

# Place de la maîtrise de la reproduction dans les schémas de sélection en chèvres laitières

B. LEBOEUF<sup>1</sup>, J.-A. DELGADILLO<sup>2</sup>, E. MANFREDI<sup>3</sup>, A. PIACERE<sup>4</sup>, V. CLEMENT<sup>4</sup>, P. MARTIN<sup>5</sup>,  
M.-T. PELLICER-RUBIO<sup>6</sup>, P. BOUÉ<sup>5</sup>, R. DE CREMOUX<sup>4</sup>

<sup>1</sup> INRA-UEICP, UR8 Insémination caprine et porcine, F-86480 Rouillé, France

<sup>2</sup> CIRCA, Universidad Autonoma Agriaria Antonio Narro, Periférico Raul Lopez Sanchez y Carretera a Santa Fe y,  
A.P. 27054, Torreon, Coahuila, Mexico

<sup>3</sup> INRA, UR631 Amélioration Génétique des Animaux, F-31326 Castanet-Tolosan, France

<sup>4</sup> Institut de l'Élevage, F-31321 Castanet-Tolosan, France

<sup>5</sup> Capgènes, Agropole, F-86550 Mignaloux-Beauvoir, France

<sup>6</sup> INRA, CNRS, Université de Tours, Haras Nationaux, UMR85 Physiologie de la Reproduction et des Comportements,  
F-37380 Nouzilly, France

Courriel : Bernard.Leboeuf@lusignan.inra.fr

Au cours des dernières décennies, le schéma de sélection caprin s'est développé grâce aux progrès des techniques de maîtrise de la reproduction et d'insémination. Des adaptations sont actuellement en cours pour proposer des alternatives aux hormones exogènes pour la maîtrise de la reproduction en dehors de la saison sexuelle. De nouveaux critères fonctionnels sont inclus dans le schéma de sélection. Cette évolution est le reflet d'une adaptation permanente aux enjeux technico-économiques actuels et futurs de la filière caprine.

Les chèvres présentent une activité sexuelle saisonnière, centrée sur l'automne, qui conditionne la disponibilité sur le marché de leurs produits. Le désaisonnement de la reproduction permet d'étaler la production de lait et de viande tout au long de l'année et de répondre aux besoins d'approvisionnement de la part des transformateurs et aux attentes des consommateurs.

Maîtriser la reproduction des chèvres à l'échelle de l'élevage est nécessaire pour pouvoir grouper les mises bas sur une période limitée dans le temps et ainsi ajuster les apports alimentaires aux besoins liés à la lactation (recours au pâturage, gestion des fourrages et suppléments éventuelles). C'est dans ce contexte que l'Insémination Artificielle (IA) a été développée avec de la semence initialement produite en saison sexuelle et conservée congelée pour une insémination souhaitée le plus souvent en dehors de la saison sexuelle pour satisfaire la demande du marché en fromages de chèvres. Les traitements photopériodiques, plus récents, sont venus compléter et sécuriser ce dispositif initial en apportant de sur-

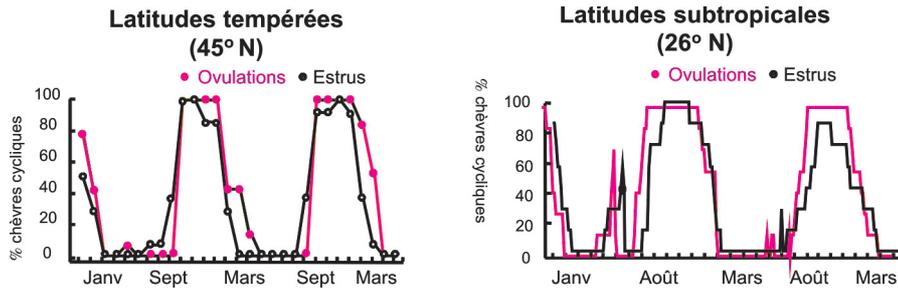
croît une alternative crédible aux traitements hormonaux d'induction et de synchronisation des chaleurs.

Au-delà de son rôle dans la maîtrise de la reproduction, l'insémination artificielle constitue un des outils majeurs des programmes de sélection et de testage de la descendance pour l'amélioration des performances laitières et fromagères des cheptels caprins. La majeure partie du lait de chèvre est en effet transformée en fromages. A l'échelle de la filière, l'évolution de la demande des consommateurs vers la commercialisation de fromages tout au long de l'année a, de fait, des conséquences directes sur la conduite des troupeaux, d'une part, sur l'orientation des stratégies de sélection génétique, d'autre part. Ainsi, au-delà de l'étalement de la production et de l'amélioration de la composition du lait (teneurs en protéines et en lipides) souhaitée par les producteurs, de nouveaux caractères fonctionnels doivent désormais être considérés avec pour objectif de participer à la réduction des coûts de production et d'améliorer la qualité et la sécurité des produits.

## 1 / Saisonnalité de la reproduction et maîtrise de l'activité sexuelle

### 1.1 / Variations saisonnières de l'activité sexuelle chez le mâle et la femelle

La plupart des races de chèvres présentes sous des latitudes tempérées ou des latitudes subtropicales, sont caractérisées par une activité sexuelle saisonnière. En race Alpine, comme pour les races locales dont la chèvre mexicaine, la saison sexuelle commence en début d'automne et s'achève à la fin de l'hiver (Chemineau *et al* 1992a, Delgadillo *et al* 2004a, figure 1). Les mâles sont également soumis à d'importants changements dans leur activité sexuelle. Chez les boucs de race Alpine, la saison sexuelle commence à l'automne pour s'achever en fin d'hiver alors qu'en climat subtropical, elle s'étend de la fin du printemps au début de l'hiver (Delgadillo *et al* 1991, 1999). Chez les races saisonnières, le comportement sexuel, la taille des testicules,

**Figure 1.** Variations saisonnières de l'activité sexuelle des chèvres.Adapté de Chemineau *et al* 1992a.

Adapté de Duarte 2008.

l'activité spermatogénique, la production de la semence (quantité et qualité) sont particulièrement réduits en dehors de la saison sexuelle (Delgadillo *et al* 1991, 1999, figure 2).

## 1.2 / Techniques de maîtrise de la saisonnalité

### a) Contrôle photopériodique de l'activité sexuelle

La photopériode, qui est la durée journalière d'éclairement, varie selon la saison. A l'exception des latitudes équatoriales où la durée du jour ne varie pas ou peu au cours de l'année, la durée quotidienne d'éclairement conditionne la reprise ou l'arrêt de l'activité sexuelle de la chèvre (Delgadillo *et al* 2004b, Chemineau *et al* 2006).

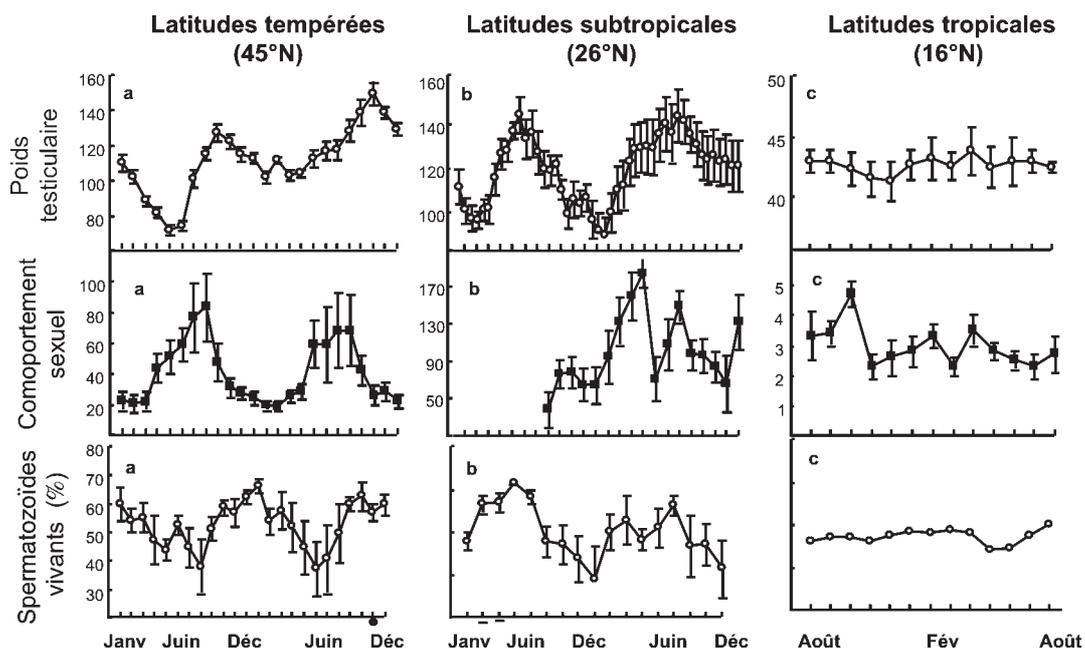
Chez les chèvres, l'activité sexuelle commence lorsque la photopériode

diminue (jours courts et/ou décroissants) et s'achève lorsque les jours augmentent au printemps (Ortavant *et al* 1985). Cependant, l'exposition à des jours courts ne maintient pas une activité sexuelle continue car les animaux deviennent réfractaires à cette photopériode stimulante (Howles *et al* 1982, Karsch *et al* 1989). Il a été montré (Chemineau *et al* 1992b) que l'induction de l'activité sexuelle en période d'anoestrus saisonnier impose de recourir à une alternance entre jours longs et jours courts sans laquelle les animaux développent un état réfractaire à l'effet stimulant des jours courts (reprise d'un rythme biologique endogène variable selon les individus). Lors de la simulation des jours longs, l'éclairement continu des animaux peut être remplacé efficacement par un éclairage fractionné au cours de la journée (flashes lumineuses) en se référant à l'existence d'une phase photosensible

chez l'animal dans le rythme circadien. La phase photosensible, au cours de laquelle se manifeste la sensibilité des animaux à la lumière, se situe 16 à 17 h après l'aube (lever du jour ou mise en route de l'éclairage) qui sert de point de repère et d'entraîneur pour le rythme circadien. En pratique, la survenue de l'aube est mimée artificiellement par une première fraction lumineuse d'environ 3 h, une seconde fraction d'une durée de 2 h étant apportée 16 h plus tard.

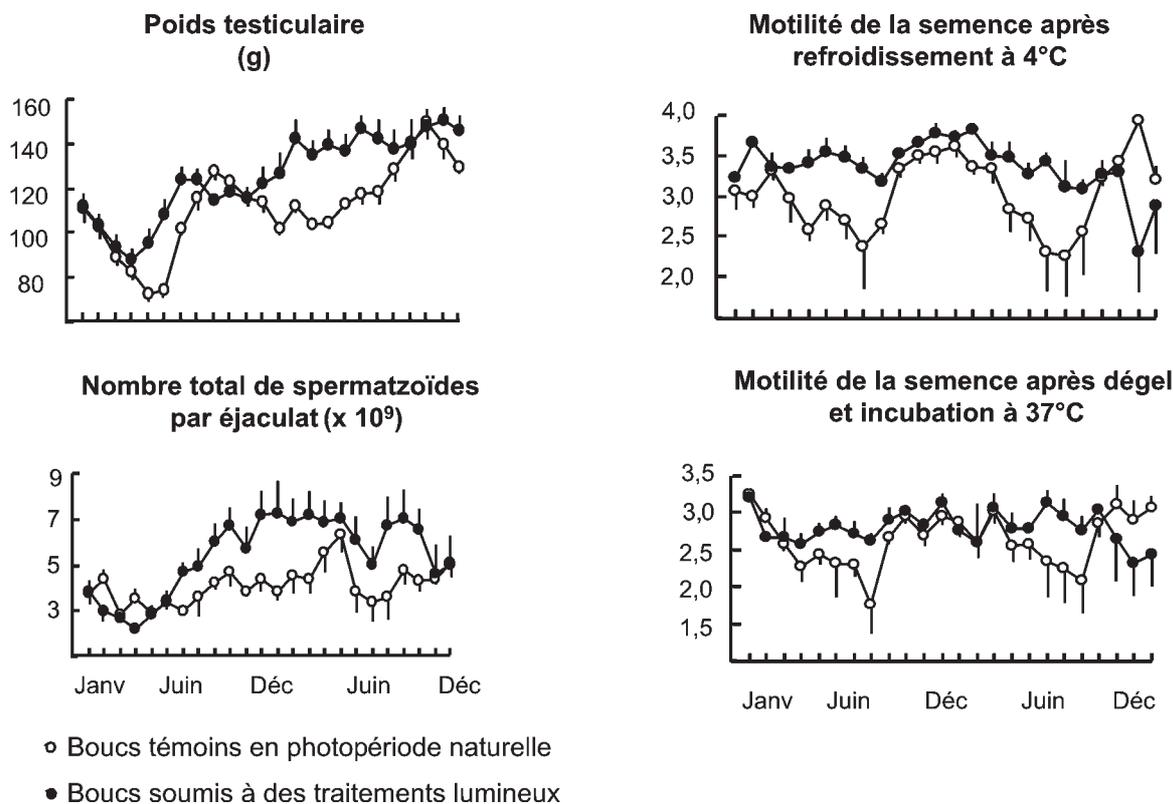
### b) Maîtrise de l'activité sexuelle chez les mâles

Chez les boucs d'IA Alpines ou Saanen soumis à la succession d'un à deux mois de jours longs (16 h d'éclairement quotidien) suivis d'un à deux mois de jours courts (8 h d'éclairement quotidien), le caractère saisonnier du comportement sexuel et de la production de semence est amoindri voire disparaît (Delgadillo *et al* 1991, 1992, figure 3). En centre d'insémination, à un rythme de collecte de la semence de deux fois par semaine pendant deux années consécutives, les mâles soumis à ce traitement lumineux produisent 50% de doses supplémentaires par rapport au groupe témoin conduit en photopériode naturelle (Delgadillo *et al* 1991). De plus, la fécondance de la semence congelée ainsi obtenue est similaire à celle d'animaux témoins pendant la période normale d'activité sexuelle. Ces résultats ont encore été

**Figure 2.** Variations saisonnières de l'activité sexuelle des boucs en fonction de la latitude (Delgadillo *et al* 1991, 1992, 1999).

Variations saisonnières du poids testiculaire, de la latence à l'éjaculation (a,b) du nombre de sauts (c), et du nombre total de spermatozoïdes par éjaculat de boucs de races alpines et Saanen (a), Créole au Mexique (b) et Créole de Guadeloupe (c).

**Figure 3.** Abolition du caractère saisonnier de la production et de la qualité in vitro de la semence de bouc par utilisation de traitements lumineux (45°N) (Delgadillo et al 1992).



améliorés en fixant la durée des périodes de jours courts et de jours longs à un mois et demi (Leboeuf *et al* 2004). Ce protocole lumineux est actuellement employé pour la mise en œuvre du programme de sélection national français (gestion des bouqueries du centre de production de semence de boucs à Capgènes).

Pour des boucs en zones tempérées, dans leur milieu habituel d'élevage, l'activité sexuelle peut être induite à contre-saison. Pour cela, les animaux sont soumis à des jours longs artificiels auxquels succèdent des jours courts. Selon les cas les jours courts sont naturels ou simulés grâce à un implant de mélatonine qui mime les jours courts (Delgadillo *et al* 2004a, Pellicer-Rubio *et al* 2007a). Chez les boucs mexicains, un traitement lumineux de 2 mois et demi à raison de 16 h d'éclairement par jour, à partir du premier novembre suivi d'une période d'éclairement naturel augmente la sécrétion de testostérone de février à avril à la période habituelle de non activité sexuelle. Les mâles ainsi traités manifestent un comportement sexuel intense même lorsqu'ils sont mis en présence de femelles en anoestrus. Là encore, l'activité sexuelle des boucs est significativement plus

marquée dans les lots traités comparativement aux lots témoins (Delgadillo *et al* 2004a).

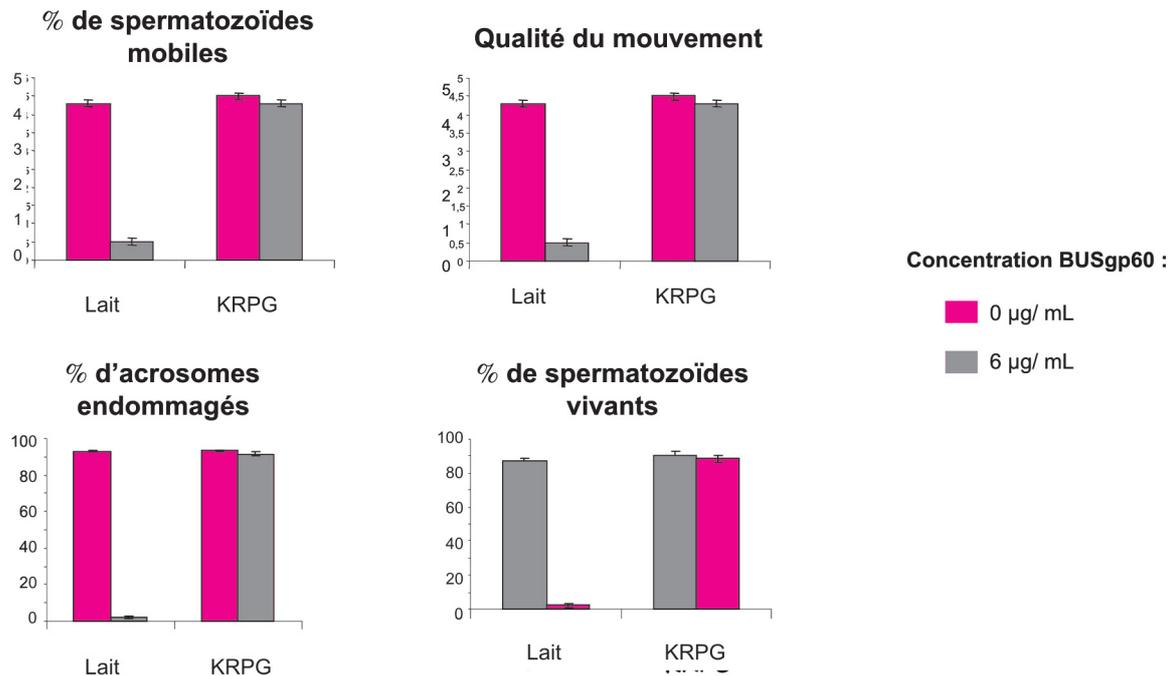
#### c) Maîtrise de l'activité sexuelle chez les femelles : recours à l'effet mâle

L'effet mâle est une technique couramment employée pour avancer et synchroniser la reproduction chez les ovins mais aussi chez les caprins (Ott *et al* 1980, Chemineau 1987, Pellicer-Rubio *et al* 2007a). L'exposition au bouc provoque une augmentation très rapide de la sécrétion de l'hormone LH chez la femelle. Cet effet est multisensoriel, mais l'olfaction joue un rôle prépondérant. Cette stimulation si elle se prolonge, va provoquer un pic préovulatoire de LH, accompagné de comportement d'oestrus. Cet effet provient très probablement d'une stimulation de la sécrétion de GnRH. Hamada *et al* (1996) ont montré dans l'hypothalamus une augmentation de l'activité électrique associée à la sécrétion de LH en réponse à l'odeur de bouc.

En réponse à l'effet mâle, 95% des chèvres présentent une première ovulation dans les 24-72 h après l'introduction du bouc. Cette ovulation qui n'est pas accompagnée de comporte-

ment d'oestrus dans environ 80% des cas, n'est pas fécondante car dans 80% des cas, elle est suivie d'un cycle ovarien de courte durée d'environ 5 à 7 j, puis d'une seconde ovulation. Celle-ci est accompagnée de chaleurs et d'une phase lutéale normale (Chemineau *et al* 2006). La réponse des femelles à l'effet bouc peut être améliorée lorsque les femelles et/ou les mâles ont été préalablement soumis à des traitements photopériodiques. En races mexicaines, seuls les mâles traités (période d'éclairement de 2 mois et demi de jours longs de novembre à janvier) ont induit une activité ovulatoire fertile chez des femelles en anoestrus restées soumises à une photopériode naturelle (80% d'activité avec les boucs traités contre 10% avec les boucs du lot témoin) (Delgadillo *et al* 2004a). Dans des races plus saisonnées (Alpine, Saanen), le traitement photopériodique des mâles et des femelles est indispensable pour qu'une réponse effective de l'activité ovarienne puisse être induite. Dans ces conditions, la majeure partie des femelles exposées aux mâles ovulent (plus de 90%) et plus de 75% mettent bas (Pellicer-Rubio *et al* 2007a).

**Figure 4.** Effet de la lipase sécrétée par les glandes bulbo-uréthrales (BUSgp60) sur les paramètres de qualité des spermatozoïdes de bouc dilués dans un milieu à base de lait écrémé ou dans une solution saline (KRPG). Mesures après 60 minutes d'incubation à 37°C (Pellicer-Rubio et Combarnous 1998).



## 2 / Conservation de la semence et insémination

En France, l'insémination des chèvres est aujourd'hui utilisée principalement dans le cadre du schéma de sélection destiné à améliorer le potentiel génétique des races laitières Alpine et Saanen. Comparée à la saillie naturelle, l'IA permet un accroissement du nombre de descendants issus des boucs du schéma de sélection ainsi qu'une dissociation spatio-temporelle entre la collecte de la semence et son utilisation. Ces avantages permettent l'évaluation, la sélection des mâles et la comparaison de la valeur génétique de leurs descendants grâce aux liens génétiques entre élevages créés par les descendances des mâles d'IA.

La conservation de la semence, particulièrement à l'état congelé, provoque des dommages aux spermatozoïdes qui concernent à la fois leurs structures (membranes, flagelles) et leur état fonctionnel. Ces altérations influencent leur viabilité et leur motilité. Malgré de nombreux travaux consacrés à ces problèmes, la fertilité de la semence congelée demeure généralement plus faible que celle de la semence conservée pendant quelques heures à température positive.

L'origine de ces altérations du spermatozoïde au cours des étapes de

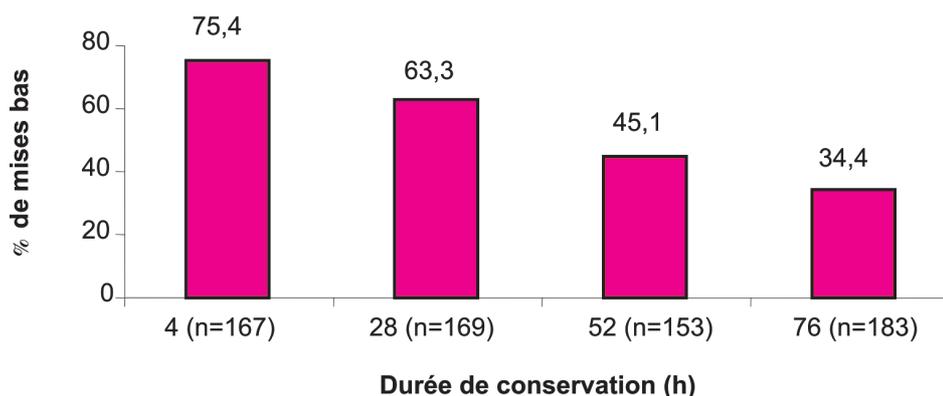
congélation/dégel provient en partie de l'effet délétère du plasma séminal sur la viabilité des spermatozoïdes conservés dans un milieu à base de lait écrémé ou contenant du jaune d'œuf. C'est un problème spécifique à la conservation de la semence de bouc. La sécrétion des glandes bulbo-uréthrales est responsable de la détérioration des spermatozoïdes dilués dans un milieu à base de lait écrémé, lorsqu'ils sont conservés dans l'azote liquide ou maintenus à 37°C. Le composant responsable de ce phénomène a été identifié, il s'agit d'une glycoprotéine lipase de 55-60 kDa appartenant à la famille des lipases pancréatiques (Sias *et al* 2005). Cette enzyme est capable d'hydrolyser les triglycérides résiduels du milieu lacté (le lait écrémé ou le phosphocasinat natif) en acides gras, lesquels inhibent la motilité des spermatozoïdes et entraînent des dommages membranaires (Pellicer-Rubio et Combarnous 1998, figure 4).

L'effet délétère du plasma séminal n'est pas observé lorsque la semence est conservée à + 4°C (semence fraîche) dans le lait écrémé ou le phosphocasinat natif (PPCN) (Leboeuf *et al* 2003). Bien qu'avec le milieu PPCN, le taux de survie des spermatozoïdes après 7 j de conservation à 4°C soit supérieur à celui obtenu dans le lait écrémé, la fertilité après IA (taux de mises bas) n'est pas différente pour les

deux milieux de conservation. Elle atteint 75% pour des durées de conservations inférieures à 12 h et diminue progressivement à 63% après 28 h, puis 34% après 76 h de conservation (Leboeuf *et al* 2004, figure 5). Cette technique a été largement utilisée en France, elle était la seule disponible pour l'insémination des chèvres avant 1975. Elle pourrait être à nouveau développée en complément de la semence cryoconservée. Le coût de la production d'une dose en semence fraîche est d'environ 30% moins élevé, et cette technique permettrait d'utiliser les 20% de boucs éliminés du schéma de sélection pour cause d'incapacité de leurs semences à supporter la congélation. Mais pour cela les investigations en cours doivent être poursuivies pour préserver le pouvoir fécondant des spermatozoïdes au-delà de 24 h de conservation avant IA, pour faciliter l'organisation de la mise en place dans des zones géographiques étendues à plusieurs régions.

L'utilisation de la semence conservée congelée développée depuis le milieu des années 70, offre une plus grande souplesse d'utilisation que la semence fraîche, par les structures de production de semences et d'IA. Elle permet de constituer un stock important de semences par bouc pendant les opérations d'évaluation génétique sur descendance, pour une large diffusion ulté-

**Figure 5.** Effet de la durée de conservation de la semence de bouc à + 4°C sur la fertilité après IA (n = 672), (Leboeuf et al 2004).



rière de boucs d'un haut potentiel génétique. La méthode de cryoconservation de la semence de bouc a été mise au point par Corteel en 1974. Après avoir séparé par centrifugation et retiré le plasma séminal contenu dans le sperme afin d'éviter la détérioration des spermatozoïdes, on effectue une dilution avec un milieu contenant du lait écrémé, du glucose (0,5 M) et 7% de glycérol (Corteel 1974). La semence est ensuite conditionnée en paillette de 0,2 mL avec une concentration de  $1 \times 10^8$  spermatozoïdes par dose puis congelée progressivement dans de l'azote liquide à -196°C.

## 2.1 / Utilisation de la semence conservée pour l'IA

Les méthodes de maîtrise de l'oestrus et de l'ovulation proposées doivent permettre aux éleveurs de pouvoir choisir la période d'IA. Ces techniques doivent aussi permettre d'inséminer les femelles une seule fois à un moment prédéterminé, tout en préservant un haut niveau de fertilité, supérieur à 60% de mises bas. De plus le temps passé à la mise en oeuvre de ces techniques doit être limité et les coûts réduits.

### a) Insémination des chèvres cycliques en saison sexuelle

Cette technique nécessite la détection des chèvres en oestrus. Pour cela, différentes méthodes pratiques existent incluant l'utilisation d'un bouc vasectomisé ou muni d'un harnais marqueur et le suivi des chevauchements. La fertilité des chèvres inséminées 12 à 24 h après le début de l'oestrus avec de la semence conservée congelée est en moyenne de 60 à 65% (Corteel 1977). La principale cause de variation de la fertilité observée après IA sur oestrus naturel réside dans la difficulté pour l'éleveur à observer de façon rigou-

reuse et systématique le moment du début de l'oestrus pour effectuer une IA juste avant le moment de l'ovulation.

### b) Insémination après traitement hormonal

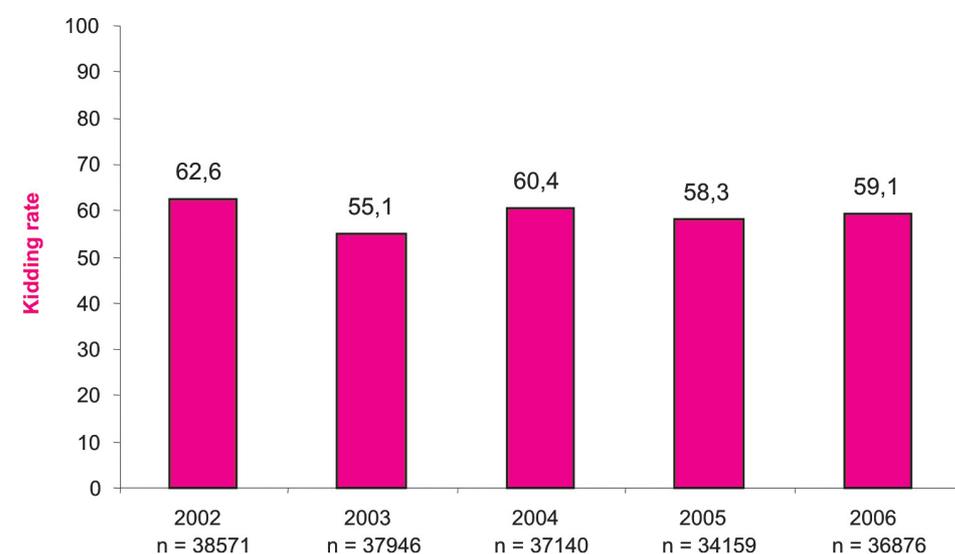
Depuis de nombreuses années un traitement hormonal associant progestagènes et eCG (équine chorionic gonadotropine) permet soit de synchroniser les oestrus et les ovulations en saison sexuelle soit d'induire et de synchroniser les oestrus et ovulations hors saison sexuelle. Ce traitement est utilisé actuellement sur 95% des chèvres laitières inséminées en France, soit environ 75 000 chèvres par an. Il consiste à poser une éponge vaginale imprégnée d'un progestagène (45 mg de fluorogestone acétate : FGA) pendant 11 j. Une injection intramusculaire de 50µg de cloprosténol et de 400 à 600 UI de

eCG selon la période de reproduction et le niveau de production laitière, est réalisée 48 h avant l'arrêt du traitement progestatif. Le moment de l'insémination est situé 43 h à 45 h après le retrait de l'éponge. La fertilité obtenue (taux de mises bas) en dehors de la saison sexuelle avec des semences conservées congelées est en moyenne de 60 à 65% (Corteel *et al* 1988, Boué et Sigwald 2001, figure 6). Lorsque les IA sont réalisées en semences fraîches après traitement hormonal, la fertilité atteint 64,8% en saison sexuelle et seulement 54,3% en dehors de la saison sexuelle (Corteel *et al* 1978).

### c) Insémination après un effet mâle en période d'anoestrus

Les attentes actuelles de la société pour une limitation de l'usage des traitements hormonaux, dont ceux utilisés pour la maîtrise de la reproduction, encouragent la recherche de méthodes alternatives (Martin *et al* 2004). Des protocoles expérimentaux sont en cours pour une reproduction en dehors de la saison sexuelle. Le recours à l'effet mâle en période d'anoestrus constitue aujourd'hui l'alternative principale aux traitements hormonaux pour l'induction de l'oestrus et de l'ovulation. Chez des races hautement saisonnées, ils associent le conditionnement lumineux des femelles, l'effet mâle et l'insémination. Au cours d'une première étape, nous avons cherché à limiter l'emploi de la eCG mais en conservant l'éponge vaginale pour nous affranchir de l'apparition d'un premier cycle court non

**Figure 6.** Fertilité (% de mises bas) après traitement hormonal et insémination avec de la semence cryo-conservée.



Sources : Capri-IA, France, 2008.

fécondant observé suite à l'effet mâle. Les chèvres ont reçu au préalable un conditionnement lumineux basé sur 90 j d'éclaircissements longs, de décembre à février (16 h de lumière artificielle), suivi de 60 j naturels en mars et avril (environ 10-12 h de lumière). Un progestagène (éponge vaginale avec 45 mg de FGA) a été administré pendant 11 j jusqu'au moment de l'introduction du bouc équipé d'un tablier empêchant la saillie. Dans ces conditions, 3 protocoles d'IA incluant une ou deux IA ont été validés. Le moment de l'insémination est déterminé soit par rapport au début de l'oestrus, soit de façon prédéterminée par rapport à l'introduction du bouc. Au milieu de la période d'anoestrus (mai), un haut niveau de fertilité (64-75% de mises bas selon les protocoles appliqués) a été obtenu avec de la semence conservée congelée. Les résultats de fertilité obtenus avec une seule insémination réalisée 52 h après l'introduction des boucs sont similaires à ceux obtenus en utilisant le traitement hormonal seul (Pellicer-Rubio *et al* 2008). Une nouvelle étape est en cours d'expérimentation, elle consiste à supprimer le progestagène. Dans ce cas, l'insémination doit être positionnée à la seconde ovulation entre J6 et J8 après l'introduction du bouc pour l'effet mâle.

#### d) Insémination des chèvres nullipares destinées au renouvellement

L'IA des chevrettes est peu développée malgré l'intérêt génétique potentiel qu'il y aurait à inclure ces animaux dans le renouvellement des troupeaux. L'IA est réalisée le plus souvent en dehors de la saison sexuelle avant l'installation de la cyclicité. Le taux de fertilité obtenu après traitement hormonal et une insémination 52 h après le retrait de l'éponge, demeure faible, inférieur à 50%.

Après avoir testé sans succès différentes hypothèses (nutrition, puberté), l'influence de la durée de l'acte d'insémination sur la fertilité a fait l'objet d'investigations. L'exiguïté du tractus génital et donc la difficulté pour accéder au cervix chez la chevre au moment de l'IA conduit généralement à un temps d'insémination plus long que chez la chèvre adulte. Houdeau *et al* (2008) ont montré qu'un temps d'IA réduit était favorable à la fertilité : 61,2% (n = 169) et 44,2% (n = 156) respectivement pour un temps d'IA de 20 et 60 secondes.

### 3 / Programmes de sélection : des objectifs de sélection en permanente évolution

D'une façon générale, l'IA est un facteur majeur de l'efficacité des schémas de sélection en production laitière. Elle permet d'augmenter et d'accélérer le pouvoir de diffusion des mâles, par une augmentation du nombre de descendants par mâle à haut potentiel génétique. Ainsi la création et la diffusion du progrès génétique sont accélérées. L'IA permet aussi, par son utilisation dans un grand nombre d'élevages, de créer des liens génétiques entre troupeaux, ce qui permet d'assurer une meilleure prise en compte des effets de milieu. Elle est aussi un vecteur idéal pour la diffusion du progrès génétique dans tous les élevages y compris les élevages hors du noyau de sélection. Elle présente l'avantage sur la saillie naturelle de limiter fortement les risques sanitaires, en diminuant, voire en supprimant les échanges d'animaux vivants entre élevages.

Après 20 ans d'amélioration génétique et un schéma de sélection fondé sur le recours à l'insémination artificielle, les performances laitières des chèvres en France ont progressé régulièrement. Ainsi, pour la population au Contrôle laitier, soit un peu plus de 100 000 chèvres dans chaque race Alpine et Saanen, la production moyenne est d'environ 800 kg de lait pour une lactation de 270 j. Les taux protéique et butyreux de la race Alpine sont plus élevés que ceux de la race Saanen : 3,2% et 3,7% respectivement, contre 3,1% et 3,5%, (tableau 1).

#### 3.1 / Une sélection pour un ensemble de caractères laitiers et fonctionnels

Les objectifs du programme de sélection français sont revus périodiquement afin de les adapter aux demandes de la filière et de prendre en compte l'évolution des paramètres génétiques au sein des populations soumises à la sélection (Piacère *et al* 2000).

Pour des raisons économiques, les premiers critères retenus dans la démarche de sélection sont les caractères laitiers. Les paramètres génétiques relatifs aux caractères laitiers (quantité de lait, de protéines et de matière grasse, taux protéique et butyreux) ont été estimés dans différentes races et plus particulièrement chez les races Alpine et Saanen dans des pays et des contextes de production variés (Lloje *et al* 1981, Mavrogenis *et al* 1984, Boichard *et al* 1989, Analla *et al* 1996, Belichon *et al* 1998, Muller *et al* 2002). Les estimations réalisées témoignent systématiquement des mêmes tendances : pour les quantités, l'héritabilité varie entre 0,30 et 0,40 ; celle des taux est supérieure, comprise entre 0,50 et 0,60 mais avec des coefficients de variation génétique inférieurs à ceux des quantités. La corrélation entre les Taux Protéique (TP) et Butyreux (TB) est de 0,50 mais ces caractères sont négativement corrélés à la production laitière (phénomène particulièrement marqué en ce qui concerne le taux protéique). Les quantités de lait, de Matières Grasses (MG) et de Matières Protéiques (MP) sont corrélées positivement avec un coefficient d'environ 0,80 à 0,90.

Dès le début des années 70, compte tenu du débouché exclusivement

**Tableau 1.** Evolutions des performances depuis la campagne 2001.

Campagnes	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Effectif (lactations qualifiées)	301 453	259 585	261 101	264 649	264 035	261 172	267 968
Durée de lactation (en jours)	276	277	267	266	268	268	268
Quantité de lait (en kg)	753	734	751	755	788	793	791
Quantité de MP (en kg)	23,0	22,0	23,0	23,7	24,9	25,1	25,1
Taux protéique (en g/kg)	30,7	31,0	30,8	31,2	31,8	31,8	31,9
Quantité de MG (en kg)	26,0	25,0	26,0	26,0	28,4	28,6	28,7
Taux butyreux (en g/kg)	34,5	35,3	34,4	35,3	36,1	36,2	36,4

fromager de la production laitière caprine, l'objectif du programme de sélection français a visé l'amélioration de la quantité de matière protéique et du taux protéique. La sélection des meilleurs reproducteurs était effectuée selon des seuils définis pour chacun de ces index MP et TP (IMP et ITP). Mais ce principe d'une sélection à seuils pour des caractères corrélés négativement s'est révélé peu efficace. Aussi, en 1995, les précédents niveaux de sélection gérés de manière indépendante ont été remplacés par un seuil de sélection unique défini au moyen d'un index combiné, l'ICC ( $ICC = IMP + 0,4 ITP$ ) (Piacère *et al* 1997). La pression de sélection sur l'index TP a entraîné des évolutions positives des taux protéique et butyreux en raison de la corrélation positive existant entre les deux caractères. Cependant, les gains ont été supérieurs pour le taux protéique comparativement au taux butyreux, ce qui a contribué à un phénomène d'«inversion des taux», c'est-à-dire un rapport TB/TP négatif, particulièrement remarqué dans des troupeaux Saanen en milieu de lactation, quand le niveau de TB est au minimum. En 1999, l'ICC a été modifié en vue de stabiliser, voire remonter le rapport TB/TP en incluant les index de quantité de matière grasse et de taux butyreux dans l'index combiné :  $ICC = 1 IMP + 0,4 ITP + 0,2 IMG + 0,1 ITB$ .

Parmi les caractères laitiers qui intéressent la filière, figure également la nature des protéines du lait et en particulier les caséines. Par comparaison avec les brebis et les vaches laitières, les caséines chez les chèvres sont extrêmement variables, chaque caséine présentant différents variants. En outre, le polymorphisme des caséines est associé aux performances laitières (taux butyreux et protéique, quantité de matière protéique produite par lactation). Une classification des variants a pu être établie en fonction de l'importance de la synthèse de la caséine  $\alpha S1$  (Grosclaude et Martin 1997) : de A (variant associé à des niveaux de synthèse élevés) à F (faibles niveaux de synthèse) et O (absence ou traces de caséine  $\alpha S1$ ), avec consécutivement des différences importantes de taux protéiques, proches de 4,5 g/kg entre les génotypes homozygotes extrêmes (AA et FF) (Mahé *et al* 1993, Barbieri *et al* 1995). Les fréquences des allèles au locus de la caséine  $\alpha S1$  diffèrent selon les races, et au sein d'une même race selon les sous-populations étudiées (Jordana *et al* 1995, Manfredi *et al* 1998). Ainsi, en race Alpine, la

sélection étant axée sur la matière et le taux protéique, on observe que la fréquence des allèles forts chez les femelles nées de boucs d'IA est pratiquement deux fois supérieure à celle observée chez les femelles non issues du schéma de sélection (0,46 vs 0,25).

Depuis 1999, progressivement, des caractères fonctionnels sont venus compléter la sélection sur la production laitière. C'est le cas de la morphologie mammaire. La sélection sur la morphologie mammaire a un impact indirect sur la longévité des animaux par le biais d'une réduction du taux de réformes prématurées liées à des défauts de la mamelle d'origine morphologique. Elle a également une incidence sur le travail des éleveurs en agissant sur la facilité de traite et la réduction du temps de traite. Enfin, elle permet d'agir sur la santé de la mamelle (réduction des mammites cliniques et subcliniques). L'héritabilité des caractères concernant la mamelle varie entre 0,20 et 0,35 (Piacère *et al* 1998). La corrélation génétique avec les caractères laitiers est variable et dépend des critères morphologiques considérés : de faiblement positive (c'est le cas de l'avant-pis et de la forme de l'arrière-pis avec des corrélations inférieures ou égales à 0,16 dans les deux races) à fortement négative (cas notamment du plancher de la mamelle) (tableau 2).

Dans le programme de sélection français, le principe d'un index combiné a également été retenu pour les caractères fonctionnels. Ainsi, l'IMC (Index Morphologique Caprin) (Clément *et al* 2006) combine plusieurs index sur des paramètres considérés comme les plus pertinents par les producteurs : le profil de la mamelle (PRM), la position du plancher (PLA), la qualité de l'attache arrière (QAA) et la forme de l'arrière pis (FAP). Ces quatre caractères morphologiques sont responsables de 80% de l'ensemble de la variabilité génétique de la mamelle. Les différences phénotypiques et génétiques observées entre la race Alpine et la race Saanen ont conduit à la définition de deux index de synthèse distincts :

Alpine :  $IMC = 1,5 \times PRM + PLA + QAA + FAP$   
Saanen :  $IMC = PRM + PLA + QAA + 0,5 \times FAP$

La nécessité de limiter la dégradation de la morphologie mammaire constatée par les producteurs tout en poursuivant l'amélioration de la production laitière a conduit les acteurs professionnels à s'intéresser au poids relatif à accorder aux caractères laitiers et morphologiques en vue de l'élaboration d'un index synthétique global. En race Saanen, compte tenu des oppositions plus marquées entre caractères laitiers et morphologiques, un poids plus important a été donné à l'IMC qu'en race Alpine. Dans l'index de synthèse global, le poids de la morphologie est de 44% en race Saanen et de 33% en race Alpine. Ces pondérations ont été choisies de façon à ce qu'il y ait une réponse à la sélection positive ou nulle sur tous les postes de morphologie mammaire tout en limitant la perte sur les caractères laitiers. Les différentielles de sélection sur les mères à boucs diminuent en moyenne de 15% sur la production laitière, et de 5 à 10% sur les quantités de matière grasse et protéique.

### 3.2 / Perspectives en termes de sélection génétique

De nombreux autres paramètres fonctionnels peuvent être considérés. Parmi ceux-ci figurent au premier chef la résistance aux maladies. Par exemple, la santé de la mamelle (mammites cliniques et subcliniques) influe sur le bien-être des animaux ainsi que sur la quantité et la qualité du lait produit. Le diagnostic des infections mammaires peut être réalisé soit directement par la bactériologie, soit indirectement par le biais des comptages de cellules somatiques. Dans ce domaine, les recherches se sont principalement axées au cours de ces dernières années sur l'interprétation des numérations cellulaires (Sierra *et al* 1999) et la définition de seuils de diagnostic présomptif (Baudry *et al* 1999). Les paramètres génétiques des numérations cellulaires ont été estimés (Rupp *et al* 2004). L'héritabilité est d'environ 0,20 et la corrélation génétique avec la quantité de lait est proche de zéro.

**Tableau 2.** Corrélations génétiques entre la production de lait et les paramètres de morphologie de la mamelle.

Race	Avant pis	Profil mamelle	Plancher mamelle	Largeur attache arrière	Forme arrière pis	Orientation trayons
Saanen	0	-0,30	-0,55	-0,31	+0,03	-0,17
Alpine	+0,07	-0,23	-0,43	-0,17	+0,16	-0,24

Au-delà des mammites, d'autres maladies peuvent avoir un impact sur les coûts de production, la qualité des produits et le bien-être animal. Le CAEV (Virus de l'arthrite encéphalite caprine) occasionne des arthrites mais affecte également la mamelle. La susceptibilité à cette infection rétrovirale pourrait être associée au polymorphisme du complexe majeur d'histocompatibilité (Ruff et Lazary 1988, Amills et al 1999). La tremblante mérite également d'être considérée. La période d'incubation de cette encéphalopathie spongiforme est associée au polymorphisme du gène de la protéine PrP (Goldmann *et al* 1996, Corbière *et al* 2006, Mariat *et al* 2006, Goldmann *et al* 1996, 2006). En ce qui concerne la résistance au parasitisme, une variabilité génétique a été observée et des héritabilités modérées rapportées (Baker *et al* 1999, Mandonnet *et al* 1999).

Les recherches sur le plan de la sélection portent par ailleurs sur la facilité de traite. La qualité et l'efficacité de la traite résultent de l'interaction entre la morphologie et la physiologie de la mamelle d'une part et les conditions de traite d'autre part lesquelles incluent les paramètres de réglage des installations de traite (niveau de vide, fréquence et rapport de pulsation, Lu *et al* 1991, Bruckmaier *et al* 1994). L'existence d'un gène majeur influant sur le débit de traite (volume collecté après une minute de traite) a été suspectée puis confirmée (Ricordeau *et al* 1990, Ilahi *et al* 2000). Ce gène majeur expliquerait environ la moitié de l'ensemble de la variation génétique : héritabilité totale de 0,5 et héritabilité polygénique de 0,3. Sur le plan phénotypique, des associations entre caractéristiques de la mamelle et facilité de traite ont été rapportées (Montaldo et Martinez-Lozano 1993, Bruckmaier *et al* 1994) mais les corrélations génétiques ne sont pas connues. Selon Ilahi *et al* (2000), il semble que les corrélations génétiques entre la vitesse de traite et la production laitière soient faibles ( $rg = 0,10$ ) alors que les corrélations phénotypiques entre ces paramètres dépassent 0,25 (Peris *et al* 1996, Ilahi 1999a). Les corrélations entre facilité de traite et mammites, telles qu'elles peuvent être appréhendées au travers des numérations cellulaires ou des CMT (*California Mastitis Test*), sont faibles sur le plan phénotypique, selon Montaldo et Martinez-Lozano (1993) et Ilahi *et al* (1999b). Les corrélations génétiques correspondantes restent indéterminées à ce jour en filière caprine.

Parmi ces nouveaux caractères étudiés, si on trouve la plupart du temps une influence du patrimoine génétique sur l'expression des caractères, il ne s'en déduit pas qu'une action de sélection peut et doit être entreprise. L'importance économique du caractère est un critère de choix primordial, et la possibilité de mesurer le caractère dans les conditions de l'élevage en est une autre. A cet égard, on peut avancer que les prochains critères pris en compte dans le schéma de sélection seront les numérations cellulaires et le débit de traite, en utilisant d'une part les comptages cellulaires fournis par les laboratoires d'analyses en même temps que les taux protéique et butyreux, et d'autre part les cinétiques d'émission du lait, que l'on pense pouvoir recueillir à grande échelle grâce au développement prometteur de nouveaux compteurs électroniques, bientôt utilisés par les organismes de contrôle laitier.

La sélection «génomique» permettra peut-être de prendre en compte les autres critères, difficiles à mesurer sur un grand nombre d'animaux. A ce titre, un programme est en cours d'élaboration afin de construire des outils adaptés à cette sélection pour l'espèce caprine (création de puce SNP spécifique).

## 4 / L'amélioration génétique des races caprines Alpine et Saanen repose sur une organisation collective

### 4.1 / Une organisation basée sur un ensemble de structures spécialisées

Les programmes de sélection s'appuient sur l'action concertée des éleveurs, des organismes et entreprises de sélection, des organismes de contrôle de performances, et de l'appui technique et scientifique de structures spécialisées. La Loi d'Orientation Agricole du 5 janvier 2006, réformant et adaptant au contexte actuel la Loi sur l'Élevage de 1966, précise les missions de chacune des structures participant à l'amélioration génétique des animaux d'élevage. En ce qui concerne la filière caprine, sept organisations sont concernées :

- les EDE (Etablissements de l'Élevage) : gestion de l'identification animale. En accord avec la réglementation européenne, toutes les chèvres sont officiellement identifiées de façon pérenne par deux boucles d'oreille ;

- le contrôle officiel des performances laitières est assuré par des organismes disposant d'un monopole pour cette activité sur une zone territoriale déterminée ; à partir de 2009, ces organismes seront agréés pour six ans suite à un appel d'offre lancé par le Ministère de l'Agriculture. En France, le Contrôle laitier officiel concerne environ 350 000 chèvres provenant de 2000 élevages. Les données correspondantes sont enregistrées dans un système d'information génétique national ;

- la mise en place de la semence dans les élevages peut être assurée soit par une entreprise de mise en place de semences préalablement déclarée auprès de l'Institut de l'Élevage, soit par l'éleveur lui-même sur son propre troupeau, après déclaration préalable auprès de son EDE. La plupart des entreprises d'insémination caprine sont regroupées au sein de l'Union nationale des coopératives d'élevage et d'Insémination Artificielle ;

- Capgènes, qui résulte de la fusion entre le centre national de production de semence caprine (Capri-IA) et l'organisme de sélection de l'espèce caprine Caprigène-France, assure la production de semence et coordonne le schéma national d'amélioration génétique des races Alpine et Saanen. Capgènes rassemble tous les partenaires de la sélection caprine et détermine ainsi de manière concertée les objectifs de sélection. Cet organisme tient le Livre généalogique des reproducteurs ; il est responsable de la qualification des reproducteurs caprins et de la délivrance de leurs certificats d'origine (pedigree accompagnant les animaux notamment lors de transactions avec les pays étrangers) ;

- l'Institut de l'Élevage fournit un appui technique et logistique aux organismes de la filière génétique et coordonne la gestion du système d'information de l'espèce ;

- le système d'information génétique caprin est constitué d'une base nationale, regroupant toutes les informations disponibles sur les animaux en contrôle de performance, y compris les données généalogiques et raciales ; la maîtrise d'œuvre de la base nationale est confiée au Centre de Traitement de l'Information Génétique (CTIG) de l'INRA ; les éleveurs et les organismes techniques partenaires accèdent à la base par plusieurs Centres Régionaux Informatiques qui assurent la gestion du premier niveau des données ;

- l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) réalise l'évaluation génétique des reproduc-

teurs (calcul des index), et fournit les appuis scientifiques nécessaires à la définition des objectifs de sélection et à la conception des schémas de sélection.

## 4.2 / La création du progrès génétique résulte de la collaboration de tous les acteurs

### a) L'évaluation génétique des animaux

L'évaluation de la valeur génétique des animaux repose sur des méthodes statistiques spécifiques et utilise le BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction* : estimateur de maximum de vraisemblance de l'ensemble des valeurs génétiques des animaux) appliqué au modèle animal. L'avantage de cette approche est de fournir des estimations non biaisées : tout d'abord, l'ensemble de l'information disponible (tous les liens de parenté entre individus) est prise en compte ; ensuite, la méthode permet de dissocier dans les performances des animaux les effets génétiques et environnementaux. Pour séparer la part de variance due à ces différents effets, l'hypothèse est faite qu'il existe des liens génétiques entre troupeaux (connexion génétique). La qualité de l'évaluation génétique va en grande partie dépendre de la structure des données recueillies et de la qualité de la connexion au sein de la population étudiée. En pratique, le principal moyen de connecter les différents élevages est de recourir à l'insémination artificielle.

L'évaluation génétique des chèvres sur les caractères laitiers est calculée pour l'ensemble des troupeaux réalisant un contrôle des performances officiel mais les index ne peuvent être publiés que pour les élevages connectés, c'est-à-dire participant au programme de sélection. La qualité de la connexion prend en compte la proportion de femelles nées de boucs d'IA ainsi que toutes les autres sources de connexion et notamment la présence de femelles dont le grand-père paternel est lui-même issu d'IA (Fouilloux *et al* 2007), ceci dans la mesure où la majeure partie des boucs employés pour la monte naturelle sont issus de pères d'IA. En ce qui concerne les caractères fonctionnels, la connexion ne constitue pas un problème dans la mesure où les 2/3 des femelles pointées sont des filles de boucs d'IA et où le pointage n'est réalisé que dans les exploitations recourant à l'insémination artificielle. Ainsi, les index correspondants ne sont-ils calculés et

publiés que dans une sous-population d'élevages connectés.

### b) L'organisation du noyau de sélection et du testage

Une étape majeure dans l'élaboration des programmes de sélection et l'amélioration génétique a été franchie en 1992 avec la création d'un noyau de sélection, structure rassemblant les éleveurs les plus intéressés par le progrès génétique. Ces producteurs doivent inséminer *a minima* 30% de leur cheptel avec des doses de semence issues de boucs en testage. En contrepartie, ils bénéficient de conseils techniques personnalisés en matière de sélection et d'un accès plus large aux semences de très haut niveau génétique. En 2006, le programme de sélection concernait 160 000 chèvres de races Alpine et Saanen issues de 800 élevages.

La création du progrès génétique passe par la procréation des futurs mâles améliorateurs d'insémination. Pour ce faire, des accouplements raisonnés sont réalisés. Les meilleures femelles de la base de sélection (5%) sont identifiées pour devenir les futures «mères à boucs» et inséminées avec les semences des meilleurs mâles améliorateurs encore appelés «pères à boucs». Ces accouplements (600 à 800 par an) sont raisonnés en fonction des performances génétiques des animaux sur l'ensemble des caractères laitiers et fonctionnels et prennent en compte les filiations de manière à éviter la consanguinité et préserver la variabilité génétique.

Chaque année, 350 mâles nés dans le cadre des accouplements programmés sont suivis en ferme par Capgènes afin de sélectionner ceux qui seront les plus aptes à entrer dans le centre de production de semence. Plusieurs contrôles sont réalisés et concernent aussi bien leur filiation et index sur ascendance que leur statut sanitaire. Les contrôles sanitaires sont étendus aux mères des boucs présélectionnés et à leurs troupeaux d'origine. A l'issue de ces tests préliminaires, 200 mâles sont choisis et subissent, à leur entrée en centre de production, une période de quarantaine de 30 j mise à profit pour de nouveaux examens sanitaires et de croissance. En fin de quarantaine, seuls 120 mâles sont conservés et soumis à des contrôles individuels visant à évaluer leur comportement sexuel (libido, capacité à fournir de la semence en vagin artificiel), leur fonction sexuelle (production de semence de qualité en quantité suffisante) et l'aptitude de la semence à sup-

porter la congélation (survie des spermatozoïdes après congélation à -196°C). Après cette nouvelle série de contrôles, les 70 boucs restants sont testés sur descendance en vue de déterminer leur niveau génétique. Tous les mâles éliminés sont réformés.

Le testage sur descendance est fondé sur la mise en œuvre d'environ 200 inséminations par mâle au sein des élevages inscrits au Contrôle laitier. L'objectif fixé est d'obtenir un minimum de 30 filles en contrôle de performances officiel par mâle mis en testage (le nombre moyen de filles contrôlées par mâle est de 80). La valeur génétique des mâles est définie au travers de l'appréciation des performances laitieres et de la morphologie mammaire de leurs filles. Les boucs (30 à 40) présentant les meilleurs index sont retenus comme améliorateurs et agréés pour être diffusés par insémination en semence congelée. Les autres sont réformés.

## Conclusion

Le recours à l'insémination artificielle répond à une double demande de la filière caprine : maîtrise de la saisonnalité d'une part, amélioration des performances, notamment laitieres, d'autre part. Cette synthèse montre l'incidence de l'évolution des techniques dans ces deux domaines ainsi que l'importance d'une démarche collective en matière de sélection.

Sur le plan de la reproduction, l'obtention d'une fertilité à l'IA satisfaisante reste une préoccupation constante des producteurs. Elle exige, de fait, une technicité importante et l'application rigoureuse des protocoles établis par les structures scientifiques et techniques, pour le choix préalable des femelles à inséminer (état sanitaire, âge, niveau de lactation, stade physiologique, fertilité antérieure...) aux conditions d'insémination (aussi proche que possible du moment de l'ovulation) en passant par la détection de l'œstrus. Par ailleurs, de nouvelles procédures sans recours aux hormones exogènes sont en cours de mise au point pour répondre aux demandes professionnelles et sociétales opposées dans leur ensemble à l'utilisation des produits chimiques et des traitements hormonaux. Les investigations en cours pour l'obtention d'ovulations synchrones en dehors de la saison sexuelle, sont basées sur un conditionnement lumineux, effet bouc et IA. Elles doi-

vent être poursuivies avec pour objectif d'obtenir des niveaux de fertilité élevés après IA avec un nombre minimum d'interventions par lot pour limiter les coûts pour l'éleveur. La mise au point d'une détection automatisée de l'oestrus est souhaitable dans ce type d'approche, pour réduire l'investissement en temps de la part de l'éleveur et optimiser les conditions d'IA.

Des solutions sont en cours d'étude pour l'amélioration et la simplification des techniques de conservation de la semence. La suppression de l'étape d'élimination du plasma séminal avant le traitement de la semence pour une conservation à basse température dans l'azote liquide est en cours d'investigation. Deux voies sont prospectées, l'une consiste à inhiber l'activité lipase, l'autre est basée sur une adaptation des traitements lumineux des boucs d'IA. En effet il a été mis en évidence que les boucs soumis aux rythmes lumineux les plus courts (45JL/45JC) produisaient une semence à plus faible activité lipase que ceux soumis à des rythmes plus longs (60JL/60JC) ou durant la saison sexuelle naturelle.

Les critères habituels basés sur une observation de la semence au microscope optique pour la sélection des éjaculats utilisables en IA sont en cours de réévaluation. Une augmen-

tation forte du pouvoir de diffusion des boucs d'IA est attendue de cette évolution.

De plus, la prédiction par tests de laboratoire de la fertilité des boucs d'IA constitue aussi un enjeu pour le développement de l'IA. Les nombreuses études en cours chez les mammifères, dont l'espèce caprine, n'ont pas encore permis d'obtenir de modèles pertinents, mais des espoirs sont permis avec les modèles actuels en cours d'études.

L'IA en semence fraîche en complément de la semence congelée constituerait une solution pour l'utilisation d'un plus grand nombre d'éjaculats (30% sont éliminés après congélation) et aussi d'un plus grand nombre de boucs notamment ceux éliminés pour cause de non congélabilité de leurs semences. Actuellement la fertilité après IA en semence fraîche diminue fortement après 24 h de conservation. Des travaux sont en cours avec pour objectif de préserver le pouvoir fécondant pendant 48-72 h avant l'IA.

Sur le plan de l'amélioration génétique, l'efficacité du schéma de sélection français est désormais reconnue. Il répond à la plupart des objectifs des producteurs caprins. De nouvelles études restent néanmoins nécessaires pour intégrer de nouveaux critères, adapter

les objectifs de sélection aux nouveaux besoins de la filière et aux demandes diversifiées du marché. Enfin, les approches moléculaires devraient permettre d'améliorer encore la sélection sur les caractères laitiers. La cartographie du génome, notamment, est en cours d'élaboration, et permettra d'envisager à moyen terme la détection des QTL (*Quantitative Trait Loci* : régions chromosomiques intervenant dans la variabilité des caractères quantitatifs) et d'aborder leur localisation fine.

L'ouverture à l'Europe doit être une préoccupation permanente pour cette espèce ayant un fort impact économique parmi les productions animales dans les pays du sud de l'Europe. Des partenariats existent déjà notamment dans le cadre du schéma de sélection avec les éleveurs du nord de l'Italie. Un réseau européen constitué d'associations d'éleveurs, d'entreprises laitières a fonctionné en relation avec des laboratoires de recherches, dont l'INRA, pour améliorer, harmoniser et développer les techniques de maîtrise de la reproduction par IA. Ce réseau européen est en cours de réactivation pour la mise au point et le développement d'alternatives à l'utilisation des hormones exogènes pour la reproduction des chèvres.

## Références

- Amills M., Sanchez A., Manfredi E., 1999. Allelic frequencies of the Mhc class II DRB gene in *caprine arthritis-encephalitis virus* infected goats. 2<sup>nd</sup> Ann. Conf. new re-emerging infectious diseases. University of Illinois, Urbana-Champaign, USA, abstract, 23.
- Analla M., Jiménez-Gamero I., Muñoz Serrano A., Serradilla J.M., Falagan A., 1996. Estimation of genetic parameters for milk yield and fat and protein contents of milk from Murciano-Granadina goats. *J. Dairy Sci.*, 79, 1895-1898.
- Baker R.L., Audho J.O., Aduda E.O., Thorpe W., 1999. Genetic resistance to gastrointestinal nematode parasites in some indigenous breeds of sheep and goats in Kenya. In: *Lush to genomics: visions for animal breeding and genetics*, Jay L. (Ed), University Press, Ames, Iowa, USA, 85-96.
- Barbieri M.E., Manfredi E., Elsen J.M., Ricordeau G., Bouillon J., Grosclaude F., Mahé M.F., Bibé B., 1995. Influence du locus de la caséine *cas1* sur les performances laitières et les paramètres génétiques des chèvres de race Alpine. *Genet. Sel. Evol.*, 27, 437-450.
- Baudry C., Mercier P., Mallereau M.P., Lenfant D., 1999. Utilisation des numérations cellulaires individuelles pour la détection des infections mammaires subcliniques de la chèvre : définition de seuils. In: *Milking and milk production of dairy sheep and goats*, EAAP Publication, 95, 119-123.
- Belichon S., Manfredi M., Piacère A., 1998. Genetic parameters of dairy traits in the Alpine and Saanen goat breeds. *Genet. Sel. Evol.*, 30, 529-534.
- Boichard D., Bouloc N., Ricordeau G., Piacere A., Barillet F., 1989. Genetic parameters for first lactation dairy traits in the Alpine and Saanen goat breeds. *Genet. Sel. Evol.*, 21, 201-215.
- Boué P., Sigwald J.P., 2001. Statistiques et bilan génétique de l'IA en espèce caprine. *Capri-IA*, Institut Elevage (Eds), Nov. 2002, Mignaloux Beauvoir, France, CR, 3309, 34p.
- Bruckmaier R., Ritter C., Schams D., Blun J., 1994. Machine milking of dairy goats during lactation: udder anatomy, milking characteristics, and blood concentrations of oxytocin and prolactin. *J. Dairy Res.*, 61, 457-466.
- Capgenes, 2008. Communication personnelle.
- Chemineau P., 1987. Possibilities for using bucks to stimulate ovarian and oestrus cycles in anovulatory goats. A review. *Livest. Prod. Sci.*, 17, 135-147.
- Chemineau P., Daveau A., Maurice F., Delgadillo J.A., 1992a. Seasonality of oestrus and ovulation is not modified by subjecting female Alpine goats to a tropical photoperiod. *Small Rumin. Res.*, 8, 299-312.
- Chemineau P., Malpoux B., Delgadillo J. A., Guérin Y., Ravault J. P., Thimonier J., Pelletier J., 1992b. Control of sheep and goat reproduction: use of light and melatonin. *Anim. Reprod. Sci.*, 30, 157-184.
- Chemineau P., Pellicer-Rubio M.T., Lassoued N., Khaldi G., Monniaux D., 2006. Male induced short oestrous and ovarian cycles in sheep and goats: a working hypothesis. *Reprod. Nutr. Dev.*, 46, 417-429.
- Clément V., Martin P., Barillet F., 2006. Elaboration d'un index synthétique caprin combinant les caractères laitiers et des caractères de morphologie mammaire, *Renc. Rech. Rum.*, 13, 209-212.
- Corbière F., Chauvineau-Perrin C., Barillet F., Lacroux C., Caillat H., Piacère A., Pantano T., Chartier C., Schelcher F., Andreoletti O., 2006. Frequencies of PrP gene genotypes in 6 French goat flocks and associations with susceptibility to natural scrapie. 24<sup>th</sup> World Buiatrics Congr., 15-16<sup>th</sup> October, Nice, France. Abstract.

- Corteel J.M., 1974. Viabilité des spermatozoïdes de bouc conservés et congelés avec ou sans leur plasma seminal : Effet du glucose. *Ann. Biol. Bioch. Biophys.*, 14, 741-745.
- Corteel J.M., 1977. Production, storage and artificial insemination of goat semen. *Proc. Symp. Management of reproduction in sheep and goats, 24-25 July, Madison, Wisconsin, USA*, 41-57.
- Corteel J.M., Baril G., Leboeuf B., Marcellier N., 1978. Voies disponibles pour augmenter l'utilisation des meilleurs boucs. 4<sup>èmes</sup> Journ. Rech. Ovine Caprine, 6-7 Décembre, Paris, France, 358-366.
- Corteel J.M., Leboeuf B., Baril G., 1988. Artificial breeding of adult goats and kids induced with hormones to ovulate outside the breeding season. *Small Rum. Res.*, 1, 19-33.
- Delgadillo J.A., Leboeuf B., Chemineau P., 1991. Decrease in the seasonality of sexual behaviour and sperm production in bucks by exposure to short photoperiodic cycles. *Theriogenology*, 36, 755-770.
- Delgadillo J.A., Leboeuf B., Chemineau P., 1992. Abolition of seasonal variations in semen quality and maintenance of sperm fertilizing ability by short photoperiodic cycles in goat bucks. *Small Rum. Res.*, 9, 47-59.
- Delgadillo J.A., Canedo G.A., Chemineau P., Guillaume D., Malpoux B., 1999. Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology*, 52, 727-737.
- Duarte G., Flores J.A., Malpoux B., Delgadillo J.A., 2008. Reproductive seasonality in female goats adapted to a subtropical environment persists independently of food availability. *Dom. Anim. Endocrinol.*, 35, 362-370.
- Delgadillo J.A., Fitz-González G., Duarte G., Véliz F.G., Carrillo E., Flores J.A., Vielma J., Hernández H., Malpoux B., 2004a. Management of photoperiod to control caprine reproduction in the subtropics. *Reprod. Fertil. Dev.*, 16, 471-478.
- Delgadillo J.A., Cortez M.E., Duarte G., Chemineau P., Malpoux B., 2004b. Evidence that photoperiod controls annual changes in testosterone secretion and body weight in subtropical male goats. *Reprod. Nutr. Dev.*, 44, 183-193.
- Fouilloux M.N., Clément V., Laloë D., 2007. Measuring connectedness among herds in mixed linear models: from theory to practice in large-scale genetic evaluations. *Genet. Sel. Evol.* Accepted.
- Goldmann W., Martin T., Foster J., Hughes S., Smith G., Hughes K., Dawson M., Hunter N., 1996. Novel polymorphisms in the caprine PrP gene: a codon 142 mutation associated with scrapie incubation period. *J. Gen. Virol.*, 77, 2885-2891.
- Grosclaude F., Martin P., 1997. Milk protein polymorphism. *Proc. Int. Dairy Fed. Seminar, Palmerston North, New Zealand*, 241-253.
- Hamada T., Nakajima M., Takeuchi Y., Mori Y., 1996. Pheromone-induced stimulation of hypothalamic gonadotropin-releasing hormone pulse generator in ovariectomized, estrogen-primed goats. *Neuroendocrinology*, 64, 313-319.
- Houdeau E., Furstoss V., Forgerit Y., Bonné J.L., Leboeuf B., 2008. Short duration insemination with frozen semen increases fertility rate in nulliparous goats. *Animal*, 2, 1496-1500.
- Howles C. M., Craigon J., Haynes N.B., 1982. Long-term rhythms of testicular volume and plasma prolactin concentrations in rams reared for 3 years in constant photoperiod. *J. Reprod. Fertil.*, 65, 439-446.
- Ilahi H., 1999a. Variabilité génétique du débit de traite chez les caprins laitiers. Ph. D. thesis, ENSAR, Rennes, France, 95p.
- Ilahi H., Chastin P., Bouvier F., Arhainx J., Ricard E., Manfredi E., 1999b. Milking characteristics of dairy goats. *Small Rumin. Res.*, 34, 97-102.
- Ilahi H., Manfredi E., Chastin P., Monod F., Elsen J.M., Le Roy P., 2000. Genetic variability in milking speed of dairy goats. *Genet. Res.*, 75, 315-319.
- Jordana J., Amills M., Diaz E., Angulo C., Serradilla J.M., Sanchez A., 1995. Gene frequencies of caprine  $\alpha$ s1-casein polymorphism in Spanish goat breeds. *Small Rum. Res.*, 20, 215-221.
- Karsch F.J., Robinson J.E., Woodfill C.J.I., Brown M.B., 1989. Circannual cycles of luteinizing hormone and prolactin secretion in ewes during a prolonged exposure to a fixed photoperiod: evidence for an endogenous reproductive rhythm. *Biol. Reprod.*, 41, 1034-1046.
- Leboeuf B., Guillouet P., Batellier F., Bernelas D., Bonné J.L., Forgerit Y., Renaud G., Magistrini M., 2003. Effect of native phosphocaseinate on the *in vitro* preservation of fresh semen. *Theriogenology*, 60, 867-877.
- Leboeuf B., Guillouet P., Bonné J.L., Forgerit Y., Magistrini M., 2004. Goat semen preserved at 4°C until 76 hours before artificial insemination: different attempts to maintain the fertility. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 34, 233-235.
- Lloeje M.U., Van Vleck L.D., Wiggans G.R., 1981. Components of variance for milk and fat yields in dairy goats. *J. Dairy Sci.*, 64, 2290-2293.
- Lu C.D., Potchoiba M.J., Loetz E.R., 1991. Influence of vacuum level, pulsation ratio and rate on milking performance and udder health in dairy goats. *Small Rum. Res.*, 5, 1-8.
- Mahé M.F., Manfredi E., Ricordeau G., Piacere A., Grosclaude F., 1993. Effets du polymorphisme de la caséine  $\alpha$ s1 sur les performances laitières : analyse intra-descendance de boucs de race Alpine. *Genet. Sel. Evol.*, 26, 151-157.
- Mandonnet N., Aumont G., Gruner L., Bouix J., Vu Tien Khang J., Arquet R., Varo H., 1999. Direct and maternal genetic effects for resistance to strongyles in Creole goats. 17<sup>th</sup> Int. Conf. WAAP, 15-19 August, Copenhagen, 191-196.
- Manfredi E., Leroux C., Piacère A., Martin P., Elsen J.M., Grosclaude F., 1998. Use of a major gene in a dairy goat selection scheme. 49<sup>th</sup> Annual Meeting of the EAAP, Warsaw, Poland, 24-27 august, 12p.
- Mariat D., Andréoletti O., Perrin-Chauvineau C., Corbière F., Piacère A., Lacroux C., Chadi S., Cribiu E. P., Chartier C., Schelcher F., Barillet F., 2006. Identification of PrP gene polymorphisms in Alpine and Saanen french goats associated with susceptibility to scrapie. 8<sup>th</sup> World Congr. Genet. Applied Livest. Prod., Belo Horizonte, Brésil, 13-18 août, CD Rom, 15-29.
- Martin G.B., Milton J.T.B., Davison R.H., Banchemo Hunzicker G.E., Lindsay D.R., Blache D., 2004. Natural methods for increasing reproductive efficiency in small ruminants. *Anim. Reprod. Sci.*, 82-83, 231-246.
- Mavrogenis A.P., Constantinou A., Louca A., 1984. Environmental and genetic causes of variation in production traits of Damascus goats. II. Goat productivity. *Anim. Prod.*, 38, 99-104.
- Montaldo H., Martinez Lozano F.J., 1993. Phenotypic relationships between udder and milking characteristics, milk production and California mastitis test in goats. *Small Rum. Res.*, 12, 329-337.
- Muller C.J.C., Cloet S.W.P., Schoeman S.J., 2002. Estimation of genetic parameters for milk yield and milk composition of South African Saanen goats. *Proc. 7<sup>th</sup> World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod.*, Montpellier, France, 259-262.
- Ortavant R., Pelletier J., Ravault J.P., Thimonier J., Volant-Nail P., 1985. Photoperiod. Main proximal and distal factor of the circannual cycle of reproduction in farm animals. *Oxf. Rev. Reprod. Biol.*, 7, 305-345.
- Ott R.S., Nelson D.R., Hixon J.E., 1980. Effect of presence of the male on initiation of estrous cyclicity of goats. *Theriogenology*, 13, 183-190.
- Pellicer-Rubio M., Combarous Y., 1998. Deterioration of goat spermatozoa in skimmed milk-based extenders as a result of oleic acid released by the bulbourethral lipase BUSgp60. *J. Reprod. Fertil.*, 112, 95-105.
- Pellicer-Rubio M.T., Leboeuf B., Bernelas D., Forgerit Y., Pougard J.L., Bonné J.L., Senty E., Chemineau P., 2007a. Highly synchronous and fertile reproductive activity induced by the male effect during deep anoestrus in lactating goats subjected to treatment with artificially long days followed by a natural photoperiod. *Anim. Reprod. Sci.*, 98, 241-258.
- Pellicer-Rubio M.T., Leboeuf B., Bernelas D., Forgerit Y., Pougard J.L., Bonné J.L., Senty E., Breton S., Brun F., Chemineau P., 2008. High fertility using artificial insemination during deep anoestrus after induction and synchronisation of ovulatory activity by the male effect in lactating goats subjected to treatment with artificial long days and progestagens. *Anim. Reprod. Sci.*, 109, 172-188.
- Peris S., Such X., Caja G., 1996. Milkability of Murcinao-Granadina dairy goats: milk partitioning and flow rate during milking according to parity, prolificacy and mode of suckling. *J. Dairy Res.*, 63, 1-9.
- Piacère A., Bouloc-Duval N., Sigwald J.P., Larzul C., Manfredi E., 1997. Utilisation de l'index combiné caprin et du polymorphisme de la caséine alpha s1 dans le schéma de sélection caprin. *Renc. Rech. Rum.*, 4, 187-190.
- Piacère A., Manfredi E., Lahaye P., 1998. Analyse génétique de la morphologie des chèvres Saanen et Alpine françaises. Milking and milk production of dairy sheep and goats, EAAP Publication, 95, 375-380.
- Piacère A., Ricordeau G., Manfredi E., Sigwald J., Lahaye P., Bibe B., Bouillon J., 2000. The French example on genetic improvement of protein contents in milk goat. 7<sup>th</sup> Int. Conf. Goats, 1, 18-22.
- Ricordeau G., Bouillon J., Le Roy P., Elsen J.M., 1990. Déterminisme génétique du débit de traite au cours de la traite des chèvres. *INRA Prod. Anim.*, 3, 121-126.
- Ruff G., Lazary S., 1988. Evidence for linkage between the Caprine Leucocyte Antigen

(CLA) system and susceptibility to CAE virus-induced arthritis in goats. *Immunogenetics*, 28, 303-309.

Rupp R., Clément V., Piacère A., Manfredi E., 2004. Goat milk somatic cell count is a heritable

trait. 55<sup>th</sup> EAAP, Bled, Slovenia, September 3-8, abstract 46.

Sias B., Ferrato F., Pellicer-Rubio M., Forgerit Y., Guillouet P., Leboeuf B., Carrière F., 2005. Cloning and seasonal secretion of the pancreatic lipase-rela-

ted protein2 present in goat seminal plasma, 2004. *Biochim. Biophys. Acta*, 1686, 169-180.

Sierra D., Sanchez A., Corrales J.C., Contreras A., 1999. Milking and milk production of dairy sheep and goats, EAAP Publication, 95, 178-180.

## Résumé

**La saisonnalité de la reproduction chez les chèvres originaires des latitudes tempérées ou subtropicales peut maintenant être contrôlée par des changements artificiels de la photopériode. Les jours courts stimulent l'activité sexuelle tandis que les jours longs l'inhibent. Ces connaissances ont permis le développement de traitements photopériodiques pour le contrôle de l'activité sexuelle des chèvres et des boucs.**

**En France, l'Insémination Artificielle (IA) des chèvres joue un rôle central pour le contrôle des appariements et l'organisation du schéma de sélection. La plupart des chèvres sont inséminées en dehors de la saison sexuelle avec de la semence cryoconservée, après induction hormonale de l'ovulation seule ou en combinaison avec des traitements photopériodiques. Les taux de fertilité sont en moyenne de 65%. De nouvelles stratégies sont en cours d'expérimentation. Elles sont basées sur l'IA après un effet mâle pour réduire l'utilisation des hormones.**

**Le schéma de sélection s'est développé grâce aux progrès de l'IA. Ce schéma repose sur des plans d'accouplements entre reproducteurs d'élite, le testage sur descendance en fermes et la diffusion des semences de boucs améliorateurs. Après les caractères laitiers, les caractères fonctionnels sont désormais pris en compte. Actuellement, l'accent est mis sur la morphologie de la mamelle. La résistance à certaines maladies est à l'étude. Outre cette approche de génétique quantitative, de nouvelles perspectives basées sur une approche moléculaire permettront de détecter des gènes économiquement intéressants pour l'élevage caprin.**

## Abstract

### *Controlling reproduction in selection schemes of dairy goats*

Reproductive seasonality observed in all breeds of goats originating from temperate latitudes and in some breeds from subtropical latitudes can now be controlled by artificial changes in photoperiod. Short days stimulate sexual activity, while long days inhibit it. This knowledge has allowed the development of photoperiodic treatments to control sexual activity in goats, in both the buck and doe. In the French intensive milk production system, goat artificial insemination plays an important role in controlling reproduction and, in conjunction with progeny testing, in improving milk production. Most dairy goats are inseminated out of the breeding season with deep frozen semen, after induction of oestrus and ovulation by hormonal treatment. This protocol provides a kidding rate of about 65%. New breeding strategies based on the buck effect associated with artificial insemination are being developed to reduce the use of hormones. With the development of insemination with frozen semen, a classical selection program was set up, including planned mating, progeny testing and the diffusion of proven sires by insemination in herds. Functional traits have become important for efficient breeding schemes in the dairy goat industries. Emphasis on functional traits related to udder morphology and health resulted from the knowledge established during the last decade. New windows have been opened based on new molecular tools allowing the detection and mapping of genes of economic importance in farm animals.

LEBOEUF B., DELGADILLO J.-A., MANFREDI E., PIACERE A., CLEMENT V., MARTIN P., PELLICER-RUBIO M.T., BOUÉ P., DE CREMOUX R., 2008. Place de la maîtrise de la reproduction dans les schémas de sélection en chèvres laitières. *INRA Prod. Anim.*, 21, 391-402.