



07 MARS 2026

TRAITE METHODOLOGIQUE FRANCOPHONE DE REFERENCE SUR LA SELECTION APICOLE

METHODES, STRATEGIES GENETIQUES ET CONDUITE D'UN
PROGRAMME D'ELEVAGE MODERNE

D-J M

MOUCHAMIEL.FR

Salcrupt, Saint-Jeures



La sélection apicole est une gestion probabiliste orientée de la variabilité génétique dans un territoire donné.

On commence par apprendre à élever.

Puis on apprend à choisir.

Et enfin on apprend à construire une lignée.

PRÉFACE

SELECTIONNER A L'ERE DE L'INCERTITUDE

L'apiculture contemporaine ne ressemble plus à celle d'hier.

Pression parasitaire persistante, instabilité climatique, circulation accélérée des lignées, hétérogénéité des environnements : les colonies évoluent désormais dans un contexte où l'adaptation n'est plus un simple avantage, mais une condition de survie.

Face à ces transformations, deux attitudes sont possibles.

La première consiste à corriger les effets visibles saison après saison : compenser les pertes, remplacer les reines, importer des génétiques réputées performantes. Cette approche peut fonctionner à court terme, mais elle laisse l'évolution au hasard des circonstances.

La seconde attitude consiste à organiser cette évolution.

C'est là qu'intervient la sélection.

Sélectionner ne signifie pas rechercher une perfection théorique ni figer une souche idéale. Il s'agit d'orienter progressivement une population vers une cohérence adaptée à un territoire donné. La sélection n'est pas un acte ponctuel ; c'est une discipline de continuité. Elle exige observation, méthode, patience et capacité de décision.

L'abeille mellifère possède une biologie singulière : haplodiploïdie, fécondation multiple, organisation sociale complexe. Ces particularités rendent toute sélection à la fois plus subtile et plus exigeante que chez d'autres espèces domestiques. L'éleveur ne travaille pas avec des individus isolés, mais avec des superorganismes dont l'équilibre dépend d'interactions génétiques et environnementales multiples.

Dans ce contexte, la sélection moderne ne peut plus se limiter à des gestes techniques. Produire des reines ne suffit pas. Comprendre la transmission des caractères, organiser la production des mâles, évaluer objectivement les descendance, penser en cycles pluriannuels : telles sont les bases d'une démarche cohérente.

Cet ouvrage propose une méthode.

Il ne promet pas de solutions universelles ni de recettes définitives. Il offre un cadre pour structurer l'observation, interpréter la variabilité et transformer l'expérience en stratégie. Il s'adresse à celles et ceux qui souhaitent dépasser la simple multiplication pour entrer dans une logique de construction génétique.

La sélection apicole est un exercice d'équilibre. Stabiliser sans appauvrir. Corriger sans uniformiser. Améliorer sans perdre la diversité nécessaire à l'adaptation. Elle n'élimine pas l'incertitude ; elle la rend orientable.

À l'heure où les territoires évoluent rapidement et où les échanges génétiques s'intensifient, la responsabilité de l'éleveur dépasse son rucher. Chaque décision contribue à façonner un paysage apicole partagé. Sélectionner devient alors un acte technique, mais aussi territorial et prospectif.

Ce livre n'a pas vocation à clore le sujet.

Il propose un point d'appui.

À partir de là, chaque rucher écrira sa propre trajectoire.

ANCRAGE SCIENTIFIQUE

Les développements qui suivent s'appuient sur un corpus scientifique international structuré depuis plusieurs décennies. Les références ci-dessous ne constituent pas une bibliographie exhaustive, mais les fondations théoriques majeures de la sélection apicole moderne.

FONDEMENTS EXPERIMENTAUX ET TRAVAUX DE REFERENCE

La sélection apicole moderne ne repose pas uniquement sur l'expérience empirique des éleveurs. Elle s'inscrit dans un corpus scientifique construit depuis plus d'un siècle, croisant génétique quantitative, biologie comportementale et écologie évolutive.

1. GENETIQUE DE L'ABEILLE ET HAPLODIPLOÏDIE

Les travaux fondateurs de Laidlaw & Page (1997) ont structuré la compréhension moderne de la génétique de l'abeille mellifère, notamment l'impact du système haplodiploïde sur la transmission des caractères.

La particularité des mâles haploïdes — transmettant l'intégralité de leur patrimoine génétique — modifie profondément les stratégies de sélection comparativement aux espèces strictement diploïdes.

Cette structure génétique explique :

- la forte influence des lignées à mâles,
- la dispersion accrue en F2,
- la sensibilité particulière à la consanguinité via le locus sexuel (csd).

2. DIVERSITE GENETIQUE ET FECONDATION MULTIPLE

Les recherches de Thomas D. Seeley (1985, 2007) ont démontré l'intérêt adaptatif de la polyandrie chez l'abeille :

la fécondation multiple augmente la diversité intracoloniaire, améliore la division du travail et renforce la résilience face aux pathogènes.

Des travaux expérimentaux ont montré qu'une diversité paternelle accrue :

- réduit la sensibilité aux maladies,
- améliore la stabilité comportementale,
- optimise l'efficacité collective.

La polyandrie n'est donc pas un accident biologique.
C'est un mécanisme adaptatif central.

3. SELECTION POUR LA RESISTANCE AU VARROA

Les travaux de Harbo & Harris (USDA, années 1990–2000) ont permis de formaliser le concept de comportement VSH (Varroa Sensitive Hygiene).

Ils ont démontré qu'un caractère partiellement héritable pouvait être renforcé par sélection répétée, malgré une transmission polygénique complexe.

Ces recherches ont établi trois principes majeurs :

1. La résistance est quantitative, non absolue.
2. Elle exige une évaluation standardisée.
3. Elle nécessite un programme multi-générationnel.

4. HETEROSIS ET DISPERSION EN F2

Les observations empiriques de vigueur hybride (hétérosis) ont été largement étudiées en génétique quantitative.

Chez l'abeille, cette vigueur en F1 provient souvent de la complémentarité entre deux lignées distinctes.

Cependant, comme le montrent les principes mendéliens combinés à la recombinaison polygénique :

- la F2 révèle la structure génétique sous-jacente,
- la dispersion augmente mécaniquement,
- la stabilité nécessite sélection et rotation.

L'hétérosis est un phénomène transitoire.

La stabilité est un travail.

5. CONSANGUINITE ET LOCUS SEXUEL

Les études sur le locus csd (complementary sex determination) ont démontré que :

- une homozygotie excessive entraîne la production de mâles diploïdes non viables,
- une réduction de diversité augmente les pertes larvaires,
- la gestion génétique est particulièrement critique en élevage fermé.

La sélection moderne doit donc intégrer la diversité comme paramètre stratégique.

6. Génétique quantitative et héritabilité

La notion d'héritabilité (h^2) est issue de la génétique quantitative développée par Fisher et ses successeurs.

Appliquée à l'abeille, elle implique :

- que les caractères comportementaux sont majoritairement polygéniques,
- que l'environnement module fortement leur expression,
- que seule l'évaluation répétée permet d'isoler une composante transmissible.

**La sélection apicole n'est pas mendélienne simple.
Elle est statistique.**

SYNTHÈSE

Les données scientifiques convergent vers une conclusion claire :

La sélection apicole est un processus probabiliste multi-factoriel intégrant :

- **structure haplodiploïde,**
- **diversité paternelle,**
- **polygénie des caractères,**
- **interaction génotype × environnement,**
- **dynamique territoriale.**

Le sélectionneur moderne n'invente pas une méthode isolée.

Il applique, à l'échelle du rucher, des principes validés expérimentalement.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

ÉLEVER POUR COMPRENDRE, SÉLECTIONNER POUR CONSTRUIRE

L'élevage de reines est souvent présenté comme une suite de gestes techniques : greffer une larve, préparer un starter, surveiller une cellule royale. Pourtant, ces gestes n'ont de sens que s'ils s'inscrivent dans une intention plus large. Élever n'est pas seulement produire des reines ; c'est orienter l'avenir génétique d'un rucher et, par extension, celui d'un territoire. Chaque décision d'élevage – choisir une colonie mère, conserver une reine, éliminer une lignée – modifie l'équilibre biologique local bien au-delà de la ruche ouverte ce jour-là. Ce manuel part d'un principe simple : on n'élève pas d'abord pour multiplier, mais pour comprendre, observer et sélectionner. L'élevage devient alors un langage, une manière d'interroger la colonie et d'inscrire ses réponses dans une stratégie à long terme. Avant d'aborder les techniques, il est donc nécessaire de clarifier ce qui distingue trois réalités souvent confondues : la multiplication, l'élevage et la sélection.

ANNEXE XIV — CONSTRUIRE ET UTILISER UN PEDIGREE APICOLE

METHODE PRATIQUE ET EXEMPLES CONCRETS

Le pedigree constitue l'un des outils les plus puissants pour structurer un programme d'élevage. Il ne s'agit pas d'un document réservé aux stations de sélection professionnelles ; c'est avant tout une manière simple de donner une continuité aux observations réalisées au rucher. Un pedigree permet de relier les reines entre elles, de visualiser les lignées et d'anticiper les décisions futures.

Contrairement à une idée répandue, le pedigree apicole n'exige pas une connaissance parfaite de la fécondation. Même en fécondation ouverte, suivre la filiation maternelle suffit déjà à structurer une stratégie génétique.

1 — POURQUOI CREER UN PEDIGREE

Un pedigree répond à trois objectifs essentiels :

- Comprendre l'origine réelle des colonies performantes.
- Éviter les croisements trop rapprochés.
- Donner une mémoire visuelle au programme d'élevage.

Sans pedigree, l'éleveur risque de multiplier des lignées sans percevoir leurs liens génétiques, ce qui peut conduire à une sélection incohérente.

2 — INFORMATIONS MINIMALES A INSCRIRE

Un pedigree efficace repose sur quelques données simples :

- Identifiant de la reine (année + numéro ou nom).
- Origine maternelle.
- Mode ou site de fécondation.
- Année d'élevage.
- Descendances principales.

Exemple d'identifiant :

24-A1 (année 2024, lignée A, reine n°1).

3 — COMMENT FORMER UN PEDIGREE PAS A PAS

Étape 1 : définir une reine fondatrice

La première reine d'une lignée devient le point de départ (F0).

Étape 2 : nommer les descendances

Chaque fille élevée reçoit un identifiant unique.

Étape 3 : relier les générations

Tracer une ligne entre la mère et les filles élevées.

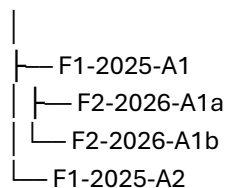
Étape 4 : ajouter les observations principales

Douceur, santé, stabilité ou autres caractères notables.

Le schéma peut rester très simple : quelques lignes tracées sur un carnet suffisent.

4 — EXEMPLE DE PEDIGREE LINEAIRE SIMPLE

F0-2024-A

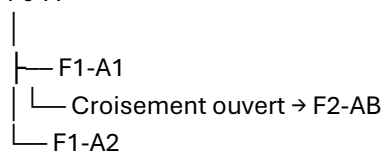


Ce modèle permet de suivre l'évolution d'une lignée sur plusieurs générations.

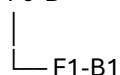
5 — EXEMPLE DE PEDIGREE AVEC ROTATION DE LIGNEES

Lignée Alpha (A) croisée indirectement avec lignée Bêta (B) :

F0-A



F0-B



Ce type de schéma aide à visualiser les interactions génétiques sans entrer dans une complexité excessive.

6 — CODES VISUELS UTILES

Pour rendre le pedigree lisible :

- Couleur différente pour chaque lignée maternelle.
- Cercle pour les reines conservées comme reproductrices.
- Croix ou annotation pour une lignée arrêtée.
- Flèche pour signaler une introduction extérieure.

Un code visuel simple améliore fortement la compréhension globale.

7 — PEDIGREE EN FECONDATION OUVERTE : COMMENT L'INTERPRETER

En fécondation ouverte, le pedigree reste partiel car la contribution des mâles n'est pas précisément connue. Il faut donc le lire comme une carte probabiliste plutôt qu'un arbre généalogique absolu. La valeur principale du pedigree réside dans le suivi maternel et dans la cohérence des observations sur plusieurs générations.

La sélection n'est pas une amélioration ponctuelle.

C'est une discipline de cohérence dans le temps.

CONCLUSION GÉNÉRALE

SELECTIONNER, C'EST GOUVERNER LE VIVANT

L'abeille ne se sélectionne pas comme un objet que l'on corrige.

Elle évolue dans un système biologique complexe : haplodiploïdie, polyandrie, interaction permanente entre gènes et environnement.

La sélection apicole n'est donc ni un raccourci ni une promesse immédiate.

Elle est une modulation progressive de probabilités.

La biologie impose ses règles :

- les caractères sont polygéniques,
- l'héritabilité est partielle,
- la variance diminue lorsqu'on concentre,
- la consanguinité progresse si l'on ferme trop vite.

Comprendre cela, ce n'est pas freiner l'ambition.

C'est lui donner une base.

LA STRATEGIE : ORGANISER LA CONTRAINTE

Sélectionner, c'est accepter un compromis permanent :

$$R = i \times h^2 \times \sigma_P$$

augmente le gain,
mais

$$\Delta F \approx \frac{1}{2N_e}$$

rappelle la limite.

L'intensité sans diversité mène à la contraction.

La diversité sans direction mène à la dispersion.

Le rôle du sélectionneur n'est pas de chercher la perfection immédiate.

Il est d'optimiser une trajectoire.

Une lignée ne se construit pas en une saison.

Elle se stabilise par itérations.

LE TERRITOIRE : FILTRE INVISIBLE

Aucune sélection n'existe hors sol.

En montagne, le climat sélectionne déjà :

- démarrage printanier tardif,
- capacité à exploiter des miellées brèves,
- résilience face aux amplitudes thermiques.

Un programme fermé dans un environnement contraint peut se fragiliser plus vite qu'anticipé.

La diversité n'est pas une concession théorique.

Elle est une réserve adaptative.

Ce que l'on élimine trop vite,
le climat peut le réclamer.

LE TEMPS LONG : SEULE ECHELLE PERTINENTE

Une saison valide une impression.

Trois générations révèlent une tendance.

Dix ans établissent une lignée.

Le progrès génétique ralentit.

La variance s'ajuste.

La population s'équilibre.

La sélection durable est un travail de patience structurée.

Elle n'est ni romantique, ni mécanique.

Elle est méthodique.

DERNIERE IDEE

La sélection concentre.

L'environnement filtre.

La diversité protège.

Entre ces trois forces se tient l'éleveur.

Non pas pour dominer le vivant,
mais pour orienter une trajectoire compatible avec un territoire et un avenir.

Un programme d'élevage réussi n'est pas celui qui produit le meilleur individu une année donnée.
C'est celui qui maintient une population stable, adaptable et cohérente au fil des générations.

Sélectionner, en apiculture,
c'est gouverner le temps.

TABLE DES MATIERES

PRÉFACE	3
Sélectionner à l'ère de l'incertitude	3
ANCORAGE SCIENTIFIQUE	4
Fondements expérimentaux et travaux de référence.....	4
1. Génétique de l'abeille et haplodiploïdie.....	4
2. Diversité génétique et fécondation multiple.....	4
3. Sélection pour la résistance au varroa	5
4. Hétérosis et dispersion en F2	5
5. Consanguinité et locus sexuel.....	5
SYNTHÈSE	6
INTRODUCTION GÉNÉRALE	7
Élever pour comprendre, sélectionner pour construire	7
PARTIE I.....	8
Fondations.....	8
Pourquoi élever et pourquoi sélectionner	8
Multiplier, élever, sélectionner : trois réalités distinctes	8
Responsabilité collective et rôle de l'éleveur	8
Observer avant d'agir	9
Les illusions fréquentes de l'élevage moderne	9
Vers un projet génétique cohérent	10
PARTIE II.....	11
BIOLOGIE APPLIQUÉE À L'ÉLEVAGE.....	11
Comprendre ce qui sert à agir	11
Le développement larvaire : une plasticité dirigée	11
La logique starter / finisseur : reproduire des états naturels	11
Fécondation multiple : la diversité comme principe biologique	11
Dérive génétique : l'évolution silencieuse du rucher	12
Le rôle des mâles : une influence souvent sous-estimée.....	12
Une biologie au service de l'action	12
PARTIE III.....	13
METTRE EN PLACE UN ATELIER D'ÉLEVAGE.....	13
Du concept au terrain	13
Organisation du rucher : séparer les fonctions sans isoler la colonie	13
Matériel minimal et matériel avancé : commencer simplement	13

Le calendrier d'élevage : structurer le temps	14
Sécurité sanitaire : une responsabilité permanente	14
Construire une méthode avant de chercher la performance.....	14
PARTIE IV.....	15
TECHNIQUES D'ÉLEVAGE	15
Le cœur pratique du manuel.....	15
Picking et méthodes alternatives	15
Starter simple, double starter et finisseur	15
Élevage naturel contrôlé	15
Gestion des cellules royales	16
Nuclei de fécondation	16
Introduction de reines	16
Des techniques au service d'une méthode	16
PARTIE V.....	17
LA MAÎTRISE DES MÂLES.....	17
Le chapitre que l'on oublie... et qui décide pourtant du résultat	17
Colonies à mâles : produire les bons mâles, au bon moment.....	17
Saturation du secteur : augmenter la probabilité, pas garantir le résultat	18
Quand on ne contrôle pas la fécondation : stratégies réalistes.....	18
Rôle du paysage apicole : la fécondation est territoriale.....	19
COMPLÉTER L'ÉQUATION GÉNÉTIQUE	19
ENCADRÉ — “Quand 30 % des mâles viennent de 3 lignées proches : que se passe-t-il ?” .21	
Hypothèse de terrain	21
1) Combien de mâles “sélectionnés” en moyenne ?	21
2) Mais combien de lignées paternelles différentes cela représente réellement ?	21
3) Effet sur le nombre effectif de reproducteurs (N _e)	22
4) Et donc, pourquoi (ΔF) augmente ?	22
Conclusion opérationnelle	23
PARTIE VI.....	24
ÉVALUER POUR SÉLECTIONNER.....	24
Passer de l'élevage à la décision	24
Définir des critères de notation	24
Biais d'observation : reconnaître les pièges du regard.....	24
Tests sanitaires et hygiéniques	25
Comportement, productivité et survie : des critères complémentaires.....	25
Mesurer pour décider	25

Encadré — Comment vérifier qu'un caractère est réellement transmissible ?	26
1. Cohérence des descendance	26
2. Répétition sur plusieurs saisons	26
3. Comparaison entre lignées	26
4. Rôle des mâles et dispersion génétique	26
5. Interpréter sans conclure trop vite	27
PARTIE VII.....	28
BASES GÉNÉTIQUES FORMELLES	28
Comprendre ce que l'on transmet réellement	28
1. LE SYSTÈME HAPLODIPLOÏDE : UNE GÉNÉTIQUE SINGULIÈRE.....	28
2. GÈNES, CARACTÈRES ET TRAITS COMPLEXES	28
3. HÉRITABILITÉ : CE QUI SE TRANSMET VRAIMENT	29
Tableau – Ordres de grandeur d'héritabilité des principaux caractères apicoles	30
4. DOMINANCE, RÉCESSIVITÉ ET EXPRESSION DES TRAITS	32
5. CONSANGUINITÉ ET VITALITÉ	32
6. VARIABILITÉ : UNE RESSOURCE, PAS UN DÉFAUT	32
7. GÉNÉTIQUE ET ENVIRONNEMENT : INTERACTION PERMANENTE	34
SYNTHÈSE OPÉRATIONNELLE	34
◇ ENCADRÉ MATHÉMATIQUE SIMPLIFIÉ	35
1. Héritabilité (h^2) – version opérationnelle	35
2. Probabilité en fécondation ouverte.....	36
3. Pourquoi la F2 disperse davantage	37
SCHÉMAS D'ÉLEVAGE ET STRATÉGIE GÉNÉTIQUE	38
Cycle génétique simplifié d'un programme de sélection	38
De l'élevage à la stratégie	39
F0, F1, F2 : logique et limites des générations.....	39
Backcross et rotations de lignées : stabiliser sans figer.....	39
Gestion de la consanguinité : préserver la vitalité	39
Programmes sur trois et cinq ans : penser en cycles longs	40
Construire une stratégie plutôt qu'accumuler des élevages	40
PARTIE VIII.....	41
LIMITES ET ILLUSIONS DE LA SÉLECTION.....	41
1. L'ILLUSION DE LA COLONIE EXCEPTIONNELLE	41
2. L'ILLUSION DE L'HÉTÉROSTASIS STABLE	41
3. L'ILLUSION DU BACKCROSS CORRECTEUR	42
4. L'ILLUSION DU CONTRÔLE DES MÂLES	42

5. L'ILLUSION DE LA PURETÉ GÉNÉTIQUE	42
6. L'ILLUSION DE LA MAÎTRISE TOTALE	43
7. LES LIMITES STRUCTURELLES D'UN PROGRAMME	43
8. LE RISQUE D'INTERPRÉTATION	43
SYNTHÈSE	44
PARTIE IX.....	45
ORGANISATION DES SÉRIES D'ÉLEVAGE	45
Structurer le rythme pour éviter le chaos	45
Planification annuelle : penser en cycles plutôt qu'en interventions	45
Suivi des séries : donner une mémoire au programme	45
Gestion des échecs : apprendre à corriger sans se décourager	45
Optimisation du temps : travailler avec le rythme des abeilles	46
Du geste isolé à la conduite d'un programme	46
PARTIE X.....	47
DÉCISIONS FINALES : MULTIPLIER OU ÉLIMINER	47
Le moment où la sélection devient un choix	47
Seuils de sélection : transformer l'observation en critères	47
Diffusion des reines : multiplier avec responsabilité	47
Quand arrêter une lignée : accepter la fin d'un cycle.....	48
Responsabilité vis-à-vis des autres apiculteurs	48
Décider pour donner une direction.....	48
CONCLUSION.....	49
Sélectionner, c'est anticiper.....	49
PARTIE XI.....	51
LES OUTILS NE SERVENT PAS SEULEMENT À MESURER — ILS APPRENNENT À VOIR	51
Exemple intégré : de l'observation à la décision.....	52
CAS PRATIQUE — COLONIE M23 (année N).....	52
Conclusion :.....	53
Pourquoi cet exemple est important	53
CAS 1 — LA COLONIE QUI SÉDUIT... MAIS QU'IL FAUT ÉLIMINER	54
Contexte.....	54
Lecture structurée	54
Décision	54
Leçon	54
CAS 2 — BACKCROSS MAÎTRISÉ : STABILISER SANS S'ENFERMER.....	55
Contexte.....	55

Stratégie	55
Pourquoi cela fonctionne.....	55
CAS 3 — L'ERREUR CLASSIQUE : ACCUSER LA REINE... ALORS QUE CE SONT LES MÂLES .	56
Contexte.....	56
Conclusion	56
Décision stratégique	56
CAS 4 — LA DÉRIVE GÉNÉTIQUE SILENCIEUSE (SUR 5 ANS)	57
Situation initiale (Année 0)	57
Années 1–2.....	57
Année 3.....	57
Année 4.....	57
Diagnostic	57
Leçon	57
CAS 5 — COEFFICIENT DE CONSANGUINITÉ SIMPLIFIÉ	58
CAS 6 — L'ILLUSION D'HÉTÉROSIS EN F1	59
Exemple :.....	59
L'éleveur s'enthousiasme.....	59
Pourquoi ?.....	59
ENCADRÉ 1 — MODÈLE SIMPLIFIÉ DE SATURATION DES MÂLES	60
Probabilité moyenne qu'une reine rencontre majoritairement vos mâles ?	60
ENCADRÉ 2 — SIMULATION D'UN PROGRAMME SUR 5 ANS EN CLIMAT DE MONTAGNE	61
Année 1 — Introduction	61
Année 2 — Première sélection	61
Année 3 — Stabilisation partielle.....	61
Année 4 — Filtrage climatique.....	61
Année 5 — Consolidation	62
Conclusion :.....	62
ENCADRÉ 3 — LES ERREURS PSYCHOLOGIQUES DE L'ÉLEVEUR	63
1. Le biais d'attachement.....	63
2. Le biais de confirmation	63
3. l'hétérosis (ou "vigreur hybride")	63
4. L'illusion de contrôle	63
5. La peur d'éliminer	63
ANNEXES TECHNIQUES	64
ANNEXE I - LA BOÎTE À OUTILS DE L'ÉLEVEUR	65
Supports pratiques pour l'élevage et la sélection apicole.....	65

ANNEXE II - TABLEAUX DE NOTATION	68
Rendre l'observation mesurable	68
1 — Principes généraux de notation	68
2 — Tableau de notation comportementale et sanitaire	68
3 — Tableau de notation de la dynamique de colonie	69
4 — Tableau de notation de performance et d'adaptation	69
5 — Exemple de fiche synthétique annuelle	69
6 — Conseils d'utilisation	69
ANNEXE III — CALENDRIER TYPE	70
Structurer le rythme de l'élevage	70
1 — Principes d'utilisation du calendrier	70
2 — Phase de préparation (J-30 à J-10 avant greffage)	70
3 — Lancement d'une série d'élevage (J0)	70
4 — Phase d'acceptation et de finition (J+1 à J+9)	70
5 — Gestion des cellules royales (J+10 à J+11)	71
7 — Contrôle des pontes et évaluation initiale (J+25 à J+35)	71
8 — Intégration dans le programme de sélection	71
9 — Exemple de lecture annuelle simplifiée	71
10 — Le calendrier comme outil vivant	71
ANNEXE IV — CHECK-LISTS OPÉRATIONNELLES	72
Sécuriser chaque étape de l'élevage	72
1 — Check-list de préparation avant greffage	72
2 — Check-list de suivi du starter et du finisseur	72
3 — Check-list de gestion des cellules royales	72
4 — Check-list d'introduction en nuclei de fécondation	72
5 — Check-list de contrôle post-fécondation	73
6 — Check-list de fin de série	73
7 — Conseils d'utilisation	73
ANNEXE V — EXEMPLES DE REGISTRES	74
Conserver la mémoire du rucher	74
1 — Registre général de rucher	74
2 — Carnet d'élevage	74
3 — Tableau de suivi des séries	75
4 — Registre sanitaire simplifié	75
5 — Fiche individuelle de lignée	75
6 — Conseils pour une utilisation durable	75

ANNEXE VI — MODÈLES DE PEDIGREE	76
Visualiser la génétique et structurer la sélection	76
1 — Principes de base d'un pedigree apicole	76
2 — Modèle simple de pedigree linéaire	76
3 — Modèle de pedigree par lignées parallèles	77
4 — Indications visuelles recommandées	77
5 — Pedigree et gestion de la consanguinité	77
6 — Pedigree en fécondation ouverte : une lecture probabiliste	77
7 — Du schéma généalogique à la stratégie de sélection	77
ANNEXE VII — GRILLE D'ÉVALUATION RAPIDE AU RUCHER.....	78
Observer, noter, décider... sans quitter la ruche	78
Principes d'utilisation.....	78
Échelle conseillée	78
Description des critères	79
Conseils pratiques	79
Format recommandé.....	79
Rôle dans le programme de sélection	79
ANNEXE VIII — FICHES TECHNIQUES DES MÉTHODES D'ÉLEVAGE.....	80
Format terrain — gestes essentiels et repères rapides	80
FICHE 1 — STARTER SIMPLE	80
FICHE 2 — DOUBLE STARTER / STARTER-FINISSEUR	80
FICHE 3 — PICKING (GREFFAGE)	81
FICHE 4 — ÉLEVAGE NATUREL CONTRÔLÉ	81
FICHE 5 — INTRODUCTION DE REINE	82
Utilisation des fiches	82
ANNEXE IX — SCHÉMAS VISUELS DU DÉVELOPPEMENT DE LA REINE.....	83
Chronologie larvaire et repères critiques pour l'éleveur	83
1 — Chronologie générale du développement d'une reine.....	83
2 — Frise opératoire simplifiée (à partir du greffage)	83
3 — Fenêtres critiques à connaître	83
4 — Repères visuels pour identifier le stade d'une cellule royale	84
5 — Schéma simplifié du cycle post-émergence.....	84
6 — Utilisation pratique des schémas	84
ANNEXE X - PROTOCOLES SANITAIRES SIMPLIFIÉS POUR L'ÉLEVEUR	85
Repères pratiques pour sécuriser l'élevage sans alourdir la pratique	85
1 — Quand éviter de greffer	85

2 — Signes d’alerte sanitaire à observer	85
3 — Gestion des nuclei fragiles	85
4 — Quarantaine d’une lignée ou d’une introduction extérieure	86
5 — Hygiène de base lors des manipulations	86
6 — Un protocole simple pour une sélection durable	86
ANNEXE XI — ORGANISATION D’UN ATELIER D’ÉLEVAGE TYPE	87
Disposition des ruchers et logique spatiale du programme	87
1 — Principes généraux d’organisation	87
2 — Zone d’élevage	87
3 — Zone de fécondation	87
4 — Zone de production de mâles	88
5 — Exemple d’implantation simplifiée	88
6 — Facteurs environnementaux à intégrer	88
7 — Pourquoi la disposition du rucher conditionne la réussite	88
ANNEXE XII — ERREURS CLASSIQUES ET SOLUTIONS	89
Anti-mythes de l’élevage et de la sélection apicole	89
1 — Pourquoi le taux d’acceptation chute	89
2 — Pourquoi des reines émergent mais ne pondent pas	89
3 — Pourquoi une lignée semble “dégénérer”	89
4 — Pourquoi les cellules royales sont abandonnées	90
5 — Pourquoi les reines deviennent agressives après quelques générations	90
6 — Pourquoi les séries d’élevage deviennent irrégulières	90
7 — Ce que révèle une erreur répétée	91
Conclusion — Dépasser les mythes pour progresser	91
ANNEXE XIII — EXEMPLE DE PROGRAMME GÉNÉTIQUE SUR 3 ANS	92
Cycle F0 → F1 → sélection → rotation de lignées	92
Contexte de départ	92
Année 1 — Introduction et observation (F0 → F1)	92
Année 2 — Première sélection et rotation (F1 → F2)	92
Année 3 — Stabilisation progressive et rotation de lignées	93
Lecture synthétique du cycle	94
ANNEXE XIV — CONSTRUIRE ET UTILISER UN PEDIGREE APICOLE	95
Méthode pratique et exemples concrets	95
1 — Pourquoi créer un pedigree	95
2 — Informations minimales à inscrire	95
3 — Comment former un pedigree pas à pas	95

4 — Exemple de pedigree linéaire simple	96
5 — Exemple de pedigree avec rotation de lignées	96
6 — Codes visuels utiles	96
7 — Pedigree en fécondation ouverte : comment l'interpréter	96
8 — Exemple concret d'utilisation	97
9 — Conseils pratiques pour débiter	97
Conclusion — Un outil vivant	97
Approfondissements mathématiques et modèles de sélection	98
ANNEXE TECHNIQUE A	99
Héritabilité : fondements mathématiques et application apicole	99
1. Définition rigoureuse	99
2. Équation du progrès génétique	99
3. Spécificité chez l'abeille	100
ANNEXE TECHNIQUE B	101
Coefficient de consanguinité en haplodiploïdie	101
1. Rappel	101
2. Particularité des abeilles	101
3. Formule adaptée simplifiée	101
ANNEXE TECHNIQUE C	102
Simulation simple sur 3 générations	102
ANNEXE TECHNIQUE D	104
Génétique quantitative appliquée au rucher	104
1. Héritabilité au sens étroit	104
2. Équation du progrès génétique	104
ANNEXE Technique E	105
Simulation multi-générationnelle d'un programme	105
Génération 1	105
Génération 2	105
Génération 3	105
Cette progression illustre :	105
ANNEXE technique F	106
Indice de sélection multi-caractères	106
ANNEXE technique G	107
Consanguinité en système haplodiploïde	107
1. Formule générale du coefficient de consanguinité	107
2. Dynamique simplifiée en élevage fermé	107

Gestion de la consanguinité en sélection apicole	108
1. Spécificité du système haplodiploïde	108
2. Dynamique simplifiée en élevage fermé	108
3. Ordres de grandeur et zones de vigilance.....	109
4. Interaction entre sélection et consanguinité	109
5. Stratégies pratiques de maîtrise de (F)	109
6. Conclusion opérationnelle.....	110
ENCADRÉ ILLUSTRATIF	111
Exemple chiffré : montée de la consanguinité (F) en programme fermé (3 générations) 111	
ENCADRÉ ILLUSTRATIF	113
Simulation réaliste : évolution de (F) dans un petit programme fermé	113
Figure 1 — Concentration génétique progressive dans un programme fermé	116
Schéma simplifié illustrant la réduction du nombre effectif de reproducteurs sur trois générations en sélection interne.	116
GÉNÉRATION 0	116
GÉNÉRATION 1	116
GÉNÉRATION 2	117
GÉNÉRATION 3	117
Lecture de la figure	118
transition vers la gestion en territoire de montagne.....	119
ENCADRÉ TECHNIQUE	120
Nombre effectif de reproducteurs (Ne) : la variable invisible	120
1. Définition	120
2. Formule simplifiée.....	120
3. Exemple concret.....	120
4. Conséquences d'un Ne faible	121
5. Application en sélection de montagne.....	121
Message clé	121
ANNEXE technique H	122
Sélection et gestion du risque génétique	122
ANNEXE TECHNIQUE I.....	123
Progrès génétique, intensité de sélection et maintien de diversité	123
1. L'équation fondamentale du progrès génétique	123
2. Forme biométrique complète	123
3. Simulation simple sur trois générations	124
4. Le coût invisible : la réduction de diversité	124

5. Le compromis central du sélectionneur	125
6. Application pratique en élevage apicole	125
7. Conclusion opérationnelle.....	126
CONCLUSION GÉNÉRALE	129
Sélectionner, c'est gouverner le vivant.....	129
La stratégie : organiser la contrainte	129
Le territoire : filtre invisible.....	130
Le temps long : seule échelle pertinente	130
Dernière idée	130
BIBLIOGRAPHIE SÉLECTIVE	142
I. Génétique et biologie fondamentale.....	142
II. Sélection animale et méthodes appliquées	142
III. Sélection apicole contemporaine.....	142
IV. Dérive génétique et structure des populations.....	143

BIBLIOGRAPHIE SÉLECTIVE

Les références suivantes ne constituent pas une liste exhaustive des travaux existants en génétique apicole. Elles ont été retenues pour éclairer les principes fondamentaux mobilisés dans cet ouvrage : hérédité, sélection quantitative, interaction génotype-environnement et dynamique des populations.

I. GENETIQUE ET BIOLOGIE FONDAMENTALE

Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C.

Introduction to Quantitative Genetics. Longman, 1996.

Référence majeure en génétique quantitative. Fondement théorique de l'hérédité, de la variance génétique et des réponses à la sélection.

Lynch, M., & Walsh, B.

Genetics and Analysis of Quantitative Traits. Sinauer Associates, 1998.

Ouvrage plus technique sur les mécanismes polygéniques et la variabilité.

Page, R. E., & Laidlaw, H. H.

Honey Bee Genetics and Breeding. Wicwas Press, 1985.

Référence historique incontournable sur la génétique apicole.

II. SÉLECTION ANIMALE ET MÉTHODES APPLIQUÉES

Bourdon, R. M.

Understanding Animal Breeding. Prentice Hall, 2000.

Approche claire des principes de sélection, applicable aux abeilles.

Oldroyd, B. P., & Wongsiri, S.

Asian Honey Bees: Biology, Conservation and Human Interactions. Harvard University Press, 2006.

Intéressant pour la compréhension comparative et la diversité génétique.

III. SÉLECTION APICOLE CONTEMPORAINE

Rinderer, T. E.

Bee Genetics and Breeding. Academic Press, 1986.

Travail fondateur sur les stratégies de sélection et les lignées.

Büchler, R., Costa, C., Mondet, F., et al.

The influence of genetic origin and its interaction with environmental effects on the survival of *Apis mellifera* L. colonies in Europe.

Journal of Apicultural Research, 2014.

Travail majeur sur interaction génétique / environnement.

Le Conte, Y., & Navajas, M.

Climate change: impact on honey bee populations and diseases.

Revue Scientifique et Technique (OIE), 2008.

Pour intégrer la dimension prospective.

Harbo, J. R., & Harris, J. W.

Responses to Varroa by honey bees with different levels of Varroa Sensitive Hygiene (VSH).

Journal of Apicultural Research, 2005.

Référence sur la sélection VSH.

Locke, B.

Natural Varroa mite-surviving *Apis mellifera* honeybee populations.

Apidologie, 2016.

Travaux sur adaptation naturelle et pression sélective.

IV. DERIVE GENETIQUE ET STRUCTURE DES POPULATIONS

Wright, S.

Evolution in Mendelian Populations.

Genetics, 1931.

Article fondateur sur dérive génétique (conceptuel, pas nécessairement à lire intégralement, mais structurant).

Hamilton, W. D.

The genetical evolution of social behaviour.

Journal of Theoretical Biology, 1964.

Fondement théorique pour comprendre la sélection en société eusociale.
