sur la production du verger.

7 – Coût R & D

100 KF

8 – Propositions des chercheurs

- Installer de nouvelles plantations comparatives (3 à 5 x 2 ha) avec les descendance du verger dont un test précoce en pépinière avec inoculation du chancre.
- Effectuer des observations périodiques dans ces tests et ceux précédemment installés (3 x 2ha).

9 – Propositions du comité

- Stabilité d'expression de la résistance au chancre et du port étalé dans les descendance.
- Incidence des insectes des cônes et des graines sur la production du verger.

VARIETES DU FUTUR

EPICEA COMMUN

Rédacteur principal : Hervé Van de Sype, INRA, Orléans
Partenaires : AFOCEL, Cemagref

1 – Matériel Forestier de Reproduction existant

A- Peuplements sélectionnés

- 20 régions de provenance, 120 peuplements, 8.010 ha.
- 3 peuplements contrôlés couvrant au total 55 ha.

B – Vergers

	VG1	VG2	VG3
Nom	Rachovo	Chapois	Jura Haute altitude (1)
Surface	14 ha	24 ha	8 ha
Type de matériel de base et caractérisation de la base génétique (nombre): familles, clones, polycross (nombre de G0)	50 clones	60 familles	74 clones
Type de croisement en verger	open	open	Open
Caractères améliorés et gains espérés :			
• Vigueur	++	+	?
• Tardiveté de débourrement	++	++	?
• Forme	++	++	?
• Qualité du bois	++	?	?
Date d'entrée en production commerciale	1982	?	?
Catégorie réglementaire	sélectionnée	contrôlée	qualifiée
Eclaircies génétiques à prévoir (date)	0	?	?
Evaluation des composants (en cours, à faire)	en cours	non	?
Quantité produite en conditions optimales	150 kg	?	?
Récoltes effectives réalisées depuis 10 ans	570 kg	0	0
Commentaires : avenir, année probable de fin de production, motif	?	?	?

(1) Installé dans une optique de conservation des ressources génétiques.

C - Clones : variété polyclonale en cours d'homologation. Mais vieillissement des pieds mères. L'embryogénèse somatique serait une solution pour archiver ces variétés en vue d'une éventuelle percée économique de ce type de matériel forestier de reproduction à haute valeur ajoutée.

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

En Allemagne où elle avait été développée (Land de Basse Saxe) la voie clonale n'a pas débouché.

3 - Variétés du futur

- **Valorisation de l'existant.**

- 45 tests clonaux AFOCEL transformables en VGC.

- **Variété du futur**

- Variétés polyclonale INRA Pologne (Nord et Sud) issue de 50 descendance de 19 provenances. Gain + 25% sur vigueur (ht. et diam.), + 1 semaine sur débourrement, -5 à 10 % sur densité du bois. Variété conservée à Peyrat le Château.

- VGC Pologne (Nord et Sud). Gain < à variété polyclonale mais maintien de la QB. Sélection à prévoir. La variété sera à la disposition des valorisateurs.

4 – Verrous

- **Verrou technique** : les variétés actuelles ont été sélectionnées pour la basse altitude qui, si elle sont reboisées ne feront vraisemblablement plus appel à l'épicéa. Conviennent elles aux zones actuelles et futures de reboisement : au dessus de la limite du douglas (800 m) ? Les tests mis en place pour permettre au verger à graine de Rachovo de passer en catégorie contrôlée répondront partiellement à cette question.
- **Verrou psychologique** : comment intéresser les reboiseurs du futur et les chercheurs actuels avec une espèce très peu utilisée actuellement ? Voir l'étude d'opportunité sur l'épicéa dans ce même document.

5 – Propositions des chercheurs

- Mettre en collection des clones ayant fait leurs preuves dans des tests clonaux ou sélectionnés en tests de descendance de façon telle que ces collections puissent être aisément transformées en vergers.
- Autre solution : convertir les tests clonaux, aujourd'hui âgés de 8 à 20 ans, en vergers à graines pour les zones de reboisement hors aire naturelle.

6 – Propositions du comité

- Les variétés actuelles ont été sélectionnées pour la basse altitude où l'épicéa n'a plus sa place. C'est la raison pour laquelle Rachovo, le seul verger en production, est en cours de tests en altitude. Il serait nécessaire d'induire la floraison dans les VG2 et VG3 afin de bénéficier, le moment venu, de l'information adéquate.
- Valoriser les VG existants
- Préparer une collection relais à base de clones testés en tests clonaux sur valeur propre et de clones sélectionnés dans les tests de descendance.

VARIETES DU FUTUR

ERABLES

Acer pseudoplatanus L. – *Acer platanoides* L.

Rédacteurs : Isabelle Bilger Cemagref Nogent, Michel Verger, INRA Orléans

0 – Contexte

- **Nombre de plants commercialisés par an**

Erable sycomore

Nombre de plants forestiers produits en France en 1996/97 : 1 429 100 plants

Nombre de plants forestiers utilisés en France en 1996/97 : 944 300 plants en (rq : soit à peu près les mêmes quantités de plants que pour le frêne commun).

Tendance en baisse comme pour la plupart des espèces (1 051 300 de plants utilisés en France en 1995/96)

Il est possible que ces quantités incluent des plants destinés à des plantations non forestières (haies bocagères ou autoroutières notamment).

Poids de graines utilisé en France en 1998/99 : environ 1 tonne

Erable plane

Pas de données officielles car cette espèce n'est pas distinguée dans les enquêtes sur les flux de plants et de graines, mais les quantités sont beaucoup plus faibles.

- **Contexte réglementaire**

Ces deux espèces n'étaient jusqu'à présent pas soumises à la réglementation nationale sur le commerce des MFR (code forestier). Elles le seront à partir de 2002 au plan national et européen.

L'érable sycomore était soumis à l'arrêté de 1991, mais pas l'érable plane.

- **Autres éléments concernant la ressource et l'approvisionnement en graines**

- Les graines se conservent bien plusieurs années mais le pourcentage de graines aptes à germer n'est pas toujours bon.
- Les récoltes se font par grimpage d'où des coûts de récolte assez importants. L'obligation de récolter dans des peuplements inscrits officiellement au catalogue (catégories sélectionnée et identifiée) nécessite de faire évoluer les techniques de récolte (cueillette sur arbre debout à la place du bottage d'arbres martelés) et de faire appel à des ouvriers grimpeurs spécialisés.
- Les problèmes sanitaires comme la maladie de la cime (due à *Cryptostroma corticale*) sont en progression au moins en Picardie.
- Mis à part le Nord-Est, la ressource naturelle se présente plutôt sous forme d'arbres disséminés ou de très petites populations très localisées.

1 – Variétés existantes

- **Peuplements classés**

Un travail de sélection de peuplements d'érable sycomore a été effectué en 1996/1997 par le Cemagref dans la perspective d'une soumission prochaine au code forestier : 28 peuplements avaient été présélectionnés. Il est prévu dans le cadre de la mise en œuvre de la nouvelle réglementation de créer 5 régions de provenance pour l'érable sycomore et 2 pour l'érable plane (information confidentielle) et de ne faire un effort de sélection de peuplements classés (catégorie sélectionnée) que pour l'érable sycomore.

Pour cette dernière espèce, le travail de sélection devra donc être repris en tenant compte des nouvelles régions de provenance définies et devra être poursuivi avec comme objectif **d'augmenter le nombre de peuplements**

récoltables et de mieux couvrir le sud de la France. S'il s'avère que les peuplements classés ne permettent pas de couvrir les besoins il pourra être envisagé d'autoriser les récoltes en catégorie identifiée.

- *Vergers*

Il n'existe pas de verger à graines en France.

- *Clones*

Une collection de 64 clones d'érable sycomore et 10 d'érable plane présentant un phénotype "bois ondé" a été rassemblée par l'INRA. Cette collection est en cours d'évaluation (héritabilité du caractère "bois ondé"). Il n'est pas envisagé d'homologuer du matériel végétal issu de ces tests.

En conclusion

A court terme, les MFR français autorisés pour ces deux espèces seront :

- pour l'érable sycomore : soit issus de peuplements classés (admis en catégorie « sélectionnée ») soit issus de peuplements ou de sources de graines admis en catégorie « identifiée »,
- pour l'érable plane issus de peuplements ou sources de graines admis en catégorie « identifiée ».

Les critères pour l'admission de matériel de base (peuplements ou sources de graines) en catégorie identifiée ne sont pas encore définis.

2 – Programme d'amélioration des pays voisins – Variétés étrangères

Pas d'information

3 –Débouché à l'exportation de MFR français

Vente de 366 200 plants d'érable sycomore à l'exportation en 1996/97 (soit selon les années de 25 à 30% de la production nationale - seulement 15 500 plants importés). Utilisation et destination en général inconnues. Cependant, il est clair que l'Irlande est demandeuse de MFR de la moitié nord de la France.

4 - Variétés du futur

Pas de variété actuellement envisagée, sauf si réponse positive au point 8.

5 - Preuve de plasticité du MFR

Aucune. Seuls deux tests dévaluation de clones ondes ont été installés. Ils seront insuffisants pour évaluer la plasticité de cette essence, car (pour des raisons contractuelles) la quasi totalité du matériel végétal provient de Franche Comté et les deux tests ont également été implantés dans cette même région.

6 – Verrous

- Mobilisation de matériel par voie clonale : pour l'instant le seul verrou rencontré mais facilement levé a été celui de la mobilisation par multiplication végétative d'arbres âgés.
- Production de graines par voie végétative : si une stratégie vergers à graines devait être déployée, la gestion fructifère de l'érable devrait être étudiée (voyage d'étude dans des pays où des vergers à graines existent ?).
- Peut être faut-il craindre des échanges de gènes entre les variétés ornementales ou le matériel tout venant utilisé pour des usages non forestier et les populations forestières ?

7 – Coût R & D

Coût pour le suivi des actions déjà engagées :

- Coût INRA pour la gestion du programme «érable ondé» : 3000 Francs par an HT. Il s'agit du coût environné de l'ingénieur INRA impliqué par la gestion du programme érable ondé (environ 1 jour par an)

- Coût Cemagref pour la sélection de peuplements de catégorie sélectionnée ou identifiée : ce coût est englobé dans une convention plus générale (peuplements classés : sélection, gestion de la base de données, réglementation, enquête flux de graines).

Coût supplémentaire à chiffrer s'il apparaît utile de développer une stratégie « vergers à graines ».

8 – Propositions des chercheurs

Plutôt que des propositions, des questions :

- Faut-il prévoir de faire des vergers à graines régionalisés pour faciliter l'approvisionnement et la diversité génétique?
- Quels moyens pour un programme d'amélioration sur l'érable ? Doit-on se lancer dans l'exploration de la diversité génétique à partir de tests de comparaison de provenance et d'analyse avec des marqueurs neutres. Quels sont les critères qui devraient être pris en compte prioritairement pour un programme d'amélioration (nécessité de faire remonter l'information sur les problèmes rencontrés dans les plantations réalisées dans le passé) ?

9 – Propositions du comité

Concentrer la production de MFR dans des peuplements sélectionnés.

10 - Références bibliographiques utiles

Franc A, Ruchaud F, Autécologie des feuillus précieux : frêne commun, merisier, érable sycomore, érable plane, Cemagref, (Antony), 1996, 170 p.

Verger M, fiches Acer - Erable, in Les ressources génétiques forestières en France, tome 2 : Les feuillus, coord Michel Arbez, Jean François Lacaze, 1998, 17-25.

VARIETES DU FUTUR.

EUCALYPTUS

Rédacteur principal : Alix Pernet. AFOCEL Montpellier

1 – Variétés existantes

- 2 clones hybrides *Eucalyptus gunnii* x *E. dalrympleana* (abrégé *E. gundal*) : 121 et 208
- 2 clones d'*E. gunnii* homologués en 1999 : Cagire et Vallier

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

Il existe des programmes d'amélioration de l'espèce *E. globulus* en Espagne (ENCE) et au Portugal (Raíz, Stora-Enso Celbi). Une société privée espagnole (Bosques 2000 du groupe SNIACE) sélectionne également *E. dalrympleana* et *E. gunnii*. Les échanges avec ces différents organismes sont informels (discussions, visites, échange de matériel végétal), ou ont lieu à travers des collaborations dans des projets européens. Il n'y a actuellement pas de réseau expérimental commun.

3 – Débouché à l'exportation de MFR français

Il existe des débouchés potentiels dans les zones tempérées froides (*E. dalrympleana* ou *E. gundal* pour le nord de l'Espagne ; *E. gundal* et *E. gunnii* pour le Chili et autres zones d'altitude en Amérique latine). Des échanges informels de matériel existent d'ores et déjà avec le Chili. Les plantations de *E. gundal* et *E. gunnii* en vue de production de biomasse constituent un autre débouché, particulièrement dans le sud de la Grande-Bretagne.

4 - Variétés du futur

Valorisation de l'existant : sélection dans les tests de descendance et les tests clonaux de variétés :

- *E. gunnii* avec (i) un niveau de tolérance au froid équivalent à celui des variétés actuelles *E. gunnii* de développement ; (ii) une augmentation du rendement en pâte ; (iii) une stabilité plus grande de ces variétés dans différents environnements ;
- *E. gundal* avec un niveau garanti de tolérance au froid, moindre que celui exigé pour les variétés *E. gunnii*, un bon rendement ainsi qu'une bonne stabilité dans les zones climatiques adaptées ;
- *E. gunglob* avec un très bon rendement, pour certaines zones climatiques privilégiées.

La valorisation de l'existant conduira aux sorties variétales suivantes :

- 1 clone d'*E. gunnii* sorti en 2000 et disponible en quantité suffisante en 2002,
- 1 clone d'*E. gunnii* sorti en 2003 et disponible en quantité suffisante en 2005,
- 1 clone hybride *E. gunnii* x *E. dalrympleana* sorti en 2003 et disponible en quantité suffisante en 2005,
- 1 variété famille de pleins frères multipliée par voie " bulk " disponible en 2010,
- 1 clone hybride *E. gunnii* x *E. globulus*.

Transition vers de nouvelles variétés futures : réalisation de croisements intra *E. gunnii* et *E. gunnii* x *E. dalrympleana*

Futur lointain : réalisation d'un verger à graines pour production de variétés de pleins-frères ?

5 - Preuve de plasticité du MFR

Les variétés existantes *E. gunnii* sont issus d'individus ayant résisté en totalité (parties racinaire et aérienne) à l'âge d'un an au froid de novembre 1987. Leur tolérance au froid a depuis été régulièrement confirmée lors de tests en transect (tests de la tolérance au froid mis en place en altitude). Les variétés *E. gundal* actuelles, bien que moins tolérantes que les variétés *E. gunnii*, possèdent un système racinaire qui a toléré le froid de janvier 1985 à l'âge de deux ans. Ces variétés sont maintenant en cours de seconde rotation. Toutes les variétés futures sont testées en transect et dans différents environnements.

Dans le futur, l'idée est de maximiser le rendement en fonction des contraintes environnementales et diversifier les variétés en production. Ainsi, à terme, des palettes de clones devraient être proposées en fonction des zones climatiques et du niveau de risque souhaité par le propriétaire : il y aurait des zones où l'on planterait des variétés hybrides *E. gunnii* x *E. gundal* très productives et des zones plus froides où l'on planterait des variétés *E. gunnii* avec un niveau de tolérance au froid équivalent à celui des clones Cagire et Vallier.

6 – Verrous

Ils sont de deux natures :

- technique :
 - . la réussite de la production chez les pépiniéristes des plants issus de bouture et destinés aux plantations n'est pas encore acquise,
 - . les techniques d'induction florale et de tests artificiels de tolérance au froid nécessitent d'être affinées pour être utilisables en routine
- financière : la faible surface plantée ne permet pas de dégager des moyens suffisants pour engager l'effort de recherche qui serait nécessaire à l'établissement d'un programme d'amélioration efficace (conservation et gestion des ressources génétiques, mesures des tests, création de variabilité, connaissance de la diversité génétique, et génétique des caractères d'intérêt).

7 – Coût R & D pour faire sauter les verrous

Production des plants par multiplication végétative

- **coût total (incluant le salaire des permanents)**
2 142 000 F (un mi-temps ingénieur horticulteur et une ouvrière pépiniériste pendant trois ans)
- **échancier annuel**
714 000 F/an

Programme d'amélioration

- **coût total annuel (incluant le salaire des permanents)**
 - . activités d'amélioration : 1 554 000 F/an (un ingénieur, un technicien, un ouvrier)
 - . tests artificiels de tolérance au froid : 336 000 F/an (un mi-temps ingénieur pendant au moins 3 ans)
 - . projet de cartographie : 1 300 000 F/an (durée minimale : 3 ans)

8 – Propositions des chercheurs

- fiabiliser la production des plants et en réduire le coût,
- former les pépiniéristes professionnels prêts à multiplier des espèces ligneuses, et les inciter à fournir une production de qualité,
- partager les efforts de recherche en favorisant le travail en collaboration avec des équipes et des industriels intéressés par les mêmes thématiques (prédiction des interactions génotype – environnement par exemple) ou par d'autres utilisations de l'eucalyptus (bois énergie par exemple).

9 – Propositions du comité

- développement auprès de pépiniéristes de la technique de multiplication végétative,
- test de résistance au froid en conditions contrôlées.

VARIETES DU FUTUR

FRENE

Rédacteur principal : Jean Dufour, INRA Orléans

Partenaires : Cemagref, ENGREF

1 – Variétés existantes

- **Peuplements sélectionnés**

53 peuplements porte-graines sont inscrits au registre des peuplements classés pour une surface totale de 758 ha et structurés en 4 régions de provenances dans la partie Nord de la France (sélection CEMAGREF).

- **Vergers**

Nom	Vergers Ecolouettes (verger privé de la pépinière Lemonnier dans l'Orne)
Type de matériel de base et caractérisation de la base génétique (nombre) : familles, clones, polycross (nombre de G0)	32 clones sélectionnés dans les peuplements normands par le C.R.P.F (sélection phénotypique) puis multipliés par greffage. Surface 1 ha.
Type de croisement en verger (open, polycross, bi-parentaux, ...)	open
Caractères améliorés et gains espérés	Rectitude, peu de fourches (sélection phénotypique d'arbres + en forêt)
Date d'entrée en production commerciale	2000
Catégorie réglementaire (sélectionné, testé, en dérogation)	En dérogation actuellement (Demande d'admission en catégorie sélectionnée en cours)
Eclaircies génétiques à prévoir (date)	Possibilité de supprimer quelques clones à débourrement trop précoce.
Evaluation des composants (en cours, à faire)	En cours (tardiveté du débournement, proportion de mâles et de femelles, nombre d'individus fructifères)
Quantité produite en conditions optimales	
Récoltes effectives réalisées depuis 10 ans	1997 (1,6kg) 1999 (10kg)

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

- En Allemagne, les récoltes de graines destinées aux reboisements se font d'une part sur des peuplements sélectionnés (environ 1300 pour l'ensemble du pays) ou bien dans des vergers à graines de clones issus de sélection phénotypique en forêt. Des plantations comparatives de provenances multistationnelles ont été installées il y a environ quinze ans et permettent actuellement d'avoir une bonne estimation des provenances testées. D'autre part des travaux sont en cours pour développer la voie clonale (bouturage et culture *in vitro*) de façon à pouvoir propager les meilleurs génotypes issus de ces sélections.
- En Irlande, on cherche aussi à développer la voie clonale. Des recherches actives sont menées pour mettre au point la multiplication végétative du Frêne en routine (bouturage ou culture *in vitro*). Une collection de 120 clones issus de sélection phénotypique en forêt a été rassemblée. Des tests clonaux seront installés dans un avenir proche.
- En Angleterre, un test multistationnel de 22 provenances (12 anglaises et 10 continentales) a déjà été installé et est en cours d'évaluation.
- En Belgique des tests de provenances européennes (5) ont été installés en 1998. 47 clones ont été sélectionnés en forêt, l'objectif étant d'installer des tests de descendance de ces clones. Les 20 meilleurs clones seraient ensuite utilisés comme parents dans un verger à graines.

3 – Débouché à l'exportation de MFR français

A l'heure actuelle, les pépiniéristes français produisent les plants pour le reboisement en utilisant les graines récoltées dans les peuplements français. Une part très importante de ce matériel végétal (entre 500000 et 1.000.000 plants/an) est destinée à l'exportation, notamment vers l'Irlande. La pureté spécifique de ces plants (hybridation possible avec le Frêne oxyphyle) n'est pas toujours clairement établie, d'où un certain nombre de litiges entre marchands grainiers, pépiniéristes et reboiseurs. D'autre part, le matériel végétal issu des

peuplements classés français et du verger « Ecoulouettes » n'a pas été testé en plantations en France ni à l'étranger. On ne peut donc pas s'appuyer sur des résultats expérimentaux pour juger de la qualité de ce matériel pour une utilisation en reboisement sur le territoire national et *a fortiori* en dehors.

4 - Variétés du futur

Nom	Peuplements contrôlés
Origine du matériel	Peuplements naturels français
Nature de la variété	Provenances contrôlées (étiquettes bleues)
Objectif et intérêt par rapport à l'existant	La sélection de provenances en plantation comparative permet de passer de la catégorie sélectionnée à la catégorie contrôlée . Ces tests multistationnels fournissent des indications objectives concernant le découpage en région de provenances et sur la valeur en reboisement des graines issues de ces peuplements. Matériel végétal plus diversifié que le matériel issu du seul verger normand et susceptible de convenir à l'ensemble des conditions de reboisement.
Principales recherches à conduire en matière de diversité, sélection de matériel de base, ingénierie de la production variétale, ...	Tests en pépinières concernant la pureté spécifique couplés avec l'utilisation des marqueurs moléculaires (laboratoire ENGREF associé au laboratoire ESV de la faculté d'ORSAY). Sélection en pépinière concernant la tardiveté du débourrement . Mise en place de tests de provenances multistationnels en forêt. Etablissement de normes de récoltes de ces peuplements.
Date de sortie (clones, familles) ou d'installation (verger)	Premières indications sur la qualité des provenances (pureté spécifique et tardiveté) en 2002 2003. Résultats sur la vigueur (tests en forêt) à partir de 2008 2010
Date d'entrée en production	Première récolte de matériel contrôlé à partir de 2003-2004

5 - Preuve de plasticité du MFR

L'installation de plantations comparatives **multisites** est l'outil expérimental adéquat pour connaître la plasticité et l'« adaptabilité » des géotypes testés. En particulier, l'installation d'expériences internationales au niveau européen permettra de juger de la plasticité et donc des possibilités de transfert des provenances testées.

6 – Verrous

7 – Coût R & D

299.560 Francs par an Hors Taxes. Il s'agit du coût environné (c'est à dire hors salaire) du chercheur impliqué en l'occurrence 1 IR1 à 50%.

8 – Propositions des chercheurs

Installer un réseau de plantations comparatives de provenances au niveau national et si possible au niveau européen.

9 – Propositions du comité

Verger

- Tester la richesse génétique de ce verger et les régimes de reproduction,
- Tester sur le terrain la valeur de ses produits.

Peuplements sélectionnés

- Détection de la présence de frêne oxyphylle ou de formes intermédiaires dans les lots de frêne commun dès la pépinière,
- Contrôle des peuplements classés en tests de provenances pour détecter ceux qui pourront passer dans la catégorie contrôlée.

VARIETES DU FUTUR

HETRE

Rédacteur principal : Eric Teissier du Cros, INRA Avignon
Partenaires : ONF (recherche et gestion), Cemagref (classement)

1 – Variétés existantes

- Régénération artificielle : 20 Régions de Provenance : 168 peuplements sélectionnés, 8 406 ha
- Régénération naturelle : recherche sur l'hérédité des caractères en forêt (amélioration douce)

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

Aucun. Les pays voisins ont adopté un système de Région de Provenance mais cette ressource est inutile pour la France dont les ressources suffisent pour le reboisement en hêtre, somme toute assez faible.

3 –Débouché à l'exportation de MFR français

Demande irlandaise pour des provenances du nord de la France.

4 - Variétés du futur

- **Valorisation de l'existant.** Etude des transferts possibles entre Régions de Provenance par les tests de provenances INRA-ONF et la connaissance de la répartition spatiale de la diversité génétique adaptative.
- **Transition vers une variété du futur.** Renouvellement permanent des peuplements sélectionnés
- **Variété du futur.**
 - Pas de vergers à graines, mais peuplements sélectionnés
 - Amélioration graduelle des peuplements par la connaissance du niveau de contrôle génétique des caractères.

5 - Preuve de plasticité du MFR

En France un réseau comparatif européen de provenance a été installé de 1979 à 1995. Il comprend des provenances françaises et étrangères.

6 – Verrous

- Observations périodiques dans les tests de provenances,
- Suivi des deux tests de descendance (amélioration douce) et observations périodiques

7 – Coût R & D

Coût total sur 5 ans : 260 000 FRF HT

Coût marginal demandé tous les 5 ans : 50 000 FRF HT

8 – Propositions des chercheurs

- Chaque tranche d'essais comparatifs de provenances et de descendance devra être mesurée tous les 5 ans jusqu'à 20 ans ou la première éclaircie, puis d'une manière plus espacée ensuite.
- Des éclaircies devront être réalisées sans causer de préjudice à la diversité génétique représentée dans les dispositifs et sans compromettre l'avenir des individus : équilibre entre éclaircie sylvicole et génétique.

L'ONF, demandeur et principal bénéficiaire des connaissances acquises dans ces essais, et l'INRA doivent s'accorder pour le financement de ces éclaircies qui ne peuvent être couvertes par la dotation reconductible de l'INRA. Par contre le financement marginal correspondant aux bilans périodiques pourrait être financé par des crédits DERF.

9 – Propositions du comité

Observations périodiques dans les tests de provenance.

VARIETES DU FUTUR

MELEZE HYBRIDE

Rédacteur principal : Luc Pâques, INRA, Orléans
Partenaires : Cemagref, Pépinière forestière de l'Etat de Peyrat, ONF, CRPF

1 – Variétés existantes

Vergers

	VG1	VG2	VG3
Nom	Variété 201 (VG Barres)	Variété 201 * (VG Lavercaillère)	variété INRA 1
Type de matériel de base et caractérisation de la base génétique (nombre): familles, clones, polycross (nombre de G0)	1 clone ME + 50 clones MJ	1 clone ME + 100 clones MJ	1 clone ME + 12 clones MJ (**)
Type de croisement en verger (open, polycross, bi-parentaux, ...)	SMP	SMP	SMP
Caractères améliorés et gains espérés	Vigueur + forme		
Date d'entrée en production commerciale	1990	1999	2002 ?
Catégorie réglementaire (sélectionné, testé, en dérogation)	dérogation	dérogation	dérogation
Eclaircies génétiques à prévoir (date)	non	non	non
Evaluation des composants (en cours, à faire)	pas nécessaire	pas nécessaire	faite
Quantité produite en conditions optimales	8 kg	15-20 kg	?
Récoltes effectives réalisées depuis 10 ans	11 kg	0	0
Commentaires : avenir, année probable de fin de production, motif	2005 remplacée par variété plus performante à base génétique plus large	2010-2020 remplacée par variété plus performante à base génétique plus large	2020

*: unités de ME (vg301) et MJ (vg302) disjointes

** : clones MJ sous serre et en verger de plein champ aux Barres

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

B, D, DK, IRL, NL, S + VG F1 en B. ; Ces programmes visent exclusivement les aspects de création variétale. La base génétique de ces vergers est souvent réduite à très réduite et leur valeur est souvent faible (pureté spécifique faible à très faible, transfert inadapté (ex. FP203DK -fente de sécheresse, etc).

3 –Débouché à l'exportation de MFR français

potentiellement : B, D, IRL, GB, S (sud),

4 - Variétés du futur

- **Transition vers une variété du futur**

- 400 clones pour variété polyclonale, en cours d'évaluation.

- Variétés du futur

	Var. 1	Var. 2	Var. 3
Nom		F2 (Barres)	F2 (Carnoet)
Origine du matériel	Familles hybrides F1 INRA	Sélections hybrides INRA	Sélections hybrides INRA
Nature de la variété (Vergers à graines, familles, clones, ...)	assemblage de familles PF F1 en 'bulk'	Vergers de clones F1 (demi-frères)	Vergers de clones F1 (non apparentés)
Objectif et intérêt par rapport à l'existant	pureté hybride garantie, base génétique + large, flexibilité pour une valorisation rapide du progrès génétique vigueur/forme ?/qualité bois (densité)	base génétique large, pollinisation naturelle, forme	base génétique très large, pollinisation naturelle, vigueur
Date d'installation	2002	1993	1995
Entrée en production probable	2002	2005-2010 (x)	2007-2010 (x)

5 - Preuve de plasticité du MFR

Un réseau d'évaluation des vergers hybrides européens est en cours d'installation dans le cadre du projet 'LARCH'.

6 – Verrous

- Multiplication et diffusion des variétés hybrides : passage en vraie grandeur de la propagation " bulk ".
- Marqueur permettant de détecter le taux d'hybrides dans les lots de graines : une évaluation des composants des vergers européens serait nécessaire car les premières études montrent de nombreuses anomalies (clones japonais = clones hybrides ; rejet de greffes-gourmands, mélange de récolte, etc).
- Problème de rectitude : le manque de rectitude reste un problème majeur à résoudre dans la création de variétés à partir du matériel INRA. Différentes approches ont été engagées pour comprendre le déterminisme de ce défaut et envisager les remèdes à appliquer. Il est suspecté que l'utilisation de géniteurs non alpins comme parents européens soit à revoir. De même, une sélection génétique des parents japonais pour la rectitude est à envisager.
- (x) Les vergers F2 ne pourront être valorisés que quand leur valeur sera prouvée (en particulier via le plan factoriel F1-F2 en fin de construction).

7 – Propositions des chercheurs

- Les recherches techniques sur la diffusion par voie " bulk " doivent se poursuivre avec un relais pris par les pépiniéristes
- Il reste à mettre au point les marqueurs de taux d'hybrides.
- Développer les variétés F2.

8 – Propositions du comité

Rappel. Le mélèze hybride peut être considéré comme un excellent substitut par rapport à la monoculture du douglas dans certaines régions. Il est même considéré comme plus plastique. Son bois contient des composés chimiques qui lui confèrent une durabilité supérieure à celle du douglas. C'est la seule essence pour laquelle le surcoût de la recherche, inclus dans le prix des plants, est accepté par les acheteurs-reboiseurs. Par ailleurs, la production actuelle des vergers ne parvient pas à faire face à la demande. La production de plants restera encore plusieurs années tributaire d'importations du Danemark, d'Allemagne et de Grande Bretagne.

- Opportunité et solutions techniques pour le passage en vraie grandeur de la méthode de propagation « bulk ».
- Marqueur permettant de détecter le taux d'hybrides dans les lots de graines.
- Développement de la voie F2.

VARIETES DU FUTUR

MELEZE D'EUROPE

Rédacteur principal : Luc Pâques, INRA, Orléans
Partenaires : Cemagref, Pépinière forestière de l'Etat de Peyrat, ONF, CRPF

1 – Variétés existantes

Peuplements sélectionnés : 11 régions de provenance, 76 peuplements, 1055 ha.

Vergers

	VG1	VG2	VG3
Nom	310 (Theil)	320 (Sivens)	Cadouin
Type de matériel de base et caractérisation de la base génétique (nombre) : familles, clones, polycross (nombre de G0)	179 clones (Sudètes)	40 clones (polonica)	250 clones (Sudètes)
Type de croisement en verger (open, polycross, bi-parentaux, ...)	open	open	open
Caractères améliorés et gains espérés	chance/vigueur/forme	Chancre/vigueur	chancre/vigueur/forme
Date d'entrée en production commerciale	1996	-	-
Catégorie réglementaire (sélectionné, testé, en dérogation)	dérogation	Dérogation	-
Eclaircies génétiques à prévoir (date)	oui : 2010	Non	oui : 2010
Evaluation des composants (en cours, à faire)	à faire (semis réalisé en 1999)	à faire	à faire (semis réalisé en 1999)
Quantité produite en conditions optimales	environ 30-100 Kg*	20-60 kg	environ 10 Kg
Récoltes effectives réalisées depuis 10 ans	15 Kg	0	0

* récolte partielle (potentiel très supérieur)

2 – Programme d'amélioration des pays voisins : D, CZ, PL, B

3 –Débouché à l'exportation de MFR français : possible vers D, B, GB et IRL.

4 - Variétés du futur

- Valorisation de l'existant**

L'évaluation des composants permettra soit par éclaircie génétique, soit par récolte dirigée d'améliorer la valeur de la variété

- Variétés du futur**

	Var. 1
Nom	
Origine du matériel	Basse Autriche
Nature de la variété (Vergers à graines, familles, clones, ...)	verger à graines
Objectif et intérêt par rapport à l'existant	amélioration de la forme (rectitude)
Principales recherches à conduire en matière de diversité, sélection de matériel de base, ingénierie de la production variétale, ...	Sélection de matériel de base nécessaire pour compléter la collection existante de 40 clones
Date de sortie (clones, familles) ou d'installation (verger)	?
Date d'entrée en production	?
Partenaires	?
Commentaires	Ce matériel a une moindre vigueur que Sudètes et Centre PL mais une forme excellente. L'idéal serait de combiner les 2 races préalablement, car Basse-Autriche est aussi assez sensible au chancre.

5 - Preuve de plasticité du MFR

Les tests de provenances IUFRO ont montré de manière claire la très grande plasticité de toutes les populations originaires d'Europe Centrale.

Par ailleurs des tests internationaux (F, B, CZ & PL + Suède) sont installés (Centre Pologne) ou le seront (Sudètes) dans le cadre du projet LARCH.

6 – Verrous

- a) Test de la valeur et de la plasticité des VG “ Sudètes ” : VG1 (Theil) & VG3 (Cadouin).
- b) Matériel origine ‘Sudète’ : zone d’introductions probables de sources étrangères (Alpes, Centre Pologne) : une étude fine de la structuration de la diversité et de la valeur des populations est nécessaire pour ‘trier’ cette origine particulièrement hétérogène.
- c) Evaluation collective des vergers à graines européens existants (base de données, visite des vergers, tests d’évaluation).

7 – Coût R & D

pour c) : une mission à prévoir en D, CZ, PL, Ro au moins

8 – Propositions des chercheurs

Réaliser ces tests multisites d’évaluation.

L’évaluation des composantes des vergers font partie de la base des populations d’amélioration gérées par l’INRA. Cette évaluation reste du ressort de l’INRA. Par contre l’évaluation des variétés ‘vergers’ est du ressort du Cemagref.

9 – Propositions du comité

- Test de la valeur et de la plasticité des VG “ Sudètes ”.
- Evaluation collective des VG européens existants.

VARIETES DU FUTUR

MERISIER

Rédacteur principal : J. Dufour, F. Santi INRA Orléans
Partenaires : Cemagref

1 – Variétés existantes

- **Peuplements sélectionnés**
92 peuplements porte-graines sont inscrits au registre des peuplements classés (arrêté 1997) pour une surface totale de 451 hectares et sont répartis en 2 régions de provenances (sélection CEMAGREF).
- **Vergers**

Nom	CABRERETS (46)	ABSIE (79)
Type de matériel de base et caractérisation de la base génétique (nombre) : familles, clones, polycross (nombre de G0)	Vergers d'état, sera remis au GIE dès l'entrée en production. Composition : 20 clones sélectionnés par l'INRA en tests clonaux multistationnels après sélection phénotypique en forêt. Surface 0,7ha.	Vergers privés (pépinières Michaud) composé de 62 familles de demi-frères récoltées sur des arbres repérés en forêt par CRPF Poitou-Charentes. Surface 0,5 ha, Dispositif élaboré et suivi par l'INRA
	open	open
Caractères améliorés et gains espérés	Vigueur, résistance à la cylindrosporiose, rectitude	Résistance à la cylindrosporiose et vigueur après éclaircie génétique marquée par l'INRA
Date d'entrée en production commerciale	2002-2004	2000
Catégorie réglementaire (sélectionné, testé, en dérogation)	En dérogation actuellement	En dérogation actuellement, dossier de demande d'admission en catégorie sélectionnée à réaliser
Eclaircies génétiques à prévoir (date)		oui (marquée par l'INRA en Février 2000). Il y aura au moins une autre éclaircie probablement vers 2005.
Evaluation des composants (en cours, à faire)	L'évaluation des clones qui constituent le verger se poursuit en tests clonaux pour des caractères s'exprimant tardivement (qualité du bois)	L'évaluation des performances des descendances constituant le verger se poursuit permettant de marquer d'autres éclaircies génétiques.
Quantité produite en conditions optimales	100 à 140 kg estimation d'après la production des vergers à graines allemands. En fait, ce verger est constitué d'arbres greffés sur porte-greffe semi-nanifiant induisant une floraison précoce et une taille réduite des arbres qui se traduit par une mise à fruit précoce, une productivité accrue et une récolte facile.	80 à 100 kg estimation d'après la production des vergers à graines allemands.
Récoltes effectives réalisées depuis 10 ans	néant	1 récolte.

- **Clones**

Nombre de clones homologués	8 clones sélectionnés par l'INRA en tests clonaux multistationnels à 7 et 10 ans. Caractères pris en compte : Vigueur, adaptabilité, résistance à la cylindrosporiose, forme.
Dates d'homologation	11/10/1994

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

- En Allemagne plusieurs vergers à graines de clones issus de sélection phénotypique en forêt ont été créés (certains sont âgés de plus de 20 ans) et sont actuellement en production. En cas de pénurie de graines issues des peuplements classés français, les graines du VG de Lilienthal ont été importées en France en dérogation (1999 en particulier). Dans le même temps, des recherches concernant la multiplication végétative (in vitro) sont menées.
- En Italie, un programme d'amélioration très proche du programme français (voie clonale) est développé par la station d'Arezzo. A l'heure actuelle une dizaine de clones sont en cours d'inscription au catalogue.
- En Grande Bretagne la station d'East Malling développe également un programme d'amélioration par voie clonale. 10 clones sont en cours d'inscription au catalogue. Des combinaisons hybrides sont explorées.
- En Belgique Wallonne et Flamande, deux programmes basés sur la création de vergers à graines de clones et de variétés clonales sont développés.
- Des programmes d'amélioration plus récents existent en Hollande, en Grèce et en Espagne.

3 –Débouché à l'exportation de MFR français

En raison de leur plasticité (voir point 5 ci-après), les clones de merisier sélectionnés en France sont susceptibles d'être utilisés dans de nombreuses stations dans toute l'Europe. Une vérification expérimentale de cette « adaptabilité » est cependant nécessaire avant toute opération de reboisement importante. Ce travail est confié aux équipes européennes concernées. Le même raisonnement peut être appliqué au matériel végétal issu des vergers à graines de clones testés (type Cabreret). La grande variabilité génétique de ce matériel due aux nombreuses recombinaisons entre les clones constituant ces vergers, augmentera encore ses possibilités d'adaptation à un grand nombre de stations.

Une demande irlandaise est à considérer pour le matériel forestier de reproduction de la moitié nord de la France.

4 - Variétés du futur

Nom	Clones : augmentation du nombre de clones inscrits au catalogue (à utiliser en mélange clonal comme les 8 premiers)	Verger à graines de clones
Origine du matériel	Clones sélectionnés INRA	Clones sélectionnés INRA
Nature de la variété	Clones	Verger à graines de clones
Objectif et intérêt par rapport à l'existant	Sélection sur un plus grand nombre de clones pour la première génération et prise en compte de caractères nouveaux (bactériose). Utilisation de clones de deuxième génération issus de croisements contrôlés.	Sélection plus sévère des clones parents et couverture d'une part plus importante du marché.
Principales recherches à conduire en matière de diversité, sélection de matériel de base, ingénierie de la production variétale, ...	Tests clonaux à planter et à suivre. Recherche sur la résistance à la bactériose. Test de la qualité du bois (couleur et duraminisation).	Possibilité de créer un verger intensif sous serre ou sous abri : étude de faisabilité.
Date de sortie (clones, familles) ou d'installation (verger)	2000 à 2005 pour la première génération 2010 à 2015 pour la deuxième	2000 à 2005
Date d'entrée en production		2004 à 2009

5 - Preuve de plasticité du MFR

Les sélections clonales effectuées par l'INRA sont faites à partir des résultats de dispositifs multistationnels installés dans des conditions variées de milieu. La stabilité de classements dans ces divers dispositifs est un des principaux critères pris en compte dans la sélection. Ces clones conviennent donc à un grand nombre de stations, à condition qu'elles soient favorables au merisier.

6 – Verrous

- Contrôle génétique de la bactériose
- Possibilité de production de merises en vergers sous serre dans des conditions économiques acceptables. Rappelons que le verger sous serre présente de nombreux avantages par rapport à un verger extérieur : protection contre les gelées, protection contre les oiseaux, diminution voire suppression du risque de pollution génétique, possibilité de synchronisation des floraisons augmentant la productivité du verger et la variabilité génétique des graines produites, possibilité de traitement contre les insectes parasites des graines.
- En ce qui concerne la diffusion des clones inscrits au catalogue, les publications de vulgarisation doivent être complétées par l'installation de dispositifs de démonstration. En effet, seules les visites de ces dispositifs par les techniciens et les propriétaires forestiers permettra de justifier le surcoût d'un plant « clone » par rapport à un plant issu de graine.

7 – Coût R & D

599120 Francs par an Hors taxes. Il s'agit du coût environné c'est à dire hors salaire des chercheurs impliqués. En l'occurrence, 1 IR à 50% et un CR2 à 50%.

8 – Propositions des chercheurs

- Tester la faisabilité des vergers sous serre et étudier les flux de gènes intra-verger (comparaison verger sous serre et extérieur)
- Installer des dispositifs de démonstration des clones homologués.
- Continuer les recherches sur la sensibilité à la bactériose : vérifier l'importance du contrôle génétique de ce caractère et tester la sensibilité des variétés.
- Utiliser les tests clonaux et de descendances les plus anciens pour étudier la qualité du bois.
- Observer les flux de gènes entre compartiment « sauvage » et compartiment cultivé : prévoir l'impact de la diffusion des variétés.

9 – Propositions du comité

Faisabilité des vergers sous serre.

VARIETES DU FUTUR

NOYER

Rédacteur principal : Bruno Fady, INRA Avignon

Partenaires : Jacques Becquey, IDF, Lyon

1 – Variétés existantes

Vergers	VG1	VG2	VG3
Nom (voir commentaires)	Type 1)	Type 2)	Type 3)
Type de matériel de base et caractérisation de la base génétique (nombre) : familles, clones, polycross (nombre de G0)	1 clone nigra NG23 2 clones regia RA984 et RA996	1 clone de major MJ209 1 variété de regia Franquette	1 clone de nigra NG38 1 variété de regia Franquette
Type de croisement en verger (open, polycross, bi-parentaux, ...)	open	open	open
Caractères améliorés et gains espérés	Dominance apicale , résistance aux maladies	Dominance apicale , résistance aux maladies	Dominance apicale , résistance aux maladies
Date d'entrée en production commerciale	1980	1980	2000
Catégorie réglementaire (sélectionné, testé, en dérogation)			
Quantité produite en conditions optimales	Voir ci dessous	Voir ci dessous	Voir ci dessous
Récoltes effectives réalisées depuis 10 ans (nombre de plants produits)	5 à 10 000 plts / an	60 à 100 000 plts / an	100 à 1000 plts / an
Commentaires : année probable de fin de production. Autres : voir ci-dessous.	2010	2010	2030

Commentaires.

Ces « vergers à graines » ont pour but de produire des noix hybrides. En plus des quelques plantations préexistantes (anciennes collections, vergers de l'Isère et de l'Inra, quelques pépiniéristes ...), deux séries de plantations ont été installées sous l'égide du groupe de travail « noyers à bois » de l'IDF, en étroite collaboration avec les CRPF des régions concernées : 6 vergers entre 1987 et 1991, puis une trentaine de 1992 à 1996. Environ la moitié a été installée chez des particuliers, l'autre moitié chez des pépiniéristes. Il comportent entre 10 et 50 arbres fructifères. Parmi ceux installés par l'IDF et les CRPF, il en resterait actuellement environ 25 susceptibles de produire des noix (certains ont déjà commencé à produire). Noter l'étroitesse de la base génétique.

Le type 1) correspond à plus de 25 « vergers », dont au moins 5 en production ;

le type 2) correspond à plus de 10 « vergers », dont au moins 5 en production ;

le type 3) correspond à 1 « verger », en production.

Production attendue de l'ensemble des « vergers » pour 2005 : plus de 200 000 plants par an, dont 2/3 environ issus des vergers de type 2.

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

3 – Débouché à l'exportation de MFR français

Aucun pour les semences. Environ 15 à 20 000 plants exportés par an, essentiellement vers l'Espagne, accessoirement vers la Suisse, le Royaume Uni et l'Allemagne.

4 - Variétés du futur

	Var. 1	Var. 2
Nom	A créer	A créer
Origine du matériel	Nigra x regia	Regia
Nature de la variété (Vergers à graines, familles, clones, ...)	Clones issus de nombreux parents	Familles
Objectif et intérêt par rapport à l'existant	Base génétique élargie, stabilité	Ressource diversifiée, croissance
Principales recherches à conduire en matière de diversité, sélection de matériel de base, ingénierie de la production variétale, ...	Croisements interspécifiques	Sélection dans les collections régionales
Date de sortie (clones, familles) ou d'installation (verger)		
Date d'entrée en production		
Partenaires		
Commentaires	Augmenter la base génétique	Transformation de collections régionales en VG

5 - Preuve de plasticité du MFR

Les hybrides interspécifiques ont été testés dans le cadre d'un contrat européen dans un réseau multi-site. Ils ont toujours présenté des aptitudes supérieures à l'ensemble des autres variétés présentes sur le réseau en matière de croissance en hauteur, forme, résistance aux parasites et maladies (lorsque testé) et tardiveté du débournement. Cette supériorité était beaucoup plus significative sur les sites de moyenne fertilité que sur les sites très fertiles où le noyer commun avait un très bon comportement.

6 – Verrous

- 1- Incompatibilité au croisement interspécifique dont il faut déterminer le mécanisme.
- 2- Survie et transformation des collections régionales installées sous l'égide de l'IDF et des CRPF.

7 – Coût R & D

Option 1 ci-dessous et ci dessus : 12 KF (hors salaires permanents) en 2001.

Option 2 ci-dessous : 200 KF (hors salaires permanents) en 2001-2005.

8 – Propositions des chercheurs

- 1- La collection INRA installée à Bormes les Mimosas (Var) doit répondre au premier objectif. Elle doit être multipliée pour assurer une garantie de sauvegarde des clones utilisés. L'observation de la biologie florale de l'espèce et le test de plusieurs méthodes de croisement devrait améliorer le faible nombre de combinaisons hybrides obtenues ces dernières années (verrou 1).
- 2- Il existe 3 collections régionales comportant du matériel sélectionné pour de nombreux caractères phénotypiques. Ces collections sont déperissantes et il n'existe pas de ressource identifiée en *J. regia* en dehors de la zone de récolte « Lozeronne ». Il faudrait transformer les collections régionales en vergers à graines de clones, par greffage des clones survivants et installation dans des vergers régionaux (3) et nationaux (2) (verrou 2).

9 – Propositions du comité

Diversifier le MFR en créant des variétés de noyer commun

VARIETES DU FUTUR

PIN D'ALEP

Rédacteur principal : Christian Pichot, INRA, Avignon

1 – Variétés existantes

- Régénération artificielle
- 2 Régions de Provenance : 31 peuplements sélectionnés (étiquettes vertes) sur 269 ha.

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

Tunisie : sélection d'arbres + (croissance-forme), VG de clones

Grèce : hybrides interspécifiques *P.brutia x P.halepensis*

Espagne, Israël, Maroc, Tunisie : évaluation des provenances notamment autochtones.

3 –Débouché à l'exportation de MFR français

Nul

4 - Variétés du futur

Peuplements sélectionnés. Demande très faible, quasiment limitée au reboisement paysager.

Forte dynamique de l'espèce par régénération naturelle.

5 - Preuve de plasticité du MFR

Le pin d'Alep peut être considéré comme l'essence forestière méditerranéenne la plus résistante à la sécheresse, dernière espèce à survivre en conditions semi-arides. Au sein de l'espèce, l'intérêt premier des provenances françaises est la tolérance au froid comme constaté lors de l'hiver 1985.

6 – Verrous

Actuellement pas de verrous en ce qui concerne le MFR.

Menaces possibles à terme :

- 1) impact de l'introduction du pin brutia (aspects phytosanitaire et génétiques)
- 2) sensibilité potentielle des peuplements à *Matsucoccus josephi*.

7 – Propositions des chercheurs

- Récolte de graines uniquement sur les peuplements autochtones, résistant au froid.
- Évaluation du risque d'introgession par le pin brutia.
- Étude d'amont sur la relation *Pinus halepensis x Matsucoccus josephi*.

8 – Propositions du comité

Veille sanitaire vis à vis de *Matsucoccus josephi*.

VARIÉTÉS DU FUTUR

PIN LARICIO

Rédacteur principal : Patrick Baldet, Cemagref, Nogent sur Vernisson

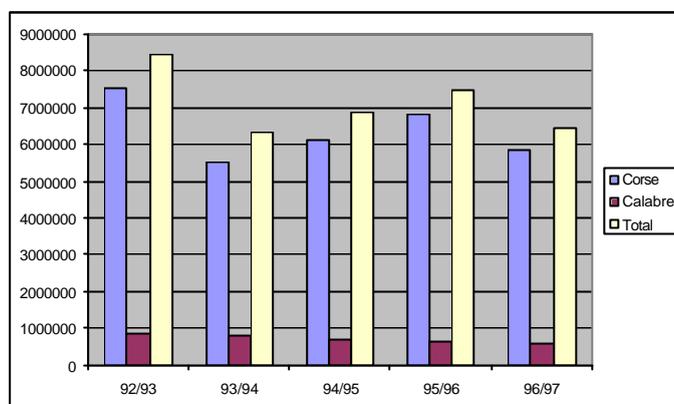


Figure 1. Nombre de plants commercialisés par an : 6 400 000 (données 96/97)
Tendance : →

1. Variétés existantes

1.1. Laricio de Corse

◆ *Peuplements sélectionnés* : 89 peuplements pour 6.823 ha

◆ *Vergers à graines*

	VG1	VG2	VG3
Vergers à graines en production	Domaine des Barres 01-CO-009	Sologne / Vayrières parcelles 201 à 204	Corse/Haute Serre Vergers du Lot 01-CO-021
Organisme gestionnaire	Cemagref	ONF - GIE Cemagref	ONF - GIE Cemagref
Surface	0,30ha	42 ha	14,22 ha
Type de matériel de base et caractérisation de la base génétique (nombre): familles, clones, polycross (nombre de G0)	10 clones	92 familles	64 familles
Type de croisement en verger (open, polycross, bi-parentaux, ...)	open	open	open
Caractères améliorés et gains espérés : Vigueur Forme Qualité du bois		de 0 à +++ de 0 à ++ ?	+++ + ?
Date d'entrée en production commerciale	1980	1993	1998/2000
Catégorie réglementaire (sélectionné, testé, en dérogation)	sélectionnée	contrôlée	sélectionnée
Eclaircies génétiques à prévoir (date)	non	non	non
Evaluation des composants (en cours, à faire)	/	à faire?	à faire?
Quantité produite moyenne annuelle	/	320 kg	30kg
Récoltes effectives réalisées depuis 10 ans	0 kg	3200 kg	≅ 90 kg
Commentaires : année de fin de production Motif - commentaires	maintenant, radiation souhaitable car pas assez de clones	> 2020 ? verger sur - dimensionné sélection intra verger?	> 2030 ? Dernière éclaircie génétique réalisée, verger opérationnel, en début de production

◆ *Variétés étrangères* : VG en Grande Bretagne

◆ *Débouchés possibles à l'étranger* : Irlande

◆ *Commentaires bilan* :

Du point de vue quantitatif, la surface des vergers français de Pin Laricio de Corse est de plus de 50 ha. Cette surface de verger satisfait actuellement, avec un potentiel annuel de l'ordre de 2000kg de graines, très largement les besoins annuels français évaluables à 700 kg environ. En conséquence, afin d'exploiter le meilleur des vergers du Lot, des récoltes sélectives sont réalisées sur des sujets "élites".

Du point de vue qualitatif, les tests de comparaison de provenance ont mis en évidence une amélioration de la croissance, par contre il n'a pas été détecté jusqu'à présent d'amélioration sur la forme. Les parcelles 201 à 203 des vergers du Lot avaient été éclaircies de façon à obtenir des variétés améliorées sur la croissance et la parcelle 204 améliorée sur la forme.

1.2. Laricio de Calabre

◆ *Peuplements sélectionnés* : néant

◆ *Peuplements contrôlés* : néant

◆ *Vergers à graines* :

	VG1	VG2	VG3
Vergers à graines en production	Les Barres	Gipcy	L'Isle sur Tarn
Organisme gestionnaire	Cemagref	INRA	Cemagref
Surface	0.58 ha	2.90 ha	11 ha
Type de matériel de base et caractérisation de la base génétique (nombre) : familles, clones, polycross (nombre de G0)	14 clones	72 familles,	99 clones
Type de croisement en verger (open, polycross, bi-parentaux, ...)	open	open	open
Caractères améliorés et gains espérés :		croissance ++	croissance ++et forme+
Date d'entrée en production commerciale			1999/2000
Catégorie réglementaire (sélectionné, testé, en dérogation)	sélectionnée	contrôlée	contrôlée
Eclaircies génétiques à prévoir (date)	non	non	non
Evaluation des composants (en cours, à faire)			
Quantité produite moyenne annuelle	≅ 30 kg		
Récoltes effectives réalisées depuis 10 ans	0 kg		≅ 160 kg
Commentaires : année de fin de production Motif - commentaires	Ce verger n'est plus récolté depuis 1988, abandon à envisager	test de descendance transformé en verger après éclaircie	Ce verger a fait l'objet d'une première récolte commerciale en 1999/2000 (≅160 kg) susceptible de satisfaire totalement la consommation annuelle

◆ *Commentaires bilan* :

Du point de vue quantitatif, la surface des vergers français de Pin Laricio de Calabre est de l'ordre de 14 ha. Cette surface de verger est susceptible de satisfaire 100% des besoins annuels français estimés à 140kg avec l'entrée en production du verger de clones du Tarn. La production potentielle attendue dépassera donc rapidement les besoins du marché.

Du point de vue qualitatif, l'amélioration génétique s'est portée principalement sur la vigueur. Les défauts d'angle d'insertion et de fourchaison n'ont été que peu pris en compte et demeurent un axe d'amélioration possible. Il demeure également une incertitude quant à la pureté spécifique des clones et des descendance installés dans les

vergers, il serait donc utile de procéder à une vérification du matériel de base et en particulier dans le verger du Tarn dans lequel sera mobilisé à l'avenir l'essentiel des graines.

Si il se révèle à terme que le verger du Tarn comporte effectivement des hybrides Corse x Calabre deux scénarios majeurs sont alors possibles :

- le nombre de clones suspects est faible et ne remet pas en cause la structure du verger, les clones sont éliminés et le verger continue à être exploité
- le nombre de clones à éliminer est important, le nombre de clones restant est trop faible et induit un fort abaissement de la densité du verger, il en résulterait alors une remise en cause globale du verger

2. Propositions du comité

Evaluation multi-site des variétés des vergers existants.

VARIETES DU FUTUR

PIN PIGNON

Rédacteur principal : Bruno Fady, INRA, Avignon

1 – Variétés existantes

1 Région de Provenance : 38 peuplements sélectionnés (étiquette verte) sur 259 ha.

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

Description de la variabilité génétique basée sur un réseau de tests de provenance initié par l'INRA en 1995 sous l'égide de la FAO, avec de nombreuses provenances en commun, dans les pays suivants : Espagne, Italie, Maroc, Tunisie, Turquie. But : évaluation de la plasticité de la ressource, définition scientifique des régions de provenance et des peuplements classés. Actuellement, des peuplements classés existent en Espagne (10), Grèce (2), Italie (6), Jordanie (6), Portugal (21), Turquie (6) et des vergers à graines en Egypte (1) et en Turquie (4) (FAO 1997, Directory of seed sources of the Mediterranean conifers).

3 – Débouché à l'exportation de MFR français

4 - Variétés du futur

- **Valorisation de l'existant.**

- Etude de l'homogénéité de la Région de Provenance et de la plasticité du MFR récolté dans les peuplements sélectionnés.

- **Transition vers une variété du futur.**

- Renouvellement permanent des peuplements sélectionnés après exploitation,

- **Variété du futur.**

- Peuplements sélectionnés

5 – Verrous

- Observations périodiques dans les tests de provenances

6 – Coût R & D

Uniquement pour l'option 1 ci-dessous : 50 KF (hors salaires permanents) en 2001. Prévoir ce même financement tous les 5 ans.

7 – Propositions des chercheurs

- 1- Les essais comparatifs de provenances devront être mesurée tous les 5 ans jusqu'à 20 ans, puis d'une manière plus espacée ensuite. Les mesures pourront se faire en concertation avec les pays méditerranéens membres du réseau installé sous l'égide de l'INRA et de la FAO en 1995 pour une meilleure estimation de la plasticité du matériel végétal, notamment dans l'optique du réchauffement climatique global.
- 2- Les quelques provenances française présentes dans ce réseau serviront à l'évaluation globale de l'homogénéité de la région de provenances. Si leur hétérogénéité est forte, des tests de provenance / descendance de la ressource française devront être envisagés.

8 – Propositions du comité

Evaluation périodique des tests de provenance.

VARIETES DU FUTUR

PIN SYLVESTRE

Rédacteur principal : Catherine Bastien, INRA, Orléans
Partenaires : Patrick Baldet, Bernard Héois, Cemagref, Nogent

1 – Variétés existantes

Peuplements sélectionnés

19 régions de provenance, 184 peuplements, 9.926 ha.

Vergers

	VG1	VG2	VG3	VG4	VG5	VG6
Nom	Haguenau-Bout-VG	Bitche-Bout-VG	20-Taborz-VG	Taborz 620	Haguenau 611	Haguenau 612
Type de matériel de base et caractérisation de la base génétique (nombre)	19 clones	25 clones	51 clones	155 clones	190 clones	192 clones
Type de croisement en verger (open, polycross, bi-parentaux, ...)	open	Open	open	open	open	open
Caractères améliorés et gains espérés	Vigueur, forme	Vigueur, forme	Vigueur, forme	Vigueur, forme	Vigueur, forme	Vigueur, forme
Date d'entrée en production commerciale	1970	1970	1994	2002	2002	2002
Catégorie réglementaire (sélectionné, testé, en dérogation)	testé	Testé	sélectionné			
Eclaircies génétiques à prévoir (date)	non	Non	non	2002	2002	2002
Evaluation des composants (en cours, à faire)	en cours	A faire	en cours	en cours	en cours	en cours
Année probable de fin de production	2002	1999 détruit par tempête	?	?	?	?
Récoltes effectives réalisées depuis 10 ans	oui	Oui	oui			

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

Ne peut être considéré comme actif et potentiellement intéressant pour les reboisements en pin sylvestre en France que le programme de sélection conduit en Pologne par IBL (Institut de Recherches forestières de Varsovie)

3 –Débouché à l'exportation de MFR français

4 - Variétés du futur

- **Valorisation de l'existant**

- Haguenau-Bout-VG : disparition après entrée en production des vergers 611 et 612 car pas de gain sur vigueur et gros problèmes de forme et sensibilité aux ravageurs.
- Bitche-Bout-VG : prévoir son renouvellement avec une base génétique plus grande du fait de sa totale destruction par la tempête de 1999. Présente des avantages indéniables pour une bonne combinaison vigueur-forme
- 20-Taborz-VG : maintien jusqu'à l'entrée en pleine production du verger 620

- **Variétés du futur**

Nom	Var. 1	Var. 2
Origine du matériel	Bitche	Taborz x Haguenau
Nature de la variété (Vergers à graines, familles, clones, ...)	Verger à graines de clones	Familles
Objectif et intérêt par rapport à l'existant	renouvellement du VG-Bout-Bitche avec base génétique plus grande . Bon compromis vigueur forme	combinaison vigueur de Haguenau avec forme et résistance aux ravageurs de Taborz
Principales recherches à conduire en matière de diversité, sélection de matériel de base, ingénierie de la production variétale, ...	évaluation de l'AGC de 240 clones de la population Bitche et sélection d'environ 60 clones	sélection des combinaisons hybrides ingénierie de la production de familles hybrides
Date de sortie (clones, familles) ou d'installation (verger)	2015-2020 ?	2020 ?
Date d'entrée en production	?	2020
Partenaires	?	?

5 - Preuve de plasticité du MFR

6 – Verrous

- Tests du MFR vergers dans des régions qui pourraient devenir des zones de reboisement
- Connaissance de la variabilité génétique des régions non testées jusqu'à maintenant et en particulier des peuplements classés des régions de moyennes altitudes dans le Massif Central et le Sud-Est

7 – Propositions des chercheurs

- Se concentrer sur la valorisation de l'existant et de ce qui est installé : test de la plasticité du MFR présent dans les VG

8 – Propositions du comité

- Evaluation des composants des vergers actuels Haguenau et Lot et tests du MFR vergers dans des régions qui pourraient devenir des zones de reboisement.
- Le reboisement de la moitié Sud de la France repose sur des peuplements classés issus de différentes provenances. Faut il envisager des tests comparatifs ?

VARIETES DU FUTUR

PIN TAEDA

Rédacteur principal : Pierre Alazard, AFOCEL, Moulis en Médoc
Partenaires :

1 – Variétés existantes

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

- Vergers du Nord Est de l'aire naturelle US : zone de provenance « Delmarva ». Difficulté prévisible à court et moyen terme de se procurer des graines des vergers US. Difficulté à très court terme de se procurer des graines dans les vergers à graines de la zone de provenance "Delmarva" suite à l'abandon et au vieillissement de ces vergers aux Etats-Unis où il sont maintenant remplacés par des vergers de deuxième génération composés majoritairement de matériel sélectionné en Caroline du Nord et Caroline du Sud.
- Vergers de 2ème génération des vergers US
- Variétés commerciales issues des vergers à graines de clones de deuxième génération du Nord-Est de l'aire naturelle (non limitée à l'origine Delmarva).

3 –Débouché à l'exportation de MFR français

4 - Variétés du futur

- *Vergers en France*

Vergers à graines de clones multi-provenances sélectionnés dans les premiers tests de descendance installés en France par l'AFOCEL en 1993, productif vers 2010.

Verger composé de 70 clones et installé en 1993 à Beychac et Cailleau en Gironde qui devrait entrer en production en 2010.

5 - Preuve de plasticité du MFR

6 – Verrous pour le VGC existant.

- *Variétés du futur*
 - Vergers de 2ème génération des vergers US. Vergers à identifier et vérification du niveau de croissance et de résistance au froid des variétés ou des géniteurs à réaliser.
 - Vergers en France. (1) Très faible floraison observée en France. (2) Le verger installé en 1993 à Beychac et Cailleau est multiprovenance.

7 – Propositions des chercheurs

- *Vergers de 2ème génération des vergers US*

L'évaluation de la croissance et de la résistance au froid à partir des tests de provenances et descendance installés par l'AFOCEL dans le Sud-Ouest de la France permettra l'identification des zones de récolte favorables et le choix des vergers à graines US utilisables pour la production d'une variété commerciale adaptée au Sud-Ouest de la France.

- *Vergers en France*

Prévoir l'installation d'un deuxième verger à graines dans les années 2000-2005 ?

8 – Propositions du comité

Test pour la résistance au froid du MFR issu des vergers US de 2^{ème} génération.

VARIETES DU FUTUR

SAPIN DE BORNMULLER

Rédacteurs principaux: Patrick Pastuszka, INRA Pierroton, Bruno Fady, INRA Avignon
Partenaires : Cemagref (gestion des vergers à graines du Lot)

1 – Variétés existantes

Deux placeaux conservatoires d'une provenance unique (Turquie) installés à la fin des années 60, l'un en forêt domaniale du Plachet (Haute Marne) et l'autre à Cayrols dans le Cantal (propriété JF Lacaze).

Les deux sources de graines sont suffisantes pour les besoins français pour plus de 30 ans.

Le premier placeau est récolté

Le deuxième placeau est régulièrement récolté par la Joux et/ou Vilmorin pour servir de source de graines française.

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

Description de la variabilité génétique basée sur des tests de provenance en Turquie. But : définition scientifique des régions de provenance et des peuplements classés. Actuellement, 8 peuplements classés et 1 verger à graines existent en Turquie (FAO 1997, Directory of seed sources of the Mediterranean conifers).

3 - Variétés du futur

- 1 VGC dans le Lot. Entrée en production 2005. Les clones de ce verger sont issus de sélection massale dans 6 provenances représentées dans 4 tests de provenance / descendance et dans les 2 placeaux conservatoires.

4 – Verrous

La connaissance de la plasticité de ce matériel est essentielle, notamment en région méditerranéenne où aucun des tests ayant servi à la sélection massale n'est présent. La multiplication végétative par bouturage n'est pas aisée, notamment pour les sujets âgés.

5 – Coût R & D

Option 1 ci-dessous : 50 KF (hors salaires permanents) en 2005.

Option 2 ci-dessous : 100 KF (hors salaires permanents) en 2005-2006.

Option 3 ci-dessous : 150 KF (hors salaires permanents) entre 2002-2006.

Le financement d'un programme spécifique à la production de sapin de Noël viendrait se rajouter à ces options.

6 – Propositions des chercheurs

1. Trois tests de provenance ont été installés en 1997-1998 en région méditerranéenne pour obtenir des informations sur le comportement de l'espèce, et plus particulièrement celui des provenances à l'origine des peuplements français Cayrols et Plachet, par rapport au sapin de Céphalonie et au cèdre de l'Atlas. Un bilan (adaptation, croissance, forme) devra être fait en 2005.
2. Evaluation (adaptation, croissance, forme) sur test de descendance (au moins 2 sites) du matériel issu de pollinisation libre dans les VGC du Lot. Installation des tests après 2005.
3. Possibilité d'utiliser la vigueur hybride mise en évidence dans le test de descendance de la Forêt Domaniale du Bois Génard (Haute marne) pour installer 1 ou 2 vergers à graines d'hybrides entre *A. bornmuelleriana* et *A. cephalonica*. Sélection massale à réaliser sur *A. cephalonica*. Mise en œuvre possible dès 2002.
4. Dans toutes les évaluations ci-dessus, prendre en compte le caractère de forme pour la production de sapins de Noël. Une sélection pour ce caractère peut être faite dans les tests de provenance existants.

7 – Propositions du comité

Inutile de diversifier pour cette essence mineure

VARIETES DU FUTUR

SAPIN DE CEPHALONIE

Rédacteur principal : Bruno Fady, INRA, Avignon
Partenaires : ONF (entretien du VG du Vaucluse)

1 – Variétés existantes

Néant

Les graines récoltées en France proviennent d'arboretum : Amance, Gard (peut-être la Chartreuse de Valbonne), avec des risques certains d'hybridation interspécifique.

2 – Programme d'amélioration des pays voisins

Description de la variabilité génétique basée sur des tests de provenance en Grèce. But : définition scientifique des régions de provenance et des peuplements classés. Actuellement, 13 peuplements classés existent en Grèce (FAO 1997, Directory of seed sources of the Mediterranean conifers).

3 –Débouché à l'exportation de MFR français

Néant

4 - Variétés du futur

1 VGS dans le Vaucluse : entrée en production 2010. Sur une surface totale de 4 ha, le verger à graines devrait largement couvrir les besoins en graines pour cette espèce.

5 - Preuve de plasticité du MFR

Les provenances du Péloponnèse arrivent en tête de classement pour la croissance en hauteur sur les 5 tests installés et encore actifs en France. Croissance adulte comparable au cèdre dans les étages méso-méditerranéen supérieur et supra-méditerranéen. Aucune limitation liée au substrat (calcaire ou siliceux). Date de débourrement moyenne par rapport à l'ensemble des provenances de l'espèce.

6 – Verrous

Eclaircie génétique sur la base du test lui même et de tests homologues.

7 – Coût R & D

50 KF en 2008-2009 pour les mesures et analyses (hors salaires permanents).
15 KF en 2010 pour l'éclaircie (hors salaires permanents).

8 – Propositions des chercheurs

Faire une série d'observations et d'analyses (croissance, débourrement, forme, état sanitaire) en 2008-2009 pour procéder à l'éclaircie génétique en 2010.

9 – Propositions du comité

Eclaircie génétique à Saint Lambert sur la base des tests de descendances homologues.

VARIETES DU FUTUR

SAPIN PECTINE

Rédacteurs principaux: Patrick Pastuszka, INRA Pierroton, Bruno Fady, INRA Avignon

1 – Variétés existantes

- Régénération artificielle :
 - 21 Régions de Provenance : 125 peuplements sélectionnés (étiquettes vertes) sur 9.978 ha.
 - 9 peuplements contrôlés (étiquettes bleues) pour la tardiveté de débourrement et la croissance : 323 ha.
- Régénération naturelle : recherche sur l'hérédité des caractères en forêt (amélioration douce)

2 - Variétés du futur

- **Valorisation de l'existant.**
 - Etude des transferts possibles entre Régions de Provenance par les tests de provenances INRA-ONF et la connaissance de la répartition spatiale de la diversité génétique adaptative.
- **Transition vers une variété du futur.**
 - Renouveau permanent des peuplements sélectionnés,
 - Révision périodique des peuplements contrôlés.
- **Variété du futur.**
 - Peuplements sélectionnés et contrôlés
 - Amélioration graduelle des peuplements par la connaissance du niveau de contrôle génétique des caractères.
 - Possibilité de créer une variété synthétique hyper tardive (caractère à fort contrôle génétique) par sélection massale d'individus hyper tardifs dans les peuplements tardifs.

3 – Verrous

- Observations périodiques dans les tests de provenances et descendances
- Connaissance de la variabilité neutre (marqueurs neutres) pour une délimitation plus appropriée des régions de provenances.

4 – Propositions des chercheurs

- Chaque tranche d'essais comparatifs de provenances et de descendances devra être mesurée tous les 5 ans jusqu'à 20 ans, puis d'une manière plus espacée ensuite.
- Des éclaircies devront être réalisées sans causer de préjudice à la diversité génétique représentée dans les dispositifs et sans compromettre l'avenir des individus : équilibre entre éclaircie sylvicole et génétique.

L'ONF, demandeur et principal bénéficiaire des connaissances acquises dans ces essais, et l'INRA doivent s'accorder pour le financement de ces opérations qui ne peuvent être couvertes par la dotation reproductible de l'INRA.

5 – Propositions du comité

Observations périodiques dans les tests de provenance.

VARIETES DU FUTUR

TULIPIER

Rédacteur principal : Jean Brach, INRA, Pierroton

1. Variétés existantes :

◆ Vergers à graines :

	VG1	VG2
Nom	Mixe	Sauveterre/Béarn
Nature (familles, clones, polycross, autres)	familles	familles
Date d'entrée en production commerciale	1998	2000
Catégorie réglementaire (blanc, vert, bleu)		
Quantité produite en conditions optimales	peu	peu
Année probable de fin de production	2020	2020

◆ Variétés polyclonales :

Nombre de variétés	1
Date de mise sur le marché	1998 (Guémené-Penfao)

2. Information acquise ou recherches en place pour la création variétale :

	Engagé	A engager
◆ Connaissance de la diversité pour le choix des provenances	Oui	
◆ Connaissance des paramètres génétiques :	-	-
◆ pour la gestion des peuplements porte-graines	Oui	
◆ pour la poursuite de l'amélioration : sélection composants futures variétés	Oui	
◆ pour la production des semences en verger	oui	
◆ pour la production des clones de variétés multiclones	oui	
◆ Installation de tests d'évaluation des variétés	Oui	
◆ Induction de la floraison	Non	
◆ Développement de nouveaux vergers :	-	-
◆ sous serre	Non	Non
◆ intensifs	Non	Oui (2005)
◆ hybrides	Non	Oui
◆ Propagation clonale	oui	
◆ Propagation « bulk » :	Non	Non
◆ Vitro méthodes	-	-
◆ micropropagation	Non	Non
◆ embryo-somatique	Non	Non

	Engagé	A engager
3. Démonstration et promotion des variétés	Non	Oui

Annexe 3

La politique forestière en Europe

La POLITIQUE FORESTIERE en EUROPE

Rapport de Mr LENOIR

ESPAGNE

Le constat d'échec du programme de reboisement développé dans le cadre de la PAC entre 1993 et 1997 a débouché sur des lois d'orientation forestière au niveau des autonomies encadrées par un décret royal du 24 juin 1998.

L'idée directrice de ces lois est qu'il est illusoire de vouloir créer une forêt de production sur l'ensemble du territoire alors que 70 % du pays n'a même pas une couverture végétale minimale.

A partir de 2001 et jusqu'en 2004 (au lieu de 2006 prévu initialement), il est prévu un nouveau programme avec l'aide de l'Union Européenne. Compte-tenu de l'expérience passée et surtout de l'analyse de l'échec, l'Etat espagnol souhaite que la notion de boisement soit liée à la protection des sols plutôt qu'à celle de production de bois. La notion d'adaptation pédoclimatique sera privilégiée en utilisant des espèces autochtones et surtout des provenances locales (source identifiée – étiquette jaune).

Les seules autonomies pouvant être concernées par l'amélioration génétique sont situées dans le Nord-Ouest - Pays Basque, Galice, Cantabrie – mais, sont surtout intéressées par *Pinus radiata*, *Eucalyptus*, *Pinus pinaster*.

Peut-être quelques possibilités de vendre :

- ❖ du Douglas (bien qu'un programme d'amélioration soit en cours au centre de recherche forestière de Lourizan Pontevedra),
- ❖ du Laricio de Corse,
- ❖ du Mélèze hybride.

ITALIE

Comme en Espagne, mais plus récemment, la gestion de la politique forestière a été déléguée aux régions.

Pour l'instant, aucune structure régionale n'a vraiment pris le relais et la politique de reboisement est fonction de la culture forestière de la région, de l'intérêt des gens en place et des subventions de l'Union Européenne.

Actuellement, seules les régions du Nord maintiennent une forêt de production digne de ce nom.

Le Piémont et la Vénétie peuvent être intéressés par du matériel français, résineux et feuillus en petites quantités. La Lombardie a des projets de boisements, mais presque exclusivement en Noyers et en Merisier. Il existe d'ailleurs un programme d'amélioration pour cette dernière espèce. Pour les autres régions, comme en Espagne, il s'agit de boisements et reboisements utilisant des espèces autochtones de provenance locale, même pour des arbustes – *Corylus*, *Cornus*, *Cistus*, *Pistacia* ... - en faisant appel à la source identifiée.

GRANDE BRETAGNE

Les boisements en résineux, principalement Sitka, en Ecosse ont été divisés par 10 dans les dernières années à cause du changement de régime fiscal.

Dans les autres pays, la demande en résineux a beaucoup baissé comme partout en Europe. Les Anglais sont intéressés par de petites quantités de Pin laricio de Corse de verger à graines, mais seulement quand ils n'ont pas de récolte sur leurs propres vergers à graines, et plus pour la très haute faculté germinative que pour l'amélioration génétique.

Si nous pouvons faire la preuve de la qualité génétique de nos vergers – mais, dans combien de temps ? -, ils peuvent être intéressés par Douglas, Mélèze hybride, peut-être *Epicea*.

Pour les feuillus, il s'agit plus d'améliorer l'environnement (*amenity*) que de faire de la production de bois et ils utilisent des récoltes locales sur peuplements classés ou en dérogation nationale ou d'importation.

IRLANDE

Depuis une dizaine d'années, un très important programme de boisement a été développé avec le soutien de l'Union Européenne.

Il est utilisé du Douglas, de l'Epicea, des Pins, du Mélèze hybride et des feuillus (Chêne, Hêtre, Merisier, Frêne etc...).

Comme déjà souligné, il faut faire la preuve de l'intérêt et de la qualité de notre matériel amélioré ce qui demande beaucoup de temps.

Par ailleurs, de plus en plus le prix est un élément déterminant pour les achats de semences.

BELGIQUE

Petit marché intérieur. Les Belges peuvent être intéressés par Douglas, Merisier, Mélèze hybride, en quantités limitées et en tenant compte des programmes de recherche en cours, même s'ils ont été perturbés par la séparation de tous les organismes forestiers en deux pôles : wallon et flamand.

ALLEMAGNE

La politique forestière est très contrastée selon les Lands.

Cela va de la Bavière, où n'est autorisée que la régénération naturelle ou le boisement en espèces autochtones, aux Lands de l'ancienne RDA, où pendant longtemps on a replanté à tour de bras et où on se limite de plus en plus aux feuillus autochtones.

Sur l'ensemble du pays, il doit être possible de vendre en quantités réduites du Douglas, Mélèze hybride, quelques Pins et peut-être du Merisier.

PAYS BAS

Tous les programmes d'amélioration génétique sur les résineux ont été abandonnés, les quelques vergers à graines existants ont été remis aux privés qui n'ont pratiquement pas de débouchés pour les semences.

DANEMARK

Relativement peu d'éléments sur ce pays que je n'ai pas visité depuis longtemps, mais qui est au programme d'un prochain voyage.

C'est certainement le pays qui a le plus travaillé sur la sélection de différentes espèces utilisables pour les Sapins de Noël.

PORTUGAL

Peu d'éléments pour l'instant, un voyage est prévu en 2001.

Il semble que le gouvernement veuille, avec le soutien de l'Union Européenne, dynamiser le reboisement avec deux axes principaux : le Pin maritime, les Eucalyptus, et quelques feuillus autochtones.

AUTRICHE

Pays à tradition forestière forte et ancienne ayant toujours utilisé ses propres sources de semences.

Se tourne, comme son voisin allemand, de plus en plus vers la régénération naturelle.



Comme vous pouvez le constater, l'amélioration génétique surtout des résineux n'a, pour l'instant, pas le vent en poupe.

En revanche, il me semble très important que les améliorateurs informent et fournissent du matériel dès que possible à leurs collègues étrangers afin qu'il soit testé et donc connu rapidement.



SAPINS de NOEL

Pour des raisons internes, nous avons pris du retard dans la réflexion sur la sélection de différentes espèces, mais nous restons persuadés que c'est un axe de recherche intéressant.

Annexe 4

Les biotechnologies chez les arbres forestiers

Annexe 4

LES BIOTECHNOLOGIES CHEZ LES ARBRES FORESTIERS

par

Gilles Pilate (1), Christophe Plomion (2), Jean-Charles Leplé (1), Marc Pâques (3)

(1) INRA, Orléans, (2) INRA Bordeaux Pierroton, (3) AFOCEL Nangis

Quels que soient ses objectifs, l'amélioration génétique des arbres forestiers est confrontée à quatre contraintes majeures :

- les principaux caractères cibles de la sélection (vitesse de croissance, qualité du bois, rectitude du tronc, résistance aux stress biotiques et abiotiques) ne peuvent être évalués que tardivement : généralement après 10 ans,
- la longueur des générations liée à la floraison tardive des espèces forestières contraint le sélectionneur à attendre l'âge de la maturité sexuelle pour recombinaison des meilleurs génotypes par croisement contrôlé,
- les caractères cibles sont souvent complexes, polygéniques, et faiblement héréditaires, car soumis à de forts effets du milieu environnant,
- la relation souvent inverse existant entre la maturation des arbres et leur aptitude à la propagation végétative limite la diffusion rapide de nouvelles variétés.

Si les améliorateurs sont en mesure d'offrir aux professionnels, avec les techniques classiques de sélection, des gains génétiques positifs au fil des générations, ils cherchent de nouvelles méthodes pour accélérer à la fois l'amélioration des espèces mais aussi la diffusion rapide de nouvelles variétés par voies végétative et sexuée. Les biotechnologies, définies comme l'ensemble des techniques d'intervention sur le vivant, semblent offrir les outils incontournables pour déboucher plus rapidement sur les variétés performantes indispensables au maintien de la compétitivité de la filière bois française. Les principaux axes de recherches développés en France et à l'étranger sont :

- la sélection assistée par marqueurs (SAM), qui vise à identifier les gènes et les protéines d'intérêt afin de les utiliser comme marqueur précoce de sélection.
- la transformation génétique, qui permet d'obtenir rapidement l'amélioration dirigée de génotypes sélectionnés répondant mieux aux attentes des utilisateurs.
- la multiplication végétative *in vitro* par embryogenèse somatique ou microbouturage qui garantira la diffusion plus rapide de nouvelles variétés.

1. Sélection assistée par marqueurs chez les arbres forestiers

1.1. Variation biologique des caractères

Un échantillon d'individus appartenant à une même espèce (troupeau de bovins, champ de fleur, verger d'arbres fruitiers, etc.), présentent des caractères qualitatifs très visibles. Il s'agira, de la couleur du pelage pour les bovins, de la couleur du fruit ou des pétales, de l'absence ou de la présence de poils sur les feuilles chez les plantes. La transmission héréditaire de tels caractères a été établie par le moine Autrichien Johann Mendel (1822-1884) à la fin du 19^{ème} siècle. D'autres différences sont plus discrètes, car elles sont de nature quantitative : c'est le cas du poids des graines, de la hauteur totale d'arbres mesurés à un âge donné. La majorité des caractères économiquement importants en sélection végétale sont des caractères quantitatifs qui présentent une distribution continue (encadré 1). Ce type de distribution exprime que le

phénotype est sous la dépendance d'un grand nombre de gènes et de facteurs environnementaux. La valeur phénotypique mesurable peut ainsi se décomposer en une valeur génotypique induite par les facteurs génétiques et une valeur environnementale induite par les facteurs du milieu. Chez les arbres forestiers, les caractères cibles de la sélection tels que le volume du fût ou la densité du bois sont fortement à moyennement influencés par le milieu : on dit aussi qu'ils sont peu héréditaires. La modélisation mathématique de la transmission héréditaire de ces caractères quantitatifs s'est développée à travers la théorie de la génétique quantitative. Les modèles développés dans le cadre de cette discipline possèdent un pouvoir prédictif remarquable dont l'efficacité a été vérifiée à partir de résultats expérimentaux et dont témoignent les succès en sélection végétale (y compris chez les arbres forestiers) et animale. Cependant, la génétique quantitative ne permet pas d'accéder à des informations importantes pour le sélectionneur telles que le nombre de gènes intervenant effectivement dans l'expression d'un caractère quantitatif, leur localisation sur les chromosomes, leurs contributions relatives et leurs modes d'actions. Si une telle information était connue, elle pourrait permettre théoriquement d'améliorer l'efficacité de la sélection.

1.2. Sélection indirecte

Chez les arbres forestiers, la sélection est toujours indirecte car elle s'effectue bien avant l'âge de la récolte à la coupe rase. L'efficacité, E , de cette sélection précoce, est proportionnelle à l'hérédité du critère prédictif évaluée au stade juvénile, hJ , et à la corrélation génétique, rAJ , entre le caractère prédictif (ex : hauteur totale à 12 ans chez le pin maritime) et le caractère prédit mesuré au stade adulte (volume de bois à 50 ans chez le pin maritime), et inversement proportionnelle à l'hérédité du caractère prédit, hA . Dans le cas simple d'une sélection massale, E s'écrit : $E = hJ * rAJ / hA$. L'hérédité du caractère prédit étant fixée, l'augmentation de E passe par le choix d'un critère prédictif très héréditaire montrant une bonne corrélation génétique avec le caractère prédit. Cependant, la sélection indirecte sera d'autant moins efficace que hA sera plus élevée. On demandera aussi à un critère prédictif d'être fiable, de mise en œuvre rapide et bon marché, des milliers d'individus devant être mesurés chaque année. Les marqueurs moléculaires, 100% héréditaires, semblent a priori répondre à ces critères, si tant est qu'ils puissent être associés aux caractères cibles. La recherche de tels critères indirects de sélection et leur utilisation dans un programme d'amélioration rentrent dans le cadre de la sélection assistée par marqueurs.

1.3. Association d'un caractère qualitatif à une variation quantitative

En 1923, un chercheur américain, Karl Sax, proposa d'utiliser des marqueurs morphologiques ou caractères qualitatifs à hérédité monogénique (c'est-à-dire contrôlé par un seul gène), pour localiser sur les chromosomes les facteurs génétiques impliqués dans les variations quantitatives et également pour quantifier leurs effets. Dans une expérience célèbre menée sur le haricot (encadré 2), il trouva en effet une association entre la pigmentation des téguments de la graine (caractère qualitatif contrôlé génétiquement par un gène unique) et la taille du grain (caractère quantitatif contrôlé par de nombreux gènes), qu'il attribua à la liaison entre l'un des facteurs génétiques responsables de la taille du grain et le locus déterminant sa couleur. A partir des années 1980, le développement des techniques de biologie moléculaire a permis de mettre au point des marqueurs de l'ADN (encadré 1). Ces caractères qualitatifs ont été utilisés pour construire des cartes génétiques, et identifier (par des méthodes statistiques) les zones chromosomiques contenant les gènes contrôlant les caractères d'intérêt. Ces zones ont été appelées QTL pour Quantitative Trait Locus. L'étude de l'architecture génétique (nombre, position et mode d'action des "QTL") des caractères continus est alors devenue un important

axe de recherches en génétique, visant à mieux connaître le fonctionnement des génomes végétaux et animaux. Au niveau de l'application, les marqueurs génétiquement liés à de tels QTL permettent de sélectionner, parmi un grand nombre de plantes, les individus les plus performants. Ils peuvent ainsi être utilisés pour construire un génotype idéal par croisements successifs ou pour améliorer l'évaluation de la valeur des individus. Cependant, si une telle sélection assistée par marqueurs est déjà opérationnelle chez certains animaux d'élevage et plantes de grande culture, son application aux arbres reste problématique. En effet, ces organismes longévifs n'atteignent leur maturité sexuelle que tardivement, par exemple entre 5 et 20 ans chez la plupart des conifères utilisés en plantations industrielles. Construire par croisements un génotype idéal correspondant au caractère recherché devient donc extrêmement long et fastidieux. Par ailleurs, si chez les espèces pour lesquelles les programmes d'amélioration génétique ont été initiés à partir d'une base génétique relativement restreinte (c'est le cas des animaux d'élevage et les plantes de grande culture), des associations préférentielles entre marqueurs et gènes (QTL) sont toujours possibles, il n'en est rien chez les arbres. Chez ces espèces non domestiquées à pollinisation croisée, les recombinaisons entre locus ont progressivement rompu de telles associations, si bien qu'il est probablement impossible d'identifier une association préférentielle, sauf si le marqueur est égal au QTL. L'identification directe des gènes impliqués dans le contrôle des caractères d'intérêt, est donc une étape incontournable pour l'application de la sélection assistée par marqueurs chez les arbres forestiers. En outre elle permettra de caractériser biologiquement ces fameux QTL.

1.4. Identification des gènes d'intérêt

Plusieurs types de gènes candidats peuvent être proposés au titre de QTL. Tout d'abord, des candidats " fonctionnels " peuvent l'être a priori sur la base de connaissances moléculaires et physiologiques du caractère étudié. Il paraît par exemple pertinent de tester si les gènes de la voie de biosynthèse des lignines ont une influence sur la qualité chimique et rhéologique du bois ainsi que sur les propriétés papetières. C'est ce que sont en train de tester plusieurs laboratoires dans le monde dont des laboratoires français chez le pin maritime (*Pinus pinaster*) et l'eucalyptus (*Eucalyptus grandis* et *E. urophylla*) dans un projet de recherche financé par le MENRT (http://www.pierroton.inra.fr/MENRT_Lignine) et sur le peuplier (*Populus tremula* X *P. alba*) dans un projet Européen qui vient de se terminer (<http://www.nf-2000.org/secure/Fair/S343.htm>).

Sur la base d'études physio-moléculaires où l'on compare l'expression des ARN messagers (ARNm) ou des protéines en réponse à des traitements particuliers, un stress hydrique par exemple, ou lors des différentes étapes de développement, on peut aussi avancer d'autres gènes candidats, qualifiés cette fois d'"expressionnels". Ici, la caractérisation de l'état fonctionnel des cellules via l'étude du "protéome" (ensemble des protéines synthétisées dans des conditions données, révélées par électrophorèse bidimensionnelle, puis identifiées par microséquençage ou spectrométrie de masse), est particulièrement pertinente. En effet, s'intéressant directement aux acteurs des fonctions cellulaires que sont les protéines, cette méthode permet de s'affranchir du biais éventuel d'une relative déconnexion entre les quantités d'ARNm mesurées et les quantités des protéines correspondantes et donne accès aux modifications post-traductionnelles des protéines.

Enfin des gènes candidats " positionnels " (gènes porteurs d'une mutation, marqueurs géniques de fonction connue ou non) peuvent être proposés si leur position chromosomique semble correspondre, sur la carte génétique, à celle de QTL. Une telle coïncidence peut cependant résulter du simple fait du hasard. En effet, l'" intervalle de confiance " d'un QTL, c'est-à-dire le

segment chromosomique qui peut l'inclure, peut atteindre plusieurs centimorgans, une distance qui correspond à plusieurs centaines de gènes ! Cette approche nécessite donc des étapes ultérieures de validation. Par exemple, une étude des relations existant entre le niveau d'expression de ce gène et la variabilité du caractère cible est informative. Mais, la confirmation de la correspondance entre un gène candidat et un QTL passera par l'utilisation de la transformation génétique, qui est actuellement le seul outil à notre disposition pour explorer de manière directe la fonction *in planta* d'un gène donné.

A l'INRA, la SAM est essentiellement développée et sera vraisemblablement soutenue sur deux espèces pilotes: le peuplier et le pin maritime. Les approches méthodologiques sont semblables pour ces deux modèles : réalisation de cartes génétiques " fonctionnelles " (basées sur des gènes de fonction connues), détection de QTL pour des caractères cibles de la sélection (croissance, résistance aux rouilles, qualité du bois chez le peuplier ; croissance, résistance à un déficit d'alimentation en eau, qualité du bois chez le pin maritime). La recherche de gènes impliqués dans le contrôle génétique des caractères quantitatifs s'appuie sur des technologies lourdes qui nécessitent de dresser un catalogue de tous les gènes et protéines d'un organisme, puis de comprendre leur régulation, leurs fonctions et leurs interactions notamment par des analyses d'expression des ARNm et des protéines. Pour affronter ce déluge d'informations il nous faudra accroître notre potentiel en bioinformatique et acquérir des équipements lourds (puces à ADN). L'approche protéomique, lourde à mettre en œuvre mais ô combien pertinente, continuera à être développée. Face à cet excitant changement d'échelle, il nous faudra toujours nous appuyer sur des compétences externes en physiologie, afin de mieux comprendre la fonction des gènes et leurs rôles au niveau de la plante entière.

1.5. Conclusion

La sélection assistée par marqueurs ne supprimera en rien la nécessité de conduire des programmes d'amélioration traditionnels. En effet, c'est en combinaison avec l'analyse quantitative de dispositifs bien établis, que l'utilisation des gènes d'intérêt comme marqueurs moléculaires devrait permettre la sélection précoce des arbres élites qui constitueront, d'une part, les géniteurs des futures populations d'amélioration, et, d'autre part, les variétés aux performances accrues dont le déploiement rapide sera rendu possible grâce aux techniques de micropropagation les plus pointues (cf § 3). En outre, les marqueurs moléculaires constituent également un excellent outil pour la gestion des ressources génétiques, car ils permettent de décrire l'organisation de la diversité indépendamment des influences du milieu. Enfin, les variétés sélectionnées en utilisant l'information des gènes tiendront compte des critères de gestion durable prônés par le FSC (Forest Stewardship Council) et le PEFC (Pan European Forest Certification).

2 - Transformation génétique et arbres génétiquement modifiés

La transformation génétique ou transgénèse est le nom générique donné aux différentes techniques de génie génétique qui permettent d'obtenir, par transfert asexué de gènes, des organismes génétiquement modifiés, les fameux OGM. Par analogie, le nom d'AGM a été proposé récemment pour Arbre Génétiquement Modifié.

Ainsi, un OGM est un organisme vivant dont l'expression du patrimoine génétique a été modifiée ou dont le génome a été enrichi d'un ou plusieurs gènes. Toutes les cellules, y compris les cellules reproductrices, portent cette transformation, qui sera de ce fait transmise à la descendance. (cf. rapport d'information 440 (97-98) de la Commission des Affaires

Economiques : “Transgéniques : pour des choix responsables” (Jean Bizet, Sénat) : <http://www.senat.fr/rap/r97-440/r97-440.html> ; cf. également le dossier OGM à l’INRA (Environnement, Agriculture et Alimentation) :

<http://www.inra.fr/Internet/Directions/DIC/ACTUALITES/DOSSIERS/OGM/OGM.htm>).

La transformation génétique des arbres forestiers n'a été possible que récemment : le premier arbre transgénique, un peuplier, a été obtenu en 1987. Chez les feuillus forestiers, les techniques de transformation génétique ne sont efficaces que chez un petit nombre d'espèces, principalement le tremble, le peuplier, le noyer, le liquidambar, l'eucalyptus, le châtaignier. Chez ces espèces, les recherches ont été presque exclusivement limitées à la démonstration des potentialités de la transgénèse sur un petit nombre de génotypes faciles à transformer. Selon la bibliographie, seuls quelques gènes gouvernants des caractères simples, d'intérêts agronomiques (résistance à un herbicide, tolérance aux insectes) ou technologiques (visant à modifier par exemple la qualité du bois), ont été introduits et des arbres transgéniques sont actuellement en cours d'évaluation au champ. Si les premiers essais au champ d'arbres transgéniques enregistrés en Europe remontent pour les feuillus à 1988, il faut attendre 1997 avant de trouver la mention de tels essais pour les conifères dans les rapports de l'OCDE. Il semble que la technique en soit encore à une phase d'optimisation et que seuls des gènes marqueurs soient utilisés. Là aussi, seul un très petit nombre d'espèces est concerné notamment les pins, les mélèzes et les épicéas.

Cependant, pour des raisons liées à la propriété industrielle, tout n'est pas publié sur le sujet, surtout en ce qui concerne les espèces d'arbres présentant un intérêt économique : ainsi, des eucalyptus transgéniques modifiés pour des caractères agronomiques sont en cours d'évaluation au champ, alors que même le succès de l'obtention d'eucalyptus transgéniques n'a été publié que sous forme de brevets.

Si, aujourd'hui, la transformation génétique s'avère être un outil de recherche puissant pour cerner la fonction de gènes particuliers, son utilisation est également très sérieusement envisagée pour la production de variétés améliorées destinées à des plantations spécialisées. A titre d'exemple, citons l'activité intense dans ce domaine de International Paper sur le pin taeda et de Fletcher Challenge sur l'eucalyptus. L'annonce par International Paper de la création d'un consortium essentiellement focalisé sur la production d'arbres forestiers transgéniques illustre les espoirs basés sur cette technologie pour la création de variétés nouvelles en complément aux programmes d'amélioration classiques.

Les différentes étapes menant à la production d'un AGM se décomposent comme suit :

- l'identification du gène d'intérêt capable d'améliorer un caractère intéressant ou de conférer une ou des propriétés nouvelles.
- l'isolement du gène.
- la réalisation d'une construction génique comportant le gène d'intérêt et les séquences de régulation nécessaires à son expression dans l'organisme receveur. Un gène de « sélection » est également présent sur cette construction (résistance à un antibiotique, à un herbicide...).
- l'introduction de cette construction dans le génome de la cellule, par un vecteur biologique (une agrobactérie) ou par un procédé mécanique (tel que la projection de particules portant la construction génique).
- la sélection par antibiotique ou herbicide des cellules végétales transformées.

- la régénération d'un arbre entier à partir de ces cellules sélectionnées, par des techniques de culture *in vitro*.(cf. § 3).
- la sélection des plantules (on parle également de transclones ou de lignées transgéniques) sur la base du niveau d'expression du gène d'intérêt introduit.

L'évaluation finale des performances de ces AGM sera généralement réalisée sur des arbres adultes, notamment lorsque l'effet de la transformation porte sur la modification de caractères ne s'exprimant que très tardivement (ex : stérilité). Les arbres étant des espèces pérennes, il est également important de vérifier la stabilité d'expression des transgènes dans des dispositifs au champ.

La plupart des recherches sur les AGM se sont concentrées jusqu'à aujourd'hui sur les premières étapes du processus, notamment sur les techniques de transfert de gènes et sur l'identification de gènes contrôlant des caractères d'intérêts tels que la qualité du bois. Beaucoup de recherches restent à faire sur la régénération de plantules à partir des tissus transformés, qui est souvent dépendante du génotype. Dès lors, peu d'études ont été réalisées sur l'étude du comportement au champ des AGM et l'impact éventuel de ceux ci en plantations spécialisées. Un nombre croissant de ces essais au champ d'AGM est cependant mis en place chaque année. D'après une étude menée par le WWF (Asante Owusu, 1999), il en existerait 116 dans 27 pays concernant 24 espèces d'arbres. En France, l'ensemble des 7 essais au champ de petite taille a été installé par l'INRA ou l'AFOCEL après obtention des autorisations de la Commission du Génie Biomoléculaire,.

2.1. Potentialités et limites de l'utilisation de la transgénèse chez les arbres forestiers

La transformation génétique offre sans conteste de nouvelles possibilités à l'améliorateur. Mais, les études sur ces différentes possibilités n'en sont encore qu'à un stade exploratoire et des obstacles techniques restent à surmonter avant de pouvoir utiliser de façon raisonnée les AGM dans des cultures spécialisées.

L'avantage majeur de la transgénèse est qu'elle permet d'introduire rapidement dans une variété améliorée, un nouveau caractère peu héritable ou non existant c'est à dire peu ou pas transmissible par reproduction sexuée. Ainsi, la transgénèse permet le franchissement de la barrière d'espèce. Un cas typique concerne des gènes de la bactérie *Bacillus thuringiensis* capables de conférer une résistance vis à vis des insectes. Un autre exemple plus spécifique aux arbres serait d'introduire dans une espèce de gymnosperme certains gènes d'angiospermes contrôlant certaines propriétés du bois. Les conifères transgéniques pourraient alors présenter un bois dont les propriétés seraient proches de celles des feuillus. La transgénèse permet également la modification de l'expression de gènes existants. L'introduction de copies surnuméraires d'un gène existant naturellement dans l'espèce, pourra conduire à l'expression de phénotypes très marqués. Cette stratégie de transformation est applicable à un large éventail de gènes cibles, dès lors que les gènes d'intérêt auront été identifiés. Aujourd'hui, ce sont surtout les gènes codant pour des enzymes du métabolisme des lignines qui ont été la cible de ce type d'expérimentation chez des espèces forestières d'intérêt.

Si elle présente des atouts incontestables, l'utilisation de la transgénèse recèle également des contraintes.

Actuellement, la transgénèse n'est développée que sur un très petit nombre d'espèces et de génotypes à l'intérieur de ces espèces pour lesquelles la régénération de plantules à partir de

tissus transformés est possible. La mise au point de méthodes plus efficaces de régénération de plantes à partir des tissus transformés et de l'amplification de celles-ci est indispensable pour l'intégration réaliste de la transgénèse dans les programmes d'amélioration. Les perspectives dans ce domaine sont cependant encourageantes au vu des progrès récents dans la maîtrise de la régénération et de la multiplication par embryogénèse somatique de plusieurs espèces de conifères (cf §III).

Un défaut inhérent à la transgénèse chez les plantes est que l'insertion du transgène n'est pas contrôlée : aussi, le site d'intégration du transgène peut éventuellement affecter une région du génome importante pour d'autres aspects du développement de l'arbre. Cela implique que pour chaque gène introduit plusieurs lignées transgéniques devront être soigneusement évaluées, afin de détecter et d'éliminer celles présentant des effets secondaires indésirables.

Jusqu'à maintenant, l'expression des transgènes introduits n'est généralement pas ciblée ; au contraire, afin d'obtenir un effet maximum, le transgène est exprimé dans toute les parties de l'arbre. Pour limiter d'éventuels effets secondaires non désirés, il conviendrait de développer des constructions géniques permettant un ciblage de l'expression du gène dans le temps et dans l'espace par exemple, au moment et au lieu de l'attaque du pathogène pour un gène de résistance. Pour cela, il sera nécessaire d'identifier des séquences régulatrices permettant le ciblage de cette expression.

L'utilisation de la transgénèse à des fins appliquées pose des problèmes d'acceptabilité par le public. Concernant les AGM, ces problèmes sont liés principalement au manque de données sur l'évaluation au champ de plantations d'AGM et des effets potentiels de ces cultures sur l'environnement. Il est en effet nécessaire de réaliser de telles études d'impact et, à l'issue de ces évaluations, de définir des réglementations adéquates. Cette démarche devrait être effectuée pour chaque catégorie d'AGM puisque selon le gène introduit et donc selon le caractère modifié, les impacts environnementaux pourront être différents.

Il semble également nécessaire d'améliorer la communication avec le public. Le déploiement potentiel de plantations d'arbres transgéniques ne manque pas de poser des problèmes spécifiques exposés par exemple dans un rapport récent du WWF (Fond mondial pour la nature), voire un rejet par des groupements anti-biotechnologie (cf destruction en Angleterre d'un dispositif de peupliers transgéniques au champ en juillet 1999). Dans un souci de communication, un document sur la position de chercheurs travaillant dans le domaine des biotechnologies forestières a été publié dans la revue *Nature Biotechnology* (Strauss et al., 1999 ; disponible sur internet à l'adresse suivante :

http://www.fsl.orst.edu/tgerc/iufro_posstatm.htm).

Il nous semble intéressant de rappeler ici les principaux points de ce document :

- les cultures d'AGM se limiteront à des plantations à courtes rotations à des fins de productions de bois, c'est à dire dans le cadre d'une sylviculture intensive avec ce que l'on pourra appeler des " champs d'arbres ".
- les plantations d'AGM permettront d'augmenter la production en bois (la qualité du bois comme le rendement), et de ce fait devraient contribuer à diminuer la pression d'exploitation sur les forêts naturelles.
- la discussion sociale sur les avantages et les inconvénients des AGM doit évoluer de considérations génériques sur les AGM vers des considérations plus spécifiques sur les

mérites de modifier un arbre pour un caractère donné dans un environnement donné avec une sylviculture donnée.

- si certains aspects de l'utilisation d'AGM causent des risques aux plantations ou aux écosystèmes, des solutions doivent être développées afin de réduire au maximum ces risques. Pour cela, il existe différentes voies de recherche :
 - utilisation de constructions différentes afin de conférer le caractère voulu sans effets indésirables sur le développement de l'arbre ou sur l'écosystème,
 - études sur des stratégies de gestion de résistance (pour les AGM résistants aux ravageurs), déploiement de méthodes de transformation plus efficace afin de ne pas réduire inconsidérément la diversité génétique par la capacité de produire un éventail large de génotypes transgéniques,
 - déploiement de méthodes efficaces pour modifier la floraison et ainsi permettre un contrôle fiable de la dissémination de transgène hors des plantations.

2.2. Projet d'utilisation de la transgénèse à des fins appliquées

Pour les grandes compagnies nord-américaines investissant dans les biotechnologies sur les arbres forestiers, un objectif prioritaire accessible par transgénèse est d'augmenter la productivité des plantations d'arbres à courtes rotations. Cet objectif peut être atteint soit directement, par modification d'un métabolisme important pour la croissance de l'arbre, soit indirectement en augmentant la tolérance aux insectes et aux pathogènes, ou en induisant la stérilité. Actuellement, la majorité des caractères qui ont été modifiés chez les arbres par transgénèse concerne la résistance aux herbicides, la résistance aux insectes, la stérilité et la modification des caractéristiques du bois. Par contre, la transgénèse n'a pas encore permis d'améliorer des caractères complexes tels que la vigueur ou l'adaptabilité qui restent des cibles privilégiées de l'amélioration classique.

Des gènes conférant une résistance aux herbicides ou une tolérance aux insectes sont déjà largement utilisés en Amérique du Nord dans les cultures commerciales de pomme de terre, de coton ou de soja. L'utilisation de ces gènes, qui ont potentiellement des effets importants sur l'environnement, est également envisagée dans les plantations d'arbres aux Etats-Unis. Cependant, l'expérience acquise avec les plantes transgéniques de grandes cultures n'est que partiellement transposable aux AGM du fait de la spécificité des arbres forestiers (espèces pérennes à vie longue, existence de populations naturelles importantes, etc...) et, avant qu'une utilisation commerciale d'AGM modifiés pour ces caractères puisse être raisonnablement envisagée, une évaluation des AGM correspondants doit être réalisée. C'est ce qui est en cours en Oregon, où des peupliers transgéniques résistants au Roundup (un herbicide) menés en taillis à courtes rotations sont évalués sur de grandes surfaces. En France, des taillis à courtes rotations de peupliers transgéniques résistants au Basta (un autre herbicide) sont évalués depuis plusieurs années par l'AFOCEL.

La tolérance aux insectes est un caractère difficile à évaluer dans les ressources génétiques tandis que les pertes de production résultant de l'attaque d'insectes peuvent s'avérer importantes. Jusqu'à présent les études sur la tolérance aux insectes d'arbres transgéniques se sont concentrées sur des insectes défoliateurs. Des arbres transgéniques transformés avec différents gènes de *Bacillus thuringiensis* codant pour des endotoxines efficaces contre des lépidoptères ou des coléoptères (encadré 3) sont actuellement évalués en champ aux Etats-Unis et en Chine, tandis que des études sont en cours en France et aux Etats-Unis sur le contournement d'une telle résistance monogénique par l'insecte cible. Cet aspect est

primordial quand on considère le différentiel très important existant entre les temps de génération des arbres et des insectes. Il est probable que comme pour les plantations de grandes cultures le déploiement de zones refuges pour les insectes sensibles soient à considérer. Enfin, des arbres transgéniques apparus comme très résistants aux attaques d'insectes défoliateurs pourront également se révéler plus tolérants vis à vis d'autres classes d'insectes tels que les xylophages.

De même, l'utilisation de la transgénèse est potentiellement applicable à la résistance aux pathogènes. Des études sont en cours sur le sujet aux Etats-Unis et en Belgique afin de transférer des gènes de résistance aux rouilles chez le peuplier. Il apparaît difficile de trouver une résistance durable aux rouilles chez cette espèce et le recours à une solution biotechnologique du problème pourrait être à envisager dans le futur. Enfin, il faut signaler des études, menées chez les arbres, concernant la tolérance au stress hydrique (en Israël) et au stress oxydatif (en Allemagne).

A coté des aspects de résistance aux stress biotiques et abiotiques, une seconde voie d'investigation intéressante pour augmenter la productivité des arbres forestiers est d'obtenir la stérilité. En effet, il est supposé que l'énergie investie dans la reproduction soit, chez un arbre stérile, déviée vers le développement végétatif entraînant un gain de croissance potentiel. De plus, nous l'avons vu, la production d'arbres incapables de produire des fleurs fonctionnelles permettra de prévenir les mouvements indésirables de transgènes des plantations vers les populations naturelles. Des gènes impliqués dans la transition de l'état végétatif à l'état floral ont été isolés par une équipe américaine, qui développe un programme visant à obtenir une stérilité totale chez le peuplier par transgénèse. Leur stratégie est d'introduire deux transgènes différents tous deux capables de conférer la stérilité mais par des voies différentes, afin d'éliminer un risque de rétablissement de fertilité par une extinction de l'expression d'un des transgènes. Des arbres transgéniques sont actuellement plantés au champ pour évaluation, mais n'ont-ils pas encore atteint le stade mature nécessaire à l'évaluation de l'efficacité de cette stratégie.

Une deuxième cible pour la transformation génétique est de modifier des caractères liés à la qualité du produit. Chez les arbres, l'amélioration de la qualité du bois par transgénèse n'en est encore qu'à ses débuts : du fait de la rareté des gènes disponibles, les études se sont concentrées principalement sur la modification du métabolisme des lignines, un des constituants majeurs du bois. L'objectif de cette démarche est de produire des arbres contenant moins de lignine ou une lignine modifiée plus facile à ôter durant le processus de fabrication de la pâte à papier, de façon à diminuer la pollution et les coûts de fabrication. Des trembles transgéniques présentant un contenu en lignine réduit de plus de 50% avec une augmentation conséquente du contenu en cellulose ont été obtenus à l'Université Technologique de Michigan et plusieurs milliers de ces arbres sont actuellement évalués en champ pour leurs performances sylvicoles. De même, le bois de peupliers transgéniques obtenus à l'INRA d'Orléans donne, par traitement Kraft, avec un rendement accru, une pâte à papier contenant beaucoup moins de lignine (encadré 3). De plus, les analyses papetières réalisées sur des peupliers transgéniques plantés au champ depuis 1995 confirment les résultats obtenus précédemment sur du matériel juvénile. D'une façon générale, l'ensemble des études menées sur l'altération du métabolisme des lignines par transformation génétique laisse penser que la synthèse de ce polymère est très plastique. De ce fait, cette approche présente de grandes potentialités pour adapter des propriétés technologiques du bois à des applications spécifiques de l'industrie. Il reste toutefois à évaluer l'impact que ces modifications pourraient avoir sur la résistance des arbres aux pathogènes.

Afin d'identifier de nouveaux gènes chez les arbres forestiers, des projets à grande échelle de génomique fonctionnelle se développent actuellement dans plusieurs pays, notamment sur le peuplier en Suède et sur le pin aux Etats-Unis. En France, les équipes travaillant dans le domaine de la biologie moléculaire chez les arbres (notamment à l'INRA) se regroupent en réseau afin de mettre en commun les efforts nécessaires au développement de cette nouvelle approche. Dans un avenir proche, un nombre élevé de données seront disponibles sur l'expression coordonnée d'un large éventail de gènes dans les différents tissus et organes de l'arbre. De nouveaux gènes seront utilisables pour modifier par transgénèse la qualité du bois chez les arbres et produire un bois mieux adapté, par ses propriétés et son uniformité, à des applications industrielles spécifiques. Déjà, des gènes de régulation spécifiquement exprimés dans le bois ont été identifiés par une équipe suédoise et des arbres transgéniques sont en cours de production.

Une intégration de la transformation génétique dans le programme d'amélioration génétique d'un arbre forestier nécessite certainement des modifications importantes de la stratégie d'amélioration, qui à notre connaissance ne sont encore que rarement envisagées. Quelques essais relativement infructueux ont été publiés sur la transformation génétique du pollen. Par contre, l'utilisation de la transformation génétique est clairement envisagée dans le programme néo-zélandais d'amélioration du pin radiata (encadré 4) : dans ce schéma, une partie de la population d'amélioration est cryoconservée sous forme de tissus embryogènes, pendant l'évaluation au champ de ce matériel et l'identification des variétés performantes par une sélection assistée par marqueurs (cf §I). Dans un second temps, les variétés performantes seront multipliées en masse à partir des stocks de matériel cryoconservés pour déploiement en culture à grande échelle. La transformation génétique est optimisée sur le matériel embryogène, et il est envisagé d'utiliser la transgénèse à partir des stocks cryoconservés correspondant aux meilleurs génotypes avant le stade de multiplication en masse (cf §III). Actuellement, l'utilisation de la transgénèse chez les arbres forestiers est envisagée pour quelques espèces, pour lesquelles :

- la transformation génétique est au point,
- la plantation d'un nombre relativement réduit de clones en champ est envisageable voire déjà effective,
- le contrôle de la dissémination de transgènes dans les populations naturelles est réaliste.

C'est le cas, pour des plantations de peupliers menées en taillis à courte rotation envisagées aux Etats-Unis pour lesquels les arbres sont récoltés avant floraison. C'est le cas également pour des espèces exotiques dans les lieux où elles sont plantées, telles que l'eucalyptus et le pin radiata. Pour ces espèces, il semble réaliste de pouvoir produire, tester, amplifier et déployer relativement rapidement un nombre important de clones transgéniques.

2.3. Conclusion

La transformation génétique apparaît comme une voie rapide pour conférer un caractère nouveau, complémentaire à l'amélioration génétique classique. Cette technique ouvre des voies de développement novatrices pour la création de variétés améliorées. Avec le développement récent de la génomique chez les arbres, il est probable que les applications de la transgénèse connaissent des développements importants dans un futur proche. Des limites existent encore actuellement pour la mise en œuvre de cette technique chez les arbres, mais elles semblent surmontables si des moyens adéquats sont déployés à cette fin. Des études

complémentaires sont nécessaires pour i) améliorer les techniques de transfert de gènes ii) mettre au point les techniques de régénération à partir des tissus transformés prélevés sur des individus sélectionnés, iii) étudier la stabilité de l'expression des transgènes chez les arbres et évaluer leurs performances dans un contexte sylvicole précis iv) évaluer l'incidence de plantations spécialisées à base d'AGM sur l'environnement. Actuellement, l'utilisation commerciale d'AGM (comme des autres plantes transgéniques) est sujet à controverse, mais l'acquisition d'un nombre croissant de données d'évaluation permettra, espérons-le, de faire la part des choses et de déterminer au cas par cas et de façon raisonnée les conditions où des AGM pourront être utilisés.

3- La multiplication végétative *in vitro*

De tout temps, la multiplication végétative a été utilisée pour accélérer les programmes d'amélioration mais aussi pour hâter les sorties variétales des ligneux fruitiers et forestiers. Ainsi, les arbres sélectionnés pour des propriétés qui ne sont détectables qu'à l'âge adulte peuvent être mobilisés par greffage. Il est dès lors possible d'installer rapidement des vergers permettant la production de fruits mais aussi l'obtention de nouvelles familles par croisements contrôlés. La multiplication végétative par bouturage et marcottage est également fréquemment utilisée pour l'évaluation multisites des familles obtenues. Cette évaluation est indispensable d'une part pour connaître la valeur des parents à partir desquels l'on pourra produire des variétés par voie sexuée mais aussi d'autre part, pour identifier les individus remarquables au sein de chaque famille et ainsi diffuser rapidement les variétés clonales du futur.

Actuellement, les ligneux fruitiers et ornementaux sont essentiellement propagés par voie végétative. Toutefois, la multiplication végétative des arbres forestiers reste relativement limitée. Elle concerne essentiellement le peuplier, l'eucalyptus, le merisier, l'épicéa et les pins. Pourtant, depuis les travaux de Beauschesne et Gautheret, il y a 50 ans environ, l'efficacité des techniques de régénération et de multiplication *in vitro* a fortement été améliorée. Ces techniques commencent à être utilisées industriellement en amélioration forestière et sont particulièrement efficaces en association aux méthodes de clonage horticoles. L'utilisation encore limitée de ces techniques est liée i) à la méconnaissance de celles-ci par les professionnels, ii) à son coût encore relativement élevé et aussi iii) à un succès dépendant fortement du génotype.

3.1. Techniques de multiplication *in vitro*

Le microbouturage et l'embryogenèse somatique sont les 2 principales techniques de clonage *in vitro* utilisées efficacement pour la propagation des ligneux.

➤ Le microbouturage

Cette technique consiste à produire, en conditions stériles, de nombreux bourgeons axillaires à partir d'un bourgeon ou plus précisément d'un méristème. Les bourgeons sont multipliés, allongés en tiges de quelques centimètres et enracinés en présence d'une auxine, puis utilisés soit en plantation directe, soit en pieds-mères. La micropropagation permet l'amplification du matériel sélectionné sur une petite surface indépendamment des saisons. Les vitro-boutures sont de qualité : elles sont exemptes de bactérie et de virus et présentent une vigueur juvénile souvent recherchée pour l'établissement de pieds-mères destinés au bouturage horticole. A titre

d'exemple, les performances de bouturage des pieds-mères d'eucalyptus établis à partir de vitro-plants sont augmentées de 40% par rapport à des pieds-mères classiques.

De nombreux ligneux forestiers feuillus sont aujourd'hui amplifiés par microbouturage. Toutefois, cette technique reste coûteuse car elle n'est pas ou peu mécanisable et nécessite l'intervention d'un personnel spécialisé. La valorisation de cette technique aux potentialités d'amplification énorme passe obligatoirement par son intégration au sein de structures industrielles associant à la fois laboratoire, pépinière de production, vente des plants ou utilisation directe de ceux-ci en plantation. La combinaison des techniques de micropropagation et de bouturage horticole constitue le meilleur moyen pour accélérer les sorties variétales à un coût acceptable.

La qualité des plants forestiers issus directement ou indirectement de la multiplication *in vitro* peut être appréciée au travers de multiples essais dont le recul est d'environ une dizaine d'années pour l'eucalyptus au Brésil, le peuplier, le merisier et le noyer en France, le bouleaux en Suède et les chênes en Norvège. Pour ce qui est du pin, les plus grandes plantations clonales à partir de vitro-plants de pin radiata ont été réalisées par Fletcher Challenge en Nouvelle Zélande depuis plus de 10 ans. L'ensemble de ces essais indique la bonne croissance des clones et une homogénéité intraclonale souvent remarquable.

La micropropagation relativement aisée à partir de feuillus juvéniles ou âgés est nettement plus difficile chez les conifères. L'embryogenèse somatique apparaît comme la technique de prédilection pour l'amplification des conifères.

➤ **Embryogenèse somatique**

Cette technique a été découverte par I. Hakmann dans les années 1985 pour l'épicéa. Elle permet d'obtenir un nombre illimité de copies d'embryons immatures pour de nombreuses espèces. Les clones d'embryons ainsi obtenus, sont génétiquement et morphologiquement conformes à l'embryon zygotique de départ et, après un stade de maturation, se développent en plantules équivalentes à des semis.

La multiplication de ces embryons est possible en bioréacteur autorisant la production de plusieurs milliers d'embryons par litre de milieu de culture à des coûts bien inférieurs à ceux de la micropropagation. En effet, les embryons produits en milieu liquide peuvent, en principe, être étalés simplement sur un support de germination sans être manipulés un à un comme c'est le cas pour le microbouturage. Les limites principales de cette technique sont les suivantes :

- ***le nombre de génotypes à partir desquels il est possible d'initier des embryons est limité.*** Il est de l'ordre de 20%. Cette valeur semble être indépendante des familles au sein d'une espèce mais davantage liée aux espèces elles-mêmes. Par ailleurs, il a été montré que la capacité à initier des embryons somatiques n'était pas liée à d'autres caractères génétiques connus.
- ***l'embryogenèse somatique n'est possible, à quelques exceptions près, qu'à partir d'embryons zygotiques immatures.*** Récemment, cependant, plusieurs auteurs ont présenté des résultats intéressants sur la possibilité de régénérer des embryons somatiques à partir de matériel âgés de quelques années chez l'épicéa (Pâques et al., 1998) et de 20 ans chez le pin radiata (Smith, 1999). Les plantes régénérées, en observation sur le terrain depuis deux ans, présentent une vigueur juvénile comparable à celle des semis. Bien sûr, les observations de ces plants sur le terrain devront être poursuivies pendant plusieurs années, afin de s'assurer de leur bon développement. Ces résultats indiquent la possibilité de

cloner des conifères âgés. Toutefois, des recherches complémentaires sont encore nécessaires pour généraliser cette possibilité à un grand nombre de génotypes et d'espèces.

- **la maîtrise de la maturation des embryons somatiques immatures en embryon cotylédonaire reste insuffisante.** Bien qu'il soit possible de produire des milliers d'embryons par litre de milieu de culture, parfois quelques dizaines seulement sont capables de se développer en plantes.

Ces résultats illustrent bien les potentialités de l'embryogénèse somatique, mais aussi la nécessité de recherches complémentaires tant sur le contrôle de l'initiation et de la maturation, que du suivi des embryons somatiques sur le terrain. Toutefois, cette technique associée à la cryoconservation est déjà, dans l'état actuel de l'art, largement utilisée par toutes les grandes compagnies forestières internationales comme outil intégré aux programmes d'amélioration génétique.

De nombreux tests d'évaluation d'embryons somatiques de conifères sont en cours en Europe, aux États-Unis et en Nouvelle Zélande. Bien que le recul n'excède pas 10 ans, il apparaît que le mode de développement des « plantes somatiques » est comparable à celui du semis. L'homogénéité intraclonale est grande même si quelques cas de variations somaclonales ont été décrits dans des situations de multiplication atypiques.

3.2. Comment et pourquoi utiliser les techniques de clonage *in vitro* ?

L'intérêt de la multiplication végétative *in vitro* est le clonage d'individus exceptionnels exprimant un ensemble de caractères peu héréditaires et donc peu représentés dans des familles issus de croisements contrôlés. **Les techniques de clonages *in vitro* associées à la congélation à - 196°C** sont utilisées pour la sélection de ces individus remarquables pour plusieurs caractères et leur diffusion dans le cadre de plantations spécialisées. Cette stratégie, mise en œuvre depuis plusieurs années par Weyerhaeuser, International Paper, Fletcher Challenge Forest et Westvaco, est illustrée dans l'encadré 5 (voie 1).

Les embryons zygotiques obtenus à partir de croisements contrôlés sont amplifiés, congelés dans l'azote liquide : les tissus produits *in vitro* peuvent être conservés en principe indéfiniment de cette manière, tout en maintenant leurs caractéristiques juvéniles. Un petit nombre de ces embryons seront régénérés pour tests au champ. Après plusieurs années d'évaluation sur le terrain, les embryons des meilleurs individus sélectionnés seront décongelés puis amplifiés, soit pour l'établissement de haies de bouturage horticole, soit encore pour une multiplication massive par embryogénèse somatique lorsque la technique aura été améliorée.

Dans un avenir plus lointain, les individus des familles issues de croisement contrôlé seront criblés à l'aide des marqueurs moléculaires discriminants pour des propriétés intéressantes industrielles. Dès lors, l'effort de cryoconservation pourrait être plus réduit et les individus intéressants pourront le cas échéant, être amplifiés directement.

Les retombées les plus intéressantes du clonage seront liées à la valorisation immédiate d'individus sélectionnés à l'âge adulte en test multisites. Pour certains feuillus tels que le peuplier ou l'eucalyptus, l'amplification clonale par micropropagation est possible. Pour les résineux âgés, l'initiation d'embryons somatiques à partir de matériel sélectionnés semble une réelle opportunité comme indiqué dans l'encadré 5 (voie 2).

Les grandes capacités de régénération des embryons somatiques produits *in vitro* en font **une cible idéale pour la transformation génétique** (voir § 2). Les individus sélectionnés pourront

dès lors être transformés génétiquement avec des gènes leur conférant des caractères particuliers en terme de production quantitative (la tolérance aux stress, aux pathogènes, rendement photosynthétique ...) mais aussi en terme de production qualitative (qualité du bois au sens large).

Notons que la cryoconservation associée à la multiplication *in vitro* offre aussi des perspectives intéressantes dans le cadre de la conservation d'arbres forestiers précieux menacés de disparition.

3.3. Conclusion

Les techniques de clonage offrent, dès aujourd'hui, la possibilité d'accélérer les programmes d'amélioration et les sorties variétales. Il apparaît urgent de les intégrer dans le cadre des programmes d'amélioration d'espèces à intérêt économique évident telle que le peuplier et le pin maritime.

Un effort particulier devrait être porté sur les perspectives de " rajeunissement " par embryogenèse somatique de conifères âgés sélectionnés pour des caractéristiques exceptionnelles. Les clones régénérés constitueraient rapidement un matériel de choix pour le reboisement raisonné en fonction des contraintes industrielles et environnementales.

Le développement des techniques de clonage *in vitro*, pratiquées selon les règles de l'art, ne trouvera sa justification que si le matériel végétal proposé rencontre l'intérêt de tous les acteurs de la filière bois, y compris les associations pour la protection de la nature. L'identification des clones remarquables passera par l'utilisation des marqueurs moléculaires et une valeur ajoutée supplémentaire sera possible grâce à la transformation génétique.

La maîtrise du clonage des feuillus et des conifères présente un intérêt majeur pour accroître la compétitivité des acteurs de la filière bois installés en France. Elle figure parmi les priorités de l'AFOCEL et concerne particulièrement le pin maritime, le peuplier et l'eucalyptus.

Les actions de recherche de l'AFOCEL en matière de biotechnologies concernent l'accélération des sorties variétales en tirant parti des techniques modernes de clonage qui restent bien sûr à améliorer. Ceci suppose une recherche constante de la qualité des plants produits tant au laboratoire que sur le terrain et ceci en étroite concertation avec les professionnels. Dans cet esprit l'AFOCEL met en œuvre les outils modernes de la biologie moléculaire garantissant la qualité du matériel proposé dans le respect des normes de diversités génétiques qui seront en vigueur.

Une attention particulière est portée au contrôle de la régénération de plantes à partir de tissus différents prélevés sur des clones de plus en plus âgés. La réactivité des tissus devra être mise en relation avec les mécanismes moléculaires et métaboliques régissant le vieillissement cellulaire (longueur des télomères, métabolisme azoté et carboné). Ces recherches plus fondamentales nécessitent un financement relativement important qui devrait être pris en charge par les pouvoirs publics et au moins en partie par l'industrie.

4. Conclusion générale

Au cours de ces 15 dernières années, les applications des biotechnologies aux arbres forestiers en étaient encore au stade des investigations au niveau du laboratoire. Ces investigations ont permis de :

- démontrer les grandes potentialités des approches biotechnologiques pour résoudre les problèmes spécifiques à l'amélioration génétique des arbres,
- lever les principaux obstacles qui s'opposaient à une extension de leur utilisation chez les arbres.

Pour les espèces à fort intérêt commercial et où l'effort de recherche sur les biotechnologies a été important, les techniques de multiplication végétative et de transformation génétique sont au point sur un nombre important de génotypes, des populations d'amélioration de qualité ont été créées, des cartes génétiques denses existent, des projets de génomiques sont lancés sur des arbres et des milliers de gènes sont en cours de caractérisation... Aujourd'hui, nous sommes probablement à un tournant qui va conduire, tout du moins pour un nombre réduit d'espèces (eucalyptus, pin taeda, pin radiata, peuplier,...), au déploiement dans un futur proche de variétés forestières améliorées qui auront été créées, identifiées et multipliées grâce à l'utilisation des biotechnologies. Pour mettre en œuvre cette stratégie, des regroupements et une mise en commun des moyens s'effectuent dans plusieurs pays (Etats-Unis, Australie, Nouvelle-Zélande,...): ainsi, récemment, des intérêts privés se sont regroupés en consortium et ont effectué des investissements très importants dans les biotechnologies forestières: Fletcher Challenge, International Paper, Monsanto Co, Westwaco Corporation et Genesis Research and Development Corporation se sont associés en 1999. Ce groupement d'intérêt prévoit un investissement de 60 millions de US\$ sur 5 ans, pour améliorer par transformation génétique la qualité des fibres pour la pâte à papier chez l'eucalyptus, le pin radiata, le peuplier, le pin loblolly et le liquidambar. Ce cas n'est pas unique : Monsanto et ForBio ont formé Monfori Nusantra tandis que Fundacion Chile (Chili), Interlink Associates (Etats-Unis) et Sylvagen (Canada) ont fondé GenForSA. Aux Etats-Unis , il existe également des coopératives réunissant des laboratoires universitaires, des compagnies de biotechnologies et des industriels impliqués dans la filière bois : par exemple, pour le peuplier, le "Tree Genetic Engineering Research Cooperative" (TGERC ; <http://www.fsl.orst.edu/tgerc/currproj.htm>) conduit des recherches sur l'utilisation de peupliers transgéniques en plantation afin de faciliter l'utilisation commerciale d'arbres transgéniques. Parallèlement, le "Poplar Molecular Genetics Cooperative" (PMGC ; <http://poplar2.cfr.washington.edu/pmgc/>) a pour but d'augmenter le savoir sur les mécanismes génétiques et moléculaires responsables des variations des caractères de productivité et de qualité chez les hybrides de peuplier et d'utiliser ce savoir pour accélérer les progrès dans l'amélioration du peuplier. Cette coopérative regroupe également des universités, des agences fédérales américaines et des industriels du bois. D'autres coopératives existent sur le même modèle pour les pins. De même, des structures similaires existent en Nouvelle Zélande et en Suède.

Bien sur, la situation en France est différente notamment du fait de l'organisation morcellée de la filière bois française. Cependant, il paraît possible et nécessaire d'établir en Europe, et particulièrement en France, un réseau structuré de recherches autour de la filière bois. Cela permettra à nos espèces forestières installées dans nos conditions européennes de bénéficier des progrès biotechnologiques indispensables pour que la filière bois reste compétitive.

La France est actuellement en bonne place dans le domaine des biotechnologies forestières pour quelques espèces de grande importance économique menées en sylviculture intensive à courte rotation (peuplier, eucalyptus et pin), que ce soit pour l'existence de cartes génétiques, de techniques de transformations génétiques ou de micropropagation végétative. Cependant, il est nécessaire d'intensifier les efforts sur différents aspects :

- les approches de génomique fonctionnelle pour identifier et caractériser de nouveaux gènes, utilisables comme candidats pour des QTL ou comme cible pour la transformation génétique,
- l'amélioration des techniques de transformation génétique afin de pouvoir les appliquer à un large éventail de génotype,
- le contrôle de la régénération et l'efficacité des techniques de clonage pour valoriser rapidement les variétés performantes de demain,
- l'évaluation des variétés forestières améliorées qu'elles soient ou non transgéniques.

Dans un contexte international de plus en plus compétitif, il semble indispensable que les pouvoirs publics participent de façon plus importante, tant en moyens humains que financiers, au développement des activités dans ce domaine, si l'on veut que, en France aussi, les biotechnologies contribuent aux sorties des variétés forestières améliorées du futur, pour produire un bois de qualité adapté au process, et, finalement, pour permettre à la filière bois de rester compétitive face aux productions des autres continents.

Mai 2000

Pour en savoir plus

Dossier Biofutur : "Les forêts ont-elles besoin des biotechnologies" issue 199 - Avril 2000 :

- Arbres transgéniques, quels risques?, par Jouanin L., 16-18
- Les AGM : un nouveau risque pour les forêts, par Bérenger E., 19-21
- La multiplication des pins, par Harvengt L., Pâques M. et Philipon P. 22-25
- La sélection assistée par marqueurs chez les arbres forestiers, par Plomion C., 26-27

Asante Owusu R., 1999. An overview of GM technology in the forest sector. A scoping study for WWF-UK (International Conservation Programme) & WWF International (Forest for Life Program). 34 pages disponible sur : www.panda.org/forests4life/

Cornu D., Leplé J.-C., Pilate G., 1998. Y aura t il bientôt des forêts transgéniques?. *In* Organismes génétiquement modifiés à l'INRA : Environnement, Agriculture et Alimentation. Ed C. Sabbagh et P. Tallon, INRA-DIC, 45-47

De Vienne D., 1998. Les marqueurs moléculaires en génétique et biotechnologies végétales. INRA éditions, 200 p.

Hakman et al., 1985. The development of somatic embryos in tissue cultures initiated from immature embryos of *Picea abies*, *Plant Sci.* 38, 53-59

Pâques M., Bercetche J., 1998. Procédé de rajeunissement des gymnospermes par embryogénèse somatique, PCT/FR98/03381

Pâques M., Bercetche J., 1995. Multiplication végétative : micropropagation -embryogénèse somatique ; P. Boxus ed., CNED-Aupelf-Uref, Rennes. 117-179.

Pilate G., 1999, Transformation des végétaux par *Agrobacterium tumefaciens* . *In* : Principes des techniques de biologie moléculaire, Tagu D. ed., INRA Editions, 77-80.

Plomion C., 1996. La sélection assistée par marqueurs chez les arbres forestiers. Informations à Forêt n83, fiche n8536

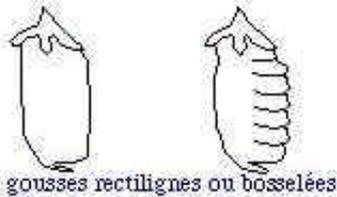
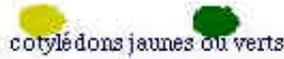
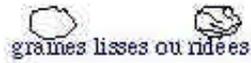
Plomion C., Durel C-E, Verhaegen D., 1996. Utilisation des marqueurs moléculaires dans les programmes d'amélioration génétique des arbres forestiers : exemple du pin maritime et de l'eucalyptus. *Annales des Sciences Forestières*, n8 53, 819-848

- Smith RD., 1999. Successful Rejuvenation of Radiata pine. 25th Southern forest tree improvement conference, IUFRO Working Party 2.02.20, New Orleans, Louisiana, USA, 21
- Strauss S. et al., 1999. Forest Biotechnology makes its position known, Nature Biotechnology, p1145.

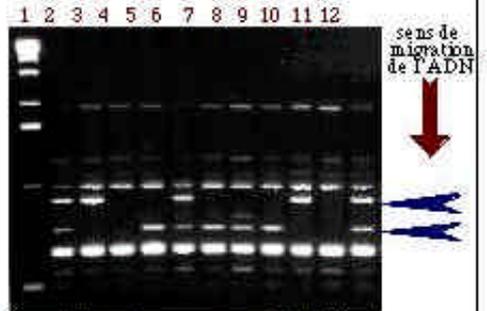
ENCADRE 1
La variation biologique des caractères

➔ **Exemple de caractères qualitatifs**

caractères morphologiques du pois étudiés par MENDEL

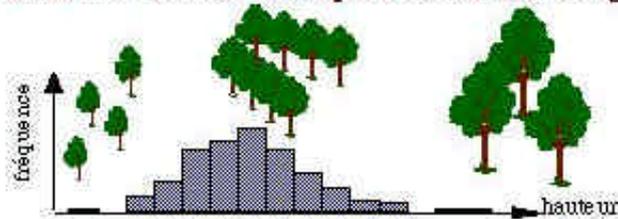


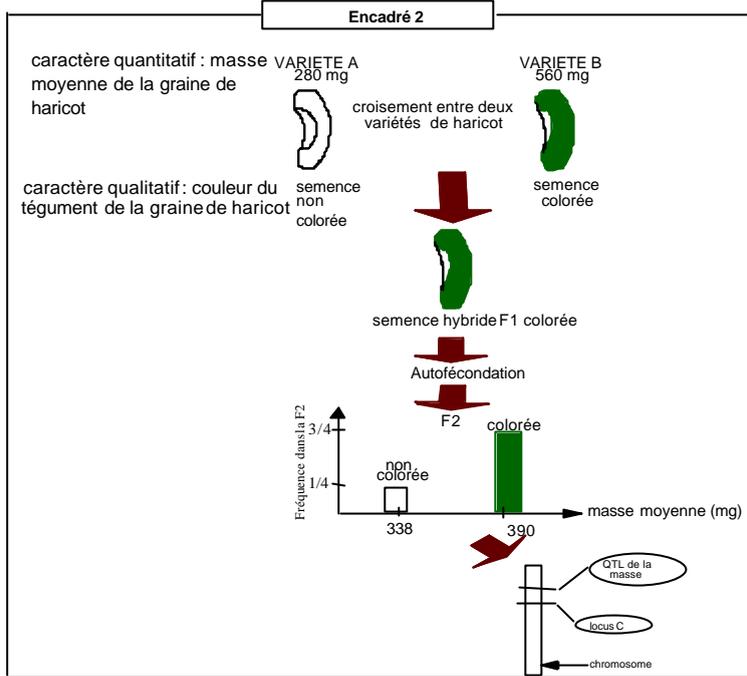
les marqueurs moléculaires



La première piste est un marqueur de taille moléculaire de l'ADN. Les pistes 2 à 12 correspondent à une empreinte génétique de 11 arbres. Parmi les quelques fragments d'ADN amplifiés par la technique PCR, deux d'entre-eux, (indiqués par une flèche) sont polymorphes : la présence ou l'absence d'un tel fragment marqueur, traduit une différence dans la séquence d'ADN entre les individus.

➔ **Exemple d'un caractère quantitatif présentant une distribution continue : la hauteur totale d'un arbre d'une espèce donnée et à un âge donné.**

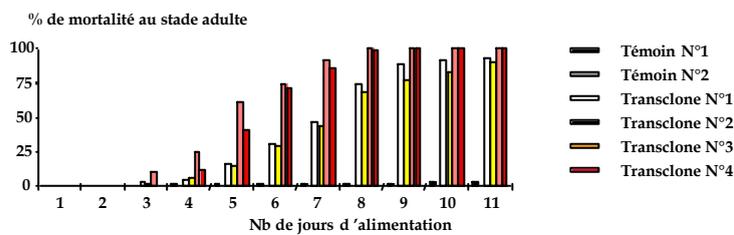




Encadré N°3

Peupliers transgéniques

* Résistance aux Chrysomèles : peupliers transgéniques exprimant une toxine Bt



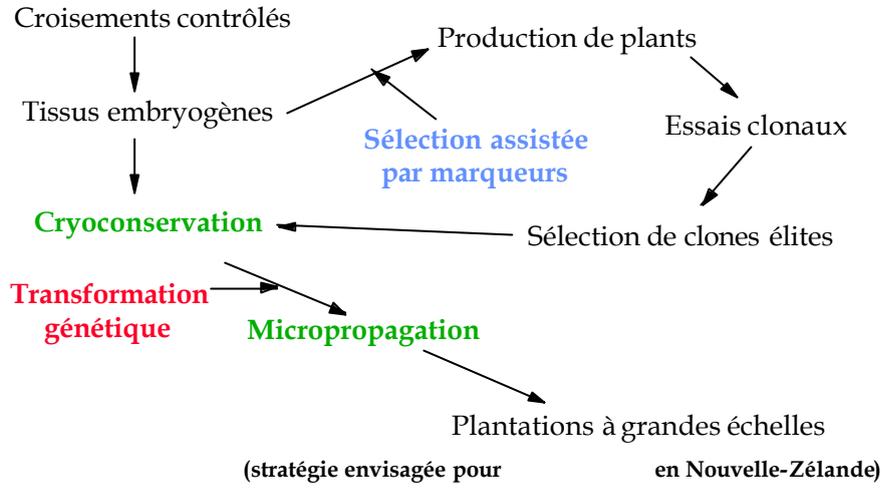
* Modification de propriétés papetières : peupliers transgéniques sous-exprimant le gène cad (métabolisme des lignines)

	Témoins		Transclones		
	N°1	N°2	N°1	N°2	N°3
Kappa (extractabilité des lignines)	42	44.5	27	31	30.2
Cellulose DP	2260	2165	2120	2180	2170

↘ **Meilleure extractabilité**
→ **Structure cellulose inchangée**

Encadré N°4

Exemple d'une intégration des biotechnologies dans un programme d'amélioration génétique d'un arbre forestier



Crédit photo :

- ◆ **Couverture :**
 - ✓ Verger à graines de pin maritime de Sore (INRA Pierroton)
 - ✓ Fleur de douglas (INRA Orléans)
 - ✓ Essai comparatif de peuplier (INRA Orléans)

- ◆ **Fiche pin maritime, p. 9**
 - ✓ Arbre plus (INRA Pierroton)

- ◆ **Fiche douglas, p. 17**
 - ✓ Verger à graines intensif (INRA Orléans)

- ◆ **Fiche peuplier, p. 25**
 - ✓ Rouille sur feuille de peuplier (INRA Orléans)