

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

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



# Table des matières

---

## I. DU MÉRISTÈME À LA GRAINE

<b>1. Particularités de la floraison des conifères .....</b>	25
Une longue période juvénile .....	25
Irregularité de la floraison et de la fructification .....	26
Localisation des fleurs .....	27
<b>2. Initiation florale .....</b>	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
<b>3. Développement des ébauches florales .....</b>	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
<b>4. Pollinisation .....</b>	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

<b>5. Fécondation et formation de la graine .....</b>	61
Achèvement du gamétophyte femelle .....	61
Fécondation .....	62
Embryogenèse .....	63
Formation de la graine .....	66
Incompatibilité inter et intra-spécifique .....	67
<b>6. Cycles reproducteurs .....</b>	71
Douglas, mélèzes, épicéas et sapins .....	71
Pins .....	73
Cèdres .....	75
<b>7. Facteurs favorables et défavorables à la production de graines .....</b>	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
<b>8. Recommandations pour l'installation et la gestion d'un verger .....</b>	91
Choix du site d'implantation .....	91
Sélection des génotypes .....	92
Composition et gestion du verger .....	92
<b>9. Conclusion .....</b>	93

## II. STIMULATION DE LA FLORAISON

<b>1. Mise en œuvre et modes d'action des techniques d'induction florale .....</b>	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 gibberellines .....	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
<b>2. Influence des traitements sur la production de graines .....</b>	<b>121</b>
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 gibberellines 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 gibberellines 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
Grosseur 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
<b>3. Influence des traitements sur la qualité génétique des récoltes .....</b>	<b>215</b>
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
<b>4. Coût et rentabilité des traitements .....</b>	<b>223</b>
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 .....	230
L'exploitant hérite d'un verger productif .....	231
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 .....	233
Conclusion .....	233
<b>5. Conclusion générale .....</b>	<b>235</b>

**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 gibberellines .....	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	
<b>1. Les objectifs de la pollinisation artificielle .....</b>	<b>261</b>
Plan quantitatif : augmenter le rendement en graines .....	261
Plan qualitatif .....	262
<b>2. Les paramètres à maîtriser .....</b>	<b>265</b>
Intégrer le mode de gestion à la conception du verger .....	265
Les ressources humaines .....	265
Gérer une succession de tâches .....	266
<b>3. La récolte du pollen .....</b>	<b>267</b>
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
<b>4. La gestion du pollen .....</b>	<b>287</b>
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

<b>5. La pollinisation artificielle .....</b>	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
<b>6. Répercussion des interventions liées à la pollinisation artificielle sur le coût de la graine .....</b>	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
<b>7. Bilan et perspectives .....</b>	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

**FICHES DE RECOMMANDATIONS  
POUR LA TECHNOLOGIE DU POLLEN**

<b>La récolte du pollen .....</b>	<b>373</b>
La récolte manuelle de strobiles de mélèze du Japon .....	373
La récolte mécanisée du pollen de mélèze du Japon .....	375
La récolte mécanisée du pollen de Douglas ou de pins .....	377
<b>Les différentes phases de la gestion du pollen .....</b>	<b>379</b>
L'extraction du pollen au laboratoire à partir de strobiles .....	379
Le séchage du pollen de mélèze, de Douglas et de pins .....	381
Le contrôle de l'état hydrique du pollen .....	383
Le conditionnement et la mise en conservation du pollen .....	385
L'évaluation de la viabilité du pollen .....	387
<b>La mise en œuvre de la pollinisation artificielle en vergers .....</b>	<b>390</b>
La détection du stade optimal de réceptivité des fleurs femelles –	390
Le cas du mélèze d'Europe .....	390
La pollinisation par soufflage de pollen et le poudrage électrostatique	393
Le contrôle de la qualité de la pollinisation .....	395

**IV. PERSPECTIVES DE PRODUCTION DE VARIÉTÉS AMÉLIORÉES  
DE RÉSINEUX EN VERGERS À GRAINES**

<b>1. Amélioration génétique, politique forestière et contexte réglementaire .....</b>	<b>401</b>
<b>2. Les vergers existants constituent un gisement de variabilité génétique. Valorisation par éclaircies génétique, récoltes ciblées ou supplémentation pollinique .....</b>	405
<b>3. Quels sont les facteurs qui déterminent l'installation de nouveaux vergers à graines de résineux ? .....</b>	409
<b>4. Trois solutions techniques pour de nouvelles structures de production grainière de résineux .....</b>	413
<b>5. Quelles sont les alternatives techniques aux vergers à graines ? .....</b>	421
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>425</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>429</b>
Partie 2 .....	429
Partie 3 .....	519
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>547</b>
<b>Glossaire .....</b>	<b>569</b>
<b>Crédit photographique .....</b>	<b>571</b>

Cette synthèse présente les résultats de vingt ans de recherches du Cemagref sur la gestion fructifère des vergers à graines de résineux et, plus particulièrement de Douglas, mélèzes, épicéa commun et pin maritime.

En première partie, une étude bibliographique décrit les grandes étapes du cycle de reproduction des principales essences résineuses cultivées en Europe, de l'initiation florale à la libération des graines. Les deux parties suivantes dressent le bilan technico-économique des expérimentations menées sur la stimulation de la floraison, la récolte et la gestion du pollen et la pollinisation artificielle. L'ouvrage s'achève par une réflexion sur les différentes stratégies de production de variétés forestières.

Première synthèse publiée en langue française depuis vingt ans, cet ouvrage intéressera les scientifiques, les enseignants et étudiants en foresterie et en biologie, les gestionnaires de vergers à graines mais aussi les forestiers désireux d'approfondir leurs connaissances sur la reproduction des grandes essences résineuses.

Les auteurs sont rattachés à l'unité de recherche « Écosystèmes forestiers » du Cemagref à Nogent-sur-Vernisson (Loiret).

**Gwenaël Philippe**, ingénieur des techniques forestières, a consacré l'essentiel de ses travaux à la gestion fructifère des vergers à graines et à l'évaluation de variétés forestières. À présent, il est impliqué dans les recherches liées à la gestion des forêts mélangées irrégulières.

**Patrick Baldet**, ingénieur d'études, spécialisé en ingénierie de la production des semences forestières améliorées, a associé biologie et technologie pour élaborer plusieurs outils ou méthodes innovants de gestion du pollen et des graines.

**Bernard Héois**, ingénieur en chef du Génie rural, des eaux et forêts, docteur en sciences agronomiques, a longtemps animé l'équipe « Génétique forestière ». Il est actuellement responsable national des travaux au département Forêt de l'Office national des forêts.

**Christian Ginisty**, ingénieur de recherche, est spécialisé en sciences forestières, sylviculture et modélisation de la croissance des peuplements forestiers.

En couverture : Cônelet de Douglas et fleurs mâles desséchées. Cliché de Gwenaël Philippe.

[www.quae.com](http://www.quae.com)

 **Cemagref**

  **CIRAD** **INRA**

 **Ifremer**

Prix : 59 euros

ISBN : 978-2-85362-656-9

ISSN : 1777-4624

Réf. : CF6563POD

9 782853 626569

