

## **Analyse des variations individuelles en nutrition animale : application de l'analyse en composantes principales à l'étude de la sécrétion lipidique du lait de chèvre**

D. SAUVANT et P. MORAND-FEHR

*Laboratoire de Recherches de la Chaire de Zootechnie, I.N.R.A.,  
16, rue Claude-Bernard, 75231 Paris Cedex 05 (France)*

---

### **Résumé**

Les résultats expérimentaux en nutrition des animaux domestiques sont souvent difficilement interprétables à cause des variations interindividuelles. Celles-ci sont en effet importantes; elles varient suivant le caractère étudié et sont, de ce fait, difficilement maîtrisables *a priori* dans un plan expérimental. Les résultats obtenus lors d'une expérimentation sur chèvres laitières montrent que leur étude par analyse multivariée peut permettre de souligner les grands types de relations entre les animaux. Ainsi des chèvres assez apparentées présentent, indépendamment des régimes et du stade physiologique, une matière grasse plus riche en acides gras courts et moyennement associée à des teneurs plasmatiques en acétate, glucose et triglycérides plus importantes. Ce type d'approche permet d'exploiter la variance interindividuelle, donc de mieux connaître les exigences et les particularités nutritionnelles de chaque individu. En outre, elle permet d'envisager la maîtrise de ces variations en vue d'une interprétation plus fine ou d'une expérimentation ultérieure.

---

### **Introduction**

En nutrition des animaux domestiques, la Recherche progresse grâce à une meilleure connaissance des mécanismes métaboliques fondamentaux. Les données bibliographiques publiées dans ce domaine montrent que les démarches expérimentales sont toujours assez comparables : l'effet d'un facteur de variation, alimentaire ou nutritionnel, est étudié sur une ou plusieurs caractéristiques suivant un plan expérimental simple. En outre, l'interprétation statistique se fait suivant les caractéristiques prises séparément. Les résultats obtenus par ce type d'investigation sont souvent décevants par rapport aux moyens techniques mis en œuvre car les variations individuelles masquent ou faussent fréquemment la signification des facteurs de variation expérimentaux.

Ces différences individuelles qu'il est indispensable de conserver en recherche

appliquée pour disposer d'un matériel animal représentatif de toute la population animale productive considérée, sont importantes, souvent imprévisibles et peu comparables d'un caractère à l'autre. En outre, les progrès des techniques d'investigation sur l'animal risquent d'aggraver cette situation. En effet, d'une part, l'emploi des méthodes sophistiquées (utilisation de nutriments radioactifs, mesure d'activité enzymatique, fistulation...) limite le nombre des animaux utilisés et accroît donc l'incidence des effets individuels. D'autre part, la diversité croissante des informations enregistrées par individu augmente *a priori* les variantes des influences individuelles et les rend donc plus inextricables.

Au niveau de la conception d'un plan expérimental, la randomisation des animaux dans les lots ne résout rien par rapport au problème dans la mesure où les variations individuelles sont imputées dans la variance résiduelle. Par ailleurs, la prise en compte des individus suivant un effet de blocs, par exemple, apporte peu de chose dans la mesure où la mise en bloc se fait généralement selon une seule caractéristique.

Cette variance interindividuelle importante et inexplicée gâche donc en partie une information recueillie en général avec difficulté. Il convient donc de se demander si les techniques d'analyse multivariées par leur aptitude à décomposer et à résumer des informations ne pourraient pas mettre en évidence, indépendamment d'un plan expérimental, des covariations entre les caractères. Celles-ci pourraient être le reflet de relations métaboliques interindividuelles *a priori* insoupçonnées, pratiquement intéressantes et assez stables du fait de la part génétique de leur déterminisme. Ces méthodes d'analyse statistique sont appliquées avec intérêt depuis plusieurs années en nutrition et alimentation animale (HENRY, RERAT, TOMASSONE, 1971; SAUVANT *et al.*, 1973).

### Application à la sécrétion lipidique du lait de chèvre

Nous avons particulièrement perçu ces problèmes pour l'étude de la sécrétion lipidique de la mamelle chez le ruminant et en particulier chez la chèvre. Ainsi, la composition en acides gras de la matière grasse du lait semble être assez héritable (EDWARDS, KING, YOUSEF, 1973) et présente de larges différences d'un animal à l'autre.

Une maîtrise accrue de la sécrétion des matières grasses du lait présente un intérêt considérable chez les ruminants. En effet, d'un point de vue quantitatif, la teneur en matières grasses du lait est un caractère technico-économique important en élevage. De plus, d'un point de vue qualitatif, la composition en acides gras des matières grasses du lait peut avoir des répercussions importantes en technologie des produits laitiers et en nutrition humaine. L'origine des acides gras du lait de ruminant, résumée dans le schéma de la figure 1, est maintenant connue (cf. revue de JONES, 1969; STORRY, 1970). Deux voies métaboliques différentes contribuent à l'élaboration des matières grasses du lait et leur importance relative influence le spectre des acides gras du lait produit. L'état nutritionnel, le stade de lactation de l'animal et certaines caractéristiques de la ration ingérée sont susceptibles de modifier la part respective des deux processus nutritionnels considérés.

Une expérience (SAUVANT, 1973) a été mise en place pour étudier les interrelations entre les effets de deux nutriments précurseurs des acides gras du lait

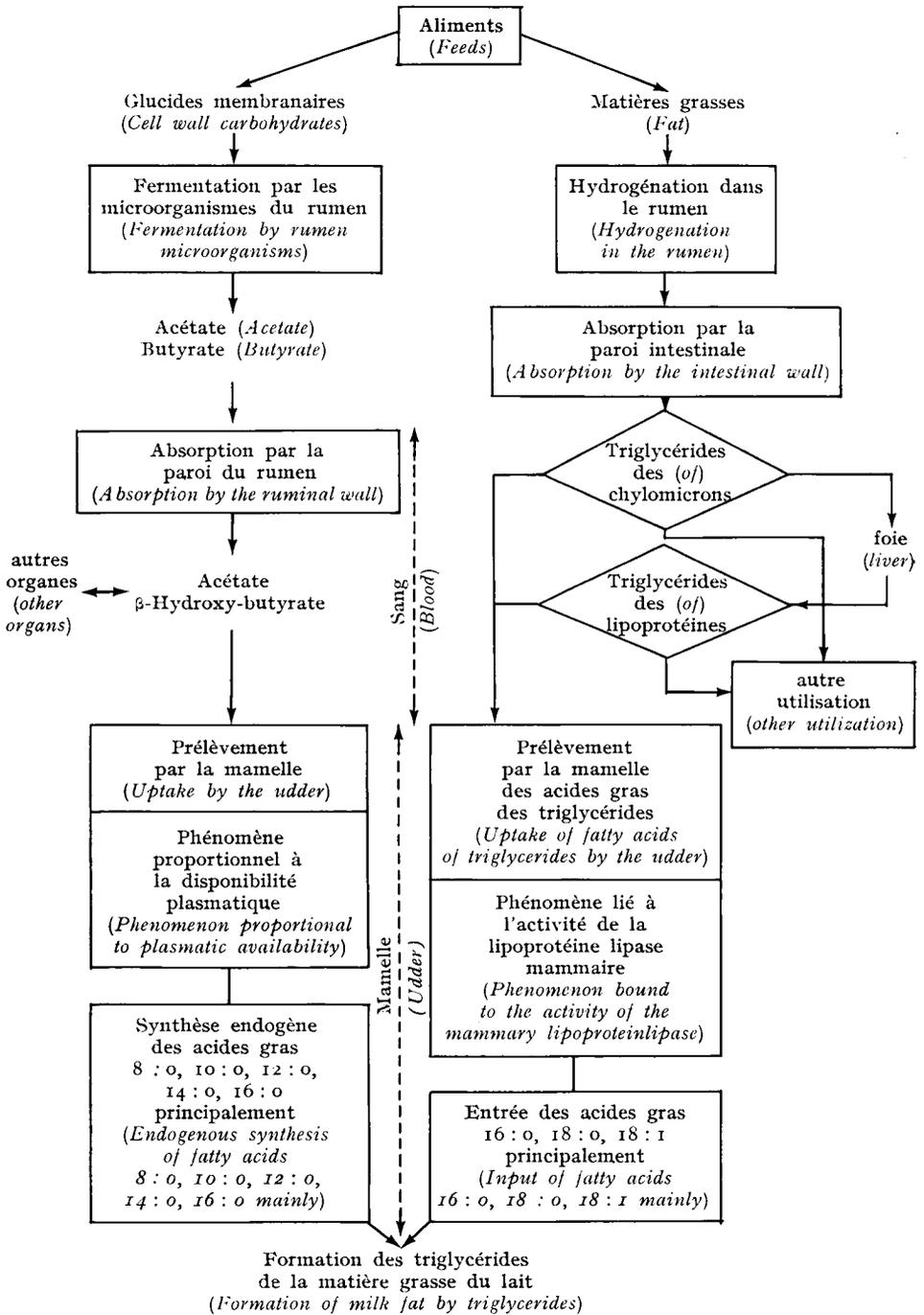


FIG. 1. — Représentation simplifiée de l'origine des acides gras des matières grasses du lait chez le ruminant.

Simplified scheme of the origin of fatty acids in milk fat of ruminants.

et respectivement représentatifs des deux voies nutritionnelles du schéma 1. Dans ce but, de l'acétate (C2:0) et du stéarate (C18:0) sont apportés suivant les 9 combinaisons d'un plan factoriel composite (COCHRAN et COX, 1957) à 12 chèvres de race Alpine pendant 9 périodes consécutives de 2 semaines. Chaque chèvre à chacune des 9 périodes est caractérisée par 54 variables correspondant à des informations sur l'alimentation, des constantes sanguines et des caractéristiques de production et de composition du lait.

Outre une étude des surfaces de réponse à l'apport des deux nutriments (SAUVANT, 1973), une analyse en composantes principales normées (HOTELLING, 1933) est effectuée à partir des caractéristiques les plus importantes liées à la production du lait et à la composition du lait et du plasma sanguin. Une analyse de variance effectuée sur les abscisses des projections des 108 points observations groupés suivant le temps, les animaux ou les combinaisons expérimentales, permet

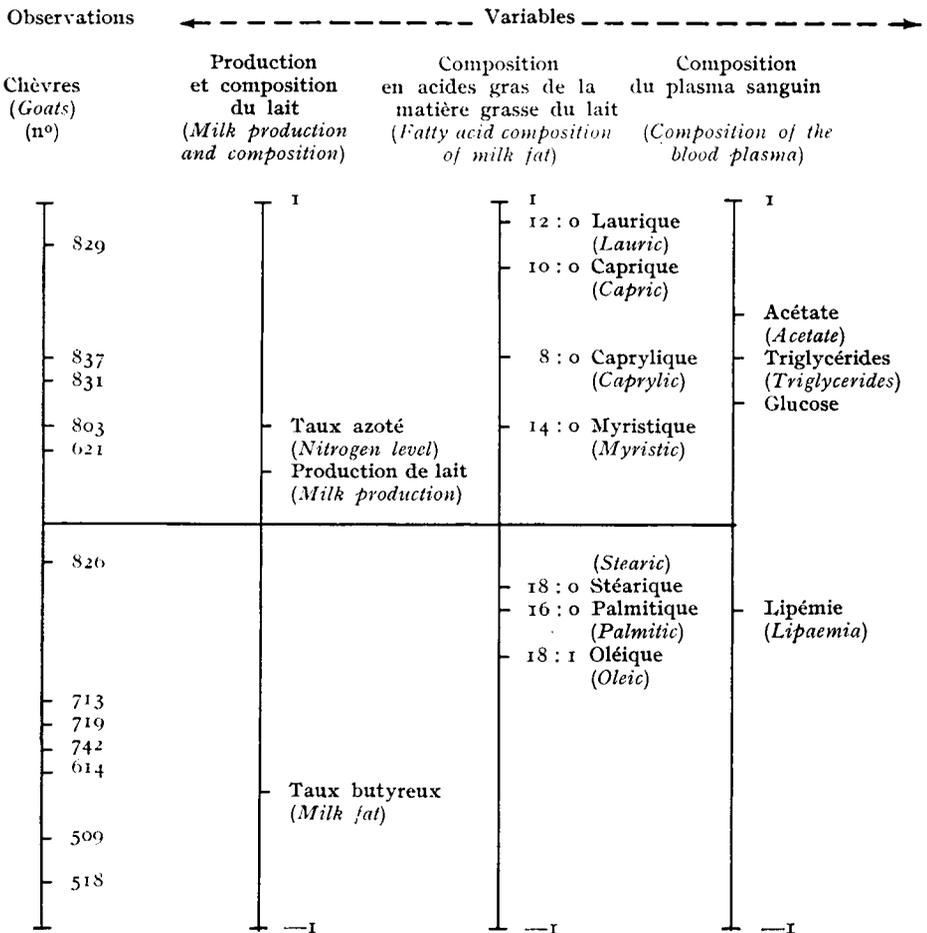


FIG. 2. — Disposition des animaux et des caractères sur la composante principale étudiée.  
Location of animals and characters on the main component studied.

de préciser ces effets respectifs sur chacune des composantes (JEFFERS, 1962). Ces analyses montrent que les variations induites par l'apport expérimental des deux nutriments sont moins importantes que celles liées au temps (première composante) et à des effets individuels *a priori* inconnus (seconde composante). La figure 2 présente la projection des points animaux et les corrélations des différents caractères sur cette seconde composante principale (LEBART et FENELON, 1972).

## Résultats et discussion

Les animaux sont discriminés en deux groupes à profil nutritionnel opposés sur cette seconde composante principale, indépendamment du stade physiologique, des régimes et du bilan énergétique. L'un d'eux est constitué par 5 chèvres (n° 831, 829, 837, 803, 621) qui sont apparentées et produisent un lait pauvre en matières grasses, riche en acides gras à chaîne courte et moyenne (C8 : 0 à C14 : 0), pauvre en acides gras prélevés dans les triglycérides sanguins (C16 : 0, C18 : 0, C18 : 1). Ces animaux ont, de plus, une teneur plasmatique élevée en acétate et en glucose, nutriments dont le prélèvement mammaire est à peu près proportionnel à la concentration du sang afférent. Cette particularité expliquerait la richesse en acides gras de C8 : 0 à C14 : 0 du lait, conséquence d'une synthèse mammaire plus importante. Ces chèvres pourraient présenter aussi une faible activité de la lipoprotéine lipase mammaire (fig. 1) qui se traduit par un prélèvement moindre des acides C16 : 0, C18 : 0, C18 : 1 et une accumulation sanguine des triglycérides (fig. 2). Une relation inverse entre la teneur plasmatique en triglycérides et l'activité d'une lipoprotéine-lipase a déjà été observée (HAMOSH *et al.*, 1970).

Ces hypothèses nutritionnelles demandent à être confirmées. Néanmoins, la composante étudiée semble indiquer que la forte héritabilité de la composition en acides gras du lait correspond en grande partie à des différences d'aptitude chez les animaux à utiliser un des deux processus de l'élaboration de la matière grasse du lait (fig. 1). En étudiant, par analyse multivariée, les variations individuelles de la composition du lait de 55 chèvres d'une autre population, prises au même stade de lactation, nous avons déjà observé une discrimination importante des animaux suivant un profil de répartition des acides gras du lait comparable à celui de la seconde composante présentement étudiée (SAUVANT *et al.*, 1973). Il est intéressant de remarquer que les deux types extrêmes de lait produits présentent des caractéristiques diététiques très différentes.

Des approches légèrement différentes peuvent être envisagées; il est ainsi possible d'effectuer une analyse de variance multivariée ou bien une analyse en composantes principales, par exemple après avoir testé et éliminé les influences inter-lot d'un plan expérimental, ceci revenant à travailler à partir de la matrice des corrélations intra-lots. Dans la mesure où les variations individuelles sont souvent plus importantes que celles qu'on peut induire expérimentalement, il est aussi possible d'adopter une attitude « d'enquêteur » plutôt que « d'expérimentateur » en supprimant tout plan expérimental. En effet, l'étude des variations individuelles de caractéristiques nutritionnelles à partir d'un échantillon animal représentatif de son espèce pourrait, avec la méthode décrite, amener à mieux mettre en évidence que par expérimentation des mécanismes physiologiques.

## Conclusion

D'un point de vue méthodologique, l'analyse en composantes principales s'avère être un outil efficace pour mettre en évidence et exploiter une variance individuelle encore trop considérée comme « parasite » en expérimentation sur animaux. Le domaine nutritionnel paraît être un champ d'application particulièrement intéressant. En effet, comme l'illustre la présente étude, l'organisme animal peut éventuellement disposer de plusieurs processus métaboliques pour assurer une même fonction globale. En d'autres termes, chaque individu réalise son homéostasie nutritionnelle principalement suivant ses aptitudes génétiques. De ce fait, la saisie, sur un nombre même assez réduit d'animaux, d'une information représentative de l'intensité des différents processus possibles et l'exploitation par analyse multivariée de ces informations permet de mettre en évidence, comme dans le cas étudié, les grands types d'interrelations métaboliques sans forcément utiliser des techniques d'investigation qui éloignent l'animal de son état physiologique normal.

*Accepté pour publication en octobre 1977.*

## Summary

*Analysis of individual variations in animal production : Application of principal component analysis to the study of goat milk fat secretion*

The interpretation of experimental results in animal nutrition is often difficult because of the great number of individual variations. As the latter vary according to the character studied, they cannot be easily controlled in an experimental design. The results obtained in an experimentation with lactating goats show that a study of these variations by statistical multivariate analysis may contribute to determining the main types of relations between the animals. Thus, independently of the diets and physiological state, the milk fat of genetically related dairy goats was richer in short and medium chain fatty acids associated with a higher plasma level of acetate, glucose and triglycerides. This type of approach permits to use the individual variation with the aim of improving the knowledge of the nutritional requirements and particularities of each animal. Moreover it permits to consider the control of these variations for a more accurate interpretation or a future experimentation.

## Références bibliographiques

- COCHRAN W. G., COX G. M., 1957. *Experimental designs*, ed. WILEY.
- EDWARDS R. A., KING J. W. B., YOUSEF I. M., 1973. A note on the genetic variation in the fatty acid composition of cow milk. *Anim. Prod.*, **16**, 307-310.
- HAMOSH M., CLARY J. R., CHERNICK S. S., SCOW R. O., 1970. Lipoprotein lipase activity of adipose and mammary tissue and plasma triglycerides in pregnant and lactating rats. *Bioch. Biophys. Acta*, **210**, 473.
- HENRY Y., RERAT A., TOMASSONE R., 1971. Étude du besoin en lysine du porc en croissance-finition. Application de l'analyse multidimensionnelle. *Ann. Zootech.*, **20**, 521-550.
- HOTELLING H., 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *J. Educ. Psych.*, **24**, 417.
- JEFFERS J. N. R., 1962. Principal component analysis of designed experiment. *The statistician*, **12**, 230-242.

- JONES E. A., 1969. Review of the progress of dairy science. Section A. Recent developments in the biochemistry of the mammary gland. *J. Dairy Res.*, **36**, 145-167.
- LEBART L., FENELON J. P., 1971. *Statistique et informatique appliquées*, Dunod-Paris.
- SAUVANT D., FEHR P. M., RODOLPHE F., TOMASSONE, R., DELAGE J., 1973. Étude des interrelations entre les critères de production et de composition lipidique du lait de la chèvre par deux méthodes d'analyse factorielle. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **13**, 107-129.
- SAUVANT D., 1973. Origine mammaire et extra-mammaire des acides gras du lait de chèvre. Interactions entre les acides acétique et stéarique. *Thèse de Docteur-Ingénieur*, Université Paris-VI.
- STORRY J. E., 1970. Reviews of the progress of dairy science: physiological ruminant metabolism in relation to the synthesis and secretion of milk fat. *J. Dairy Res.*, **37**, 139.
-