

Reproduction sexuée des conifères et production de semences en vergers à graines

G. Philippe, P. Baldet, B. Héois, C. Ginisty



Reproduction
sexuée des conifères
et production
de semences
en vergers à graines

Photo de couverture – Cônelet de Douglas et fleurs mâles desséchées, © Gwenaël Philippe, Cemagref.

© Cemagref, 2006, BP 44, Antony cedex. Collection Synthèses – « Reproduction sexuée des conifères et production de semences en vergers à graines », G. Philippe, P. Baldet, B. Héois, Ch. Ginisty. Édition : Julienne Baudel – Infographie : Françoise Peyriguer. Couverture : Joëlle Weltz. Impression : Jouve CS 70004, 75036 Paris cedex 01, 1^{re} édition. Dépôt légal : 2^e trimestre 2006, ISBN 2-85362-656-3, ISSN : 1777-4624. Diffusion : <http://www.quae.com>. Prix : 58 euros

Reproduction sexuée des conifères et production de semences en vergers à graines

Gwenaël Philippe,
Patrick Baldet, Bernard Héois, Christian Ginisty

Collection Synthèses

L'armillaire et le pourridié-agaric des végétaux ligneux,
Jean-Jacques Guillaumin, coord.,
2005, 504p.

La photosynthèse.
Processus physiques, moléculaires et physiologiques.
Jack Farineau, Jean-François Morot-Gaudry,
2006, 412 p.

Avant-propos

Contrairement aux plantes cultivées et aux arbres fruitiers qui ont fait l'objet d'une domestication dès le néolithique, les arbres forestiers sont longtemps demeurés à l'état « sauvage ». Certes, il existe des exceptions : voici des siècles que des sujets remarquables de sapin de Chine (*Cunninghamia lanceolata*), de cryptomère du Japon (*Cryptomeria japonica*) et de peupliers sont sélectionnés puis bouturés pour créer de nouvelles plantations. Mais ce n'est qu'au début du xx^e siècle que ce timide processus d'amélioration s'est généralisé, lorsque les découvertes récentes de la génétique furent appliquées à la sélection des arbres forestiers. À partir de cette période, la notion de provenance se répand, les premiers programmes d'amélioration génétique voient le jour ; ils débouchent sur la création de vergers à graines, plantations spécialisées dans la production de semences améliorées.

En France, un programme de vergers à graines public a été initié à la fin des années 1960. À cette époque, quatre acteurs étaient impliqués : l'État, représenté par le ministère responsable des forêts, qui a financé l'opération *via* le Fonds forestier national et en a confié la réalisation à l'Inra (Institut national de la recherche agronomique), au Cemagref (Centre de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et l'environnement) et à l'ONF (Office national des forêts). L'Inra, responsable de la sélection, de l'évaluation et de la multiplication des géniteurs a en outre fortement contribué à la mise au point de la méthodologie en vergers de familles. En tant que délégué du maître d'ouvrage, le Cemagref a pris en charge l'acquisition des terrains, l'installation des vergers et a assuré la gestion scientifique, technique, administrative et comptable du programme. L'ONF, maître d'œuvre de l'opération, s'est acquitté de la réalisation des travaux de terrain. Ultérieurement, les principaux marchands grainiers français se sont associés au programme ; depuis 1998, les vergers productifs dotés d'un potentiel économique suffisant sont exploités par le Groupement d'intérêt économique (GIE) « semences forestières améliorées », formé par la société Vilmorin et le service « Graines et Plants » de l'ONF.

Dans de nombreux pays, l'avènement des programmes d'amélioration et des vergers à graines a motivé des recherches sur la biologie florale des essences forestières, et plus particulièrement des espèces résineuses. Aidés par le développement d'outils modernes (microscope électronique à balayage, chromatographie...), ces travaux ont permis des avancées spectaculaires. La meilleure compréhension des phénomènes impliqués dans la formation et l'évolution des organes reproducteurs a largement contribué à la mise au point de techniques d'induction florale et de pollinisation artificielle.

En France, les recherches liées à la stimulation de la floraison, à la technologie du pollen et à la pollinisation ont d'abord été menées par l'Inra, dont l'apport a été déterminant pour la réussite de nos travaux, puis par le Cemagref. Depuis 1985, nous avons conduit un grand nombre d'expérimentations dans la perspective d'optimiser la production des vergers de l'État. Elles ont souvent été réalisées dans le cadre de projets nationaux coordonnés par le Groupement d'intérêt scientifique « Variétés forestières améliorées » ou de projets européens, en partenariat avec l'Inra, l'Afocel (Association forêt-cellulose), l'ONF, le GIE « semences forestières améliorées » ainsi que des instituts de recherche-développement belge, britannique, espagnol, allemand, italien et québécois. Ces travaux ont été soutenus financièrement par le ministère français en charge des forêts (Direction générale de la Forêt et des Affaires rurales), le GIE Vilmorin-Versepuy, l'Union européenne et le Royaume du Danemark.

À présent, nos essais sont achevés et les itinéraires techniques que nous avons développés ont été transférés aux gestionnaires des vergers. Considérant que nos publications et rapports étaient peu accessibles aux praticiens francophones et qu'il n'existait pas de document récent en français sur ce thème – hormis l'excellent ouvrage d'Owens et Blake (1986) « Production de semences forestières », auquel nous nous référerons abondamment mais qui n'est plus édité. Nous avons jugé opportun de rédiger une synthèse de nos travaux et de mettre en perspective les résultats obtenus. Dans cet esprit, notre ouvrage débute par une partie bibliographique générale sur la biologie florale qui décrit la formation et le développement des organes reproducteurs ; il se poursuit par une présentation des résultats acquis en induction florale, en technologie du pollen et en pollinisation artificielle ; il s'achève enfin par une réflexion sur les perspectives de production des variétés améliorées en vergers à graines.

Cette synthèse est principalement destinée aux praticiens francophones – nous englobons sous ce terme les exploitants de vergers à graines, les professeurs et étudiants de l'enseignement forestier et agricole ainsi que les forestiers intéressés par la reproduction des résineux – même s'il permet aussi à des passionnés du grand public d'enrichir leur culture arboricole et forestière. Par ailleurs, la diversité des publics visés nous a conduits à proposer trois niveaux de lecture pour les parties consacrées à nos expérimentations avec, du plus succinct au plus complet : i) des recommandations pratiques à l'attention des gestionnaires de vergers, ii) le texte qui synthétise les principaux résultats et qui peut être complété le cas échéant par iii) des annexes exposant les données obtenues dans les essais les plus représentatifs. Nous espérons que ce découpage répondra aux attentes des différents lecteurs.

Remerciements

Nous adressons nos plus vifs remerciements à tous ceux qui ont collaboré à nos travaux et notamment à Marc Bonnet-Masimbert de l'Inra d'Orléans et à son équipe, pour nous avoir transmis leurs connaissances en physiologie de la reproduction lorsque nos recherches ont débuté et pour leur soutien bienveillant et amical par la suite.

Merci aussi au personnel technique de l'ONF de Lavercaillère et Latronquière, et plus particulièrement à Yann Floury (†), Guy Bour, Christian Blazy et Josette Courtiol. Ces compagnons de route se sont beaucoup investis dans nos essais sans jamais ménager leurs efforts. Nous leur adressons notre pleine reconnaissance.

Nous souhaitons également rendre hommage aux pionniers téméraires et enthousiastes qui ont bâti et donné corps au programme de vergers à graines, notamment Jean-François Lacaze, Georges Steinmetz, Bernard Roman-Amat, Christian Barthod, ainsi qu'aux collègues du Cemagref de Nogent-sur-Vernisson – François Chollet, Monique Guibert, Alain Valadon, Daniel Terrasson, Michel Cazet – qui ont permis aux vergers de l'État de jouer pleinement leurs rôles de production et de recherche.

Le programme de vergers à graines est souvent cité comme un exemple réussi de collaboration entre des instituts publics et le secteur privé. Dès le milieu des années 1980, la société Vilmorin s'est en effet impliquée dans les recherches sur la floraison et la fructification en vergers. Cet engagement n'a rien de symbolique puisque le GIE Vilmorin-Versepuy a financé les travaux d'un ingénieur pendant quatorze ans. Nous en sommes reconnaissants à Michel Lenoir et à ses successeurs.

D'autre part, nos essais ont souvent été conduits en partenariat avec d'autres organismes de recherche. Ces travaux réalisés en commun avec nos collègues de l'Inra, de l'Afocel et d'autres instituts européens ont été riches aux plans scientifique et humain. Nous remercions particulièrement Olivier Desteucq, Esther Merlo, Steve Lee et Fulvio Ducci qui nous ont autorisés à publier les résultats obtenus sur leurs sites d'expérimentation.

Les appareils et machines prototypes que nous avons utilisés pour nos recherches ont été entièrement réalisés par nos collègues du Cemagref de Clermont-Ferrand, antenne de Montoldre. Nous saluons ici l'engagement et la créativité des personnes qui se sont impliquées à nos côtés dans cette aventure technologique et notamment Guy Brenon, Henri Cherrasse, Jean-Claude Megnier, Marc Rousselet et Philippe Zwaenepoel.

Le comité de pilotage de cet ouvrage est constitué de Christine Mével, Marc Bonnet-Masimbert, Joël Conche et Guy Sancey. En outre, plusieurs collègues du

Cemagref, de l'Inra et de l'INA-PG (Sylvain Chaillou, Bernard Abrial, Isabelle Bilger, Eric Collin, Jean-Charles Bastien, Luc Pâques, Eric Teissier du Cros, François Lefèvre, Sylvie Bourgeois et Sonia Launay) ont accepté de relire tout ou partie du manuscrit. Qu'ils soient remerciés pour leurs commentaires constructifs.

Nous tenons enfin à exprimer notre reconnaissance à celles et ceux qui nous ont aimablement prêté des photos pour illustrer cet ouvrage.

Préfaces

La reconstitution des forêts sinistrées par des événements climatiques tels que les tempêtes de décembre 1999, le renouvellement des forêts exploitées dans le respect des critères de gestion durable et le boisement des terres délaissées par une agriculture en constante mutation, nécessitent la mise à disposition de la filière forêt-bois d'un outil de production de graines forestières de haute qualité génétique.

Les quatre chapitres à suivre restituent l'itinéraire d'une véritable aventure scientifique ayant permis d'atteindre ce résultat. Le Cemagref, qui a joué un rôle central, a su mobiliser ses partenaires scientifiques et professionnels de la filière forêt-bois.

Commencé dans les années 1960, ce projet a été développé dans la dynamique du Fonds forestier national, qui a permis le boisement de 2,4 millions d'hectares entre 1946 et 1999. Très vite, le besoin en graines de haute qualité génétique a conduit l'État à engager cet ambitieux programme de recherche appliquée en génétique forestière, concrétisé notamment par l'installation de vergers à graines.

Cet ouvrage constitue la première synthèse jamais réalisée en langue française sur la science de la production des graines résineuses en vergers à graines. Il rassemble la somme bibliographique et empirique issue de plus de vingt ans de recherche-développement.

L'expertise scientifique et technique de l'unité de recherche « Écosystèmes forestiers » du Cemagref de Nogent-sur-Vernisson, internationalement reconnue, est ici exposée de façon pédagogique. Ce document sera très précieux pour les gestionnaires de vergers, mais aussi pour les scientifiques, les professeurs et les étudiants de l'enseignement forestier et agronomique.

Le ministère chargé de l'Agriculture se réjouit d'avoir contribué à la réalisation d'une somme aussi considérable. Il se félicite, en outre, de la coopération exemplaire mise en place dans la conduite de ce projet de longue haleine : entre scientifiques (Cemagref, Inra, Afocel), gestionnaires des vergers (ONF) et professionnels (GIE Vilmorin/Versepuy, GIE Vilmorin/ONF La Joux). Ce dialogue constant a permis le transfert en temps réel des avancées de la recherche vers les producteurs de graines, les pépiniéristes et les sylviculteurs.

Une nouvelle étape de cette aventure est aujourd'hui engagée : les graines de haute qualité génétique doivent développer ou consolider leurs marchés auprès des utilisateurs de plants forestiers. Cet objectif doit se traduire par une augmentation de la part de marché des graines issues de vergers et par l'utilisation croissante en forêt d'une ressource génétique de grande qualité.

Que soient ici vivement remerciés Gwenaël Philippe, Bernard Héois, Patrick Baldet et Christian Ginisty, pour l'importance et la qualité du travail accompli.

Pierre Bouillon
Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
Direction générale de la Forêt et des Affaires rurales

C'est dans les années 1960, avec la montée en puissance de l'amélioration des arbres forestiers, qu'est apparue chez les chercheurs l'ambition d'accélérer et de régulariser la floraison et la fructification de ces derniers. Dans plusieurs pays, dont la France, des recherches se sont développées dans ce but. Il aura fallu une vingtaine d'années pour que les gestionnaires de vergers à graines commencent timidement à transposer à la pratique des résultats encore souvent confinés au petit cercle des sélectionneurs.

En France, c'est tout à l'honneur des chercheurs du Cemagref de s'être attelés à cette transposition en travaillant étroitement avec les collègues qui, à l'Inra ou à l'Afocel, s'étaient très tôt engagés dans ce domaine. J'en étais et j'apprécie d'autant mieux la contribution originale qui est la leur. Ils ont aussi acquis leur place dans la petite communauté internationale de ceux qui, même imparfaitement et encore un peu empiriquement, parviennent à une relative maîtrise de la floraison chez les conifères. Leur mérite est enfin d'avoir su intégrer dans leur démarche toute la technologie du pollen, avec des approches pragmatiques, souvent originales.

À travers cet ouvrage G. Philippe, P. Baldet, B. Héois et C. Ginisty nous font partager à la fois des connaissances de base sur la maîtrise de la reproduction des arbres, la synthèse d'un grand nombre d'essais réalisés par le Cemagref et un savoir-faire original qui est, grâce à eux, durablement mis à la disposition de tous ceux, chercheurs, enseignants, forestiers et gestionnaires de vergers à graines, qui à des titres divers s'intéressent à la reproduction des arbres. J'ai eu plaisir à travailler avec eux et je me réjouis qu'ils aient su mener à terme ce projet dont cet ouvrage révèle toute la richesse et la diversité.

Marc Bonnet-Masimbert
Chef adjoint du département Inra
Écologie des forêts, prairies et milieux aquatiques

Lors de la planification d'un programme de récolte de semences en peuplements forestiers, la contrainte majeure est le caractère aléatoire des fructifications qui sont malheureusement sujettes aux alternances de production, aux attaques d'insectes et autres aléas climatiques. La situation est plus favorable dans les vergers à graines, constitués d'arbres sélectionnés, identifiés et parfaitement localisés. Depuis leur plantation, ces arbres sont conduits dans le but d'optimiser leur potentiel de production de semences (faible densité, éclaircies, fertilisations, contrôle des agents pathogènes...).

À l'inverse d'une cueillette passive en forêt, il est possible d'intervenir dès que le verger est en âge de fructifier, afin d'en maîtriser la production. Cette maîtrise est primordiale car elle permet de rentabiliser et de réguler les récoltes en fonction des besoins du marché.

Les techniques disponibles figurent dans la littérature mais elles doivent être explicitées, adaptées et affinées afin de pouvoir être effectives selon la spécificité des espèces à produire. En ce sens, les travaux conduits par le Cemagref dans les vergers de l'État ont permis aux gestionnaires de maîtriser la production de ces vergers grâce à la mise en œuvre de techniques préconisées telles l'induction florale par annélation et injection de gibbérellines et des protocoles d'extraction de pollen et de pollinisation sur mélèze hybride.

Cet ouvrage est l'aboutissement de plusieurs années de travail en commun sur la mise au point et le transfert de ces itinéraires techniques ; il doit être considéré comme une référence incontournable pour la conduite raisonnée des vergers des principales essences résineuses.

Le GIE « Semences forestières améliorées »
Guy Sancey (Vilmorin) et Joël Conche (ONF, La Joux)

Table des matières

I. DU MÉRISTÈME À LA GRAINE

1. Particularités de la floraison des conifères	25
Une longue période juvénile	25
Irrégularité de la floraison et de la fructification	26
Localisation des fleurs	27
2. Initiation florale	29
Processus d'initiation florale	29
Où s'initient et quand se différencient les méristèmes ?	30
Douglas	31
Sapins	31
Épicéa commun	32
Mélèzes d'Europe et du Japon	32
Pins	33
3. Développement des ébauches florales	39
Évolution des ébauches mâles et formation du pollen	39
Évolution des ébauches femelles	44
Formation des bractées, des écailles ovulifères et des ovules chez les Pinacées	44
Chronologie des transformations chez le Douglas, les sapins, les mélèzes, les épicéas et les pins	45
4. Pollinisation	49
Une pollinisation anémophile	49
En dépit d'adaptations, ce mode de pollinisation est peu économe en pollen	49
Distance de dispersion du pollen	50
Période et durée de la pollinisation	51
Trois mécanismes de pollinisation	52
Les fleurs ne sont réceptives que quelques jours	56
Germination du pollen	57
Le processus de germination	57
Époque et durée de la germination	59

5. Fécondation et formation de la graine	61
Achèvement du gamétophyte femelle	61
Fécondation	62
Embryogenèse	63
Formation de la graine	66
Incompatibilité inter et intra-spécifique	67
6. Cycles reproducteurs	71
Douglas, mélèzes, épicéas et sapins	71
Pins	73
Cèdres	75
7. Facteurs favorables et défavorables à la production de graines	77
Facteurs favorables à l'initiation florale	77
Facteurs environnementaux	77
Facteurs internes	80
Facteurs réduisant la production de graines	82
De l'initiation florale à la pollinisation	82
De la pollinisation à la fécondation	83
De la fécondation à la graine mûre	86
Principales causes des pertes de graines dans les genres <i>Larix</i> , <i>Picea</i> , <i>Abies</i> , <i>Pseudotsuga</i> et <i>Pinus</i>	87
8. Recommandations pour l'installation et la gestion d'un verger	91
Choix du site d'implantation	91
Sélection des génotypes	92
Composition et gestion du verger	92
9. Conclusion	93

II. STIMULATION DE LA FLORAISON

1. Mise en œuvre et modes d'action des techniques d'induction florale	101
Efficacité et mise en œuvre des techniques d'induction florale	102
Traitements culturaux	102
Fertilisation	102
Annélation d'écorce	104
Cernage racinaire	106
Chaleur et sécheresse	106
Autres traitements culturaux	108
Traitements hormonaux	109
Historique	109
Comment appliquer les gibbérellines ?	109
Quelle quantité de gibbérellines appliquer ?	111
Quand intervenir ?	111

Combinaisons de traitements	113
Modes d'action des traitements	115
Augmentation de la disponibilité en gibbérellines	115
Augmentation des ressources en éléments nutritifs.....	117
Action sur le métabolisme de l'azote	117
Réduction de l'activité racinaire	118
Amélioration de la vigueur de l'arbre	118
2. Influence des traitements sur la production de graines	121
Influence des traitements sur les floraisons mâle et femelle	122
Démarche expérimentale	122
Résultats obtenus chez le Douglas.....	125
La fertilisation azotée, l'annélation, le cernage et les gibbérellines stimulent la floraison	126
L'annélation est le traitement simple le plus efficace	130
Les meilleurs résultats s'obtiennent grâce à des combinaisons de traitements	133
Résultats obtenus chez les mélèzes	148
Clone V44 DK de mélèze d'Europe	148
Mélèze du Japon	153
Résultats obtenus chez l'épicéa commun	158
Les gibbérellines stimulent la floraison	158
L'annélation renforce l'effet des gibberellines	164
La fertilisation et le cernage racinaire sont inefficaces	164
Résultats obtenus chez les pins	167
Pin maritime	167
Pin laricio de Corse	178
Pin sylvestre	180
Répercussions des traitements sur le développement des cônes et le rendement en graines viables	181
Développement des fleurs femelles en cônes	181
Grosesse des cônes et potentiel en graines	183
Pourcentage et nombre de graines pleines/cône	187
Caractéristiques morphologiques et physiologiques des graines.....	189
Potentiel de production des fleurs mâles et qualité du pollen	190
Optimisation de la production de graines et de pollen	190
Facteurs susceptibles de moduler l'efficacité des traitements	193
Facteurs du milieu	193
L'année	193
Le site.....	195
Le matériel végétal	196
L'espèce et la provenance	196
Le génotype	196
L'âge et la nature du matériel végétal	198
La vigueur et la santé des arbres	199
Le mode de gestion du verger	200
Les tailles	200

La fréquence des inductions	205
Facteurs humains	209
Conclusion	211
3. Influence des traitements sur la qualité génétique des récoltes	215
Méthodes	216
L'induction florale homogénéise les contributions clonales chez le Douglas et l'épicéa commun	218
L'effet des traitements est limité chez le pin maritime	220
Conclusion	221
4. Coût et rentabilité des traitements	223
Les scénarios étudiés.....	224
Installation et maintenance du verger	224
Gestion fructifère	225
Coûts de gestion du verger	225
Installation et maintenance du verger	226
Gestion fructifère	226
Estimation de la production de graines dans les quatre scénarios de gestion fructifère	227
Coûts de production du kilogramme de graines	227
Graines « sur pied »	227
Le même organisme finance l'installation et l'entretien du verger	227
L'exploitant hérite d'un verger productif.....	230
Graines à la sortie de la sécherie	231
La justification économique de l'induction florale ne se limite pas aux vergers traditionnels de Douglas.....	232
Vergers traditionnels et intensifs d'épicéa commun, de mélèze et de Douglas	232
Vergers polycross de pin maritime	232
Conclusion	233
5. Conclusion générale	235

**FICHES DE RECOMMANDATIONS
POUR LE GESTIONNAIRE DE VERGERS**

Mise en œuvre des techniques d'induction florale	241
Fertilisation azotée	241
Annélation d'écorce	242
Cernage racinaire	244
Injection de gibbérellines	245
Traitements préconisés et planning des travaux	247
Note préliminaire	247

Vergers traditionnels de Douglas	248
Vergers à haute densité (VHD) de Douglas	250
Vergers de mélèzes d'Europe et du Japon	254
Vergers traditionnels d'épicéa commun	255
Vergers polycross de pin maritime	257

III. TECHNOLOGIE DU POLLEN

1. Les objectifs de la pollinisation artificielle	261
Plan quantitatif : augmenter le rendement en graines	261
Plan qualitatif	262
2. Les paramètres à maîtriser	265
Intégrer le mode de gestion à la conception du verger	265
Les ressources humaines	265
Gérer une succession de tâches	266
3. La récolte du pollen	267
État de l'art	268
La récolte manuelle de strobiles ou de rameaux florifères	268
Récolte semi-mécanisée du pollen aux États-Unis	269
Le cas des semences hybrides de mélèze	271
La mobilisation du pollen dans le verger de plein-champ de mélèze du Japon	271
Verger sous serre de mélèze du Japon	275
Récolte mécanisée du pollen de Douglas	279
Récolter du pollen de Douglas	279
Mécanisation de la récolte	280
4. La gestion du pollen	287
Extraction du pollen	287
État de l'art	288
Travaux réalisés dans les vergers de l'État	289
Séchage	295
État de l'art : deux grandes catégories de procédés	296
Un nouveau concept de sécheur de pollen	299
Mesure de l'état hydrique du pollen	302
État de l'art	302
Une approche dynamique de l'eau et de son rôle	303
Évaluation de la qualité du pollen	310
Évaluer la viabilité et la vigueur du pollen	310
Les techniques généralement utilisées	311
L'expérience du Cemagref. L'évaluation comparative des différents tests, le cas du pollen de mélèze	320
Conservation	327
Effets de la conservation sur la qualité du pollen	328
Facteurs influençant la conservation du pollen	329

5. La pollinisation artificielle	333
Réceptivité femelle et période d'application du pollen	334
Appréciation de la réceptivité des fleurs femelles durée de la période de réceptivité	334
Établir un calendrier de pollinisation – Début et fréquence des pollinisations	335
Préparation du pollen	339
Apport de pollen par voie sèche ou par voie humide	339
Dilution du pollen	341
Mise en œuvre de la pollinisation – Les méthodes classiques de pollinisation	341
Polliniser avec le pollen présent dans le verger – Le soufflage d'air ..	341
Apports de pollen : les différents équipements de pollinisation	343
Un cas concret de pollinisation artificielle, la production de semences hybrides	344
Une technique originale de pollinisation : le poudrage électrostatique	347
Le principe	348
Pollinisation électrostatique mécanisée.....	349
La pollinisation électrostatique manuelle : le pistolet électrostatique	350
6. Répercussion des interventions liées à la pollinisation artificielle sur le coût de la graine	355
Impact du coût de la récolte de pollen	355
Récolte manuelle de strobiles	356
Récolte mécanisée du pollen	358
Coût de la pollinisation – Le cas de la production de semences hybrides de mélèze	362
Coûts liés à la main-d'œuvre	362
Coût lié à la consommation de pollen	363
Coûts de mise en œuvre du matériel	363
Coût total de la pollinisation artificielle du mélèze et impact sur le coût de la graine	364
Analyse globale et conclusion	365
7. Bilan et perspectives	367
Un choix stratégique aux multiples implications	367
L'association de compétences biologiques et technologiques	368
L'innovation technologique en réponse à des contraintes spécifiques	368
Un suivi constant de la qualité	369
Perspectives	369