

Brebis laitières : impact de la structure du troupeau et autres facteurs d'élevage sur la composition chimique du lait livré

Depuis la fin des années 80, la maîtrise de la composition chimique du lait de brebis est devenue un objectif prioritaire en France : le lait livré par l'éleveur est payé en fonction de sa composition chimique annuelle ou mensuelle, calculée à partir des mesures réalisées tous les dix jours sur le lait du troupeau. L'article propose une méthode d'analyse de ces données globales qui permet de hiérarchiser l'influence respective de divers facteurs, dont la structure du troupeau, sur la production et la composition chimique du lait.

En France, près de 90 % du lait de brebis est collecté par des laiteries coopératives ou industrielles pendant une période d'ouverture limitée de décembre à juillet. Comme le prix du lait livré dépend de sa composition chimique, l'objectif de l'éleveur est d'obtenir la meilleure composition chimique possible pour

la période de livraison, que le paiement soit effectué au mois ou à la campagne. Pour cela l'éleveur doit d'abord pouvoir situer les performances mensuelles et annuelles de son troupeau et identifier les éléments de conduite explicatifs. Ensuite, il pourra chercher d'éventuelles améliorations techniques en fonction de leur intérêt, de leur coût et des contraintes de l'exploitation. Afin d'identifier les facteurs de variation de la composition chimique du lait imputables à la conduite du troupeau, d'en estimer les effets et de hiérarchiser leur poids respectif, nous proposons une méthode d'analyse globale de la production du troupeau fondée sur la valorisation simultanée de données recueillies à l'échelle du troupeau et de la brebis.

Résumé

Le but de l'analyse des données laitières à l'échelle du troupeau est d'identifier des facteurs non génétiques de variation de la composition chimique du lait produit et d'estimer leurs effets. L'analyse présentée permet notamment d'apprécier l'impact de la structure du troupeau, induit par les flux d'entrée et de sortie des brebis du troupeau trait. Ces effets globaux de structure du troupeau, qui peuvent se caractériser par la vitesse de constitution du troupeau et la stabilité de l'effectif trait, sont la résultante de facteurs élémentaires comme le mois d'agnelage, l'âge et le stade de lactation. Une simulation d'élevages pyrénéens montre que les écarts de taux butyreux et protéique annuels peuvent atteindre respectivement 3,3 g/l et 1,6 g/l en faveur d'un troupeau théorique où toutes les brebis seraient traitées du début à la fin de la période de livraison, comparé à un troupeau de même taille se constituant lentement et dont l'effectif varie constamment.

Plus généralement, la méthode d'analyse proposée vise à estimer l'importance respective de divers facteurs d'élevage, outre les effets propres de la structure du troupeau. Ainsi, l'analyse réalisée sur les données de 253 élevages du Rayon de Roquefort montre des effets significatifs de facteurs de structure du troupeau pouvant expliquer des écarts d'environ 1,9 g/l et 1,3 g/l respectivement pour les taux butyreux et protéique annuels, tandis que l'on met en évidence simultanément un effet favorable de la présence d'ensilage dans la ration hivernale, d'environ 2,0 g/l pour le taux butyreux annuel.

1 / Données et modèle d'analyse

1.1 / Les données

Les données dont nous disposons proviennent de deux sources d'informations, les laiteries et le contrôle laitier. Pour chaque élevage, les laiteries fournissent les données suivantes : dates de début et de fin de livraison, volume de lait livré chaque jour et composition chimique (TB, TP) décadaire du lait livré. Les

Le prix du lait de brebis dépend de sa composition mesurée mensuellement ou annuellement à l'échelle du troupeau. Dans les deux cas les éleveurs cherchent à optimiser la composition du lait livré pendant toute la campagne.

laiteries utilisent ces données pour calculer les taux mensuels et annuels du lait de chaque élevage par la méthode de la double pondération (calcul des taux mensuels à partir des taux mesurés à chacun des trois prélèvements décennaires pondérés par les volumes livrés, puis calcul d'un taux annuel à partir des taux mensuels pondérés par les volumes mensuels).

Le contrôle laitier officiel fournit les informations individuelles suivantes : date de mise bas, âge à la mise bas, numéro de lactation, présence mensuelle à la traite, production laitière et durée de la période de traite. En général, la production concerne uniquement la quantité de lait, puisque le contrôle de la composition du lait (quand il est pratiqué) est limité aux deux premières lactations pendant les 120 premiers jours (Barillet *et al* 1994). De plus, l'élevage des brebis laitières se caractérise par la pratique d'une phase d'allaitement des agneaux d'environ 1 mois, pendant laquelle le lait éventuellement traité ne peut être commercialisé. Ensuite, au sevrage des agneaux, les brebis passent à la traite exclusive. Conformément au règlement international du contrôle laitier ovin officiel (ICAR 1992), seules les brebis à la traite exclusive sont contrôlées, ce qui permet d'établir un inventaire des brebis qui contribuent au volume de lait livré. Ceci explique que les volumes annuels, estimés à partir des résultats individuels des brebis (moyennes de contrôle laitier), sont proches des livraisons réelles (moyennes économiques) calculées à partir des données des fromageries (tableau 1).

Dans certains cas, d'autres informations sont parfois disponibles, par exemple l'inventaire journalier des brebis à la traite, grâce à des « carnets de présence » des brebis, dans des troupeaux du Rayon de Roquefort (Lagriffoul *et al* 1990, Fraysse *et al* 1993) ou des Pyrénées (Bocher 1991, Fraysse *et al* 1993). La durée réelle d'allaitement et la date effective de tarissement de chaque brebis y sont notées, ce qui permet de comparer l'inventaire quotidien réel à l'inventaire approché, calculé à partir des seules données du contrôle laitier.

Pour tous les élevages du Rayon de Roquefort, la présence ou non d'ensilage dans les rations hivernales est connue et peut donc être prise en compte dans l'analyse des performances laitières des troupeaux. Dans certains cas, des suivis alimentaires plus précis (Ber-

nard et Liquière 1988, Arranz et Vacaresse 1993) permettent d'intégrer des variables de conduite alimentaire dans les analyses, par exemple le pourcentage de brebis dont les besoins sont couverts par la ration.

1.2 / Le modèle d'analyse des données individuelles

Pour simplifier la présentation, nous ne considérons qu'une lactation par brebis. La production laitière annuelle (P) dépend de facteurs de variation (F) identifiés et estimables liés à l'animal (systématiques) ou au milieu (spécifiques) et de la valeur génétique additive (A) transmissible de la femelle. Soient μ la moyenne de la population et E la résiduelle, on peut écrire le modèle suivant :

$$P = \mu + F + A + E$$

Pour les variables laitières annuelles, les facteurs liés à l'animal sont le plus souvent d'ordre physiologique : âge, numéro de lactation, ou durée de traite (Barillet 1985, Bonaïti 1985, Barillet et Boichard 1987). Les effets liés à l'état corporel des brebis (Bocquier et Caja 1993) ne sont pas pris en compte dans le modèle car l'état corporel n'est pas mesuré régulièrement. Les effets spécifiques du milieu, subis par des animaux contemporains, sont, par exemple, les effets de l'année, de l'élevage (ou de l'interaction année-troupeau), ou de la saison de mise bas (Barillet 1985, Bocquier 1985).

Pour les variables laitières mensuelles, il faut de plus tenir compte de l'effet du stade de lactation. En effet, la production laitière décroît au cours de la lactation passant en moyenne de 2,7 litres à 30 jours de lactation, à 0,8 litre à 180 jours pour une primipare Lacaune (figure 1). Hormis les différences de

Figure 1. Evolution de la production et de la composition du lait de 186 301 brebis primipares de race Lacaune contrôlées de 1987 à 1993 dans le Rayon de Roquefort.

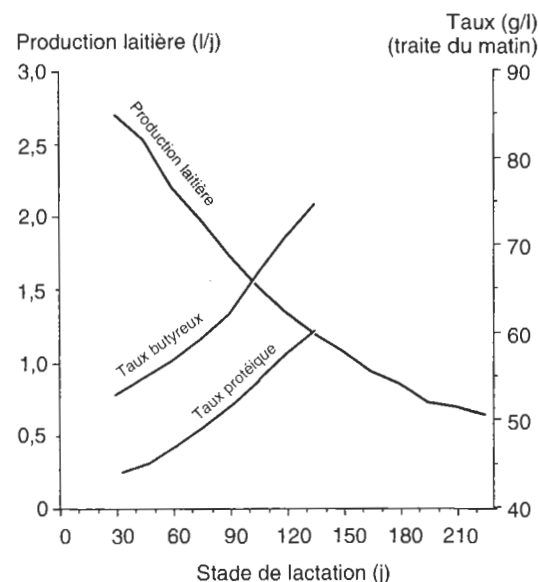


Tableau 1. Volumes annuels (litres) livrés réel et estimé par les informations du contrôle laitier officiel (CLO). $n = 1\,450$ « élevages-années » du CLO du Rayon de Roquefort pour les campagnes de 1990 à 1994 incluses.

	Volume réel	Volume estimé	Ecart relatif
Moyenne	92 208	91 420	- 0,8 %
Ecart-type	30 844	30 478	+ 3,4 %
Minimum	28 202	27 771	- 10,6 %
Maximum	228 322	215 534	+ 9,6 %

potentiel laitier, les variations autour de ces valeurs moyennes sont essentiellement imputables à l'effet dit « groupe de contemporaines », assimilable à l'effet année-troupeau (Barillet 1989) ou mieux à l'effet « année-troupeau-date de contrôle » pour les productions mensuelles (Barillet et Boichard 1994).

1.3 / Le modèle d'analyse des données laitières du troupeau

La production laitière (T) d'un troupeau pendant une période donnée est égale à la somme des volumes produits chaque jour par chaque brebis traite pendant la période considérée. La composition chimique du lait du troupeau résulte de la richesse individuelle du lait des brebis et de leur contribution au volume de lait produit, qui varient en fonction de leur âge et de leur stade de lactation.

En référence au modèle d'analyse des performances des brebis, la production laitière du troupeau (T) dépend du niveau génétique moyen du troupeau (G) et d'effets résultant de facteurs de variation (F) non génétiques, identifiés et estimables. Pour ces derniers, on considère essentiellement les effets des facteurs systématiques de variation (F_1), combinant le stade moyen de lactation et l'âge moyen des brebis traites, et des facteurs spécifiques (F_2), liés à l'effet « élevage », reflétant les techniques propres à l'élevage considéré. En particulier, cet effet « élevage » se traduit par des différences de production journalière entre troupeaux à même stade de lactation et âge comparable des brebis. Le modèle s'écrit alors :

$$T = \mu + F_1 + F_2 + G + E$$

où μ représente la moyenne de la population des troupeaux et E la valeur résiduelle.

2 / Conditions et modalités d'analyse des données du troupeau

2.1 / Prise en compte du niveau génétique moyen du troupeau

Avant d'aborder les facteurs de variation non génétiques, il faut préciser comment prendre en compte le niveau génétique moyen du troupeau pour analyser les données laitières des élevages. L'organisation pyramidale des schémas de sélection des ovins distingue les éleveurs en contrôle laitier officiel (CLO), adhérents du noyau de sélection, et les éleveurs utilisateurs du progrès génétique créé dans le noyau de sélection. Ces éleveurs utilisateurs sont eux-mêmes scindés en deux catégories avec les adhérents au contrôle laitier simplifié (CLS), utilisateurs privilégiés du progrès génétique du noyau de sélection, et les éleveurs hors contrôle laitier (HCL).

Lorsque le schéma de sélection atteint son régime de croisière, en principe 10 à 15 ans après son démarrage, cette organisation génère des différences de niveau génétique moyen entre les élevages du CLO, du CLS et HCL. Pour s'affranchir de ces différences, les données laitières sont analysées intra-catégorie d'élevages. Toutefois, dans le CLO, l'évaluation de la valeur génétique des reproducteurs à l'aide d'un modèle animal (Barillet *et al* 1992) fournit une estimation précise de G. Ainsi, en CLO, on peut choisir un échantillon d'élevages aux valeurs génétiques moyennes très proches ou bien inclure directement le niveau génétique moyen dans les modèles d'analyses des données au troupeau, ce qui permet de conserver davantage d'élevages pour l'étude.

2.2 / Structure du troupeau

Les taux (TB, TP) sont indépendants de la taille du troupeau alors que les quantités de matière ou de lait produites par le troupeau dépendent du nombre de brebis traites. L'analyse des données laitières des troupeaux nécessite de s'affranchir de leur taille et de s'intéresser à des productions moyennes ramenées à un effectif donné de brebis. A un instant donné, la structure du troupeau se définit par les effectifs de brebis en traite exclusive, primipares et multipares, caractérisés par un stade moyen de lactation et un âge moyen donné, résultant des flux d'entrée et de sortie des animaux. Pour comparer les structures entre élevages, on calcule donc, pour une campagne laitière donnée, des pourcentages de brebis présentes par rapport au nombre total de brebis traites dans l'élevage.

a / Calcul de la structure approchée

A partir des données de contrôle laitier, on peut calculer des inventaires journaliers approchés de brebis laitières contribuant au lait du tank. Les carnets d'agnelage permettent d'établir de tels inventaires, le début des agnelages étant fixé à la date où 5 % des femelles qui agnellent dans la campagne ont effectivement mis bas. On déduit le nombre de brebis à la traite exclusive en considérant une durée forfaitaire d'allaitement, fixée à 28 jours en race Lacaune (Lagriffoul *et al* 1990), et à 32 jours en races Basco-Béarnaise et Manech (Frayssé et Magnier 1990, Bocher 1991, Frayssé *et al* 1993). La date de tarissement est fixée forfaitairement 14 jours après le dernier contrôle laitier mensuel non nul, ce qui permet d'estimer la cinétique de sortie du troupeau. L'inventaire instantané approché des brebis à la traite est donc la résultante de ces cinétiques de mise à la traite et de sortie de traite.

b / Description de la structure vraie

Les carnets de présence ont permis de décrire l'évolution des structures vraies de 38 élevages du Rayon de Roquefort (race Lacaune) et 34 élevages des Pyrénées (races

La production et la composition du lait varient avec le niveau génétique du troupeau, sa conduite, notamment alimentaire, et sa structure : nombre de brebis traites, parité et stade de lactation.

Ainsi, en fonction de l'étalement des agnelages et de la durée moyenne de la période de traite, la structure du troupeau peut évoluer tout au long de la campagne laitière.

Basco-Béarnaise et Manech) (Fraysse *et al* 1993). Pour pouvoir comparer les élevages, le nombre de mise bas est exprimé en pourcentage du nombre total de femelles ayant agnelé au cours de la campagne. De même, les entrées, sorties et présences à la traite sont exprimées en pourcentage du nombre total de femelles mises à la traite au cours de la campagne.

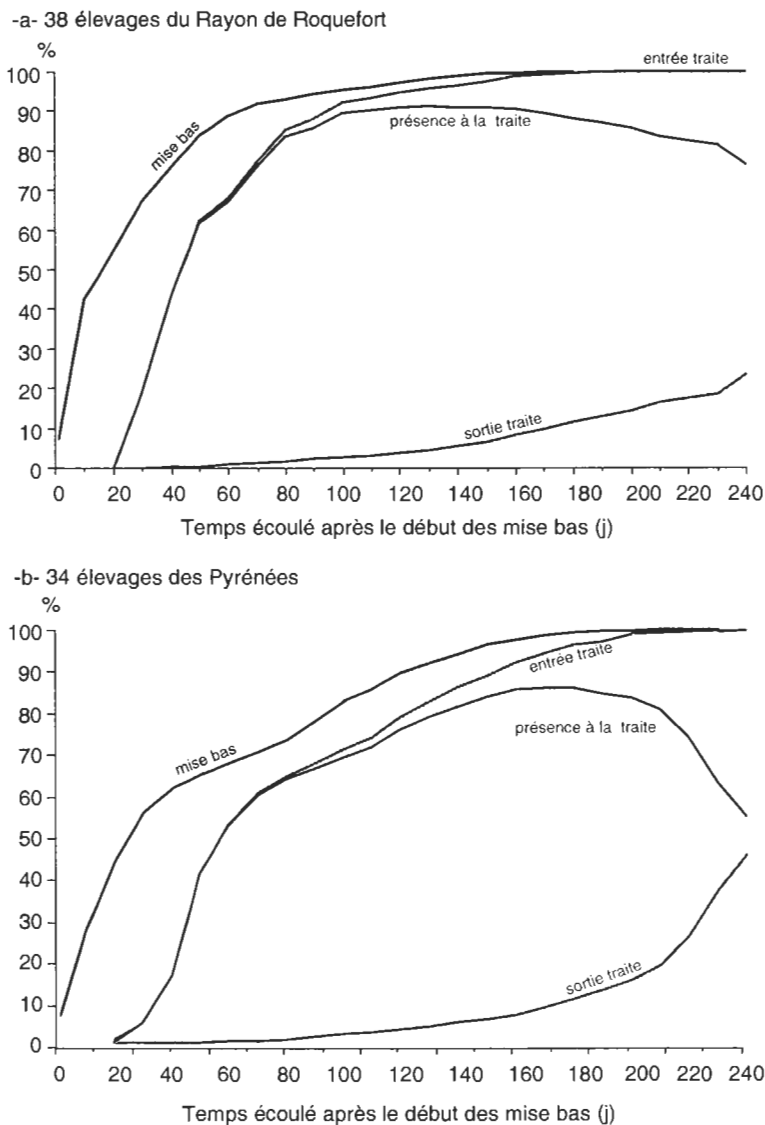
En race Lacaune (figure 2a), la cinétique de mise à la traite comporte deux phases bien distinctes. La première dure en moyenne 67 jours et dépend principalement de l'étalement des mise bas des adultes, qui conditionne directement la proportion de brebis contribuant au lait du tank le premier jour de livraison. Elle se caractérise aussi par la vitesse de constitution du troupeau à la traite, qui dépend de l'écart moyen entre les agnelages des adultes et des agnelles, ainsi que de

leur étalement pour chaque catégorie. Le stade moyen de lactation des brebis contribuant au lait du tank évolue d'autant plus rapidement que la vitesse de constitution du troupeau est élevée. Selon les élevages, la période d'agnelage dure de 35 à 70 jours.

Pendant la deuxième phase, la proportion de brebis traitées est stable (90 % environ) pendant près de deux mois, puis diminue régulièrement pendant soixante jours, jusqu'à la fin de livraison où elle est encore de 80 %. La durée de cette deuxième phase est fonction de la durée totale de livraison.

Pour les élevages pyrénéens (figure 2b), la phase de mise à la traite du troupeau est beaucoup plus longue, puisqu'il faut plus de 120 jours pour que 80 % des brebis soient traitées. Comme la durée de traite moyenne d'une brebis pyrénéenne est légèrement inférieure à 5 mois (élevages en CLO), certaines brebis présentes à la traite en début de campagne sortent de l'effectif trait avant la fin de campagne, alors que d'autres femelles arrivent à la traite, et la phase de stabilité est limitée au sixième mois de livraison. La structure des troupeaux évolue donc pendant toute la campagne.

Figure 2. Evolution de la structure de troupeau réelle moyenne du début des mise bas jusqu'à la fin de la campagne. Les valeurs sont exprimées en pourcentage du nombre total de femelles ayant agnelé au cours de la campagne pour la courbe des mise bas et en pourcentage du nombre total de femelles mises à la traite au cours de la campagne pour les courbes d'entrée, de sortie et de présence à la traite.



c / Comparaison des structures vraie et approchée

Pour estimer la structure approchée, on détermine la date de mise à la traite des brebis à partir d'une durée forfaitaire d'allaitement : l'effet élevage est si déterminant dans la variabilité de la durée d'allaitement qu'on ne peut pas utiliser un modèle satisfaisant de prédiction de la durée individuelle d'allaitement (J. Fraysse, résultats non publiés).

Afin de déterminer le pas de temps à utiliser pour calculer la structure approchée du troupeau, nous avons comparé les structures réelles et approchées de 32 et 28 élevages, respectivement pour le Rayon de Roquefort et les Pyrénées. Les structures approchées ont été calculées avec des pas de 1, 5, 10 et 15 jours. Les comparaisons ont porté sur les aires partielles (nombre cumulé de brebis-jours) par périodes de 10 jours et sur les aires totales. Les résultats (figure 3) montrent qu'un pas de 5 jours permet d'obtenir une estimation des effectifs du troupeau suffisamment fidèle, tout en limitant la quantité d'informations à utiliser et les temps de calcul nécessaires pour les analyses.

d / Facteurs de variation systématiques liés à la structure du troupeau

La description de la structure approchée des troupeaux doit permettre de déterminer les facteurs de variation systématiques (F_1) à inclure dans le modèle d'analyse des données laitières de troupeaux. Pour comparer les structures des élevages, on peut utiliser le rapport entre l'effectif de brebis présentes à la traite pour une période donnée et l'effectif potentiel de l'élevage, obtenu en considérant

que toutes les brebis auraient été présentes à la traite pendant la période considérée. Ainsi, dans l'analyse présentée ultérieurement intéressant le Rayon de Roquefort, on apprécie la vitesse de mise à la traite des agnelles par le rapport entre le nombre réel de brebis-jours des 90 premiers jours de livraison et le nombre théorique obtenu si toutes les agnelles étaient présentes à la même période depuis le premier jour de traite. On utilise le même principe pour la constitution du troupeau d'adultes. De même, pour traduire l'importance et la stabilité du troupeau entre 90 et 170 jours, on calcule le rapport entre les nombres réel et théorique de brebis-jours (adultes et agnelles). On peut aussi estimer de la sorte le maintien de l'effectif du troupeau à la traite par le rapport entre les nombres réel et théorique de brebis-jours adultes du 170^e jour à la fin de livraison.

2.3 / Facteurs de variation spécifiques liés aux effets élevage et année

Les facteurs de variation spécifiques (F_2) des effets « élevage » correspondent à des techniques d'élevage qui modifient la forme moyenne des courbes de lactation (persistance laitière, enrichissement du lait) ou le niveau des performances laitières des brebis d'un élevage à l'autre. On peut analyser l'influence de telles techniques lorsqu'on connaît leur pratique dans chaque élevage. Par exemple, dans l'échantillon du Rayon de Roquefort, on tient compte de l'incorporation d'ensilage d'herbe dans la ration hivernale des brebis conformément aux résultats antérieurs concernant ce facteur (Van Quackebeke *et al* 1981, Lagriffoul 1989, Lagriffoul *et al* 1990).

Il existe aussi des effets spécifiques, dont on connaît a priori l'importance et qui résultent de choix des éleveurs. Ainsi, comme le système est borné par les dates d'ouverture et de fermeture des laiteries, la date d'agnelage principal du troupeau détermine à la fois le numéro du premier mois de livraison et le nombre de mois de livraisons.

3 / Impact potentiel de la structure du troupeau sur la composition chimique du lait

Pour illustrer l'impact possible des seules différences de structure du troupeau sur la composition chimique du lait livré, nous avons simulé des variations d'effectifs de 5 troupeaux constitués de la même proportion d'agnelles et de brebis adultes. Les facteurs (F_2) et (G) sont considérés comme constants pour les 5 élevages ; la durée de livraison retenue est de 210 jours.

Dans cette simulation, les élevages sont composés de 100 brebis dont 75 adultes et 25 primipares. Pour chaque catégorie, chaque

Figure 3. Inventaires journaliers réel et approché (pas de 5 jours) des brebis présentes à la traite pour la période de livraison de l'un des 32 élevages du Rayon de Roquefort disposant de carnets de présence.

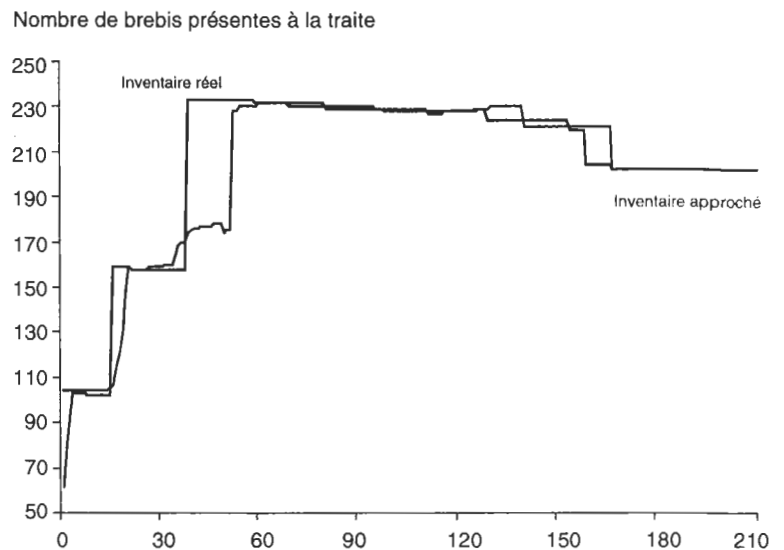
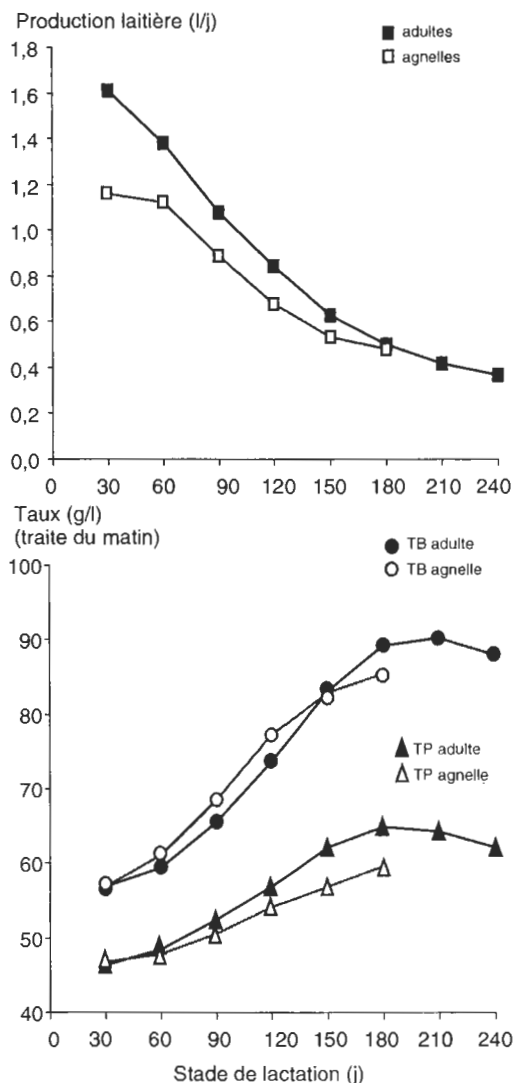


Figure 4. Production et composition du lait d'agnelles et de brebis des races pyrénéennes Basco-Béarnaise et Manech pour simuler les résultats laitiers des troupeaux (6 096 femelles en contrôle expérimental de 1992 à 1994).



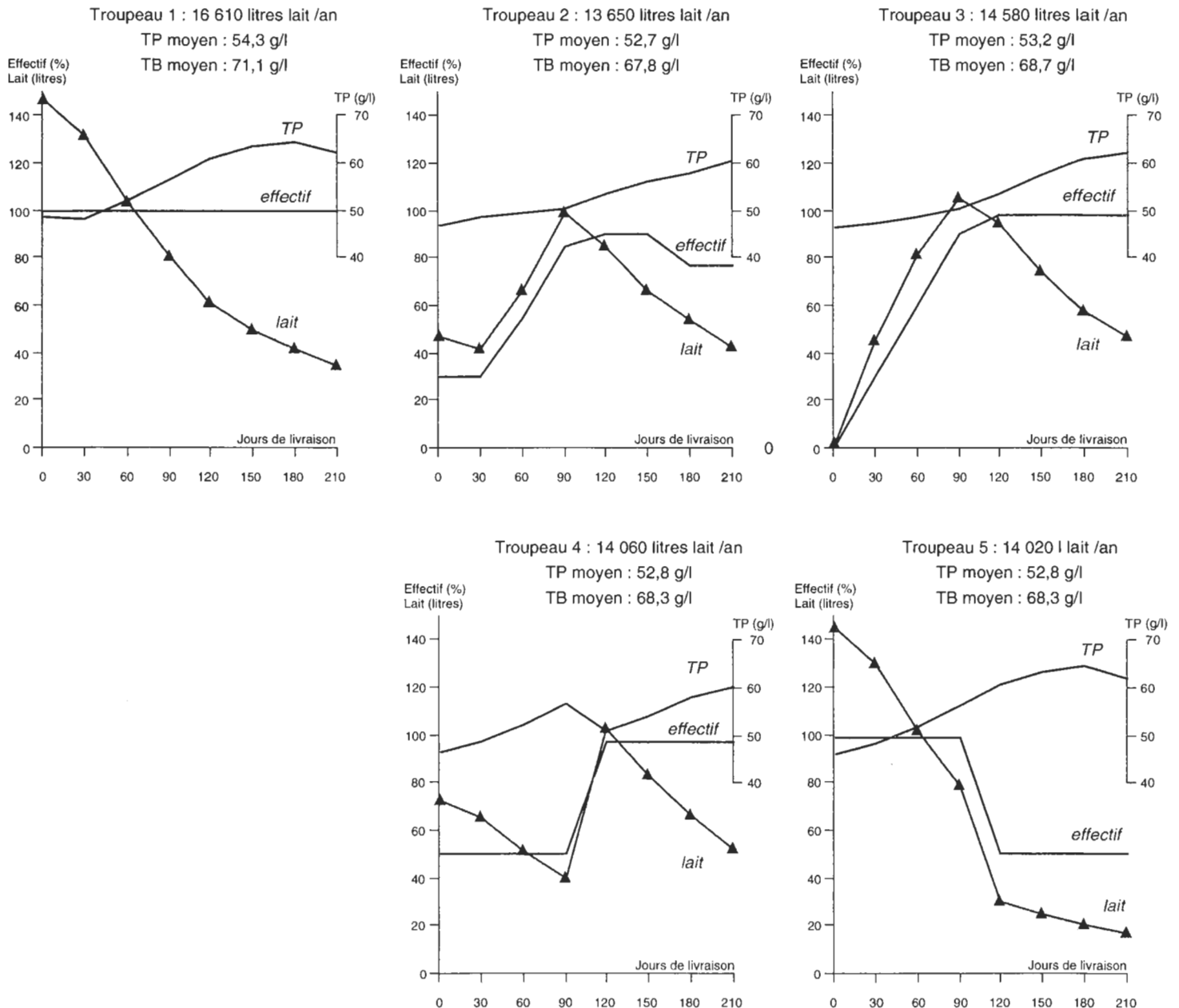
femelle présente la même courbe moyenne de lactation (figure 4), issue des valeurs moyennes d'un échantillon de 6 096 brebis de races pyrénéennes (Manech et Basco-Béarnaise), dont la composition du lait, à la traite du matin, est connue mensuellement. Nous avons simulé des pratiques très différentes d'entrée et de sortie des brebis traitées, pour amplifier les écarts d'effectif journalier de brebis à la traite (figure 5).

Dans le troupeau 1, la totalité des brebis traitées est présente du premier au dernier jour de livraison. Le troupeau 2 simule les variations d'effectifs d'un élevage pyrénéen moyen du CLO évaluées une fois par mois à partir du nombre de femelles présentes à chaque contrôle laitier. Le nombre de brebis adultes présentes à la traite le premier jour de livraison reste stable jusqu'à 30 jours, puis

arrivent un deuxième lot d'adultes et les premières primipares. Les proportions d'adultes et de primipares sont alors respectivement de 75 % et 25 %. Pour le troupeau 3, on considère qu'une seule brebis nouvelle entre chaque jour à la traite. Les premières agnelles sont traitées à 60 jours de livraison. Après 100 jours de livraison, toutes les brebis du troupeau 3 sont à la traite jusqu'à la fin de livraison. Dans le troupeau 4, la moitié des adultes et des agnelles est présente pendant les 105 premiers jours, puis le reste du troupeau est mis à la traite. Le troupeau 5 simule la situation inverse. Toutes les femelles sont à la traite pendant les 105 premiers jours, puis la moitié des adultes et la moitié des agnelles sont tarées.

Hormis le troupeau 2, ces différents cas constituent des situations extrêmes permet-

Figure 5. Evolutions des effectifs de brebis à la traite pour les 5 troupeaux considérés dans la simulation et effets de leurs variations sur la production et le taux protéique du lait.



tant de tester l'impact maximal des variations d'effectifs du troupeau sur l'évolution mensuelle et les résultats annuels par lait du tank, toutes choses étant égales par ailleurs. Ces résultats sont théoriques puisque les variations d'effectifs du troupeau sont supposées indépendantes des autres facteurs. Les résultats instantanés montrent l'évolution de la production des cinq troupeaux, visiblement conditionnée par celle des effectifs présents à la traite (figure 5). L'évolution du TB, identique à celle du TP, n'est pas représentée. Les résultats annuels des troupeaux ont été calculés par la méthode de Fleischmann (Lagriffoul 1989, Fraysse et Magnier 1990).

Les meilleurs résultats sont obtenus avec le troupeau 1. En effet, ce troupeau théorique, où toutes les brebis sont présentes du premier au dernier jour de livraison, se comporte comme une brebis « moyenne ». L'évolution de sa production laitière mime parfaitement la courbe de lactation d'une brebis traite pendant 210 jours, profitant pleinement de l'enrichissement du lait avec le stade de lactation. Pour l'ensemble de la campagne, cet élevage livre donc 16 610 litres de lait avec un TB annuel de 71,1 g/l et un TP annuel de 54,3 g/l.

Les troupeaux 3, 4 et 5 ont des résultats annuels assez proches, bien que l'évolution de leur production pendant la campagne soit complètement différente. En effet, les simulations 3 et 4 permettent de mesurer l'impact de l'entrée de brebis à la traite, de façon diffuse (3) ou massive (4). L'entrée massive de brebis provoque une augmentation rapide de la quantité de lait produite. Cependant, le stade moyen de lactation du troupeau diminue et le lait s'appauvrit jusqu'à 120 jours où il recommence à s'enrichir. Le troupeau 4 livre donc ainsi 14 060 litres avec un TB annuel de 68,3 g/l et un TP annuel de 52,8 g/l. Des entrées plus diffuses (3) ont un moindre impact sur la quantité de lait produite et sur l'évolution de la composition du lait qui s'enrichit plus lentement que dans les autres troupeaux jusqu'à 90 jours (figure 5). Le moindre impact de ces entrées diffuses permet au troupeau 3 de livrer 14 580 litres avec un TB annuel égal à 68,7 g/l et un TP annuel de 53,2 g/l. Malgré une plus forte richesse du lait en fin de campagne, le troupeau 5 obtient les mêmes résultats annuels de volume livré et de richesse que le troupeau 4. La sortie massive d'animaux du troupeau 5 n'affecte pas l'évolution du stade moyen de lactation. Elle est donc sans incidence sur l'évolution de la composition chimique du lait, mais elle entraîne une diminution des livraisons journalières. Ainsi, la part de lait livré pendant les 90 premiers jours, où les taux sont relativement faibles, est plus importante dans les calculs de taux annuels du troupeau 5 que des troupeaux 1, 3 et 4. Les taux annuels sont donc plus faibles que pour le troupeau 1, à même courbe d'enrichissement, mais à effectif stable. Ils sont aussi un peu plus faibles que pour le troupeau 3, dont les TB et TP annuels sont respectivement de 68,7 g/l et 53,2 g/l. Pourtant, le lait du troupeau 3 est constam-

ment moins riche au cours de la campagne. Son enrichissement est plus lent jusqu'à 120 jours, mais la répartition des volumes livrés est plus favorable aux taux de fin de campagne dans les calculs annuels.

Le troupeau 2 est soumis aux effets conjugués d'entrées et de sorties de brebis, ce qui induit les moins bons résultats annuels pour la quantité de lait produite (13 650 litres) et pour la composition chimique (TB = 67,8 g/l, TP = 53,2 g/l). Ce troupeau se constitue relativement lentement et son effectif n'est stable que sur une faible période.

Les résultats de ces simulations montrent clairement l'incidence que peut avoir la gestion des entrées et des sorties de brebis à la traite. En effet, par rapport au cas théorique d'un troupeau entièrement constitué dès le premier jour de traite et ne pratiquant aucune réforme (troupeau 1), les écarts de composition du lait peuvent atteindre 3,3 g/l pour le TB et 1,6 g/l pour le TP.

Dans cette simulation, seul le stade moyen de lactation varie. Or, la composition chimique du lait livré dépend aussi, dans une moindre mesure, de la parité des brebis du troupeau (âge et numéro de lactation). Ainsi, si l'on compare les résultats du troupeau 1 (25 % de brebis en 1^{re} lactation) à ceux d'un troupeau aux mêmes caractéristiques, constitué de 50 % de brebis en première lactation, ce « rajeunissement » de l'effectif se traduit par une baisse d'environ 0,5 g/l pour le TB et le TP. Cette diminution dépend principalement de la différence moyenne, variable d'un troupeau à l'autre, entre les courbes de lactation des brebis adultes et celles des agnelles.

Nous avons illustré l'impact possible des facteurs systématiques (F1) de variation de la composition chimique du lait de troupeaux, lorsque les autres facteurs (F2, G) sont constants. Il s'agit principalement, à l'échelle du troupeau, de l'effet physiologique de l'enrichissement du lait avec le stade de lactation. Mais, d'un troupeau à l'autre, les facteurs spécifiques de variation (F2, voire G) peuvent avoir une incidence sur cette évolution. Dans les analyses de production laitière du troupeau, il est donc souhaitable de considérer les facteurs de variation systématiques (F1) de structure du troupeau, et les facteurs de variation spécifiques (F2) pour dissocier leur influence respective ou estimer leurs éventuelles interactions.

4 / Exemple d'analyse des données laitières du troupeau

Pour illustrer la méthode proposée, nous présentons une analyse des taux butyreux et protéiques annuels pour un échantillon de 900 observations (années-troupeaux) du Rayon de Roquefort, correspondant à 253 élevages du contrôle laitier officiel de 1990 à 1994, livrant du lait pendant huit mois. Dans le modèle, on

Par rapport à un troupeau théorique d'effectif constant, l'évolution de la structure du troupeau au cours d'une campagne pourrait conduire à des écarts de taux annuels de 3,3 g/l pour le TB et 1,6 g/l pour le TP.

L'étude de 253 élevages du Rayon de Roquefort montre que la vitesse de constitution du troupeau peut expliquer des écarts annuels de 1,9 g/l de TB et 1,0 g/l de TP.

inclut le facteur de niveau génétique moyen du troupeau (G), des facteurs systématiques (F_1) et spécifiques (F_2). Les facteurs systématiques utilisés sont ceux déjà définis : vitesses de constitution des cheptels d'agnelles et d'adultes pendant les 90 premiers jours de livraison, importance et stabilité du troupeau constitué entre 90 et 170 jours, et maintien de l'effectif adulte à la traite. Nous avons aussi considéré l'âge moyen du troupeau à 90 jours. Comme facteurs spécifiques, nous incluons la présence d'ensilage dans la ration hivernale, la campagne et la durée de livraison.

Hormis l'ensilage et la campagne laitière, chaque facteur inclus dans le modèle présente

3 niveaux. Le niveau « bas » d'un facteur regroupe les observations dont la valeur pour le facteur considéré est inférieure ou égale à la moyenne de l'échantillon moins un écart-type, ce qui représente à peu près 1/6 de l'échantillon, étant donné les distributions normales observées pour chacun des facteurs. Le niveau « Haut » rassemble les observations dont la valeur du facteur est strictement supérieure à la moyenne de l'échantillon plus un écart-type, soit 1/6 environ de l'échantillon. Le niveau « moyen » regroupe donc les observations dont la valeur du facteur est comprise entre les deux seuils précédemment définis. Ce dernier niveau représente ainsi

Tableau 2. Facteurs de variation des TB et TP annuels du lait de tank de 900 troupeaux-années (1990 à 94) du Rayon de Roquefort (livraison 8 mois par an) : moyennes estimées par la méthode des moindres carrés pour les facteurs (G), (F_1) et (F_2) du modèle.

	Taux butyreux (g/l)	Taux protéique (g/l)
Coefficient de détermination	27,3 %	29,4 %
Niveau génétique moyen du troupeau (G)	***	***
– bas	69,4	51,9
– moyen	70,0	52,4
– haut	70,3	52,6
Facteurs F_1		
Vitesse de constitution du cheptel d'agnelles ⁽¹⁾ (90 premiers jours de livraison)	**	**
– bas	69,5	52,1
– moyen	70,0	52,3
– haut	70,5	52,5
Vitesse de constitution du cheptel d'adultes ⁽¹⁾ (90 premiers j. de livraison)	***	***
– bas	69,6	52,0
– moyen	69,9	52,3
– haut	70,5	52,6
Importance et stabilité du troupeau constitué ⁽¹⁾ (90 à 170 j. de livraison)	ns	ns
Maintien de l'effectif adulte à la traite ⁽¹⁾ (170 jours à fin de livraison)	ns	*
– bas		52,2
– moyen		52,3
– haut		52,5
Age moyen du troupeau à 90 jours livr.	ns	ns
Facteurs F_2		
Ensilage	***	ns
– pas d'ensilage	69,0	
– ensilage dans la ration hivernale	71,0	
Campagne	***	***
1990	69,1	52,7
1991	70,5	52,7
1992	70,0	52,4
1993	70,7	52,4
1994	69,7	51,3
Durée de livraison de l'élevage	ns	***
– bas		52,1
– moyen		52,4
– haut		52,5
Ecart-type résiduel	2,15	1,01

* Significatif à 5 %, ** à 1 %, *** à 0,1 %, ns : non significatif.

(1) Proportion du nombre de femelles-jours vrai (NBBJ) par rapport au nombre théorique obtenu si toutes les femelles étaient présentes pour la même période.

environ 2/3 des observations analysées (tableau 2).

Pour le TB annuel, deux facteurs de structure ont des effets significatifs. La vitesse d'entrée des agnelles explique des écarts de 1 g/l en faveur du « remplissage » rapide. La vitesse de constitution du cheptel de brebis adultes rend compte de 0,9 g/l en faveur des troupeaux les plus rapides. Les effets significatifs de l'année et du niveau génétique moyen du troupeau montrent des écarts de 1 g/l entre niveaux extrêmes et l'effet favorable de l'ensilage dans la ration hivernale explique des écarts de 2 g/l sur le TB annuel (alors que l'effet direct ne concerne que le TB hivernal).

Pour le TP annuel, trois facteurs de structure ont un effet significatif : la vitesse d'entrée des agnelles pour 0,4 g/l, la vitesse d'entrée des adultes pour 0,6 g/l et la stabilité du troupeau dans la période de 170 jours à la fin de livraison pour 0,3 g/l. Outre le niveau génétique moyen du troupeau (G) avec 0,5 g/l, on constate un effet favorable de la durée de livraison sur le TP pour 0,4 g/l. Pour ces 253 élevages, les facteurs de structure cumulés entre extrêmes (niveaux haut et bas) peuvent donc rendre compte d'écarts d'environ 1,9 g/l pour le TB et 1,3 g/l pour le TP.

Conclusion

Ce travail s'intègre dans une démarche portant sur la conception de l'appui technique, menée avec les responsables des organismes chargés du conseil auprès des éleveurs, dans le cadre des activités du Comité National Brebis Laitières. En particulier, l'étude des facteurs non génétiques de variation de la composition chimique du lait vise à identifier des options de conduite susceptibles d'influencer les résultats du troupeau. Ainsi, les simulations et l'analyse de données réelles montrent que des mise bas groupées, induisant une constitution rapide du troupeau à la traite, sont favorables à la composition chimique du lait.

En effet, la simulation d'un troupeau pyrénéen où toutes les brebis seraient traitées de début à la fin de livraison génère des écarts de TB et TP annuels de + 3,3 g/l et + 1,6 g/l comparativement à un même troupeau soumis à des entrées étalées (constitution lente) et des sorties importantes d'animaux. De même, l'analyse des données réelles de 253 élevages du Rayon de Roquefort montre qu'une constitution rapide des troupeaux d'adultes et d'agnelles peut expliquer des écarts de 1,0 g/l et de 0,9 g/l pour le TB annuel, en faveur des troupeaux les plus rapides. Pour le TP annuel, ces deux facteurs expliquent des écarts de respectivement 0,4 et 0,6 g/l. En cumulant les écarts obtenus entre

leurs niveaux extrêmes, les facteurs de structure génèrent des écarts d'environ 1,9 g/l pour le TB annuel et 1,3 g/l pour le TP annuel.

La cohérence entre simulation des troupeaux et analyse de données réelles porte sur les tendances. En effet, la simulation compare un troupeau théorique à un troupeau moyen alors que l'analyse de données réelles estime des écarts entre des élevages dont les structures sont moins variables que dans la simulation. De plus, la simulation est réalisée ici à partir de courbes de lactation des brebis pyrénéennes, différentes de celles des brebis Lacaune. Ces considérations peuvent expliquer les différences d'intensité des effets entre simulation et analyse des données. La simulation permet donc de déterminer les tendances et d'estimer un impact potentiel de la structure du troupeau, mais seule l'analyse de données des troupeaux permet d'en estimer le poids réel. De plus, l'analyse de données permet d'estimer conjointement les effets d'autres facteurs d'élevage, comme la conduite de l'alimentation. En particulier, on montre que les éleveurs utilisant de l'ensilage dans la ration hivernale obtiennent des TB annuels plus élevés (+ 2 g/l). La synchronisation de la reproduction et l'utilisation de l'ensilage dans la ration hivernale apparaissent ainsi comme des options favorables à la maîtrise des taux annuels. Cependant, leur application doit être raisonnée en fonction des contraintes techniques et sanitaires de leur mise en œuvre et des contraintes de l'exploitation (main-d'œuvre, investissement). Par ailleurs, l'approche devrait être étendue à l'échelle de la laiterie ou de la filière, pour éviter des pics de collecte susceptibles au plan économique de contrecarrer la présente démarche conduite à l'échelle de l'éleveur.

Cette première analyse porte sur des élevages du Rayon de Roquefort, dont les structures et l'évolution au cours de la campagne apparaissent moins variables et moins complexes que dans les Pyrénées où la structure du troupeau pourrait avoir un effet plus important. Des travaux utilisant cette approche ont débuté également dans d'autres bassins de production, en Sardaigne et au Pays Basque espagnol. Elle pourrait également s'appliquer aux éleveurs producteurs de fromage fermier, à condition d'adapter probablement l'objectif technique à leur réalité économique.

Remerciements

Nous tenons à remercier les responsables et les techniciens du Service Elevage et du Service Qualité du Lait de la Confédération Générale de Roquefort, de l'Union Ovine Technique (UNOTEC), des EDE de l'Aveyron, du Tarn, de la Lozère, et du Gard-Hérault, ainsi que ceux du Centre Départemental de l'Elevage Ovin d'Ordarp (Pyrénées Atlantiques), en particulier de la SICA CREOM, et ceux de l'Association Interprofessionnelle du Lait de Brebis des Pyrénées, pour la collecte des données et pour leur collaboration aux travaux en cours.

Parmi les autres facteurs, le niveau génétique moyen du troupeau contribue pour 1 g/l pour le TB et 0,5 g/l pour le TP ; la présence d'ensilage d'herbe dans la ration hivernale expliquant un écart de 2 g/l de TB.

Références bibliographiques

- Arranz J.M., Vacaresse C., 1993. Brebis laitières : choisir une tactique alimentaire. *Pâtre*, 406, 29-32.
- Barillet F., 1985. Amélioration génétique de la composition du lait de brebis. L'exemple de la race Lacaune. Thèse de Docteur-Ingénieur, INA, Paris-Grignon, 144 p.
- Barillet F., Boichard D., 1987. Studies on dairy production of milked ewes. I. Estimates of genetic parameters for total milk composition and yield. *Genet. Sel. Evol.*, 19, 459-474.
- Barillet F., Boichard D., 1994. Use of first lactation test-day data for genetic evaluation of the Lacaune dairy sheep. *Proceedings of the 5th World Congress on Genetics applied to livestock production*, Vol 18, 111-114.
- Barillet F., Astruc J.M., Barbat Anne, Boichard D., Bonaïti B., 1992. Use of an animal model for genetic evaluation of the Lacaune dairy sheep. *Livest. Prod. Sci.*, 31, 287-299.
- Barillet F., Sanna S., Astruc J.M., Carta A., Rosati A., 1994. Simplification of the daily milk test-day recording in sheep. 29th biennial session of ICAR, Ottawa, Ontario, Canada, July 31-August 6, 1994.
- Bernard J., Liquière B., 1988. Etude des facteurs de variation de la composition chimique des laits des brebis. *Doc. Confédération Générale de Roquefort*, Millau.
- Bocher F., 1991. Mise au point de méthodes de description de la structure des troupeaux Manech à la traite : contribution à l'étude sur la richesse des laits. Mémoire ENSSAA Dijon, Centre Départemental de l'Élevage Ovin (SICA CREOM), INRA-SAGA Toulouse.
- Bocquier F., 1985. Influence de la photopériode et de la température ambiante sur certains équilibres hormonaux et sur les performances zootechniques de la brebis en gestation et en lactation. Thèse de Docteur-Ingénieur, INA Paris-Grignon, 105 p.
- Bocquier F., Caja G., 1993. Recent advances in dairy sheep nutrition. *Proc. of 5th International Symposium on Machine Milking of Small Ruminants*. Budapest, Hungary, May 14-20, 580-621.
- Frayssé J., Magnier L., 1990. Approche de l'influence des conduites d'élevage sur la composition chimique du lait de brebis dans les troupeaux des Pyrénées Atlantiques. Mémoire ENSSAA Dijon, Centre Départemental de l'Élevage Ovin (SICA CREOM), INRA-SAGA Toulouse.
- Frayssé J., Arranz J.M., Lagriffoul G., Bocquier F., Barillet F., 1993. Influence des conduites d'élevage sur la production laitière du troupeau : description de la structure au cours d'une campagne laitière. Programme CEE 8001-CT 91-0113.
- ICAR, 1992. International regulations for milk recording in sheep. Ed. ICAR, Roma, Italy, 17 p.
- Lagriffoul G., 1989. Influence des conduites d'élevage sur la composition des laits de troupeaux de brebis Lacaune. Mémoire INA-PG, Confédération Générale de Roquefort, INRA-SAGA Toulouse.
- Lagriffoul G., Bernard J., Briois M., Liquière B., Barillet F., Bocquier F., Guillouet P., 1990. La qualité...Le point, article du SEB n° 6, juin 1990.
- Van Quackebeke E., Montagnon F., Cazes J.P., Delmas G., 1981. Alimentation des brebis laitières : influence de quelques caractéristiques des régimes alimentaires sur la quantité de lait produite et la composition du lait. 6èmes Journées de la Recherche Ovine et Caprine INRA-ITOVIC, 166-195.

Abstract

Variation factors in ewe milk fat and protein contents : global approach using bulk milk tank and milk recording data.

Flock level analysis of milk production aims to determine the effects of non genetic factors of variation for the fat and protein contents variations and their effects. Our purpose was to estimate the effects of the « flock structure » induced by the entrance and drying off of ewes in the milked ewes group. These effects result from elementary factors of variation such as age and days in milk of the ewes. A simulation study was carried out for two Pyrenean flocks where, either all the ewes would be milked during the entire milking period or, for the same flock, ewes slowly entered the milk group throughout the year. Under these conditions, the yearly fat and protein contents were 3.3 g/l and 1.6 g/l higher respectively for the first flock.

Furthermore, our purpose was to simultaneously estimate the effects of other non genetic factors, like flock feeding, to compare their importance with « flock structure » effects. We applied a model to the bulk milk tank data, similar to the individual milk recording model used for the genetic evaluation of the breeding values. An analysis based on the milk tank composition of 253 flocks in the Roquefort area indicated that « flock structure » effects could explain around 1.9 g/l and 1.3 g/l, for yearly fat and protein contents respectively. It also showed that flocks fed a diet including grass silage had a higher fat content in their milk (+ 2 g/l).

FRAYSSE J., LAGRIFFOUL G., BOCQUIER F., BARILLET F., 1996. Brebis laitières : impact de la structure du troupeau et autres facteurs d'élevage sur la composition chimique du lait livré. *INRA Prod. Anim.*, 9 (3), 201-210.