

Aptitude à la traite mécanique chez la chèvre : variabilité génétique et bases physiologiques du débit du lait

P.-G. MARNET (1), P. BILLON (2), P. Da PONTE (1), J. MARTIN (3), E. MANFREDI (4)

(1) UMR INRA/ENSAR «production du lait», 65 rue de St Brieuc, 35042 Rennes Cedex

(2) Institut de l'élevage, antenne de Montvoisin, Responsable du projet – BP 67, 35652 Le Rheu Cedex

(3) Station caprine de Moissac, 48110 St. Croix Vallée Française

(4) INRA Station d'Amélioration Génétique des Animaux, BP 27, 31326 Castanet-Tolosan Cedex

RESUME - Cette synthèse présente les principaux résultats de 4 ans de recherche sur l'aptitude à la traite des caprins. Ces travaux avaient pour but : 1- de valider des critères pertinents de mesure, 2- de caractériser la variabilité inter-animal sur la base de la vitesse de traite et d'autres facteurs plus rarement pris en compte à partir de la cinétique d'émission du lait. 3- de rechercher le déterminisme physiologique de cette variabilité (caractéristique des trayons et réflexe d'éjection du lait).

Machine milking ability in goats : genetic variability and physiological basis of milk flow rate

P.-G. MARNET (1), P. BILLON (2), P. Da PONTE (1), J. MARTIN (3), E. MANFREDI (4)

UMR INRA/ENSAR «production du lait», 65 rue de St Brieuc, 35042 Rennes Cedex

SUMMARY - This review presents the main results of 4 years of studies about machine milking ability in goats. This research aimed : 1- to validate measurements of milking ability, 2- to describe the inter-animal variability on the basis of milk flow rate and others characteristics of the milk emission kinetic, and 3- to investigate the physiological basis of this variability (teat characteristics, milk ejection reflex).

INTRODUCTION

Ce travail, financé par le MNSER dans le cadre de son programme «agriculture demain», est parti du constat suivant : la production laitière caprine, qui tend à se concentrer dans certaines régions françaises (Charente-Poitou, Pays de Loire, Centre, P.A.C.A.), voit les troupeaux s'agrandir pour des raisons de rentabilité. Parallèlement, la diversification rendue nécessaire pour des raisons économiques et le manque de main d'œuvre spécialisée obligent à plus de travail dans ces exploitations familiales rallongeant le temps disponible pour la traite. A l'inverse, le respect des exigences nouvelles de livraison et/ou transformation d'un lait de haute qualité (cellules somatiques notamment) entraînent des travaux plus minutieux et donc plus longs à la traite. Ceci est aggravé par le fait que la productivité de ces animaux a fortement évolué dans les 15 dernières années rallongeant encore le temps de traite. Ainsi, malgré une mécanisation et automatisée accrue, le chantier de traite reste le poste le plus astreignant des exploitations avec environ 55 % du temps de travail quotidien des éleveurs. Il y a donc obligation d'augmenter la productivité horaire des trayeurs (les exigences sont aujourd'hui à plus de 200 à 250 chèvres par heure et par trayeur) tout en respectant la qualité du lait et l'état sanitaire des mamelles. Cependant ce travail est rendu difficile par la grande hétérogénéité de vitesse de traite observée entre animaux et entre fermes.

La différence observée entre animaux intra-troupeaux dépendant d'une plus ou moins bonne adaptation aux conditions de traite et d'élevage, a une composante génétique. L'existence d'un gène majeur influençant le débit dit «de première minute» avait été postulée par Ricordeau et al. (1990). Le modèle génétique proposé suppose la ségrégation de 2 allèles, nommé «Hd» et «+», en un locus inconnu. L'aptitude de la mesure du débit de première minute à représenter la diversité des cinétiques d'émission du lait mériterait d'être confirmée à plus grande échelle ce qui est maintenant possible grâce aux éprouvettes automatiques de mesure.

Différents paramètres anatomo-physiologiques de ces variations de vitesse de traite peuvent être suspectés d'être à l'origine de ces variations inter individuelles :

- L'existence ou non d'un réflexe d'éjection du lait objectivable par la mesure de la décharge d'ocytocine (Marnet et McKusick, 2001) pourrait laisser suspecter des animaux inadaptés aux conditions de traite.

- La très grande hétérogénéité de morphologie au niveau mammaire, qui rend difficile l'adaptation d'un matériel de traite adapté, devra aussi être prise en compte par un pointage minutieux.

- Les caractéristiques du trayon pourraient être très importantes. En effet, Le Du et Benmederbel (1984) ont montré que le canal du trayon des chèvres semble plus difficile à ouvrir que celui des vaches alors que le vide nécessaire à l'écoulement du lait est corrélé négativement avec le débit du lait et positivement avec le temps de traite. De plus, l'écoulement du lait semble plus facile pour les trayons à l'extrémité étroite, souple et compressible.

Ce travail décrit donc la variabilité et le déterminisme génétique de la vitesse de traite des chèvres tout en tentant de trouver des facteurs explicatifs à travers l'étude de certaines de ses bases anatomo-physiologiques.

1. MATÉRIEL ET METHODES

1.1 MESURE DES CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉMISSION DU LAIT DURANT LA TRAITE

La technique retenue est la mesure de la cinétique d'émission du lait réalisée au cours de la traite (Labussière et Marnet, 1964) grâce à différentes éprouvettes automatiques de conception INRA. Ces éprouvettes, branchées comme les éprouvettes de contrôle laitier traditionnelles, sont toutes munies d'une tige équipée tous les 0.5 cm d'interrupteurs électromagnétiques à lames souples et d'un flotteur coulissant qui provoque la commutation de ces interrupteurs (Le Du et al, 1983). Les modèles prototypes expérimentaux ou de présérie industrielle, adéquats pour les mesures de l'ensemble du cheptel sous contrôle laitier

(Ricard et al, 1994), différaient par la fréquence d'acquisition mémorisée (de 1 à 15 s) et la capacité totale de mémorisation de données par éprouvette (de 12 à plus de 500 données par cinétique), par leur précision liée au diamètre (de 5 à 60 ml) ainsi que par la présence d'un système de prélèvement de lait automatisé.

Les paramètres suivants ont été enregistrés et/ou calculés à partir des données de base enregistrées :

- production de lait total à la traite (qlt) (l),
- production de lait machine (qlm) (l) : quantité de lait recueillie entre la pose des gobelets trayeurs et le moment où le débit atteint 200 cm³/min en fin de traite,
- production de lait de fin de traite (qlf) (l) : quantité de lait recueillie entre et le moment où le débit atteint 200 cm³/min. en fin de traite et la dépose des gobelets trayeurs,
- temps total de traite total (ttt) (s) : temps écoulé entre la pose et la dépose des gobelets trayeurs,
- temps de traite machine (ttm) (s) : temps écoulé entre la pose et le moment où le débit du lait atteint 200 cm³/min. en fin de traite,
- latence (lat) (s) : temps écoulé entre la pose des faisceaux trayeurs et le premier volume de lait mesuré,
- temps de surtraite (surt) (s) : temps écoulé entre le moment où le débit du lait est nul et la dépose du faisceau,
- débit moyen réel d'écoulement du lait (dmr) (l/min.) : débit correspondant à la production de lait total pendant le temps d'écoulement effectif du lait égal à ttt - (temps de latence + temps de surtraite),
- débit maximal (dmax) (l/min) : débit le plus élevé enregistré pendant une période de 10 secondes,
- débit de première minute (deb1) (l/min) : Quantité de lait à la première minute de traite.
- place du maximum (place) (s) : temps écoulé entre la pose des gobelets et l'apparition du débit maximal,
- débit 1ère minute (deb1) (l/min) : quantité de lait recueillie une minute après la pose des gobelets trayeurs,
- débit 1ère minute réel (deb1r) (l/min) : quantité de lait recueillie une minute après la première mesure de l'écoulement du lait,
- niveau du plateau (nivplat) (l/min) : débit moyen pendant la période de débit le plus élevé.

1.1.1. Mesures en ferme commerciale

Ces mesures visant à décrire la variabilité des performances sur le terrain ont été réalisées dans 27 fermes pour la plupart adhérentes à Caprigène France et sur plus de 1000 traites de chèvres différentes de races Alpine (n=806) et Saanen (n=217) prises au hasard tout au long des saisons laitières (96-97 à 98-99). Les réglages machine avait été choisis homogènes (38 à 40 kPa de vide, 80 à 90 pulsations par min. et rapport de 50 à 60 %) et un seul type de faisceau trayeur a été utilisé (Caprilac de Gascoigne-Mélotte) pour les mesures. Un maximum de critères descriptifs et fonctionnels a été retenu à partir des cinétiques enregistrées et des données connues des lactations des animaux.

1.1.2. Mesures en ferme expérimentale

Les mesures en fermes expérimentales visaient à mieux cerner la variabilité génétique et les facteurs zootechniques les plus pertinents à prendre en compte pour la mesure de performance. Elles ont été répétées plusieurs fois sur chaque chèvre. Les éprouvettes les plus performantes ont été retenues avec les mêmes réglages machine que sur le terrain mais les faisceaux trayeurs étaient différents (Almatic de DeLaval).

Ainsi, au Domaine INRA de Galle (Avord), 51 traites de 30 chèvres ont permis de valider les appareils de mesure et de définir les critères pertinents de mesure hors condition de contrôle laitier. Puis, 1596 traites de 133 chèvres Alpine contrôlées 6 fois en conditions traditionnelles ont permis de valider ces critères et établir les facteurs de variation des caractéristiques de traite.

A la station caprine de Moissac, 2493 mesures de débit, effectuées entre 1985 et 1997 sur 1421 chèvres Alpine filles de 93 pères, ont permis de réaliser une étude génétique. Ces mesures

ont été complétées depuis 1998 par l'enregistrement des cinétiques d'émission du lait et des pointages réalisés par Caprigène sur l'ensemble de chèvres de la Station. Quarante-vingt chèvres de niveau de production laitière comparable ont été présélectionnées. Dans ce groupe, 20 chèvres sélectionnées sur leurs temps de latence et leurs débits ont été retenues pour étudier le déterminisme physiologique des variations de débit et temps de traite.

1.2. MESURES PHYSIOLOGIQUES

La mesure de l'ocytocinémie circulante étant sujette aux conditions de prélèvements et en particulier au stress des animaux, les prélèvements sanguins ont été effectués via un cathéter intrajugulaire en silicone (antiallergisant) implanté de façon aseptique quelques jours avant les mesures.

Les prélèvements sanguins ont été réalisés selon le protocole suivant: témoin en stalle, témoin en salle de traite (-5min avant la pose), à la pose du faisceau (T0) puis à 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 6 et 12 minutes après le début de traite. 10 ml de sang ont été prélevés sur tubes, et le plasma récupéré après centrifugation à 3000 G et congelé jusqu'à analyse par la méthode EIA (Marnet et al. 1994).

Pour caractériser la décharge d'ocytocine, la concentration maximale (en pg/ml), la place du maximum de concentrations (en secondes) et la quantité totale d'ocytocine déchargé au cours de la traite (TotSurf en pg/ml * 12 minutes) ont été mesurés.

1.3 MESURES MORPHOLOGIQUES (MAMELLES ET TRAYONS)

La morphologie des mamelles et des trayons a été pointée avec des notes de 1 à 9 (Piacère et al. 1999) pour les caractères suivants:

trayons : inclinaison, implantation, orientation, forme. La longueur et le diamètre du trayon ont été mesurés en cm.

mamelles : forme de l'avant-pis, forme de l'arrière-pis, largeur de l'attache arrière, position du plancher et profil.

L'épaisseur des trayons a été mesurée par la même personne avant et après la traite du soir avec un cutimètre d'HAUTPNER. Il s'agit un compas d'épaisseur munie d'un ressort permettant de mesurer une épaisseur de peau ou de tissu sous une force constante et permet dans notre cas une mesure au millimètre sous une pression de 2,4 kPa.

L'évaluation de la résistance du canal du trayon à l'ouverture a été réalisée grâce à un vacuomètre. Le vacuomètre se compose d'un gobelet rigide transparent relié à une pompe à vide qui permet de créer, sous le trayon, une dépression augmentant d'environ 1 kPa par seconde. Le niveau de vide (kPa) correspondant à l'écoulement des premières gouttes de lait traduit la résistance du canal du trayon à s'ouvrir sous l'effet du vide. Cette mesure a été faite chaque jour expérimental, loin de l'heure normale de traite et à heure fixe pour chaque chèvre.

2. RESULTATS

2.1. MESURES EN FERME COMMERCIALE

Le protocole mis en place a permis d'apprécier la variabilité globale de la cinétique d'émission du lait due à l'animal, son stade physiologique et ses conditions de production dans les élevages étudiés. Le protocole ne visait pas la comparaison entre races car elles auraient dû être soumises aux mêmes conditions de milieu. Les résultats sont présentés par population échantillonnée (élevages Saanen ou élevages Alpin) et par numéro de lactation (1, 2 et adultes), la notion de population englobant la race et son milieu.

La quantité de lait produite par les chèvres est de $1,62 \pm 0,52$ l en population Alpine et de $1,74 \pm 0,65$ l pour la population Saanen. Elle est plus faible pour les premières lactations (1,46 l pour l'Alpine et 1,50 l pour la Saanen respectivement) et est équivalente pour les lactations supérieures (1,69 l et 1,78 l pour les lactations 2 et 1,70 l et 1,81 l pour les lactations 3 et +, respectivement).

En population Alpine, le temps de traite total moyen est de 181 ± 76 s ; il est de 213 ± 96 s chez les chèvres de population Saanen. Il est le plus faible pour les premières lactations (158 s

et 198 s selon la population), et le plus élevé pour les lactations 3 et + (respectivement 196 s et 220 s). Le temps de traite total des lactations 2 (184 s et 205 s) se situe entre celui des lactations 1 et celui des lactations 3 et +.

La latence, temps écoulé entre la pose des gobelets trayeurs et le premier enregistrement du lait, est en moyenne de l'ordre de 15 à 20 s pour tous les animaux selon les deux populations. En population Alpine, cette latence semble un peu plus faible qu'en population Saanen et il n'existe qu'une différence de 1,2 s entre la latence la plus courte observée chez les lactations 2 (13,6 s) et la latence la plus longue des lactations 1 (14,8 s) et des lactations 3 et + (14,6 s). Cette différence est un peu plus élevée chez les animaux de population Saanen : 5 à 6 s entre la latence la plus courte observée chez les lactations 1 (14,1 s) et la latence la plus longue des lactations 2 (20 s) et lactations 3 et + (19,1 s).

La surtraite mesurée à partir du moment où le débit du lait passe de 200 ml/min à 0 en fin de traite est en moyenne de 25 à 30 secondes par animal en population Alpine et de 10 à 25 secondes par animal en population Saanen. Cela représente en moyenne près de 20 % du temps de traite machine en population Alpine.

Cependant, la variabilité est très importante selon les élevages et selon les animaux. Ainsi, on a pu constater des surtraites égales voir supérieures au temps réel d'écoulement du lait. A l'inverse, des traites incomplètes interrompues alors que le débit du lait est encore élevé (de l'ordre de 0,6 l/min) ont été mises en évidence dans la plupart des élevages. L'analyse des quantités de lait recueillies en fin de traite montre qu'elles sont très faibles en dessous d'un débit de 200 cm³/min pour une durée supplémentaire de l'ordre d'une dizaine de secondes par animal. L'analyse des cinétiques a donc été réalisée en ne prenant en considération que la fraction de lait machine afin de standardiser la notion de fin de traite.

Le débit moyen réel est de $0,79 \pm 0,25$ l/min en population Alpine et $0,64 \pm 0,22$ l/min en population Saanen. Il est plus faible pour les lactations les plus élevées en population Alpine (0,75 l/min) et pour les premières lactations en population Saanen (0,61 l/min). Le débit moyen des 2^{ème} et 3^{ème} et + lactations sont pratiquement identiques (respectivement de l'ordre de 0,82 l/min et 0,65 l/min).

Le débit maximal des chèvres de population Alpine est de $1,28 \pm 0,41$ l/min et de $1,11 \pm 0,43$ l/min pour les Saanen. Pour les chèvres Alpine, bien qu'il n'existe pas de différence importante entre lactations, on observe les débits les plus élevés pour les lactations 2 (1,34 l/min) et les plus faibles pour les lactations 3 et + (1,24 l/min). Par contre, chez les chèvres Saanen, les débits maximum les plus élevés sont observés pour les lactations 3 et + (1,14 l/min) et pour les lactations 2 (1,10 l/min). Les plus faibles débits maximums correspondent aux lactations 1 (1,04 l/min). Le débit maximal dure rarement plus de 10 secondes.

Le débit de première minute est de $0,72 \pm 0,33$ l/min chez les chèvres Alpine et de seulement $0,56 \pm 0,33$ l/min chez les Saanen. Il existe aussi des différences selon le numéro de lactation. Ainsi, pour la population Alpine, le débit première minute est plus élevé pour les lactations 2 (0,77 l/min) que pour les autres lactations (respectivement 0,72 l/min et 0,68 l/min pour les lactations 1 et 3 et +). A contrario, en élevages Saanen, le débit moyen à la première minute est plus élevé pour les lactations 1 (0,61 l/min) que pour les autres lactations (respectivement 0,52 l/min et 0,55 l/min pour les lactations 2 et 3 et +). Le débit première minute réel qui correspond à la quantité de lait produite à partir du premier enregistrement est de $0,90 + 0,3$ l/min pour la population Alpine et de $0,72 \pm 0,31$ l/min pour la population Saanen. On retrouve une évolution différente selon les populations mais comparable aux autres débits analysés.

Le débit de première minute le plus fort des chèvres Alpines est de 1,016 l/min. Il est nettement plus faible pour la population Saanen (0,767 l/min). Il existe des différences entre les numéros de lactation mais elles ne sont pas très importantes (respectivement 1,037, 1,073 et 0,967 l/min pour la population Alpine et 0,807, 0,780 et 0,767 l/min pour les Saanen).

Le plateau de débit maximum apparaît en moyenne environ 35 à 40 secondes après la pose des gobelets trayeurs. On n'observe pas de différences avec le numéro de lactation et peu entre les deux populations (9 s maximum pour les lactations 2). A contrario du débit qui est fugace, le plateau dure en moyenne environ 1 minute pour les chèvres Alpines et plus de 1,5 minute (101,5 s) pour les chèvres Saanen. Dans les deux populations, cette durée est la plus faible pour les premières lactations (50,6 s et 85,0 s) et augmente avec l'âge des animaux (68,3 s et 108,6 s pour les lactations 3+).

Les corrélations entre les différents paramètres de traite sont relativement voisines selon les deux populations étudiées (tableau 1).

Tableau 1
Corrélations entre paramètres de traite

Chèvres Alpine (n = 710)		qlm	ttn	lat	dmax	deb1	debr1	nivplat
Chèvres Saanen (n = 186)	qlm		0,51 ***	-0,09 *	0,26 ***	0,26 ***	0,37 ***	0,24 ***
	ttn	0,63 ***		0,49 ***	-0,51 ***	-0,55 ***	-0,46 ***	-0,55 ***
	lat	0,07 ***	0,49 ***		-0,47 ***	-0,72 ***	-0,44 ***	-0,51 ***
	dmax	0,11 ***	0,35 ***	0,38 ***		0,86 ***	0,86 ***	0,91 ***
	deb1	0,06 ***	0,57 ***	0,75 ***	0,57 ***		0,89 ***	0,89 ***
	debr1	0,1 ***	0,54 ***	0,55 ***	0,60 ***	0,91 ***		0,88 ***
	nivplat	0,1 ***	0,55 ***	0,54 ***	0,65 ***	0,86 ***	0,87 ***	

*** : corrélations significatives $P < 0,001$

** : corrélations significatives $P < 0,01$

* : corrélations significatives $P < 0,05$

Chèvres Alpine : fond clair; Chèvres Saanen : fond sombre
Qlm : quantité de lait machine à la traite; ttn : temps de traite machine; lat : temps écoulé entre la pose et le premier enregistrement de volume; dmax : débit maximum; deb1 : débit de première minute; debr1 : débit réel de première minute (sans prise en compte de la latence); nivplat : débit maximum moyen (au plateau).

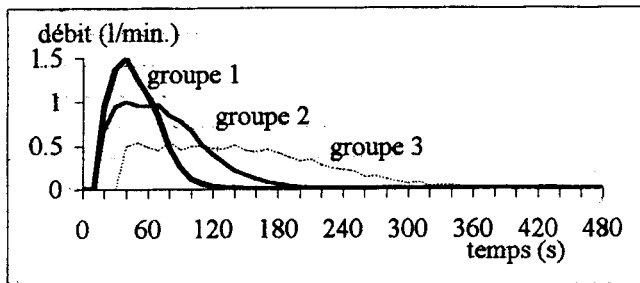
Il est possible de faire 3 classes de cinétique d'émission du lait sur la base des débits maximum et temps de traite (figure 1) comme sur la base de la latence (figure 2)

Figure 1
Classement des cinétiques d'émission du lait sur la base des débits maximum et du temps de traite dans des élevages de chèvres Alpine (n=710).

Groupe 1 : $d_{max} > 11/min$ et $t_{tm} \leq 2$ min;

Groupe 2 : 3 min $\geq t_{tm} \geq 2$ min;

Groupe 3 : $d_{max} < 11/min$ et $t_{tm} > 3$ min

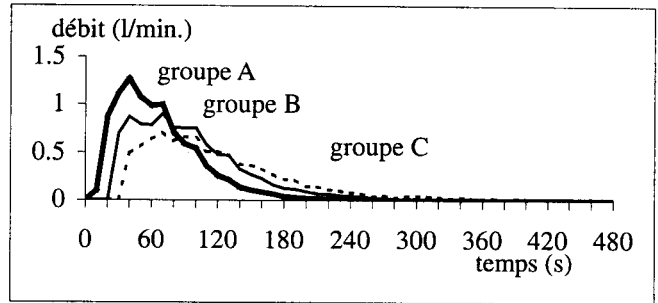


Ainsi, sur la base des débits et temps de traite, 21,3%, 69,4% et 9,3% des cinétiques de chèvres Alpine et 11,3%, 62,4% et 26,3% des cinétiques de chèvres Saanen se retrouvent respectivement dans les groupes 1, 2 et 3.

Sur la base de la latence c'est 61,8%, 28,2% et 10% des cinétiques Alpine contre 46,2%, 28% et 25,8% des cinétiques de chèvres Saanen qui se répartissent respectivement dans les groupes A, B et C. Il faut rappeler que ces résultats ne tiennent

pas compte des élevages d'origine et du stade de lactation au moment des mesures.

Figure 2
Classement des cinétiques d'émission du lait sur la base des délais d'émission du lait obtenus pendant la traite dans des élevages de chèvres Alpine (n=710).
Groupe A : latence ≤ 10 s;
Groupe B : 20 s \geq latence ≥ 10 s;
Groupe C : latence ≥ 20 s



2.2. DÉTERMINISME PHYSIOLOGIQUE DES VARIATIONS INTER-ANIMALES DU DÉBIT DE LAIT (ÉTUDE À LA STATION DE MOISAC)

Sur les 80 chèvres sélectionnées pour leur production laitière équivalente ($1,73 \pm 0,27$ Kg), les trois critères retenus comme potentiellement explicatifs étaient la décharge d'ocytocine (mesurée seulement sur 20 chèvres représentatives des différentes classes de débit et latence); les mesures d'épaisseur de trayon avant et après la traite et les mesures de résistance des sphincters.

La concentration en ocytocine de base est de $12,6 \pm 7,5$ pg/ml et ne diffère pas significativement entre chèvres. Elle est étroitement corrélée à la quantité de lait machine ainsi qu'à l'épaisseur des tissus du trayon ($r^2 = 0,61$ et $0,5$ respectivement avec $p < 0,01$).

Les concentrations maximales d'hormone, très variables entre comme intra-animales avec $56,2 \pm 45,5$ pg/ml, ne montrent pas de relation avec les classes de latence. Une seule chèvre n'a jamais déchargée d'ocytocine de façon significative et quelques chèvres (4 sur 20) ont des absences épisodiques de décharge.

Les variables quantités totales déchargées et moment de mesure du maximum d'ocytocine ont aussi montré une grande variabilité et une absence de relation significative avec les classes de chèvre et les autres critères.

Le vide nécessaire à l'ouverture des sphincters des trayons est en moyenne de $26,1 \pm 4,8$ kPa. Il est cependant significativement plus élevé pour les deux classes de temps de latence les plus importants soit $31,9 \pm 7,4$ et $41,8 \pm 6,2$ kPa respectivement pour des latences comprises entre 12,5 et 17,5 kPa et plus de 17,5 kPa. Cette donnée est fortement corrélée à la latence, au temps total de traite et aux débits moyens et maximum ($r^2 = 0,61$; $0,7$; $-0,59$ et $-0,61$, respectivement avec $p < 0,05$). En absence de variabilité en production laitière, la latence se retrouve être la variable la plus fortement corrélée au temps de traite, débits moyens et maximum ($r = 0,89$; $-0,71$ et $-0,066$ respectivement avec $p < 0,05$).

L'épaisseur de l'extrémité des tissus du trayon est de $5,4 \pm 0,9$ mm sans différence significative selon les classes de latence ou de débit. L'épaisseur du trayon avant la traite apparaît faiblement mais significativement corrélée au temps de latence, au temps de traite, à la quantité de lait et au vide nécessaire à l'ouverture des trayons ($r^2 = 0,3$; $0,37$; $0,34$ et $0,26$ respectivement avec $p < 0,01$). Aucune variation d'épaisseur n'est mesurée après la traite et ceci quelque soit la classe de chèvre.

2.3. DÉTERMINISME GÉNÉTIQUE DES VARIATIONS INTER-ANIMALES DU DÉBIT DE LAIT (ÉTUDE EN FERME EXPÉRIMENTALE).

Pour la première partie du travail, les corrélations entre critères mesurées en ferme expérimentale sont équivalentes à celles mesurées en ferme commerciale et ont permis de valider la méthode de mesure et les critères retenus (débit moyen, maxi-

num, de première minute, les quantités de lait et la durée de traite mais aussi la résistance des sphincters). Les valeurs qui changent le plus sont celles du temps de latence qui est surestimé par le délai nécessaire au remplissage et décollage du flotteur mais il reste très bien corrélé à la latence réelle d'émission du lait ($r = 0,89$).

Sources de variation de l'aptitude à la traite (tableau 2).

Des analyses statistiques (Ilahi et al., 1999), menées séparément pour les traites du soir et du matin, incluant les effets « stade de lactation », « n° de lactation », leur interaction et l'effet « chèvre », confirment l'influence significative ($P < 0,01$) de ces facteurs sur les caractéristiques de traite. Pour les traites du matin et du soir et pour toutes les catégories d'âge, les variables concernant le débit (Deb1 et Dmax) diminuent au cours de la lactation ; en revanche, le temps de latence augmente au cours de la lactation.

Tableau 2

Moyenne et écart-type des mesures réalisées dans le cadre du contrôle laitier (traites du soir et du matin, $n = 1596$)

Variable	Moyenne	Ecart type	Mini	Maxi
qlt(l)	1,234	0,476	0,38	3,23
dmax (l/min)	0,832	0,304	0,20	2,04
deb1 (l/min)	0,600	0,202	0,31	1,49
ttt(s)	271,4	76,6	96,0	828,0
latence(s)	40,9	16,1	22,5	142,5

qlt : quantité de lait totale à la traite; dmax : débit maximum; deb1 : débit de première minute; ttt : temps total de traite; latence : temps entre la pose des gobelets et le premier enregistrement de volume.

Tableau 3
Résultats de l'analyse de ségrégation

Paramètres estimés	Sous l'hypothèse polygénique	Sous l'hypothèse « gène majeur »
μ_0 (l/min)	-0,027	-
μ_1 (l/min)	-	-0,185
μ_2 (l/min)	-	-0,068
μ_3 (l/min)	-	0,392
ϕ_e	0,159	0,163
σ_{ep}	0,162	0,135
σ_a	0,230	0,140
p_1 (++)	-	0,35
p_2 (hd+)	-	0,44
p_3 (hdhd)	-	0,21
héritabilité	0,51	0,30
répétabilité	0,76	0,58
degré de dominance (%)	-	60
Rapport de vraisemblance	68,5	

μ : moyennes, 1 sans l'allèle majeur, 2 hétérozygote, 3 homozygote; p : probabilités; ϕ_e , σ_{ep} , σ_a : écart-types résiduel, d'environnement permanent et polygénique

Le numéro de lactation (lactations 1, 2 et 3 à 7) influence significativement ($P < 0,01$) la production laitière ($L1 < L2$ et $L3+$), les débits Dmax et Deb1 ($L2 > L1 > L3+$) et le temps de latence ($L3+ > L1 > L2$).

L'inclusion de l'effet « chèvre » dans le modèle statistique a permis l'estimation des répétibilités (corrélation entre mesures

successives sur un animal) : 0,55 et 0,64 pour les quantités de lait du soir et du matin, 0,72 et 0,74 pour Deb1, 0,53 et 0,63 pour Dmax et 0,59 et 0,68 pour la latence. Ces répétibilités indiquent que la variabilité individuelle représente une proportion importante de la variabilité totale observée au cours de la lactation.

L'analyse de ségrégation (Hilahi et al., 2000) réalisée sur la base 2493 mesures de débit de première minute grâce à un modèle père-mère (tableau n° 3) confirme ($P < 0,01$) la ségrégation du gène majeur qui a un effet de 2,3 écart-types phénotypiques sur le débit 1ère minute. La différence de débit entre les chèvres des génotypes HdHd et ++ est d'environ 0,6 l/min. L'allèle + est dominant, avec un degré de dominance de 60 %. Le gène inconnu explique presque 60 % de la variabilité génétique totale mais l'héritabilité résiduelle de 0,30 indique que l'influence d'autres gènes, représentée dans cette analyse par un effet polygénique, est loin d'être négligeable.

Associations entre les caractéristiques de traite et d'autres caractères.

L'analyse multi-caractères sur 2589 lactations de 1421 filles de 93 pères suivies à la Station de Moissac entre 1985 et 1997 indique que les corrélations génétiques entre le débit 1ère minute et les caractères laitiers (lactations totales ajustées à 250 jours de lactation) sont faibles : 0,10 ; 0,01 ; 0,03 ; -0,13 ; -0,07 pour, respectivement, les quantités de lait, de matière protéique, de matière grasse et les taux de protéines et de matières grasses.

Tableau 4
Corrélations phénotypiques entre vitesse de traite, caractéristiques des trayons et postes de pointage

Variables	Lat n=293	Deb1 n=293	Dmax n=293	Dmoy n=293	Avcuti n=43	Vos n=43
Avant-pis (Coupé à long)	-0.05	0.07	0.04	0.02	-0.15	-0.02
Profil mamelle (poches ou non)	-0.09	0.14 *	0.11 *	0.10	0.36 *	-0.26
Position plancher (de bas à haut)	-0.04	0.05	0.008	-0.06	-0.33 *	0.19
Longueur trayon (part antérieure)	0.01	0.08	0.06	0.12 *	0.40 **	-0.10
Diamètre trayon (à mi longueur)	-0.05	0.13 *	0.13 *	0.12 *	0.43 **	-0.31 *
Forme trayon (conique à cylindrique)	0.07	-0.17 **	-0.18 **	-0.13 *	-0.36 *	0.55 ***
Angle trayons (vers l'avant à vers l'arrière)	-0.01	0.05	0.11 *	0.07	0.22	0.03
Implantation trayons (extérieure à rentrée)	0.01	0.10	0.14 *	0.08	0.36 *	0.06
Orientation trayons (divergents à convergents)	-0.08	0.07	0.10	0.09	-0.005	-0.13
Arrière-pis (séparés à rond)	-0.01	0.01	0.006	0.002	-0.32 *	0.04
Attache arrière (Largeur)	-0.01	0.05	0.03	0.003	-0.22	0.008

* significative à $p < 0,05$ ** significative à $p < 0,01$

*** significative à $p < 0,0001$

Lat : temps écoulé entre la pose et le premier enregistrement de volume; Dmax : débit maximum; Deb1 : débit de première minute; Dmoy : débit moyen; Avcuti : épaisseur du trayon avant traite; Vos : vide d'ouverture du sphincter du trayon.

Pour les comptages leucocytaires et la morphologie des trayons et mamelles, la structure généalogique des données n'autorise que l'estimation des corrélations phénotypiques (346 chèvres de Moissac suivies en 1998). Les corrélations phénotypiques entre la morphologie externe, les caractéristiques physiologiques du trayon et les caractéristiques de débit à la traite (tableau 4) sont très faibles. La forme et le diamètre des trayons sont les plus fortement corrélés avec les critères de débit ($>0,1$; $P < 0,05$) et avec le vide d'ouverture du sphincter des trayons ($>0,3$; $P < 0,5$).

Les comptages de cellules somatiques (CCS) et les scores correspondants issus d'une transformation logarithmique (SCCS) sont faiblement corrélés avec les caractéristiques de traite (temps de latence, débits 1^{ère} minute, maximum et moyen) sont très faibles et non significativement différentes de 0 ($P < 0,01$; tableau 5).

Tableau 5
Corrélations phénotypiques entre comptages de cellules somatiques et caractéristiques de traite (n = 348 chèvres)

Caractère	latence	deb1	dmax	dmoy
CCS	-0,03	0,07	0,07	0,00
SCCS	-0,03	0,11	0,11	0,02

Latence : temps entre la pose de gobelet et le premier enregistrement de volume; deb1 : débit de première minute; dmax : débit maximum; dmoy : débit moyen; CCS : concentration de cellule somatique ; SCCS : scores CCS après transformation logarithmique

3. DISCUSSION

La majorité des résultats obtenus sont originaux en caprins et permettent d'avancer dans nos connaissances sur l'aptitude à la traite. Les chèvres, même lorsque elles sont étudiées dans des installations de traite homogènes, sont très variables pour ce caractère. Cette variabilité du modèle caprin est très utile pour des études zootechniques, génétiques et physiologiques autour du système mammaire. De plus, cette variabilité peut être exploitée en sélection appliquée d'autant que les éprouvettes automatiques ont prouvé leur efficacité et intérêt dans l'enregistrement et la quantification des différents paramètres de la cinétique d'émission du lait en ferme. Il existe par ailleurs de nouveaux matériels de contrôle laitier bovin permettant ces mesures et qui pourraient être adaptés pour les caprins dans un avenir proche.

Bien que le protocole en ferme commerciale ne visait pas une comparaison entre races (elles auraient du être soumises aux mêmes conditions de milieu), les caractéristiques mesurées suggèrent de moins bonnes performances de débit moyen chez les animaux de la population Saanen. Ce n'est pas le cas pour le critère débit de première minute qui reste plus fort en première lactation chez les Saanen. Ce résultat reste à confirmer vu l'effectif faible de fermes travaillant avec cette race dans notre étude et l'interférence des effets du milieu. En général, les performances de débit et temps de traite sont moins bonnes pour les premières lactations confirmant que la mammogenèse est encore incomplète après la première mise bas.

Nos résultats suggèrent qu'il y a des mécanismes physiologiques communs influençant le moment du début d'émission de lait et le débit ultérieur. Les caractéristiques anatomiques et physiologiques des trayons (représentées par des mesures du vide nécessaire pour obtenir le début d'écoulement du lait) sont déterminantes de la cinétique d'émission de lait. En effet, le critère «temps de latence» est toujours négativement et fortement corrélé aux variables «débit». D'autre part, l'épaisseur des trayons avant la traite est plus importante quand la production laitière est plus grande ce qui suggère l'existence d'un tonus musculaire en réaction à la pression intra-mammaire. Elle est aussi globalement plus forte chez les animaux longs à traire. Cela suggère un rôle limitant du sphincter des trayons sur l'émission du lait et de la tonicité des tissus du trayon autour du canal sur le débit lors de la traite.

Les 3 classes de cinétiques réalisées arbitrairement sur les débits maximums et temps de traite ou sur les temps de latence nous confirment la présence de traites difficiles et longues. La raison en est principalement le besoin d'un vide nécessaire à l'ouverture du sphincter trop important et souvent en limite de celui de l'installation (généralement 38 kPa est recommandé). Le débit de première minute intégrant le temps de latence est aussi particulièrement faible pour les animaux présentant ces cinétiques. La faible corrélation phénotypique entre les critères de débit et la production laitière (voir ci après) fait que cette classe de cinétique correspond à des chèvres qui ne produisent pas significativement moins que celles des autres classes. Ceci pourrait expliquer leur non-réforme par les éleveurs et ainsi leur proportion non négligeable dans les troupeaux. Compte tenu de l'impact important de ces traites longues sur le temps de travail total du chantier de traite, il nous semble prioritaire d'inclure la mesure de ce critère en ferme afin d'homogénéiser les temps de traite au plus court. La recherche d'un très haut débit est en revanche discutable. En effet, la faible résistance des sphincters associée aux plus hauts débits pourrait avoir un effet délétère (encore inexpliqué au plan physio-pathologique) sur les comptages comme cela a déjà été rapporté chez la vache laitière (Grindal et al, 1991).

Les débits moyens et forts seraient cependant moins dépendants de la résistance des sphincters des trayons mais peut être plus des caractéristiques intrinsèques du tissu (élasticité), du diamètre et de la longueur du canal du trayon ou encore de la régulation physiologique de la tonicité de cet organe. En effet l'innervation et/ou la réactivité adrénergique de la mamelle et du trayon pourrait expliquer une partie des variations de débit comme suggéré par Blum et al. (1989), Hammon et al. (1994) et Roets (1989, 1995) chez la vache. L'hypothèse d'un effet important de l'ocytocine sur le débit du lait a en revanche pu être réfutée chez la chèvre car la décharge au cours de la traite et l'efficacité de cette hormone ne diffèrent pas selon les classes de débits et ou de latence. Ces résultats confirment ceux obtenus chez la chèvre par Bruckmaier et al. (1994) et par Marnet et al. (1998) chez la brebis à l'inverse de ce qui est connu chez la vache plus dépendante de l'ocytocine et de son mode de décharge, en particulier sur le temps de traite. Si le réflexe d'éjection du lait n'est pas explicatif des performances de vitesse de traite, nos travaux renforcent par contre l'idée que l'ocytocine basale (donc libérée entre les traites), en permettant le transfert du lait des alvéoles vers les citernes, évite les rétrocontrôles négatifs sur la synthèse du lait et permet une augmentation significative de la production du lait.

Le débit de 1^{ère} minute, traditionnellement utilisé en génétique caprine pour caractériser la cinétique d'émission de lait, comme le temps de latence nouvellement estimé par les éprouvettes automatiques, apparaissent donc comme des critères utiles pour caractériser les animaux dans une éventuelle optique de sélection. En perspective, il faudra mettre en place un protocole en Station Expérimentale pour préciser les caractéristiques anatomiques et physiologiques des trayons qui limitent l'émission de lait.

La variabilité des chèvres pour les caractéristiques de traite est très importante, d'après nos résultats de répétabilité intra et inter lactations et nos estimations des héritabilités totale et résiduelle. Le locus majeur avec deux allèles Hd et + explique plus de la moitié de la variabilité génétique totale, Hd étant partiellement récessif. Pour avancer dans l'identification de ce gène inconnu, les perspectives englobent la recherche de marqueurs moléculaires dans un dispositif de rétro-croisement en Station Expérimentale (approche «QTL») et l'analyse des profils transcriptionnels des cellules des trayons des individus extrêmes pour les caractéristiques de traite (approche «Génomique»).

Les associations phénotypiques entre les caractéristiques de traite et d'autres caractères d'intérêt zootechnique sont modestes. Avec la production laitière, les corrélations estimées à l'échelle de la production journalière ou de la production par lactation, restent souvent en dessous de 0,3. Les corrélations avec la morphologie externe et les comptages de cellules sont aussi faibles (de l'ordre de 0,1). Ces résultats sont cohérents

avec une abondante bibliographie sur les bovins et des études en ovins.

La suite de ce travail concerne l'amélioration des caractéristiques de traite. Cependant, avant d'en recommander l'inclusion parmi les critères de sélection des caprins français, il faut estimer les corrélations génétiques entre l'aptitude à la traite, les comptages leucocytaires et la morphologie pour les races Saanen et Alpine en utilisant des mesures « traite » qui pourraient être collectées dans la routine du contrôle laitier. Le second volet concernera l'homogénéisation du parc des machines à traire et de ses caractéristiques ainsi que des méthodes de traite (cf. élimination du temps de surtraite de près de 20% du temps effectif d'écoulement du lait!). Pour cela, il faudra évaluer la réponse des chèvres à des paramètres différents de réglage des machines à traire et utiliser les données terrain recueillies pour réévaluer les normes des installations de traite (réserve de vide, diamètre de canalisation, nombre de poste, méthode de travail).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le programme «Agriculture Demain» du Ministère de la recherche et de la technologie pour son soutien financier dans cette action. D'autres partenaires essentiels de ce travail doivent être cités : B. Bariteaux (CA Charente) et P. Lahaye et A. Piacère (Caprigène France) pour la collecte des données terrain et les pointages des chèvres en Station; J.F. Combaud (INRA/ENSAR UMRPL), H. Ilahi et P. Chastin (INRA SAGA) pour leur aide dans le traitement des données; Le personnel des Stations expérimentales INRA de Galle - Avord (F. Bouvier) et de l'UMR PL à La motte - Le Rheu (Y. Dano), de la Station Caprine de Moissac (F. Monod), V. Gaudin (Derval, CA44) et O. Sauvée (IE Paris) pour les

mesures expérimentales plus fines et mesures physiques et enfin J. Portanguen (INRA/ENSAR UMRPL) pour les nombreuses analyses hormonales.

- Blum, J.W., Schams, D., Bruckmaier, R., 1989. J. Dairy Res, 56, 167-177.
- Grindal, R.J., Walton, A.W., Hillerton, J.E., 1991. J. Dairy Res., 58, 383-388.
- Hammon, H.M., Bruckmaier, R.M., Honegger, U.E., Blum J.W., 1994. J. Dairy Res., 61, 47-57.
- Ilahi H., Chastin P., Bouvier F., Arhainx J., Ricard E., Manfredi E., 1999. Small Ruminant Research, 34, 97-102.
- Ilahi H., Manfredi E., Chastin P., Monod F., Elsen J.M., Le Roy P., 2000. Genetical Research Cambridge, 75, 315-319.
- Labussière, J., Martinet, J., 1964. Ann. Zootech., 13 (2), 199-212.
- Le Du, J., Benmederbel, B., 1984. Ann. Zootech, 33, 375-384.
- Le Du, J., Dano, Y., 1990. Cahiers des techniques de l'INRA, 25, 17-26.
- Marnet P.G., McKusick, B.C., 2001. Livest. Prod. Sci., 70, 125-133.
- Marnet P.G., Volland H., Pradelles P., Grassi J., Beaufile M., 1994. J. Immunoassay, 15 (1), 35-53.
- Piacère, E., Manfredi, E., Lahaye P., 1999. In BARILLET F. ET ZERVAS N.P. (editors), Milking and milk production of dairy sheep and goats. EAAP publication N°95, Wageningen Pers, Pays -Bas. 375-380.
- Ricard, E., Arhainx, J., Guillouet, P., Bouvier, F., Jacquin, M., Chastin, P., Astruc, J.M., Lagrifoul, G., Manfredi, E., Barillet, F., 1994. Proceeding of 29th session of ICAR Ottawa, Canada. EAAP Publication N°75, 47-51.
- Ricordeau, G., Bouillon, J., Le Roy, P., ELSEN, J.M., 1990. INRA Prod. Anim., 3 (2), 121-126.
- Roets, E., Burvenich, C., Hamann J., 1995. J. Dairy Res. 62, 4, 567-575.
- Roets, E., Vandeputte-Van Messom, C., Burvenich, C. Peeters G., 1989. J. Dairy Sci. 72, 3304-3313.

