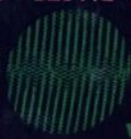


principes d'amélioration génétique des animaux domestiques

Francis Minvielle

MIEUX COMPRENDRE

MIEUX COMPRENDRE



INRA



**LES
PRESSES
DE L'UNIVERSITE
LAVAL**

63513E-05 49999E-06 32707E-05 42995E-05 -28821E-06 31621E-05 7

principes
d'amélioration génétique
des animaux domestiques

COLLECTION

principes d'amélioration génétique des animaux domestiques

Francis MINVIELLE

Directeur de Recherche, INRA

Jouy en Josas, France

Professeur Associé, Université Laval

Québec, Canada

INSTITUT NATIONAL
DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
147, rue de l'Université,
75007 Paris, France

LES PRESSES
DE L'UNIVERSITÉ LAVAL
Pavillon Adrien-Pouliot
Cité Universitaire, Québec, Canada

Mieux comprendre

Ouvrages parus dans la même collection :

Les oligo-éléments en agriculture et élevage

Yves Coïc, Marcel COPPENET

1989, 114 p.

Cytogénétique des mammifères d'élevage

Paul C. POPESCU

1989, 114 p.

Eléments de virologie végétale

Pierre CORNUET

1987, 208 p.

Institut National de la Recherche Agronomique
147, rue de l'Université, 75007 Paris, France
Service des Publications, route de Saint Cyr,
78026 Versailles Cedex, France

© INRA, Paris, 1990

ISBN 2-7380-0201-3

Les Presses de l'Université Laval
Pavillon Adrien-Pouliot, Cité Universitaire
Québec, Canada G1K 7P4

© PUL, Québec, 1990

ISBN 2-7637-7216-1

Remerciements

Ce texte a beaucoup profité de la lecture critique et attentive de Nicole Dion, François Castonguay et Nicolas Caron, alors étudiants diplômés au département de Zootechnie de l'Université Laval. Le Professeur Yukio Yamada et la Faculté d'Agriculture de l'Université de Kyoto m'ont permis, grâce à leur accueil, de rédiger en toute tranquillité la première version du texte que Martin Levac a habilement composée sur micro-ordinateur. La dernière version a été lue par Louis Ollivier, Directeur de Recherche à l'INRA. Je les remercie tous très chaleureusement.

Table des matières

	Page
INTRODUCTION	XV
CHAPITRE I — Génétique des populations. Constitution génétique et loi de Hardy-Weinberg	1
1) Description de la population	2
A) <i>Fréquence génotypique</i>	3
B) <i>Fréquence génique</i>	3
2) Loi de Hardy-Weinberg	4
A) <i>Énoncé de la loi</i>	5
B) <i>Utilisation de la loi</i>	7
3) Références	7
4) Problèmes	8
CHAPITRE II — Génétique des populations. Facteurs de changement génétique	9
1) La mutation	9
2) La migration	11
3) La sélection	13
4) Le système d'accouplement	16
A) <i>L'hétérogamie</i>	17
B) <i>L'homogamie</i>	18
5) La taille de la population : dérive génique et consanguinité .	20
A) <i>La dérive génique</i>	20
B) <i>Le coefficient de consanguinité</i>	21
6) Conclusion	26
7) Références	26
8) Problèmes	26

CHAPITRE III — Généalogie, consanguinité et parenté	29
1) La généalogie	29
2) Le coefficient de consanguinité F	30
A) <i>Calcul de F</i>	30
B) <i>Utilisations de F</i>	33
3) Les mesures de la parenté	34
A) <i>Le coefficient de parenté f_{XY}</i>	34
B) <i>La relation (génétique) additive a_{XY}</i>	34
C) <i>Le coefficient de relation r_{XY}</i>	36
D) <i>La relation de dominance d_{XY}</i>	36
4) L'évaluation systématique de a et de F : méthode tabulaire .	37
5) Références	39
6) Problèmes	39
CHAPITRE IV — Caractères quantitatifs et amélioration génétique .	41
1) La relation $P = G + E$	42
A) <i>Les valeurs additive et de dominance</i>	43
B) <i>La variation génotypique</i>	46
C) <i>L'environnement</i>	47
D) <i>Conclusion</i>	48
2) L'amélioration génétique d'un caractère quantitatif	48
3) Références	50
4) Problèmes	51
CHAPITRE V — Description de la population pour un caractère quantitatif	53
1) L'évaluation de la variance additive	53
A) <i>Covariance entre apparentés</i>	54
B) <i>Le calcul de la variance additive</i>	55
2) L'héritabilité h^2	56
A) <i>Définitions</i>	56
B) <i>Utilisations</i>	58
C) <i>Estimation</i>	59
3) Cas des mesures répétées : répétabilité r	62
A) <i>Définitions</i>	62
B) <i>Utilisations</i>	63
4) La corrélation génétique r_A	65
A) <i>Définition</i>	65
B) <i>Estimation</i>	66

5) Conclusions	68
6) Références	69
7) Problèmes	69
CHAPITRE VI — Évaluation génétique : un seul caractère	71
1) Les données de terrain	71
2) Le calcul de l'indice de sélection I	72
A) <i>La formulation générale de l'indice</i>	73
B) <i>La précision de l'indice</i>	76
3) Les indices de sélection de base	77
A) <i>Les types d'évaluation les plus courants</i>	78
B) <i>Comparaison selon la précision</i>	80
C) <i>Précision d'une valeur d'indice calculée I_α</i>	81
4) Deux indices obtenus à partir de plusieurs sources d'information	82
A) <i>Indice d'après une mesure sur la mère et les 2 grand-mères du candidat</i>	82
B) <i>Évaluation combinée</i>	83
5) Récapitulation sur les indices de sélection	85
6) BLUP (best linear unbiased predictor)	86
A) <i>Calcul de BLUP : un cas simple</i>	87
B) <i>Comparaison avec l'indice de sélection</i>	92
7) Références	95
8) Problèmes	95
CHAPITRE VII — Évaluation génétique : plusieurs caractères ...	99
1) Évaluation de la valeur additive A	99
A) <i>Évaluation individuelle d'après une mesure sur deux caractères différents</i>	100
B) <i>Évaluation indirecte</i>	101
C) <i>Indice avec restriction</i>	101
2) Évaluation de la valeur génétique globale H	102
A) <i>Valeur génétique économique</i>	103
B) <i>Emphase relative</i>	104
C) <i>Calcul de l'indice</i>	105
D) <i>Approximation de l'indice</i>	107
3) Conclusions	107
4) Références	109
5) Problèmes	109

CHAPITRE VIII — Sélection : un seul caractère	111
1) Expression générale du progrès génétique obtenu par sélection	111
A) <i>Le modèle</i>	112
B) <i>Le gain génétique R</i>	112
C) <i>L'intensité de sélection i</i>	114
D) <i>La formule fondamentale du gain génétique</i>	115
2) Le plan de sélection pour maximiser le progrès génétique annuel	118
A) <i>Les valeurs des paramètres de ΔG</i>	118
B) <i>Les oppositions entre i, t et r_{IA}</i>	119
C) <i>Une étude de cas</i>	121
D) <i>Comparaison générale des plans de sélection</i>	125
3) La réponse corrélative à la sélection	126
4) Mesure et diffusion du progrès génétique	128
A) <i>Mesure du progrès génétique réalisé dans une population expérimentale</i>	129
B) <i>Mesure du progrès génétique réalisé sur le terrain</i>	132
C) <i>Diffusion du progrès génétique</i>	134
5) Références	138
6) Problèmes	139
 CHAPITRE IX — Sélection : plusieurs caractères	 141
1) La réponse à la sélection, un exemple	141
A) <i>La réponse à la sélection individuelle pour la valeur gé- nétique globale et pour chaque caractère séparément</i>	142
B) <i>La réponse indirecte à la sélection pour la valeur génétique globale</i>	144
2) Progrès génétique comparé pour les méthodes du tandem, des niveaux de rejet indépendants et de l'indice	146
A) <i>La méthode du tandem</i>	146
B) <i>La méthode des niveaux de rejet indépendants</i>	147
C) <i>Comparaison des trois méthodes de sélection pour plusieurs caractères</i>	148
3) L'indice rétrospectif	149
4) L'indice de sélection pour un gain prédéterminé	151
5) Références	154
6) Problèmes	154

CHAPITRE X — Consanguinité et croisement	157
1) Effets de la consanguinité et du croisement sur les performances	157
A) <i>Dépression de consanguinité</i>	158
B) <i>Hétérosis dû au croisement</i>	160
C) <i>La relation entre la dépression de consanguinité et l'hétérosis</i>	160
2) L'utilisation de la consanguinité	162
3) L'utilisation du croisement	164
A) <i>L'hétérosis</i>	165
B) <i>Les différents types de croisement</i>	166
C) <i>Comparaison des systèmes de croisement</i>	170
D) <i>Le choix des races à croiser</i>	172
4) La sélection pour la performance en croisement	175
A) <i>La sélection récurrente réciproque</i>	175
B) <i>La sélection récurrente sur lignée consanguine</i>	176
5) La race synthétique, une alternative au croisement	176
6) Références	179
7) Problèmes	180
CONCLUSION	183
BIBLIOGRAPHIE	185
ANNEXE A — Probabilités pour l'amélioration génétique	187
1) Événement et probabilité	187
2) Calculs des probabilités	188
A) <i>Union de deux événements (ou)</i>	188
B) <i>Intersection de deux événements (et)</i>	188
3) Application à la détection des hétérozygotes	189
A) <i>Accouplements avec des femelles de la population</i>	190
B) <i>Accouplements avec ses filles (1 progéniture par naissance)</i>	190
C) <i>Accouplement avec ses filles (k progénitures par portée et p portées)</i>	191
ANNEXE B — Statistiques pour l'amélioration génétique	
1) Description d'un caractère quantitatif seul ou en association	193
A) <i>Estimation des paramètres</i>	194
B) <i>Règles de calcul des variances et des covariances</i>	195
C) <i>Un exemple numérique</i>	196

2) L'analyse de la variance des productions	197
A) <i>Modèle linéaire</i>	198
B) <i>Évaluation des composantes de la variance</i>	199
C) <i>Évaluation des effets individuels</i>	201
D) <i>Évaluation des aptitudes générales et spécifiques au croisement</i>	203
LISTE DES ENCADRÉS	207
INDEX	209

Avertissement

Pour ne pas alourdir les formules mathématiques et, en particulier, celles insérées dans le corps du texte, tout en facilitant leur mise en page, les coefficients $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$... sont aussi écrits 1/2, 3/4... sans parenthèses, dans les formules où ils apparaissent.

Ainsi, par exemple, il faut comprendre que :

$$1/2 V(A) = \frac{1}{2} V(A), \text{ et pas } \frac{1}{2V(A)}.$$

De la même façon:

$$(p-1) 1/4 V(A) = \frac{(p-1) V(A)}{4}.$$

Enfin, s'il y a ambiguïté, le coefficient fractionnaire est écrit de façon traditionnelle.

Introduction

Ce manuel a un double objectif. Il vise d'abord à fournir aux étudiants des productions et sciences animales un exposé des principes de l'amélioration génétique qui leur donne les clefs théoriques nécessaires à la compréhension de l'amélioration des animaux domestiques. Il veut en même temps offrir à celui qui commence des études avancées dans le domaine une connaissance plus approfondie de la matière en montrant relativement en détail le cheminement théorique qui conduit aux résultats principaux.

C'est la raison pour laquelle le livre renferme quatre sources d'information distinctes mais complémentaires. Le texte lui-même présente d'une façon progressive les résultats théoriques principaux en amélioration génétique avec un minimum de calculs et de nombreux exemples numériques. À ce tronc commun viennent se greffer les «encadrés», les listes de références et de problèmes et les appendices. Les «encadrés» contiennent les dérivations de la plupart des résultats donnés dans le texte et permettent d'acquérir ainsi, au choix du lecteur, une connaissance plus intime de la matière. Le texte ne renvoie à aucune référence particulière mais chaque chapitre est suivi d'une liste de références et de problèmes. La sélection des références qui se rapportent à chaque chapitre est, dans une certaine mesure, arbitraire mais un effort particulier a été fait pour citer les articles «classiques» dont l'ensemble devrait sans doute constituer une bibliographie de base pour l'étudiant avancé. Les quelques problèmes proposés sont d'une difficulté variable et ont pour but d'offrir au lecteur un moyen objectif de vérifier son niveau d'avancement. Les deux annexes présentent, d'une manière très libre et condensée, des résultats en probabilités et en statistiques qui sont importants en amélioration génétique et considérés connus pour les calculs dans les «encadrés».

La matière est répartie en 10 chapitres. Les deux premiers décrivent la génétique des caractères déterminés par (essentiellement) un seul gène. On y trouvera les résultats principaux de la génétique des populations interprétés comme des indicateurs de ce que l'amélioration

génétique peut accomplir sur des caractères plus complexes parce que polygéniques.

On ne peut parler de génétique que si l'on a une certaine transmission héréditaire du caractère concerné. Précisément, le chapitre 3 expose les différentes manières de mesurer le degré de transmission héréditaire entre des animaux de parenté variée.

Le restant du livre est consacré à la génétique des caractères quantitatifs, c'est-à-dire des caractères dont l'expression est déterminée par plusieurs gènes d'effet individuel faible et est influencée par d'autres facteurs non génétiques («l'environnement»). Pour ces caractères décrits aux chapitres 4 et 5, l'amélioration génétique d'une population d'animaux peut emprunter deux voies, la sélection des meilleurs individus pour produire les générations ultérieures dont les différentes étapes sont couvertes dans les chapitres 6 à 9, et le choix du système de croisement traité au chapitre 10.

Si cet ensemble doit constituer pour le lecteur un tableau attrayant et cohérent des principes de l'amélioration génétique animale ce sera son principal mérite. En effet, la matière n'en est pas très nouvelle et la bibliographie donnée à la fin du texte montre et commente les contributions principales dans le domaine. Parmi celles-ci, les ouvrages de D.S. Falconer, L. Ollivier et F. Pirchner ont été des sources d'inspiration toutes particulières qu'il faut souligner. Enfin, une dizaine d'années d'enseignement aux étudiants en agronomie auront convaincu l'auteur de l'importance de la pédagogie, importance qui, espérons-le, transparaîtra à la lecture de ce manuel.

Génétique des populations

Constitution génétique et loi de Hardy-Weinberg

Les bovins de la race Holstein sont généralement noirs avec des taches blanches. Cependant, un petit nombre d'animaux de cette race sont rouges à taches blanches. Ayant vérifié – en utilisant les lois de Mendel – que la coloration rouge ou noire du pelage, que l'on appelle un **caractère**, est déterminée par un gène chez cette race, on peut alors décrire la constitution génétique de cette population, c'est-à-dire la proportion de chaque génotype pour le caractère couleur du pelage. On peut aussi se demander si cette constitution génétique est inaltérable et, sinon, ce qui peut la modifier. Tout ceci est le domaine de la génétique des populations.

La génétique des populations est l'étude, menée dans une population bien définie, de tout caractère déterminé par un ou quelques gènes.

La connaissance approfondie de la génétique des populations, une science à part entière, n'est en général pas nécessaire à l'améliorateur. Cependant, l'étude des bases de cette science permet de connaître les causes principales des modifications héréditaires d'un caractère dans une population. Mais, changer génétiquement un caractère, est précisément ce que l'améliorateur recherche lorsqu'il vise à augmenter le potentiel génétique de production des bovins, ou de la volaille par exemple. L'exposé des fondements de la génétique des populations va donc nous permettre d'identifier déjà les grandes voies qui nous sont ouvertes pour faire l'amélioration génétique des populations d'animaux domestiques.

De plus, bien que la grande majorité des caractères d'intérêt en production animale, comme la production de lait, de viande ou d'œufs, soient déterminés par plusieurs et sans doute de nombreux gènes, cer-