

Table des matières

TABLE DES MATIERES	1
INTRODUCTION	3
PREMIERE PARTIE. PRECISION DES PERFORMANCES ET DES INDEX ESTIMES A PARTIR DES DONNEES DU CONTROLE LAITIER ALLEGE.	5
I. MATERIEL ET METHODE	6
A. Données	6
B. Méthodes	6
<i>I. Calcul des performances</i>	7
<i>II. Modèle d'estimation des index</i>	8
<i>III. Critères</i>	9
II. RESULTATS	10
A. Qualité des performances estimées	10
<i>I. Effets du protocole AT4</i>	10
<i>II. Effets de l'extrapolation des lactations en cours et des taux manquants sur la qualité des performances estimées en A4 ou en AT4</i>	10
<i>III. Effets des laits de mélange utilisés en A4.</i>	10
<i>IV. Effets d'une correction des données AT4 par les coefficients K_i</i>	10
B. Qualité des index estimés.	13
<i>I. Effets du protocole AT4</i>	13
<i>II. Recherche d'un modèle plus performant pour les données AT4</i>	13
III. DISCUSSION	15
SECONDE PARTIE. PARAMETRES GENETIQUES LAITIERS DES RACES ALPINE ET SAANEN	17
I. MATERIELS ET METHODES.	17
A. Les données.	17
B. Méthodes.	19
II. RESULTATS ET DISCUSSION.	19
A. Variabilités génétiques.	19
B. Corrélations entre caractères.	21
TROISIEME PARTIE. INTRODUCTION DES MATIERES GRASSES DU LAIT DANS L'OBJECTIF DE SELECTION CAPRIN	23
I. METHODE	25
A. Description du schéma de sélection caprin	25
B. Modélisation du schéma de sélection caprin	26
C. Critères économiques	29
II. RESULTATS	30
III. LE CHOIX	33
CONCLUSION GENERALE	35
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	37

Introduction

La production laitière caprine en France est destinée presque exclusivement à la transformation fromagère. Avec un cheptel de l'ordre de 800 000 chèvres, responsable d'environ 32% de la production de lait de chèvre en Europe pour seulement 9% des effectifs, l'élevage caprin français apparaît comme hautement productif (Piacère *et al.*, 2001 a). Cette productivité doit être bien entendue imputée aux techniques d'élevage mais aussi à la sélection génétique opérée depuis plusieurs décennies dans les deux grandes races laitières Alpine et Saanen.

La sélection caprine s'est longtemps concentrée sur un accroissement des quantités de matière protéique, principal déterminant de la production fromagère. Mais au cours des années 1990, les transformateurs se sont inquiétés de l'évolution des matières grasses du lait. Les statistiques du contrôle laitier montraient une évolution positive des deux taux, mais une légère décroissance du rapport taux butyreux / taux protéique conduisait peu à peu ce rapport en deçà des valeurs recommandées pour la transformation fromagère (de l'ordre de 1,15).

La relative augmentation du cheptel Saanen et l'évolution des régimes alimentaires, plus pauvres en fibres, plus riches en concentrés, étaient probablement en partie responsables de cette évolution. Toutefois, les professionnels ont souhaité qu'un objectif de sélection plus favorable aux taux butyreux soit défini.

C'est ainsi qu'en 1998, l'UPRA Caprine (Caprigène France) m'a recrutée en tant que chargée d'étude pour réaliser à Toulouse, sous sa direction et avec l'appui technique et scientifique de l'Institut de l'Élevage et de l'équipe de l'INRA-SAGA, les différents travaux nécessaires au choix d'un nouvel objectif de sélection par les professionnels.

La première étape de ces travaux consistait à vérifier la qualité des index (estimations des valeurs génétiques transmissibles) pour les matières grasses. En effet, les taux butyreux étant nettement plus variables que les taux protéiques au cours d'une journée de production et d'une journée à la suivante, il n'était pas acquis que les protocoles de contrôle des performances en ferme et les méthodes de calculs des performances utilisés en routine permettent l'estimation d'index matières grasses aussi fiables que les index matières protéiques. Cette question fait l'objet de la première partie de ce document.

Ensuite, l'optimisation d'un objectif de sélection combinant plusieurs caractères requière une bonne connaissance des variabilités et des corrélations génétiques et phénotypiques entre ces caractères. Or, les dernières estimations disponibles pour les cheptels caprins Français

remontaient au milieu des années 1980. L'enrichissement de la base de données caprine, des outils informatiques et des méthodes d'estimation utilisables depuis cette date conduisait naturellement à vouloir réactualiser l'estimation de ces paramètres. Cette question fait l'objet de la seconde partie de ce document.

Ces travaux préliminaires ayant été conclus, il restait à proposer aux professionnels une gamme d'objectifs de sélection qui pourraient induire des progrès génétiques satisfaisants sur l'ensemble des cinq caractères laitiers majeurs : quantité de lait (notée QL et exprimée en Kg dans le reste de ce document), quantité de matières protéiques (QMP, en Kg), quantité de matière grasse (QMG, en Kg), taux protéique (TP, en g/Kg) et taux butyreux (TB , en g/Kg) évalués pour une lactation standard à 250 jours. Cette question fait l'objet de la troisième et dernière partie de ce document.

Première partie. Précision des performances et des index estimés à partir des données du contrôle laitier allégé.

La précision des valeurs génétiques estimées pour un individu dépend d'un très grand nombre de facteurs recouvrant, entre autres, la structure du schéma de sélection, les données de performance et de généalogie disponibles ainsi que les méthodes d'estimations retenues. Compte tenu des différences de variabilité des caractères au cours de la lactation, l'évaluation des TB et des QMG est reconnue comme nettement plus sensible aux protocoles de contrôles des performances que celle des QL, QMP et TP (Lee et Wardrop, 1984). La qualité des données de performances risque en conséquence d'être moins satisfaisante pour les matières grasses que pour les autres caractères.

Deux types de protocoles de contrôle laitier, reconnus sur le plan international, sont actuellement agréés pour l'espèce caprine (Institut de l'Élevage et France Contrôle laitier, 1994) : un contrôle mensuel des deux traites (dénommé A4 ou A5 suivant le détail des intervalles entre contrôles¹), et un contrôle mensuel d'une seule des deux traites, en alternance celle du matin et celle du soir (dénommé AT4 ou AT5¹). Ce protocole alterné a permis, par son coût réduit, de favoriser l'entrée des cheptels caprins au contrôle de performances. Il concerne ainsi depuis 1994 1/5 des chèvres et 1/4 des élevages caprins contrôlés.

Préalablement à son agrément, une étude conduite en 1991 (Bouloc *et al.*, 1991) avait permis de démontrer qu'un protocole alterné effectué tous les 30 jours permettait une suffisamment bonne estimation des performances de lactation pour les QMP et TP, seuls caractères sélectionnés à l'époque. Dans cette partie, nous nous proposons d'étendre ces travaux sur la base des données plus nombreuses disponibles en 1998, en s'attachant plus particulièrement à évaluer la précision des performances et des index matières grasses ainsi qu'en testant l'efficacité de plusieurs méthodes correctives envisageables.

¹ Les contrôles A4 ou AT4, majoritaires, sont ordinairement effectués tous les 22 à 33 jours alors que les contrôles A5 ou AT5 tolèrent des intervalles ordinaires de 27 à 41 jours (pour plus de précision voir Anonyme, 1994).

I. Matériel et méthode

A. Données

Les données utilisées sont issues de la base nationale caprine du CTIG (Centre de Traitement des Informations Génétiques) de l'INRA à Jouy en Josas. Elles correspondent à une centaine de cheptels suivis en A4, mais dont les taux protéiques et butyreux ont été mesurés séparément sur les traites du matin et du soir au lieu d'être mesurés sur un mélange 50/50 de ces échantillons. Ainsi, il est possible de comparer sur les mêmes individus des performances calculées selon un protocole A4 (en utilisant toutes les données) ou AT4 (en utilisant les mesures du matin ou du soir, en alternance d'un contrôle au suivant). Seules les lactations finies et exemptes de données manquantes ont été retenues, correspondant à 13117 chèvres issues de 98 cheptels et ayant commencé leurs lactations entre le 1^{er} septembre 1996 et le 31 août 1997.

B. Méthodes

Ces données nous ont permis de tester les effets des contrôles alternés ainsi que ceux de différents facteurs d'imprécision reconnus mais tolérés pour l'indexation officielle : l'extrapolation des lactations en cours lors de l'indexation, l'extrapolation des données de taux manquantes et le déséquilibre des mélanges de lait du matin et de lait du soir utilisés en A4 pour mesurer la production journalière. Par ailleurs, nous avons pu examiner différentes méthodes de calcul des performances ou d'estimation des index pouvant contribuer à améliorer la qualité des index matières grasses issus de protocoles AT4.

L'idéal aurait été bien entendu de pouvoir comparer toutes ces performances estimées aux performances effectivement réalisées par les chèvres à partir de mesures exhaustives. Ces données n'existant pas, nous avons considéré tout au long de ce travail que les performances calculées selon le protocole A4 en utilisant toutes les données disponibles étaient les valeurs de référence auquel il convenait de comparer les autres².

Tous les calculs et les analyses cités dans cette partie ont été effectués dans le logiciel SAS (1992).

² Pour avoir un ordre de grandeur de la précision des estimations A4 relativement à des mesures plus exhaustives, on peut se référer aux travaux réalisés en élevage bovin par Mc Daniel (1969) ou Anderson *et al.* (1989) : environ 0,97 pour la quantité de lait et 0,95 pour le taux butyreux.

1. Calcul des performances

Dans le protocole A4 de référence, les quantités de matières produites un jour de contrôle ont été estimées en additionnant les quantités de matières (quantités de lait * taux) mesurées le matin et le soir. Dans le protocole AT4, ces quantités de matières journalières ont été estimées en multipliant par 2 les quantités mesurées lors du contrôle du matin ou du soir.

Pour simuler au mieux les conditions d'un contrôle alterné dans notre population, nous avons fixé aléatoirement l'alternance des contrôles pour chaque cheptel, en commençant la campagne soit le matin soit le soir.

Les performances de lactation ont ensuite été calculées selon la méthode de référence de Fleishmann :

$$Q = Q_1 * \text{int}_1 + \sum_{i=1 \text{ to } f} [(Q_i + Q_{i+1}) / 2 * \text{int}_i] + Q_f * 14,$$

où Q_i est la quantité mesurée lors du contrôle i , int_i est l'intervalle entre les contrôles i et $i+1$, Q_1 et Q_f sont respectivement les premières et dernières quantités mesurées au cours de la lactation et int_1 correspond à l'intervalle entre la mise bas et le premier contrôle. Les taux sont obtenus dans un second temps en faisant le rapport entre les quantités de matières et les quantités de lait.

De la même façon que pour l'indexation officielle, les performances ainsi calculées ont été corrigées pour la durée de lactation (DL) soit par troncation au 250^{ième} jour lorsque la DL est supérieure à 250, soit par un coefficient égal à $250 / (60+DL)$ dans le cas contraire. Les performances ont en outre été corrigées pour le rang de lactation par un coefficient respectivement égal à 1, 0.9 ou 0.85 pour des rangs de lactation de 1, 2 ou 3 et plus. Ce facteur de correction permet d'homogénéiser les variances entre rangs de lactation.

Pour étudier la qualité des performances extrapolées, nous avons simulé un second jeu de données où seules les données recueillies avant le 15 juin sont utilisées, suivant un protocole A4 ou AT4. Cette date, précoce, ne correspond pas aux dates d'indexation officielle d'automne ou d'hiver, mais permet d'étudier une population où la plupart des lactations ne sont pas achevées. Les performances ont été extrapolées selon la méthode officielle, en ajoutant aux quantités déjà produites une quantité $c * Q_f$ où c dépend du caractère considéré, du rang de lactation et de la durée de lactation au dernier contrôle (par exemple, pour la quantité de lait d'une primipare, $c = 198.5 - 0.9475 * DL + 0.00243 * DL^2 - 0.0000074 * DL^3$; ces formules ont été optimisées par Bouloc, 1991 et Barbieri, 1992).

Pour étudier l'effet des données de taux manquantes, nous avons simulé un troisième jeu de données où une des données de taux protéique et butyreux prise aléatoirement entre le 2^{ième} et le

5^{ème} contrôle de chaque lactation est éliminée. Cette situation illustre un cas de figure toléré pour l'indexation officielle mais ne reflète en aucun cas la réalité (seulement 3% des lactations utilisées pour l'indexation officielle ont une donnée de taux manquante, et la très grande majorité des taux manquants concernent les fins de lactation : il est 5 fois plus probable de trouver une donnée de taux manquante au delà du 8^{ème} contrôle plutôt qu'avant le 5^{ème}). Les quantités de matières journalières sont alors calculées, en A4 et en AT4, selon la méthode officielle en retenant les taux mesurés lors du contrôle précédent pour remplacer les taux manquants.

Pour étudier l'impact des proportions du mélange entre le lait du matin et le lait du soir réalisé par le contrôleur laitier lors d'un contrôle de type A4, nous avons simulé un quatrième jeu de données où les quantités de matières journalières correspondaient soit à un mélange 50/50 des laits du matin et du soir comme cela est requis, soit à un mélange 25/75 comme cela peut arriver parfois.

Enfin, nous avons testé une méthode reconnue comme pouvant améliorer la qualité des performances calculées à partir d'un contrôle AT4 (Wiggans, 1980 ; Bouloc *et al.*, 1991 ; Sanna *et al.*, 1994). Il s'agit en pratique de corriger chaque quantité de lait mesurée le matin ou le soir par le ratio des quantités de lait mesurées sur le tank à lait avant et après la traite ; ce ratio « Quantité de lait du matin sur Quantité de lait du soir » est nommé Ki. Disposant de l'ensemble des données pour les traites du matin et du soir, nous avons pu simuler un cinquième jeu de données corrigées par des Ki « exacts » calculés à partir de la somme des productions individuelles du matin ou du soir dans chaque cheptel.

D'autres méthodes correctives existent, en particulier basées sur les intervalles entre traites (Lee et Wardrop, 1984). Mais, ne disposant pas des données nécessaires, nous n'avons pas pu les tester.

II. Modèle d'estimation des index

Les index des chèvres et de leurs 1291 pères connus ont été estimés dans le logiciel PEST 3.1 (Groeneveld *et al.*, 1990) pour un « modèle animal » semblable au modèle officiel utilisé en 1998 (Institut de l'Élevage et INRA-SGQA, 1993 ; voir aussi Ducrocq, 1990, pour une présentation détaillée et pédagogique de ce type de modèle). Pour tous les caractères, ce modèle est :

$Y_{ijklmn} = U_i + H_{jk} + L_k + M_{lk} + K_{mk} + E_{ijklmn}$, avec

Y_{ijklmn} la performance,

U_i la valeur génétique additive de l'animal i ,

E_{ijklmn} la valeur résiduelle,

Et avec les effets fixes :

H_{jk} l'effet troupeau j – rang de lactation k (le rang étant exprimé en 3 classes : 1, 2 et 3 ou plus),

L_k le rang de lactation (3 classes : de 1 à 3, 4, 5 ou plus),

M_{lk} le mois de mise bas 1 - rang k (6 classes décalées pour les chèvres primipares et les chèvres de rang 2 ou plus), et

K_{mk} l'âge à la mise bas pour les chèvres en première lactation (7 classes : 10, 11, 12, 13, 14, 15 à 18 et 19 à 30 mois) ou l'intervalle entre mise bas pour les chèvres en lactation de rang 2 ou 3 et plus (5 classes : moins de 29, 30 à 49, 50 à 69, 70 à 89 et plus de 90 jours).

Les héritabilités ont été fixées aux valeurs retenues pour l'indexation officielle, soit 0.5 pour les taux et 0.3 pour les quantités. Les généalogies ont été retracées sur 5 générations.

Les différences entre ce modèle et le modèle officiel sont directement dues à la structure des données utilisées (une seule campagne, une seule région). Toutefois, au vu de la faible étendue de nos données (quelques cheptels, une seule campagne), les résultats obtenus doivent être beaucoup moins précis que ceux de l'indexation officielle.

III. Critères

La qualité relative des performances et des index estimés selon le protocole AT4 relativement au protocole de référence a été évaluée suivant 4 critères : le biais moyen ($A4 - AT4$), la perte de précision, la relation entre les erreurs et les niveaux de production, et la fréquence des erreurs de sélection des 2.5 ou 20 % meilleurs individus³. La relation entre les erreurs et les niveaux de production est estimée par la pente (b) de la régression de AT4 en A4 (soit sur un modèle $Y_{A4} = a + b X_{AT4} + E$). La perte de précision correspond à la variance relative des erreurs (soit $1 - R^2 = \sigma^2_E / \sigma^2_Y$). Si la pente b est égale à 1, seule la perte de précision affecte le classement des individus. Au contraire, si elle s'écarte de 1, le biais n'est plus indépendant du niveau de production et contribue aux erreurs de classement.

Pour les autres comparaisons, seules les pertes de précisions sont reportées.

³ Ces seuils reflètent les seuils retenus respectivement pour la sélection des mères à boucs d'insémination ou de monte naturelle.

II. Résultats

A. Qualité des performances estimées

i. Effets du protocole AT4

Comme attendu, le protocole AT4 induit relativement au protocole A4 une perte de précision notable sur les TB (7,1%, voir tableau 1) et dans une moindre mesure sur les QMG (3,2%) alors que les 3 autres caractères y sont peu sensibles (moins de 1,8%). Ces pertes de précision se traduisent par des erreurs de classement des meilleurs individus presque deux fois plus fréquentes sur les TB que sur les QL. Les biais moyens sont par contre toujours insignifiants, car si pour une chèvre donnée le fait d'avoir eu son premier contrôle un matin ou un soir induit un biais notable sur ses performances en matières grasses (voir plus loin), ces biais se compensent en moyenne sur l'ensemble des individus.

ii. Effets de l'extrapolation des lactations en cours et des taux manquants sur la qualité des performances estimées en A4 ou en AT4

La précision des performances estimées à partir de protocoles AT4 apparaît beaucoup plus sensible à ces deux imperfections des données que celles qui sont estimées à partir de protocoles A4 (tableau 2). Pour les données de taux manquantes en début de lactation, ceci est tout aussi marqué pour les taux protéiques que butyreux, alors que seuls les taux butyreux se distinguent pour les lactations extrapolées au 15 juin.

iii. Effets des laits de mélange utilisés en A4.

On observe tout d'abord que la rigueur de l'échantillonnage dans le cadre d'un protocole A4 a une incidence notable sur l'estimation des TB, avec une perte de précision de 5,7% dans le cas extrême considéré (tableau 3). Par contre, pour les autres caractères, les estimations sont globalement peu sensibles aux proportions pratiquées.

iv. Effets d'une correction des données AT4 par les coefficients K_i

Cette méthode corrective apparaît globalement inefficace, puisqu'elle n'améliore que légèrement les estimations des QL et QMP et détériore légèrement celles des QMG et TB (tableau 4).

TABEAU 1. Qualité des estimations issues d'un protocole AT4 relativement aux valeurs de référence : performances et index des 13117 chèvres étudiées et index de leurs 1291 pères connus pour les cinq caractères laitiers.

	Valeurs estimées en A4 ^a		Qualité relative des estimations en AT4					
	μ	s.d.	Biais ^a		b ^b	1-R ² ^c (en %)	FES ^d à	
			μ	s.d.			20%	2.5%
<u>Performances à 250 jours</u>								
QL (Kg)	876	249	1	32	0.982	1.6	8	14
QMP (Kg)	26.0	7.3	.04	0.9	0.982	1.7	7	15
TP (g/Kg)	29.9	2.5	.0002	0.3	0.983	1.4	5	10
QMG (Kg)	27.9	8.2	.04	1.5	0.967	3.2	9	18
TB (g/Kg)	32.1	4.5	.0001	1.2	0.921	7.1	14	22
<u>Index des chèvres</u>								
QL	11	63	.47	8.8	0.979	1.9	8	15
QMP	0.46	1.8	.016	0.3	0.978	2.1	8	15
TP	0.16	1.1	.004	0.1	0.985	1.4	5	9
QMG	0.34	2.1	.008	0.4	0.960	3.9	11	21
TB	-0.03	2.0	.008	0.5	0.922	7.0	14	26
<u>Index des pères</u>								
QL	15	57	.58	7.1	0.981	1.5	5	
QMP	0.64	1.7	.022	0.2	0.981	1.7	6	
TP	0.27	1.0	.009	0.1	0.994	0.8	3	
QMG	0.47	2.0	.012	0.3	0.963	3.0	10	
TB	-0.04	1.7	.014	0.4	0.934	4.4	12	

^a moyenne (μ) et écart-type (s.d.) des valeurs estimées

^b pente de régression des valeurs estimées de AT4 en A4, caractérisant les relations entre les erreurs et les niveaux de production

^c pertes de précision

^d fréquence des erreurs de classement des 20 ou 2.5 % meilleurs individus

TABLEAU 2. Pertes de précision ($1-R^2$, en %) sur les performances extrapolées en A4 ou AT4 relativement aux valeurs de référence.

	Lactations en cours ^a		Données de taux manquantes ^b	
	A4	AT4	A4	AT4
QL	6	12	-	-
QMP	6	11	0	2
TP	9	12	3	18
QMG	6	14	1	2
TB	11	30	4	22

^a performances extrapolées à 250 jours à partir de données tronquées au 15 juin

^b performances calculées à 250 jours à partir de données où une donnée de TB et TP manque entre le 2^{ième} et le 5^{ième} contrôles élémentaires

TABLEAU 3. Pertes de précision ($1-R^2$, en %) sur les performances estimées en A4 à partir de laits de mélange différemment proportionnés relativement aux valeurs de référence.

	A4 avec mélange 50/50 ^a	A4 avec mélange 25/75 ^b
QMP	0	0.1
TP	0.1	0.9
QMG	0.1	1.4
TB	0.5	5.7

^a le lait de mélange est constitué à 50% du lait du matin et 50% du lait du soir

^b le lait de mélange est constitué à 25% du lait du matin et 75% du lait du soir

TABLEAU 4. Pertes de précision ($1-R^2$, en %) sur les performances estimées en AT4 à partir de données corrigées par les coefficients Ki relativement aux valeurs de référence.

	AT4 corrigées par les coefficients Ki ^a
QL	1.4
QMP	1.5
TP	1.4
QMG	3.7
TB	7.8

^a le coefficient Ki correspond au rapport entre la production de lait du matin et la production de lait du soir pour l'ensemble d'un cheptel

B. Qualité des index estimés.

I. Effets du protocole AT4

Les pertes de précisions sur les index des chèvres sont similaires aux pertes de précisions observées pour les performances (tableau 1). Toutefois, ces pertes de précision, en particulier pour les TB, sont sensibles à la quantité d'information utilisée pour leur estimation : elles sont nettement moins marquées pour les boucs que pour leurs filles, et d'autant moins marquées pour les boucs qu'ils ont dans notre population un plus grand nombre de filles (tableau 5). Enfin, concernant les biais et les erreurs de classement, les résultats sur les index restent dans tous les cas très proches des résultats sur les performances.

TABLEAU 5. Pertes de précision ($1-R^2$, en %) sur les index estimés en AT4 relativement aux valeurs de références en fonction de la richesse des informations disponibles : 218 pères avec 8 à 15 filles, leurs 2379 filles (Filles 8-15), 146 pères avec 16 filles ou plus et leurs 3860 filles (Filles 16+).

	Pères de 8 à 15 filles	Filles 8-15	Pères de 16 filles ou +	Filles 16+
QL	2.0	2.1	1.1	1.8
QMP	2.0	2.3	1.2	2.0
TP	0.9	1.3	0.4	1.3
QMG	3.4	4.0	2.5	3.7
TB	3.7	6.0	3.1	6.0

II. Recherche d'un modèle plus performant pour les données AT4

Comme les caractéristiques de traite sont “régulièrement” différentes entre le matin et le soir, les estimations journalières sont alternativement sous et surestimées en AT4 (Bouloc *et al.*, 1991). La méthode de Fleischmann étant basée sur le calcul de moyennes entre contrôles successifs, une certaine compensation s'opère entre les erreurs successives excepté pour l'estimation de la quantité produite entre la mise bas et le premier contrôle (nommée Q1) et pour celle produite au-delà du dernier contrôle (nommée Qf). Les erreurs systématiques dues au dernier contrôle peuvent être négligées car les quantités en jeu sont faibles. Par contre, les erreurs systématiques dues au premier contrôle ont un impact notable sur les estimations de performance. Elles sont d'autant plus importantes que la durée entre la mise bas et le premier contrôle est longue, et sont de signes strictement opposé selon le moment, matin ou soir, de ce contrôle. Ces erreurs doivent aussi dépendre de facteurs comme le troupeau ou le rang de lactation puisque ces facteurs

influencent les écarts de production entre les deux traites (Dickinson et McDaniel, 1970 ; Lee et Wardrop, 1984 ; Delorenzo et Wiggans, 1986).

Sur notre échantillon, on observe que les premiers contrôles du matin sont en moyenne surestimés pour les QL et les QMP (+0,22 Kg et +7g respectivement sur les primipares), sous-estimés pour les TB (-8,2 g/Kg) et non biaisés pour les TP et QMG. Les erreurs sur les QL augmentent avec le rang de lactation (respectivement +0, 22 et +0,32 Kg pour les primipares et les lactations de rang 2 ou plus) et les erreurs sur tous les caractères dépendent nettement du facteur troupeau - rang de lactation (R^2 d'environ 15%). Globalement, les erreurs sur les performances calculées à 250 jours dépendent essentiellement du moment du premier contrôle (tableau 6).

TABLEAU 6. Analyses des différences entre les performances estimées en AT4 et les valeurs de référence A4 en fonction du moment du premier contrôle (noté "Moment") et/ou de la cellule troupeau – rang de lactation (notées "Cell"). Chaque colonne donne le R^2 du modèle de régression correspondant, en %. Les R^2 partiels (notés R^2_p) du facteur indiqué en italique sont précisés pour les deux derniers modèles.

	Moment	Cell	Cell + <i>Moment</i>	Cell + <i>Cell*Moment</i>			
	R^2	R^2	R^2	R^2_p	R^2		
				R^2_p			
QL	7.0	9.0	13.6	4.5	16.8	7.7	QL

additif “moment du premier contrôle” n’est que très légèrement bénéfique à la précision des index pour les QL, QMP et TB (tableau 7).

TABLEAU 7. Pertes de précision ($1-R^2$, en %) sur les index des chèvres estimés en AT4 par deux modèles modifiés relativement au valeurs de référence.

	Cell*Moment ^a	Moment ^b
QL	6.3	1.8
QMP	6.5	2.0
TP	5.0	1.4
QMG	8.0	3.9
TB	9.4	6.6

^a l’effet « troupeau-rang de lactation » du modèle d’indexation officiel est remplacé par un effet « troupeau-rang de lactation-moment du 1^{er} contrôle », le rang étant décrit en seulement deux classes.

^b un effet « moment du 1^{er} contrôle » est ajouté au modèle d’indexation officiel.

III. Discussion

Ces travaux n’ont pas permis de trouver de méthode corrective efficace pour les index Matières Grasses.

Toutefois, il est apparu que les performances calculées à partir de protocole AT4 pouvaient être considérées comme acceptables pour la sélection caprine. Tout d’abord, les pertes de précision observées sur les performances restent dans la gamme des imperfections déjà tolérées, par exemple pour les protocoles A5 (Bouloc *et al.*, 1991). Par ailleurs, les imperfections observées sur les performances QMG et surtout TB sont partiellement gommées sur les index, et ce d’autant plus que les index sont estimés à partir de données plus riches. Comme les indexations officielles des boucs améliorateurs et des mères à boucs sont basées sur des données nettement plus riches que celles que nous avons utilisées en terme de nombre de lactation par chèvre, d’effectifs en apparentés et de connexions génétiques entre cheptels, et que par ailleurs seule une fraction des chèvres sont en réalité suivies par un protocole AT4, ont doit s’attendre à ce que les index TB de ces animaux clés aient une qualité très voisine de ceux des autres caractères.

Ces résultats ne justifiaient donc pas de développer un traitement différentiel pour les données issues des protocoles alternés, et, surtout pas de remettre en cause les bénéfices des protocoles alternés pour la diffusion du contrôle laitier et l'élargissement de la base de sélection caprine.

Par contre, ces résultats, diffusés auprès des contrôleurs caprins, ont contribué à souligner les limites de l'interprétation des données individuelles issues de protocoles AT4 dans le cadre des conseils de terrain, et la nécessité d'une grande rigueur dans le suivi des règles d'échantillonnage.

Seconde partie. Paramètres génétiques laitiers des races Alpine et Saanen

Des estimations des paramètres génétiques laitiers aussi justes que possible étaient nécessaires pour optimiser au mieux le poids relatif accordé aux différents caractères dans le nouvel objectif de sélection.

Les dernières estimations disponibles (Boichard *et al.*, 1989) avaient été obtenues à partir d'un « modèle père » sur des données collectées entre 1982 et 1985. Les valeurs obtenues présentaient certaines caractéristiques inhabituelles relativement à la littérature disponible dans l'espèce caprine et dans d'autres espèces laitières. En particulier, les corrélations génétiques négatives entre les quantités de lait et les taux apparaissaient faibles. Ce point, particulièrement favorable à une sélection conjointe des quantités et des taux, et ainsi à l'introduction des matières grasses dans l'objectif de sélection caprin, méritait d'être vérifié. Nous avons donc souhaité réactualiser ces estimations à partir de données plus récentes et en utilisant un « modèle animal ».

Grâce à la progression de l'insémination artificielle (Leboeuf *et al.*, 1998), des données plus récentes laissaient espérer un meilleur degré de connexion génétique entre cheptels.

Par ailleurs, le « modèle animal » présente de nombreux avantages relativement au « modèle père » : en permettant l'estimation des valeurs génétiques de tous les individus, mâles et femelles, à partir des données relatives à tous leurs apparentés, il s'avère plus performant qu'un « modèle père » où seuls les valeurs génétiques des mâles sont évaluées à partir de leurs seules filles et des mâles apparentés. Le modèle animal tient ainsi compte, en particulier, des accouplements raisonnés et des évolutions de la variabilité génétique au cours du temps (Boichard *et al.*, 1992).

I. Matériels et méthodes.

A. Les données.

Les données de première lactation des chèvres Alpine et Saanen ayant mis bas entre le 1^{er} septembre 1995 et le 31 août 1997 ont été extraites de la base nationale caprine du CTIG. Les performances de lactation pour les 5 caractères laitiers ont été calculées et corrigées à 250 jours selon les méthodes présentées dans la première partie.

Afin d'exclure les données atypiques, les données des chèvres âgées de plus de 30 mois à la mise bas n'ont pas été retenues. Afin d'assurer des connexions génétiques suffisantes entre les cheptels, les cheptels ayant moins de 5 chèvres ou moins de 15% de chèvres inséminées ont été exclus. Il est en effet recommandé d'exclure les cheptels les moins connectés lorsque l'on suspecte qu'il puisse y avoir des différences de niveau génétique entre cheptels et donc une confusion à leur échelle entre les effets d'environnement et les effets génétiques (Schaeffer, 1975 ; Diaz *et al.*, 1985).

Les généalogies ont été retracées sur 3 générations. Les échantillons étudiés, probablement représentatifs du noyau de sélection, comprenaient ainsi 20 700 Saanen et 33 431 Alpines, avec respectivement 19 940 et 43 555 ancêtres connus. Leurs principales caractéristiques sont présentées dans le tableau 8.

TABLEAU 8. Principales caractéristiques de l'échantillon étudié.

		Alpine	Saanen
Nombre de	lactations	33 341	20 700
	troupeaux –années	1 168	713
	pères-années connecteurs^a	164	111
	autres pères-années	2 619	1 834
M (s.d.)^b	QL	648 (167)	676 (182)
	QMP	19.9 (5.1)	19.9 (5.3)
	TP	30.8 (2.5)	29.6 (2.1)
	QMG	22.7 (6.3)	21.8 (6.5)
	TB	35.1 (4.6)	32.3 (4.2)

^a les pères-années connecteurs ont plus de 20 filles réparties dans plus de 12 troupeaux-années différents

^b les performances sont décrites par leur valeur moyenne, M, et leur écart type, s.d.

B. Méthodes.

Des analyses bivariées ont été réalisées pour toutes les combinaisons des 5 caractères pris deux à deux (pour des raisons techniques, il n'était pas possible de réaliser une analyse simultanée des 5 caractères). Le modèle animal retenu pour ces 10 analyses était :

$$y = X \beta + Z u + e,$$

où y est la matrice des données (de dimension $n * t$, pour n animaux et t caractères), β est une matrice d'effets fixes (cheptel - année, année - âge à la mise bas, et année - mois de mise bas), u est la matrice des effets génétiques additifs aléatoires, X et Z sont les matrices des incidences correspondantes, et e est la matrice des effets résiduels aléatoires.

Les valeurs espérées des données sont définies comme :

$$E(y) = (I * X) \beta$$

où I est une matrice identité. Les valeurs espérées des effets aléatoires sont supposées nulles. Les matrices de covariance sont définies comme :

$$\text{Var}(u) = G * A, \text{Var}(e) = R * I, \text{et } \text{Var}(y) = G * Z A Z' + R * I,$$

où $*$ signale des produits de Kronecker, A est la matrice des parentés, et G et R sont les matrices de (co)variance entre les deux caractères considérés, respectivement pour les effets génétiques additifs et les résidus. Les covariances entre u et e sont supposés nulles.

L'âge à la mise bas est décrit en 7 classes (10, 11, 12, 13, 14, 15 à 18 et 19 à 30 mois) et le mois de mise bas est décrit en 6 classes (entre septembre et décembre, puis mois par mois de janvier à avril, puis entre mai et août).

Les composantes de (co)variance ont été estimées dans le logiciel VCE 4.2.5 par la méthode des maximum de vraisemblance restreinte (REML) multivariés basés sur des gradients analytiques (Neumaier et Groeneveld, 1998).

II. Résultats et discussion.

A. Variabilités génétiques.

Les valeurs estimées des composantes de variance sont apparues relativement stables entre les différentes analyses bivariées, avec des différences maximales entre les 4 héritabilités obtenues de 0.2 à 0.3 % dans la plupart des cas, et des extrêmes de 0.1% pour les QMG dans la race

Alpine et de 0.4% pour les QMG dans la race Saanen. Les valeurs moyennes sont indiquées dans le tableau 9.

TABLEAU 9. Variabilités phénotypiques et génétiques (σ_p et σ_g respectivement), héritabilités (h^2 +/- l'écart-type s.d., en %) et coefficients génétiques de variation ($CV_g = \sigma_g / m$, où m est la moyenne phénotypique de l'échantillon) pour les deux races.

	Alpine				Saanen			
	σ_p	σ_g	h^2 +/- s.d.	CV_g	σ_p	σ_g	h^2 +/- s.d.	CV_g
QL	133	77.1	34+/-1.5	11.8	144	81.6	32+/-1.7	12.1
QMP	3.80	2.28	36+/-1.5	11.5	3.96	2.31	34+/-1.7	11.5
TP	2.27	1.72	58+/-1.5	5.5	1.94	1.37	50+/-1.8	4.7
QMG	4.99	3.02	37+/-1.5	13.2	5.08	3.21	40+/-1.8	14.7
TB	4.04	3.08	58+/-1.5	8.8	3.83	2.96	60+/-1.8	9.3

Les héritabilités des quantités étaient comprises entre 0.32 et 0.40, et celles des taux entre 0.50 et 0.60. A la fois pour les quantités et les taux, les variabilités génétiques – et les coefficients génétiques de variation correspondants – étaient plus élevées pour les matières grasses que pour les matières protéiques. Les héritabilités étaient en outre plus élevées pour les TB et QMG que pour les TP et QMP dans la race Saanen, mais pas dans la race Alpine.

Les héritabilités sont apparues très voisines des valeurs obtenues précédemment par Boichard *et al.* (1989), malgré les différences d'échantillon et de méthode d'analyse.

Il est à noter que pour cette étude, comme pour celle de 1989, la variabilité génétique a été considérée globalement, sans distinguer les effets polygéniques des effets des gènes majeurs. Le polymorphisme de la caséine $\alpha s1$ pourrait expliquer une partie des différences apparentes des paramètres génétiques entre les deux races. La composition du lait est en effet influencée chez les chèvres par leur génotype caséine, différents allèles étant associés à différents taux de synthèse de la caséine $\alpha s1$ et à des performances contrastées (Barbieri *et al.*, 1995). Or, les fréquences alléliques diffèrent entre les deux races : les allèles « extrêmes » sont sur-représentés dans la race Alpine (Grosclaude *et al.*, 1994). Ceci pourrait expliquer les plus fortes variabilités génétiques et donc les plus fortes héritabilités des TP dans cette race.

B. Corrélations entre caractères.

Les corrélations entre quantités sont apparues fortes pour les deux races, avec des valeurs minimum de + 0.76 pour les corrélations génétiques entre les QL et les QMG (tableau 10). Les corrélations génétiques entre les taux étaient aussi plutôt fortes, jusqu'à + 0.61 pour les Alpines. Les corrélations phénotypiques et génétiques négatives entre les QL et les taux sont apparues modérées pour les protéines et faibles pour les matières grasses. La corrélation génétique négative entre les QL et les TB étant la plus faible dans la race Saanen (-0.10), la corrélation génétique entre QMG et TB y était aussi la plus marquée (+0.56). Enfin, les oppositions phénotypiques ou les associations génétiques entre les TB et QMP ou les TP et QMG sont apparues faibles dans les deux races.

TABLEAU 10. Corrélations phénotypiques et génétiques (respectivement au dessus et au dessous de la diagonale, ± les écarts type correspondants) pour les deux races.

<u>Race Alpine</u>					
	QL	QMP	TP	QMG	TB
QL		+ .933	-.384	+ .849	-.159
QMP	+ .887 ± .006		-.038	+ .884	+ .014
TP	-.284 ± .024	+ .186 ± .027		-.106	+ .492
QMG	+ .765 ± .012	+ .858 ± .008	+ .141 ± .027		+ .377
TB	-.177 ± .027	+ .113 ± .026	+ .614 ± .016	+ .491 ± .022	

<u>Race Saanen</u>					
	QL	QMP	TP	QMG	TB
QL		+ .952	-.398	+ .855	-.122
QMP	+ .923 ± .005		-.111	+ .877	+ .015
TP	-.288 ± .032	+ .099 ± .038		-.163	+ .410
QMG	+ .764 ± .014	+ .831 ± .010	+ .079 ± .036		+ .388
TB	-.099 ± .034	+ .102 ± .032	+ .512 ± .023	+ .557 ± .025	

Là encore, ces résultats sont apparus assez proches de ceux obtenus en 1989. En particulier, ces deux travaux ont montré une faible opposition génétique entre les quantités de lait et les TB, avec, en parallèle, une forte association entre les QMG et les TB, figures favorables à l'introduction des matières grasses dans l'objectif de sélection.

Les quelques différences trouvées entre les deux races pouvaient quant à elles laisser présager d'une sélection plus facile sur les matières et taux protéiques pour les Alpines et sur les matières et taux butyriques pour les Saanen, sans toutefois de divergences majeures.

Nous avons pu constater (voir la troisième partie de ce document) que ces quelques prédictions sommaires étaient vérifiées par une modélisation plus rigoureuse des progrès génétiques espérés.

Troisième partie. Introduction des matières grasses du lait dans l'objectif de sélection caprin

L'objectif de sélection affiché par Caprigène est de maximiser la rentabilité des élevages, qu'ils vendent leur lait à des fins fromagères ou qu'ils en réalisent eux-mêmes la transformation.

L'objectif de sélection a donc longtemps été axé sur une augmentation conjointe des matières protéiques et des taux protéiques, principaux déterminants de la production fromagère. Afin d'optimiser la sélection conjointe sur ces deux caractères, cet objectif s'est exprimé à partir de 1996 par un critère de sélection unique combinant les index MP et TP (notés IMP et ITP) : l'Index Combiné Caprin (noté ICC), identique pour les deux races et défini comme suit :

$$\text{ICC} = 1 \text{ IMP} + 0.4 \text{ ITP} \text{ (Piacère et Bouloc, 1996).}$$

Compte tenu des corrélations génétiques favorables entre les matières grasses et protéiques, ces objectifs de sélection ont probablement contribué à faire progresser conjointement les TB et TP des chèvres du noyau de sélection. Néanmoins, les données du contrôle laitier montraient en 1998 une progression moins marquée sur les TB que sur les TP dans les deux races (tableau 11 et figure 1). Cette différence moyenne de près de 1 g/Kg de retard pour les TB était encore plus sensible l'été lorsque les deux taux sont au plus bas (tableau 12), aboutissant dans certaines régions à une inversion des taux (TB < TP) très dommageable pour la transformation fromagère.

TABLEAU 11. Comparaison des performances mesurées en 1988 et 1998 sur les primipares Saanen (source: France Contrôle Laitier – Institut de l'Élevage).

	1988	1998
QL	511	749
TP	26.8	29.6
TB	30.9	32.6
Durée (jours)	231	286

FIGURE 1. Evolution du rapport TB/TP dans les deux races d'après les données de lactation à 250 jours des primipares.

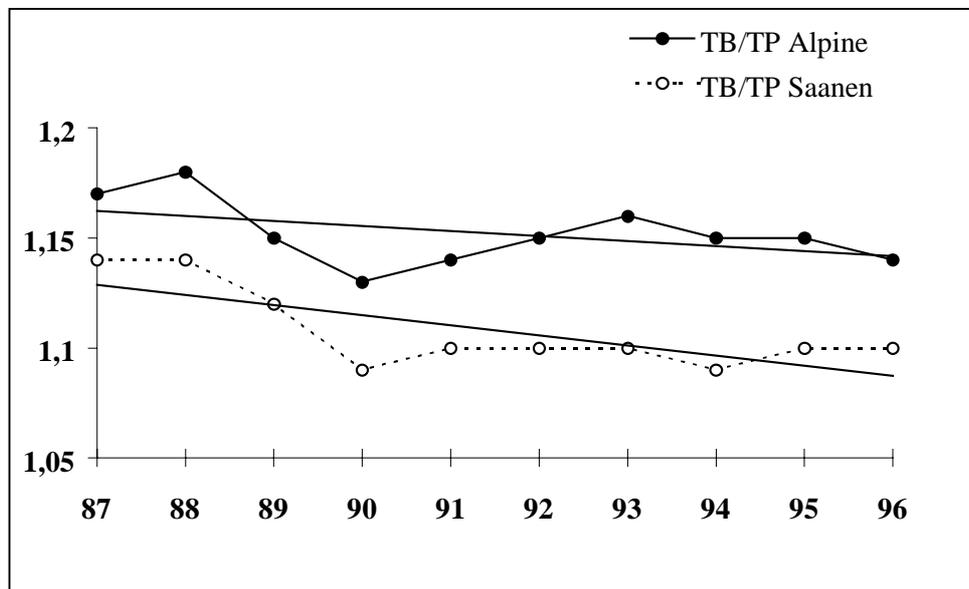


TABLEAU 12. Comparaison des performances mesurées en juillet 1988 et juillet 1998 sur les primipares Saanen dans le département de Vendée.

	1988	1998
TP	26.0	29.0
TB	27.9	29.2
TB/TP	1.073	1.007

Que les facteurs environnementaux (alimentation...) soient ou non responsables d'une grande part de ce problème, il est apparu souhaitable à l'ensemble des acteurs de la filière que Caprigène mette en place un ICC relativement plus favorable aux matières grasses, d'autant plus que les progrès génétiques d'ors et déjà réalisés sur les matières protéiques dans les races Alpine et Saanen apparaissaient satisfaisants (Leboeuf *et al.*, 1998).

Nous avons donc étudié les progrès génétiques espérés pour une gamme d'index de la forme $I = 1 \text{ IMP} + a_{\text{TP}} \text{ ITP} + b_{\text{MG}} \text{ IMG} + c_{\text{TB}} \text{ ITB}$, afin de permettre aux professionnels de choisir l'objectif de sélection qui leur paraîtrait le plus pertinent.

I. Méthode

A. Description du schéma de sélection caprin

Les principaux aspects du schéma de sélection caprin, globalement inchangés à ce jour, sont schématisés dans la figure 2.

Le programme vise à améliorer le potentiel génétique du cheptel caprin par la production de boucs améliorateurs dans les races Alpine et Saanen et la diffusion de leur semence par insémination artificielle. Le choix des mères à boucs et le testage des jeunes boucs sont effectués en ferme dans des élevages bien connectés.

Les 12 à 14 meilleurs boucs d'IA de chaque race sont croisés avec les meilleures femelles disponibles pour l'IA au sein des élevages de la base de sélection. Les mères à boucs sont âgées en moyenne de 4 ans. Environ 450 accouplements en race Saanen et 420 en race Alpine sont ainsi contractualisés chaque année.

Afin d'assurer une fiabilité suffisante des index examinés, la base de sélection est restreinte aux élevages adhérents à Caprigène et répondant à un certain nombre de critères de connexion :

- au moins 20% des primipares, 10% des deuxièmes lactations, et 5% des femelles en lactation de rang 3 et plus, doivent être issues d'IA,
- moins de 50% des primipares et moins de 30% des femelles en deuxième lactation peuvent être issues de parents inconnus,

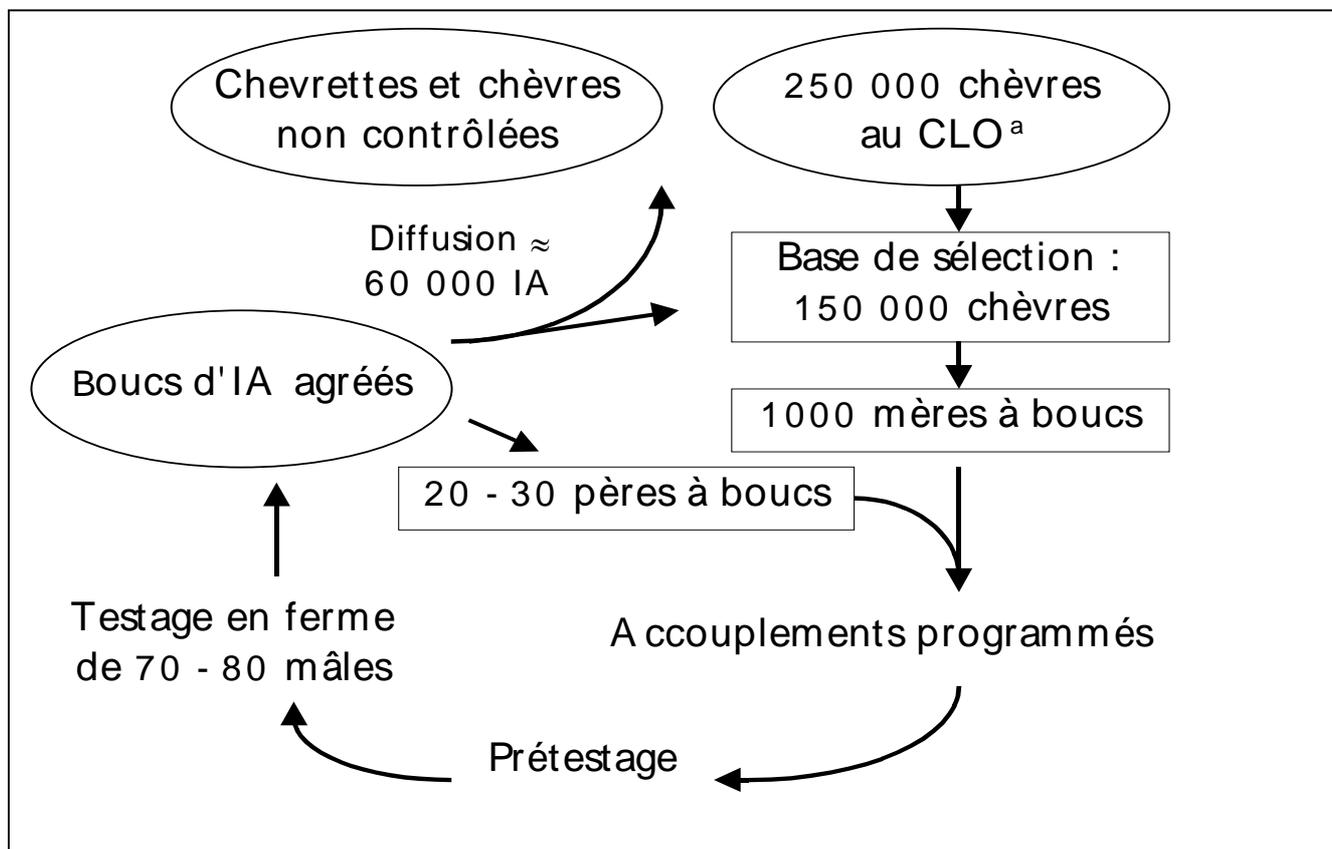
Outre les index laitiers, le choix des couples tient compte de leur consanguinité et des génotypes caséines.

Environ 150 jeunes boucs entrent en pré-testage chaque année. Sont éliminés les jeunes boucs dont la croissance pondérale est insuffisante, dont la fonction sexuelle est déficiente, dont la conformation présente des défauts majeurs ou qui ne répondent pas au standard de race. Ils sont en outre contrôlés pour leur état sanitaire vis-à-vis de la tuberculose, fièvre Q, chlamydie, et arthrite encéphalite caprine virale (CAEV). Environ 60% des jeunes boucs sont retenus pour le testage.

Les jeunes boucs sont alors testés sur descendance par la mise en place de 150 à 300 doses d'IA dans la base de sélection. La Commission d'Agrément des mâles d'IA se réunit chaque année au mois de décembre. Chaque bouc y est jugé d'après un avis des Services Vétérinaires sur son état sanitaire, la qualification accordée par Caprigène France, ses index et leur Coefficient de

Détermination, son génotype caséine et le stock de doses disponible. En moyenne, la moitié des boucs testés est agréée par le Ministère de l'Agriculture.

FIGURE 2. Principales étapes du schéma de sélection caprin.



^a Contrôle Laitier Officiel

La diffusion des boucs agréés est réalisée par les coopératives d'insémination artificielle. L'insémination artificielle, qui s'était rapidement développée vers la fin des années 1980, semble stabilisée autour de 60 000 IA par an, ce qui représente seulement de l'ordre d'un quart des chèvres inscrites au contrôle laitier.

B. Modélisation du schéma de sélection caprin

Le modèle utilisé, qui avait aussi servi au choix du précédent ICC (Larzul, 1992), représente les actions de sélection menées sur différentes voies de filiation (Elsen, 1993) impliquant trois classes de reproducteurs (indiquées r) : les mâles d'insémination artificielle, les mâles de monte naturelle et les femelles (figure 3).

Les accouplements considérés et leurs fréquences relatives par type de descendant sont décrits dans le tableau 13. La structure du schéma de sélection étant la même dans les deux races, le même modèle a été utilisé, mais avec des valeurs de paramètres légèrement différentes.

FIGURE 3. Les trois types de reproducteurs (femelles, F, mâles d'insémination artificielle, MIA, et mâles de monte naturelle, MMN) et les neuf voies de sélection modélisées (les numéros indiqués pour les voies de sélection renvoient à la colonne j du tableau 13).

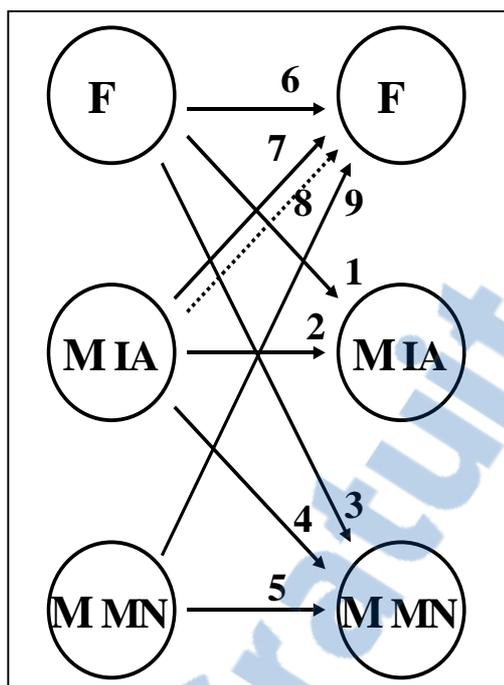


TABLEAU 13. Paramètres démographiques retenus pour les neuf voies de sélection dans la race alpine (Alp) et Saanen (Saa).

j ^a	Descendants	Parents	% de paternité ^b	Pression de sélection, en % ^c	Intervalle de génération, en années ^d
1	Mâles de testage	Mères à boucs d'IA	-	3	4
2		Boucs d'IA	100	30	6
3	Mâles de MN	Mères à boucs de MN	-	25 (Alp) 35 (Saa)	3.5
4		Boucs d'IA	85	35	6
5		Boucs de MN	15	60	2.7
6	Femelles	Mères à chevrettes	-	90	3.5
7		Boucs d'IA	35 (Alp) 25 (Saa)	40	6
8		Boucs de testage	10	100	2
9		Boucs de MN	55 (Alp) 65 (Saa)	75	2.7

^a voies de sélection, voir aussi la figure 3

^b facteur permettant de déterminer λ_j , les pondérations qui décrivent la structure de la population dans le modèle

^c facteur permettant de déterminer l'intensité de sélection i_j dans le modèle

^d L_j dans le modèle

La valeur génétique d'une cohorte de descendants peut s'exprimer comme la demi somme des valeurs génétiques de ses parents, pondérée par la fréquence relative des différentes voies de filiation. Le progrès génétique annuel sur chaque caractère peut ainsi s'exprimer sous la forme :

$$PG = \sum \lambda_j \Delta G_j / \sum \lambda_j L_j ,$$

avec les différentes voies j de transmission du progrès génétique, λ_j des pondérations décrivant la structure démographique de la population, ΔG_j la supériorité génétique du parent considéré et L_j l'intervalle de génération correspondant.

La supériorité génétique d'un parent peut s'exprimer sous la forme :

$$\Delta G_{jk} = i_j \times \sigma(G_k, I)_r / \sigma I_r,$$

avec i_j l'intensité de sélection appliquée sur la voie j , σI_r l'écart type des index des reproducteurs r , $\sigma(G_k, I)_r$ la covariance entre l'index et la valeur génétique du caractère k pour les reproducteurs r .

L'index d'un individu peut s'estimer à partir de ses performances propres éventuelles et des performances pondérées de ses apparentés. On a considéré que tous les reproducteurs d'une classe donnée étaient indexés à partir des mêmes quantités d'information, une lactation maternelle dans tous les cas, plus une lactation de 40 filles et 40 demi-soeurs pour les mâles d'IA, celle de 15 filles et 15 demi-soeurs pour les mâles de MN, et, pour les femelles, une lactation propre, la lactation d'une fille et celle de 10 demi-soeurs. Les index peuvent s'écrire pour les trois classes de reproducteurs comme :

$$I = \sum b P,$$

avec P , les performances prises en compte, et des pondérations b qui maximisent la corrélation entre les index et les valeurs génétiques vraies.

Les pondérations b , les écarts types des index σI , et les covariances entre les index et les valeurs génétiques des caractères $\sigma(G_k, I)$, peuvent s'exprimer en fonction des paramètres génétiques suivants : variances génétiques, héritabilités, corrélations phénotypiques et génétiques pour les différents caractères, les valeurs obtenues dans la partie 2 de ce document ayant été appliquées.

Le modèle a été rédigé dans le logiciel SAS (1992).

C. Critères économiques

Le modèle précédemment décrit a permis d'obtenir les réponses génétiques espérées sur les cinq caractères de production laitière en fonction des pondérations a_{TP} , b_{MG} et c_{TB} de l'ICC. Des poids variant entre 0 et 1 par pas de 0.1 ont été retenus, ce qui donnait près de 1200 ICC potentiels. Des pondérations négatives ou supérieures à 1 n'ont pas paru nécessaires.

Pour choisir les pondérations a_{TP} , b_{MG} et c_{TB} les plus favorables, il fallait connaître la valeur économique relative des différents caractères. Pour ce faire, on a utilisé les bénéfices attendus de la vente du lait par les éleveurs laitiers ou de la transformation fromagère pour les éleveurs fromagers et les transformateurs. Quatre formules ont été sélectionnées (tableau 14) : la formule de rendement fromager la plus exigeante en matière grasse disponible auprès des acteurs contactés (notée TB+), la moins exigeante (notée TP+), la formule de prix du lait moyenne en 1998 (notée TP+) et une formule de prix du lait plus rémunératrice pour des laits riches en matière grasse (notée TB+), représentant une évolution hypothétique des formules de prix du lait influencée par le déficit en TB. Pour les rendements fromagers, nous ne disposons pas de formules de rendements moyens ou même de formules de rendements moyens par grand type de fromage. On a considéré que les deux formules citées correspondaient aux deux extrêmes d'une gamme existante.

TABLEAU 14. Les quatre critères économiques retenus, du plus exigeant au moins exigeant en taux butyreux.

Rendement TB+ (Kg /1000 Kg)	$- 21 + 1.9 TB + 3.02 TP$
Prix TB+ (F/l)	$2.85 + 0.032 (TB - 33) + 0.066 (TP - 28)$
Prix TP+ (F/l)	$2.85 + 0.023 (TB - 33) + 0.072 (TP - 28)$
Rendement TP+ (Kg /1000 Kg)	$- 75 + 0.02 TB + 7.71 TP$

Aucun de ces critères ne reflétait expressément l'existence d'un rapport TB/TP optimum. Nous avons donc en complément exprimé les progrès génétiques espérés sur le rapport TB/TP.

Enfin, ces critères négligeaient tous les variations du coût de production du lait associées aux différents index potentiels, mais on pouvait les supposer faibles pour la gamme des index éligibles.

II. Résultats

Les niveaux des progrès génétiques espérés différaient entre les deux races, mais les meilleurs index dans une race sont apparus également les meilleurs dans l'autre race : pour tous les caractères de production laitière et pour l'ensemble des critères économiques, le classement des index combinés potentiels était presque identique dans les deux races (coefficients de corrélation entre les gains espérés dans les deux races compris entre 0.979 et 0.998 pour l'ensemble des caractères et des critères économiques, voir par exemple la figure 4). Il a donc été aisé de choisir un index combiné unique adapté à un objectif de sélection commun aux deux races.

Au sein des deux races, les gains espérés selon trois des quatre critères économiques sont apparus nettement corrélés. Il s'agissait des 3 critères accordant un poids non négligeable aux matières grasses, à savoir le rendement TB+, le prix TB+ et le prix TP+. Par exemple, il était aisé de trouver un ICC quasi-optimal à la fois pour le prix TP+ et le rendement TB+ dans la race alpine (figure 5).

Par contre, au sein des deux races, l'examen des gains espérés en fonction des index appliqués a mis en évidence deux niveaux d'opposition entre les critères étudiés, appelant un arbitrage au sein de la filière.

- A. Parmi les quatre critères économiques, des gains très élevés d'après la formule de rendement TP+ (qui n'accorde presque aucun poids aux matières grasses), ne pouvaient être obtenus qu'au prix de gains amoindris sur les autres critères (figure 6).
- B. Un fort progrès génétique sur le rapport TB/TP (plus de 0,05 unités en 10 ans en Alpine ou 0,07 en Saanen) impliquait des progrès génétiques amoindris sur le TP et/ou sur la quantité de lait relativement à l'ancien index. Comme tous les critères économiques accordaient un poids important aux quantités de matières protéiques produites, un fort progrès sur le rapport TB/TP ne pouvait donc s'obtenir qu'au prix d'une diminution sensible des gains espérés sur l'ensemble des critères économiques (figure 7).

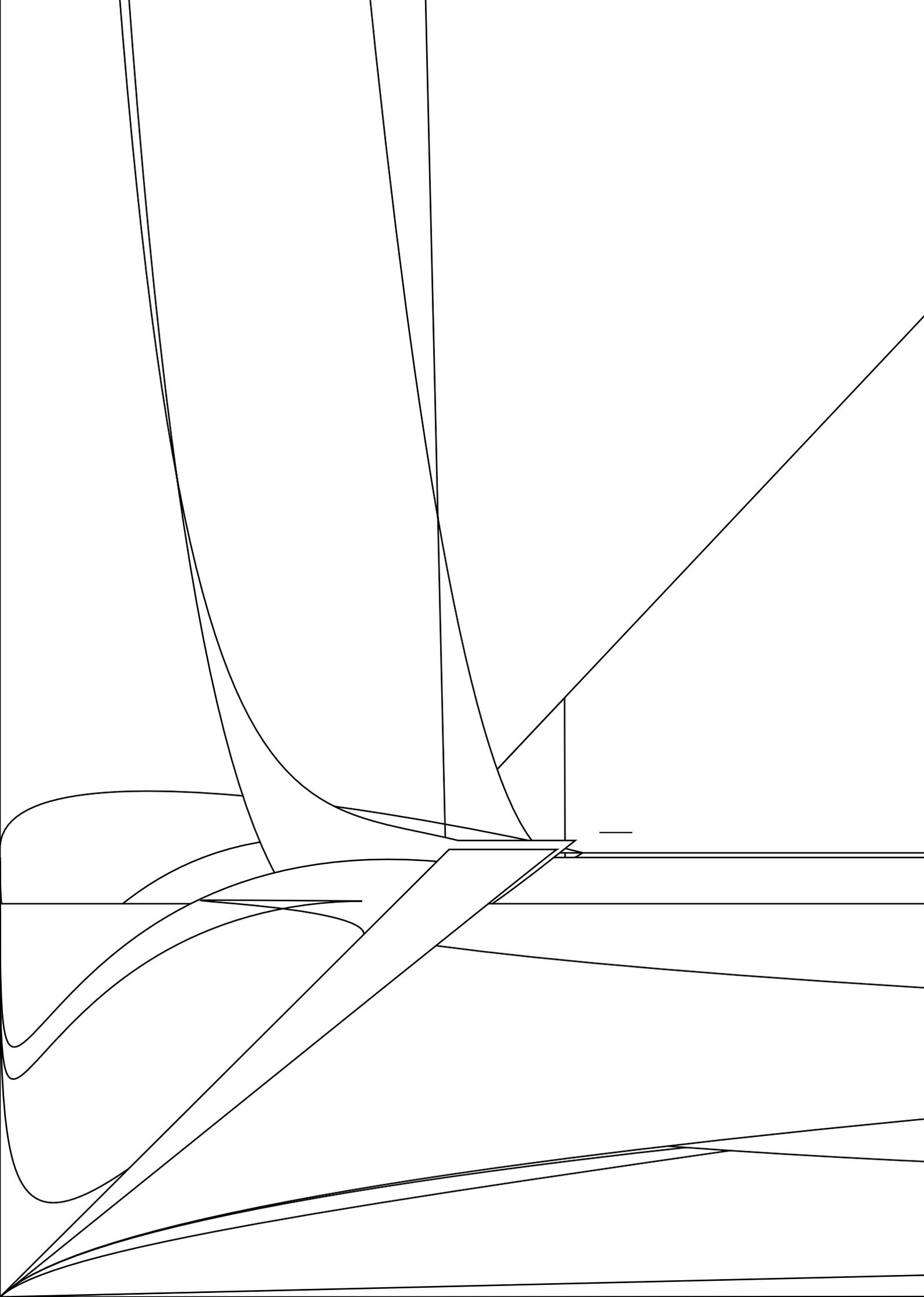


FIGURE 6. Progrès génétiques espérés en 10 ans selon les deux critères de rendement dans la race Alpine.

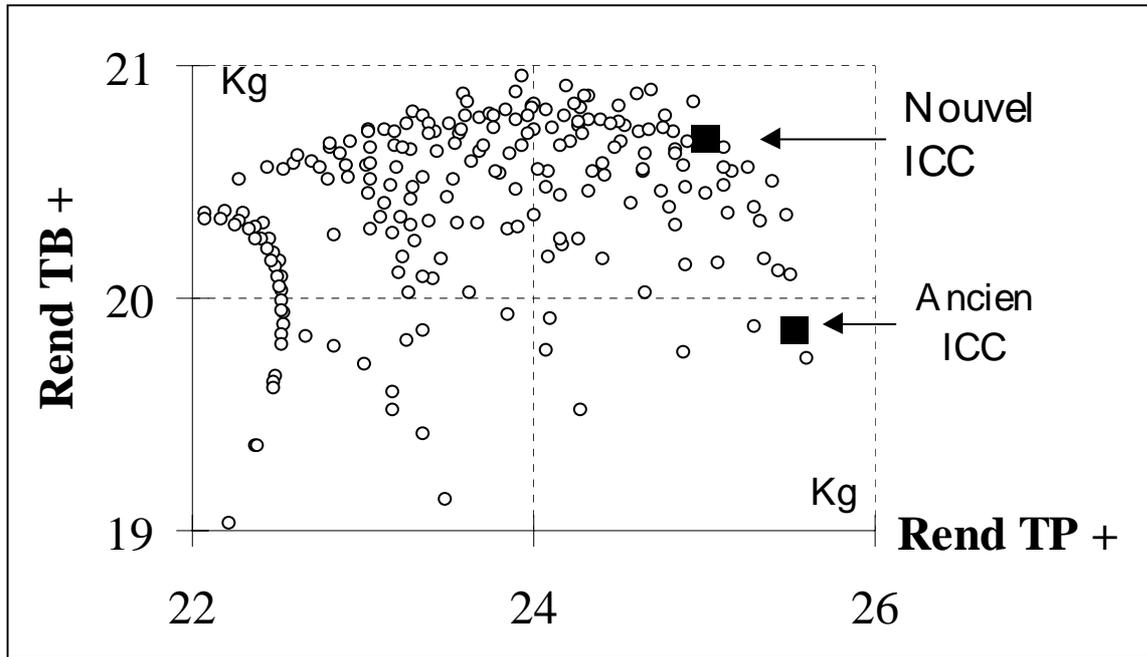
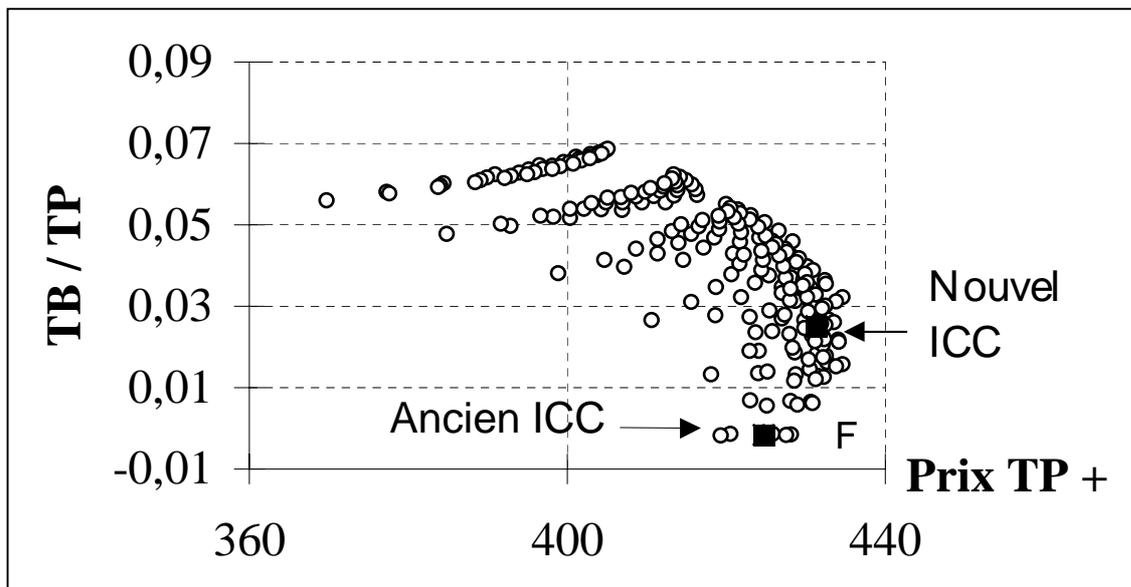


FIGURE 7. Progrès génétiques espérés en 10 ans selon le rapport TB/TP et le critère de Prix TP+ dans la race Alpine.



III. Le choix

L'ICC précédent favorisait essentiellement la production des matières protéiques. Il se caractérisait par des progrès génétiques voisins de zéro sur le rapport TB/TP, associés à des gains presque maximaux d'après le rendement TP+ mais sous-optimaux pour les autres critères économiques (tableau 15).

Compte tenu de la demande des transformateurs et des contraintes génétiques, l'examen des différentes possibilités s'est concentré sur une gamme d'index permettant des progrès génétiques accrus bien que modérés sur le rapport TB/TP, associés à des gains augmentés d'après les 3 critères économiques qui accordent un certain poids aux matières grasses du lait, mais donc légèrement réduits d'après la formule de rendement TP+.

Dans la gamme ainsi proposée, les différents acteurs de la filière regroupés au sein du Comité Scientifique et Technique de Caprigène ont montré une préférence pour les index qui permettaient de conserver des progrès génétiques élevés à la fois sur les quantités de lait et sur les taux protéiques.

Malgré toutes ces précisions, le choix restait encore large. En effet, par le jeu des corrélations génétiques, des progrès génétiques similaires pouvaient être obtenus en appliquant des index combinés dont les pondérations étaient très différentes (par exemple, les index $ICC = 1 IMP + 0.7 ITP + 0.5 IMG$ ou $ICC = 1 IMP + 0.3 ITP + 0.3 ITB$ donnent des progrès génétiques espérés quasiment identiques à $ICC = 1 IMP + 0.4 ITP + 0.2 IMG + 0.1 ITB$). Sur ce point, le Comité a montré une préférence pour les index dont les pondérations étaient "centrales" relativement à la gamme favorable (par exemple, une pondération de 0,1 a été choisie pour le TB, sur une gamme favorable pouvant aller de 0 à 0,2). Cette préférence pouvait être considérée comme une stratégie de prudence face aux approximations de la méthode de prédiction.

A l'issue des débats, l'index combiné suivant a été choisi par le Comité puis validé par le Conseil d'Administration de Caprigène :

$$ICC = 1 IMP + 0.4 ITP + 0.2 IMG + 0.1 ITB$$

Les progrès génétiques espérés grâce au nouvel objectif de sélection sont décrits dans le tableau 15. Ils ont essentiellement une valeur indicative, relative à l'index combiné précédent. On notera principalement l'amélioration notable prévue dans les deux races sur les taux butyreux au prix d'une réduction négligeable des progrès espérés sur les quantités de lait et les taux protéiques.

TABLEAU 15. Gains espérés en 10 ans dans les races Alpine et Saanen, suivant l'objectif de sélection choisi en 1996 et le nouvel objectif.

	QL (Kg)	TP (g/Kg)	TB (g/Kg)	TB/TP	Rend. TB+ (Kg)	Prix TB+ (F)	Prix TP+ (F)	Rend. TP+ (Kg)
ICC = IMP + 0.4 ITP								
Alpine	99	1.5	1.7	-0.002	19.9	429	424	25.6
Saanen	109	0.9	1.2	0.008	18.6	408	405	23.0
ICC = IMP + 0.4 ITP + 0.2 IMG + 0.1 ITB								
Alpine	96	1.5	2.5	0.025	20.7	440	430	25.0
Saanen	108	0.9	2.3	0.041	19.9	427	416	22.6

Conclusion générale

Ces travaux ont été réalisés entre juin 1998 et mars 1999 et présentés aux adhérents de Caprigène dans le Bulletin de Caprigène de mai 1999 (Piacère *et al.*, 1999). Le développement des applications (ajustement du calcul et de l'édition des ICC, redéfinition des bases mobiles et des seuils de qualification dans les deux races, ajustement des procédures d'accouplements programmés, ...) ont été réalisés après mon départ.

Mis en application pour la sélection des reproducteurs depuis l'automne 1999 (Piacère *et al.*, 2000 a), le nouvel ICC devrait d'abord contribuer à une évolution favorable de la composition du lait de chèvre dans les élevages du noyau de sélection, puis diffuser peu à peu, avec plusieurs années de retard, vers le reste de la population caprine.

Il pourra donc apporter assez rapidement un soutien aux transformateurs fermiers adhérents à Caprigène, mais son influence sur la composition des laits de grand mélange sera limitée dans un premier temps par la relativement faible diffusion de l'insémination artificielle dans la population caprine. En outre, l'objectif de sélection n'influence que le niveau génétique potentiel des reproducteurs. Les facteurs d'environnement, et en particulier l'alimentation, pourraient rester limitants dans bien des cas.

En 2002, nous n'avons pas encore assez de recul pour juger des effets du nouvel objectif de sélection, d'autant plus que l'estimation des progrès génétiques est chose délicate, susceptible de nombreux biais (Boichard *et al.*, 1995). Toutefois, il semblerait que cette évolution ait satisfait les professionnels de la filière.

Depuis lors, la sélection caprine a continué d'évoluer. On peut en particulier noter l'amélioration du modèle d'estimation des index par la prise en compte, depuis 2001, de l'hétérogénéité des variances entre cheptels (Piacère *et al.*, 2001 b) ou l'élargissement de l'indexation aux caractères morphologiques et en particulier à la morphologie de la mamelle depuis 2000 (Piacère *et al.*, 1998 ; Piacère *et al.*, 2000 b). La sélection reste toutefois exclusivement centrée sur l'objectif de sélection défini par le nouvel Index Combiné Caprin ; l'utilisation des index morphologiques n'est en effet pas prise en compte dans l'offre des boucs améliorateurs et il est conseillé de ne travailler sur la morphologie qu'en seconde intention, afin de corriger les défauts manifestes de certaines lignées. Par ailleurs, en terme d'optimisation de la sélection des caractères de production laitière, l'utilisation des gènes majeurs caséines reste pour l'instant cantonnée à la programmation des accouplements programmés et au choix intra-fratrie des jeunes mâles entrant en pré-testage (Piacère *et al.*, 1997 ; Manfredi *et al.*, 1998). De nombreux travaux théoriques

sont néanmoins conduits par l'équipe de l'INRA-SAGA afin de mieux comprendre et d'améliorer la sélection conjointe sur des polygènes et des gènes majeurs (Manfredi *et al.*, 1998).

Toutefois, quels que soient les efforts de Caprigène, de l'Institut de l'Élevage et de l'INRA, le potentiel de progrès génétique en production laitière caprine reste pour l'instant contraint par la participation réduite des éleveurs aux contrôles de performance officiels et à leur faible recours à l'insémination artificielle.

Bien que, de part ma formation en écologie évolutive, je ne souhaite pas voir dans la population caprine une réduction des tailles génétiques de population aussi excessive qu'elle peut l'être dans les grandes races laitières bovines, j'aimerais conclure ce travail par un encouragement aux éleveurs de Caprigène qui, sur cet axe et sur d'autres, travaillent pour l'intérêt collectif.

Références Bibliographiques

- ANDERSON SM, MAO IL et GILL JL. (1989) Effect of frequency and spacing on accuracy and precision of estimating total lactation milk yield and characteristics of the lactation curve. *J. Dairy Sci.*, **72** : 2387-2394.
- ANONYME. (1993) *Les index laitiers caprins : le modèle animal*. Paris : INSTITUT DE L'ELEVAGE et INRA-SGQA.
- ANONYME. (1994) *Règlement technique du contrôle laitier pour les espèces bovines et caprines*. Paris : INSTITUT DE L'ELEVAGE et FRANCE CONTROLE LAITIER.
- BARBIERI E. (1992) *Extrapolation des productions partielles dans l'espèce caprine*. Mémoire de DEA, INA-PG, Paris.
- BARBIERI E, MANFREDI E, ELSSEN JM, RICORDEAU G, BOUILLON J, GROSCLAUDE F, MAHE MF et BIBE B. (1995) Influence du locus de la caséine α_1 sur les performances laitières et les paramètres génétiques des chèvres de race Alpine. *Genet. Sel. Evol.*, **27** : 437-450.
- BOICHARD D, BOULOC N, RICORDEAU G, PIACERE A et BARILLET F. (1989) Genetic parameters for first lactation dairy traits in the Alpine and Saanen goat breeds. *Genet. Sel. Evol.*, **21** : 205-215.
- BOICHARD D, MANFREDI E et BONAÏTI B. (1992) Une nouvelle méthode d'évaluation génétique des caprins laitiers. In : *Colloque Production Caprine*, NIORT, 29 avril 1992.
- BOICHARD D, BONAÏTI B, BARBAT A et MATTALIA S. (1995) Three methods to validate the estimation of genetic trend in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, **78** : 2, 431-437.
- BOULOC N. (1991) *Analyse de la forme de la courbe de lactation – Application à l'étude des modalités d'allègement du contrôle laitier et de prévision précoce de la production dans l'espèce caprine*. Thèse INA-PG, Paris.
- BOULOC N, BARILLET F, BOICHARD D, SIGWALD JP et BRIDOUX G. (1991) Etude des possibilités d'allègement du contrôle laitier officiel chez les caprins. *Ann. Zootech.*, **40** : 125-139.
- DELORENZO MA et WIGGANS GR. (1986) Factors for estimating daily yield of milk, fat, and protein from a single milking for herds milked twice a day. *J. of Dairy Sci.*, **69** : 2386-2394.

- DIAZ C, CARABAÑO MJ et HERNANDEZ D. (1995) Connectedness in genetic parameters estimation and BV prediction. *In : 46th Annual meeting of the European Association for Animal Production*, Prague.
- DICKINSON FN et MCDANIEL BT. (1970) Single-milking yields versus 24-hour yields for estimating lactation milk production by the test interval method. *J. of Dairy Sci.*, **53**: 200-207.
- DUCROCQ, V. (1990) Les techniques d'évaluation génétique des bovins laitiers. *INRA Prod. Anim.*, **3 (1)** : 3-16.
- ELSEN JM. (1993) Prediction of annual genetic gain and improvement lag between populations. *Genet. Sel. Evol.*, **25** : 75-82.
- GROENEVELD E, KOVAC M et WANG T. (1990) PEST, a general purpose BLUP package for multivariate prediction and estimation. *In : Proceedings of the 4th World Congress on Genetics applied to Livestock Production*, Edinburgh, 488-491.
- GROSCLAUDE F, RICORDEAU G, MARTIN P, REMEUF F, VASSAL L et BOUILLON J. (1994) Du gène au fromage : le polymorphisme de la caséine α s1 caprine, ses effets, son évolution. *INRA Prod. Anim.*, **7 (1)** : 3-19.
- LARZUL C. (1992) *Proposition pour l'amélioration de la sélection caprine*. Mémoire de DAA.
- LEBOEUF B, MANFREDI E, BOUE P, PIACERE A, BRICE G, BARIL G, BROQUA C, HUMBLLOT P *et al.* (1998) Artificial insemination of dairy goats in France. *Livestock Prod. Sci.*, **55** : 193 - 203.
- LEE AJ et WARDROP J. (1984) Predicting daily milk yield, fat percent, and protein percent from morning and afternoon tests. *J. Dairy Sci.*, **67**: 349-360.
- MC DANIEL BT. (1969) Accuracy of sampling procedures for estimating lactation yields : a review. *J. Dairy Sci.*, **16** : 293-296.
- MANFREDI E, BARBIERI M, FOURNET F et ELSESEN JM. (1998) A dynamic deterministic model to evaluate breeding strategies under mixed inheritance. *Genet. Sel. Evol.*, **30** : 127-148.
- MANFREDI E, LEROUX C, PIACERE A, MARTIN P, ELSESEN JM et GROSCLAUDE F. (1998) Use of a major gene in a dairy goat selection scheme. *In : 49th Annual meeting of the European Association for Animal Production*. Warsaw, 24-27 august 1998.

- NEUMAIER A et GROENEVELD E. (1998) Restricted maximum likelihood estimation of covariances in sparse linear models. *Genet. Sel. Evol.*, **30** : 3-26.
- PIACERE A et BOULOC N. (1996) Le nouvel index combiné. *Réussir - La chèvre*, **213** : 22-25.
- PIACERE A, BOULOC-DUVAL N, SIGWALD JP, LARZUL C et MANFREDI E. (1997) Utilisation de l'index combiné caprin et du polymorphisme de la caséine alpha s1 dans le schéma de sélection caprin. In : 4^{ème} *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*. Paris : Institut de l'Élevage, 1997, 187-190.
- PIACERE A, MANFREDI E et LAHAYE P. (1998) Analyse génétique de la morphologie des chèvres Saanen et Alpines françaises. In : 6^{ème} *symposium international sur la traite des petits ruminants*. Athènes, Grèce, 1998.
- PIACERE A, LAHAYE P, BONNE JL, BOUE P, LAMAIX B, BELICHON S et ROGUET JM. (1999) Un nouvel index combiné caprin, dès l'automne pour une sélection encore mieux adaptée à l'objectif économique de la filière caprine. *Le bulletin de Caprigène*, **14** : 8-10.
- PIACERE A, LAHAYE P, BONNE JL, BOUE P, LAMAIX B et ROGUET JM. (2000 a) Indexation laitière : un nouvel ICC, de nouvelles bases de sélection... *Le bulletin de Caprigène*, **15** : 8-9.
- PIACERE A, LAHAYE P, BONNE JL, BOUE P, LAMAIX B et ROGUET JM. (2000 b) Catalogue d'insémination 2000. *Le bulletin de Caprigène*, **16** : 20.
- PIACERE A, LAHAYE P, BONNE JL, BOUE P, LAMAIX B et ROGUET JM. (2001 a) Questions à Karine Maignan, responsable génétique caprine à SERSIA France. *Le bulletin de Caprigène*, **17** : 12.
- PIACERE A, LAHAYE P, BONNE JL, BOUE P, LAMAIX B et ROGUET JM. (2001 b) Nouvelle indexation pour une meilleure évaluation de vos reproducteurs. *Le bulletin de Caprigène*, **19** : 9-12.
- SAS.(1992) *SAS User's Guide*. SAS Institute, New York, NC.
- SANNA S, ASTRUC JM, CARTA A, ROSATI A et BARILLET F. (1994) Simplification of the daily milk test-day recording in sheep. In : 29th *biennial session of ICAR*, Ottawa, Ontario, Canada.
- SCHAEFFER LR. (1975) Disconnectedness and variance component estimation. *Biometrics*, **31**: 969 - 977.
- WIGGANS GR. (1980) Methods to estimate milk and fat yields from a.m./p.m. plans. *J. Dairy Sci.*, **64**: 1621-1624.

CONTRIBUTION A L'INTRODUCTION DES MATIERES GRASSES DU LAIT
DANS L'OBJECTIF DE SELECTION CAPRIN

NOM et Prénom :

BELICHON Sophie

Résumé :

Une évolution relative des taux protéiques et taux butyreux défavorable à la transformation fromagère a conduit les acteurs de la filière lait caprine à souhaiter, en 1998, qu'un objectif de sélection plus favorable aux matières grasses du lait soit défini par Caprigène France.

Compte tenu de la forte variabilité des taux butyreux, il était tout d'abord nécessaire de vérifier la qualité des estimations de performances et d'index pour les matières grasses dans le cadre des protocoles de contrôle laitier allégés. Ainsi, les performances et les index de plus de 13000 chèvres estimés selon un protocole alterné ont été comparés aux valeurs obtenues selon un protocole de référence. Les pertes de précision observées, quoique notables, restaient dans la gamme des valeurs acceptables et aucun traitement particulier de ces données n'a été décidé.

L'optimisation d'un objectif de sélection nécessitant de bonnes estimations des variabilité et des corrélations phénotypiques et génétiques, nous nous sommes attaché, dans un second temps, à estimer ces paramètres par un modèle animal exploitant les performances de plus de 50000 chèvres primipares avec plus de 60000 ancêtres retracés. Cette étude a conduit à confirmer les principaux résultats déjà obtenus dans les années 80, avec en particulier une faible opposition génétique entre les quantités de lait et les taux butyreux dans les deux grandes races laitières Alpine et Saanen.

Enfin, un modèle du schéma de sélection caprin nous a permis d'exposer aux professionnels de la filière les progrès génétiques qui pouvaient être attendu sur les caractères de production laitière ainsi que sur 4 critères technico-économiques pour une gamme de près de 1200 index combinés potentiels. Sur cette base, ils se sont exprimé en faveur d'un nouvel objectif de sélection, $ICC = 1 IMP + 0.4 ITP + 0.2 IMG + 0.1 ITB$, permettant dans les deux races d'augmenter notablement les progrès espérés sur les taux butyreux en limitant à peine ceux sur les quantités de lait.

Mots-Clés :

Caprin ; lait ; contrôle laitier ; génétique ; sélection ; index combiné.

JURY :

Président :

Directeur : Bénédicte GRIMARD - BALLIF

Assesseur : Bruno POLACK

Adresse de l'auteur :

14 rue du Docteur Roux, 10 000 TROYES

CONTRIBUTION TO THE INCLUSION OF MILK FAT
IN THE GOAT SELECTION OBJECTIVE

SURNAME :

BELICHON

Given name :

Sophie

Summary :

At the end of the 1990's, goat milk producers and cheese manufacturers have wished Caprigène France to define a new selection objective which would be more favourable to fat content.

Due to the high variability of fat contents inside and between days of lactation, it was first necessary to verify the quality of the estimates of dairy goat performances and breeding values obtained from the simplified milk recording scheme routinely used in France. At this prospect, AT4 estimates were compared to A4 estimates on about 13000 records. It was concluded that the observed losses of accuracy were acceptable.

A good knowledge of genetic parameters was necessary to optimise the new selection objective. Thus, in a second time, we aimed to update the estimates obtained in the 1980's, using an animal model on more than 50000 first lactation records from well connected herds. This study led us to confirm the main features previously observed. In particular, we obtained a low genetic opposition between milk yield and fat content in the two breeds Alpine and Saanen, which was favourable to joint selection on these characters.

Finally, a model of the French goat selection scheme permitted us to evaluate the genetic progress expected for the 5 dairy traits and the 4 technico-economic criteria retained, according to 1200 potential selection objectives. This work has led to the choice of the new objective, $ICC = 1 IMP + 0.4 ITP + 0.2 IMG + 0.1 ITB$, more favourable to fat content without sensible costs on the other traits.

KEY WORDS :

Goat ; dairy traits ; milk recording ; genetic ; selection objective.

JURY :

President :

Director : Bénédicte GRIMARD - BALLIF

Assessor : Bruno POLACK

Author's Address :

14 rue du Docteur Roux, 10 000 TROYES, FRANCE