

Maxi'mâle – Optimisation de la gestion des reproducteurs mâles dans les schémas de sélection des petits ruminants

**Clément V.¹, Astruc J.M.¹, Bidan F.², Erhard H.³, Fatet A.⁴, Furstoss V.⁵, Larroque H.⁶,
Le Danvic C.⁷, Rupp R.⁶, Sellem E.⁷, Lagriffoul G.¹**

¹ Institut de l'Élevage, F-31320 Castanet Tolosan

² Institut de l'Élevage, F-49071 Beaucouzé

³ MoSAR, AgroParisTech, INRAE, Université Paris-Saclay, F-75005 Paris

⁴ PRC, CNRS, IFCE, INRAE, Université de Tours, F-37380 Nouzilly

⁵ FERLus, INRAE, F-86600 Lusignan

⁶ GenPhySE, Université de Toulouse, INRAE, INPT, ENVT, F-31320 Castanet Tolosan

⁷ ALLICE, F-75012 Paris

Correspondance : virginie.clement@idele.fr

Résumé

Le projet Maxi'mâle s'est intéressé à la gestion des mâles reproducteurs dans les schémas de sélection de petits ruminants. Des outils ont été fournis aux centres d'élevage et de production de semence pour les aider à optimiser l'élevage de leurs animaux, en particulier : 1) l'utilisation de l'échographie pour repérer les mâles présentant des anomalies structurelles au niveau du parenchyme testiculaire et comme indicateur précoce de la mise en place de la fonction sexuelle, de façon à anticiper les réformes subies 2) des recommandations au niveau de l'élevage et des pratiques d'entraînement, afin de faciliter la collecte et de réduire le taux de mâles avec des problèmes de comportement, 3) des index pour améliorer le niveau génétique des mâles sur des caractères de morphologie fonctionnelle et de production de semence.

Mots-clés : Mâles d'IA, centre de production de semence, petits ruminants, schémas de sélection, échographie testiculaire, pratiques d'élevage, sélection génétique.

Abstract: Maxi'mâle – Management optimisation of AI males in small ruminants breeding programs

Maxi'mâle project focused on male management in selection scheme of small ruminants. Tools have been produced for AI (Animal Insemination) centers to help them to optimize male breeding, especially: 1) use of ultrasonography to detect male with abnormalities of parenchyma texture and as an early predictor of sexual function set up, in order to anticipate involuntary cullings 2) breeding and semen collection practices recommendations with the aim of facilitating sperm collection and reduce the rate of males with behavioral problems, 3) estimated breeding values to improve males genetic level on morphology and semen production traits.

Keywords: AI males, semen production centers, small ruminants, selection scheme, testicular ultrasonography, husbandry practices, genetic selection.

Introduction

L'organisation des schémas de sélection de petits ruminants repose sur deux étapes essentielles : 1) la création du progrès génétique au niveau d'un noyau de sélection par la réalisation d'accouplements dont le niveau génétique des descendants est supérieur au niveau moyen de la population, et 2) la diffusion de ce progrès génétique dans les élevages utilisateurs par le biais de l'Insémination Animale (IA). Dans ce dispositif, les mâles améliorateurs jouent donc un rôle central. Après une période en élevage, ils entrent dans des centres d'élevage ou des Centres de Production de Semence (CPS), mais un nombre important de béliers ou de boucs sont alors éliminés avant de pouvoir être utilisés en tant que mâles améliorateurs. Les causes d'élimination sont multiples avec des fréquences variables entre filières ou entre races. Dans l'espèce caprine, par exemple, près de 45% des mâles étaient éliminés avant la mise en testage pour des problèmes de conformation, de comportement ou de qualité de la semence. Les pertes de charge sont donc importantes et ces réformes subies ont un impact direct sur le coût du schéma (entretien des animaux, difficultés d'entraînement, mauvaise qualité de la semence) et sur son efficacité en réduisant l'intensité de sélection sur les caractères recherchés par la filière.

Le projet Maxi'mâle (Optimisation de la gestion des reproducteurs mâles dans les schémas de sélection des petits ruminants, 2015-2018), transversal aux trois filières de petits ruminants (ovins laitiers, ovins allaitants et caprins) avait plusieurs objectifs visant à optimiser la gestion de ces mâles améliorateurs :

- Anticiper les éliminations des mâles sur des caractéristiques morphologiques et identifier des indicateurs précoces de la mise en place de la fonction sexuelle, en relation avec la capacité à produire de la semence de qualité à l'âge adulte, grâce à l'élaboration d'outils d'aide à la gestion des reproducteurs.
- Mettre en relation les pratiques d'élevage (depuis les élevages naisseurs jusqu'aux CPS) et les méthodes d'entraînement avec la facilité d'apprentissage de la collecte, étape clé dans la carrière des reproducteurs, l'objectif étant de réduire le pourcentage d'animaux éliminés pour défaut de comportement et, d'une manière générale, de faciliter la mise en place de la collecte des mâles.
- Prédire le potentiel génétique des futurs reproducteurs sur les caractères de production de semence et rechercher la meilleure façon d'intégrer ces informations dans les schémas de sélection.

La réalisation du projet a reposé sur un partenariat entre l'Institut de l'Élevage, ALLICE, l'Institut National de la Recherche Agronomique, le Laboratoire National de Contrôle des Reproducteurs, l'Organisme et Entreprise de Sélection (OES) Capgènes et l'Entreprise de Sélection (ES) Ovitest.

1. Optimiser le choix des mâles sur des critères de morphologie et de précocité

L'objectif de cette partie était de déterminer des critères précoces d'élimination des mâles, facilement mesurables par les centres d'élevage et les CPS.

1.1 *Prise en compte de la morphologie fonctionnelle des béliers*

Le choix des béliers qui entrent au centre d'IA est basé sur leurs index génomiques, mais également sur leurs aptitudes fonctionnelles, c'est-à-dire le poids et la croissance, et les caractéristiques morphologiques telles que le dos et les aplombs. Compte tenu du coût du génotypage et du coût d'achat et d'entretien des béliers, il est important de diminuer ou d'optimiser les contraintes liées aux défauts fonctionnels ou aux poids trop faibles, au bénéfice du choix sur index génomiques. Afin de limiter ces causes de réformes, nous avons recherché comment améliorer la gestion des caractères de morphologie et de croissance des béliers en centre d'élevage. Pour cela, une analyse génétique a été réalisée sur ces caractères.

1.1.1 Données utilisées

Les données de morphologie fonctionnelle reposent sur une table de pointage (Figure 1) et concernent les postes suivants : ligne de dos, jarrets, largeur des épaules, membres avant et arrière, pâtures avant et arrière. Les béliers des deux centres Lacaune lait (Confédération Générale de Roquefort et Ovitest) ont été pointés sur 5 campagnes successives (2012 à 2016), soit 9936 observations de pointage.

A partir des pesées réalisées sur les béliers âgés de 35 à 150 jours, des Gains Moyens Quotidiens (GMQ) et des Poids à Age Type (PAT) ont été calculés.

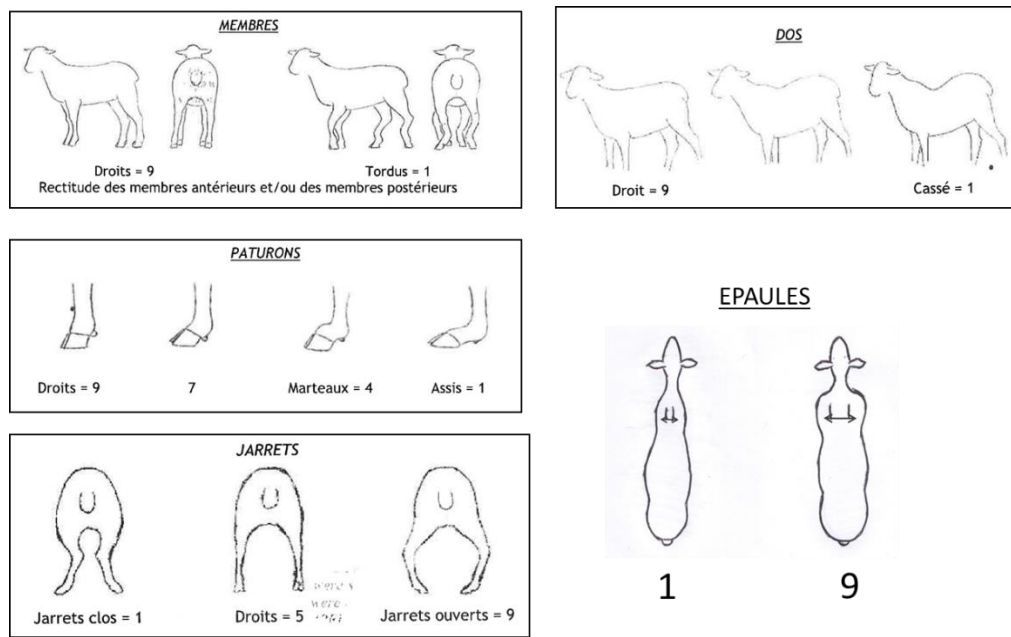


Figure 1 : Table de pointage des postes de morphologie pour les béliers

1.1.2. Méthodes d'étude

L'analyse a consisté en une estimation des paramètres génétiques afin de connaître la part d'origine génétique de ces caractères. Dans un second temps, afin de rechercher si une région particulière du génome était associée à la morphologie fonctionnelle ou à la croissance des béliers, une analyse de détection de QTL (Quantitative Trait Locus) a été réalisée.

1.1.3. Résultats et discussion

Les héritabilités estimées sont modérées et varient selon les différents postes (Tableau 1), les héritabilités les plus fortes étant obtenues pour la ligne de dos, les jarrets et la largeur des épaules. Il existe un lien génétique favorable entre avant et arrière pour les membres (corrélation de 0,84) et les pâtures (corrélation de 0,76). Les corrélations entre les autres postes montrent qu'une ligne de dos droite est associée à des membres droits, des pâtures droites et des épaules larges.

Les héritabilités des caractères de croissance sont modérées et varient entre 0,15 et 0,33 pour les PAT, entre 0,17 et 0,28 pour les GMQ. Les GMQ sont négativement corrélés avec les postes de morphologie, en particulier les membres et les pâtures. Une croissance élevée a donc un impact négatif sur la morphologie fonctionnelle, notamment les pâtures avant et arrière. Dans les centres, un rationnement est mis en place vers 90 jours pour éviter ces problèmes.

L'écart entre les notes de pointage et les données de croissance entre les béliers retenus et ceux éliminés est présenté Tableau 2 pour les deux centres. Les béliers gardés pour l'IA ont des notes de morphologie fonctionnelle supérieures à ceux non retenus. En ce qui concerne les PAT et les GMQ,

l'écart entre béliers retenus et béliers éliminés augmente avec l'âge des animaux, les croissances précoces ayant peu d'impact. Les différences observées entre les deux groupes d'animaux montrent que ces caractères sont déterminants pour le choix des animaux, soit directement, soit indirectement car liés à d'autres caractères.

Tableau 1 : Héritabilités (sur la diagonale) et corrélations génétiques (au-dessus de la diagonale) pour les différents postes de morphologie

	Ligne de dos	Jarrets	Membres arrières	Membres avant	Pâturons arrières	Pâturons avant	Epaules
Ligne de dos	0,28	-0,02	0,33	0,53	0,16	0,41	0,26
Jarrets		0,23	0,12	-0,04	-0,09	-0,03	0,12
Membres arrières			0,18	0,84	-	-	0,53
Membres avant				0,19	-	-	0,41
Pâturons arrières					0,14	0,76	0,31
Pâturons avant						0,16	0,09
Epaules							0,26

Tableau 2 : Ecart entre les béliers gardés pour l'IA et les béliers non gardés pour les notes de pointage et les données de croissance

	Confédération Générale de Roquefort	Ovitest
Ligne de dos	0,27	0,29
Jarrets	0,40	0,02
Membres Arrières	0,38	-0,05
Membres Avant	0,88	0,32
Pâturons Arrières	0,63	0,15
Pâturons Avant	0,94	0,32
Epaules	0,36	0,24
PAT 35	0,15 kg	-0,2 kg
PAT 60	1,17 kg	0,6 kg
PAT 90	1,38 kg	0,6 kg
PAT 120	1,66 kg	5,2 kg
PAT 150	4,72 kg	7,3 kg
GMQ 35_60	-2 g/j	8 g/j
GMQ 60_90	23 g/j	6 g/j
GMQ 90_120	22 g/j	37 g/j
GMQ 120_150	36 g/J	44 g/J

Les détectations de QTL n'ont pas permis de mettre en évidence de zone ayant un impact sur les postes de morphologie fonctionnelle, excepté pour les paturons arrière où une zone faiblement significative a été trouvée sur les chromosomes 13 et 21, ce qui laisse supposer deux QTL. Ces résultats devront être confirmés sur de nouvelles données. On peut cependant conclure qu'il n'y a pas de gènes majeurs à exploiter sur les postes de morphologie fonctionnelle qui sont régis par un déterminisme essentiellement polygénique.

L'ensemble de ces résultats montre que les caractéristiques morphologiques et la croissance des béliers sont importantes pour la carrière future des mâles et qu'il existe une origine génétique, polygénique, pour ces caractères. Les héritabilités laissent envisager des possibilités de sélection et, globalement, les liens génétiques entre caractères sont favorables. Une évaluation génétique a donc été mise en place, dans le cadre du projet, pour les caractères de morphologie fonctionnelle afin de produire périodiquement des index qui sont utilisés au niveau du schéma pour sélectionner les animaux. Une réflexion a été conduite avec l'Organisme de Sélection et les deux ES afin de définir un index synthétique permettant de sélectionner conjointement l'ensemble des caractères de morphologie.

1.2 Recherche de prédicteurs et d'indicateurs de la mise en place de la fonction sexuelle des jeunes mâles

1.2.1 Protocoles de mesure

L'objectif était de réaliser différentes mesures sur les boucs et les béliers afin de mettre en évidence un indicateur précoce de la capacité à produire de la semence que les centres pourront utiliser comme outil de gestion de leurs animaux. De nouveaux phénotypes ont été testés tels que des clichés échographiques pour estimer la qualité du tissu testiculaire, le taux d'AMH (hormone antimüllérienne) plasmatique pour évaluer la période de mise en place de la puberté, la mesure de la circonférence scrotale pour estimer le volume testiculaire et la mesure des anomalies morphologiques des spermatozoïdes sur les premiers éjaculats produits. Les mesures ont été réalisées sur de jeunes animaux depuis leur entrée en centre jusqu'à la période de production.

Pour les béliers, les échographies et les mesures testiculaires ont été réalisées à 3 reprises au cours de l'année 2015, puis une nouvelle fois en 2016. Pour les boucs, les mesures ont été faites à 4 reprises pour chacune des deux années de suivi (2015 et 2016).

Le dosage d'AMH plasmatique a été réalisé sur les béliers suivis, au même moment que les échographies. De façon à établir une cinétique de cette hormone au cours du temps, un échantillon plus réduit de béliers a été prélevé tous les 10 jours de la fin du mois de décembre jusqu'à la mi-mars.

Pour analyser les anomalies morphologiques au niveau de la semence, une aliquote des 6 premiers éjaculats produits chaque semaine par chacun des mâles a été analysée au service d'andrologie du LNCR afin de produire des spermogrammes.

Toutes les données concernant le démarrage de la fonction sexuelle et la production de semence ont été collectées par les centres de production de semence (Ovitest en ovin et Capgènes en caprins).

Au total, 1600 béliers et 355 boucs ont été suivis à l'âge de 2 à 4 mois. L'ensemble des phénotypes collectés a permis l'élaboration d'une base de données conséquente, à partir de laquelle a été réalisée l'analyse statistique.

1.2.2 Analyse des données

Les clichés d'échographie testiculaire enregistrés ont été traités à l'aide d'un logiciel de façon à générer des données quantitatives (moyenne et variance d'échogénicité, distribution du niveau de gris, ...) permettant leur prise en compte dans les analyses statistiques.

L'ensemble des données collectées ont été mises en relation les unes avec les autres, et avec les informations collectées par les centres : données de comportement, information sur la précocité, caractères de production de semence. L'objectif était de prédire la future carrière des mâles sur trois principaux aspects :

- Le devenir du mâle, c'est-à-dire s'il sera gardé ou éliminé par le centre,
- Le démarrage de la fonction sexuelle : animal précoce vs tardif,
- Le niveau de production (quantité de semence produite).

Des modèles de régression, ainsi qu'une approche statistique basée sur un algorithme d'apprentissage automatique CART (Classification and Regression Trees), ont été utilisés pour essayer de déterminer plus finement les paramètres prédictifs. Cette méthode permet de définir un modèle statistique qui ségrège de façon optimale les animaux du dispositif (70% de la population sert à la création du modèle).

1.2.3 Résultats et discussion

Dans les deux espèces, la technique de l'échographie a été efficace pour mettre en évidence des anomalies du testicule qui peuvent entraîner des problèmes de fertilité : calcification, abcès, vacuolarité, parenchyme hétérogène ou totalement déstructuré.

▪ Espèce ovine

Les analyses ont mis en évidence des différences significatives entre les béliers gardés et ceux éliminés pour l'ensemble des phénotypes (volume testiculaire, échogénicité du tissu testiculaire, taux d'AMH plasmatique) aux différents points de mesure, mais aussi au niveau de la cinétique d'évolution des variables. Cependant, il y a trop de recouvrement entre les deux populations de béliers pour envisager de trouver un seuil suffisamment discriminant, basé sur cette première analyse. L'approche CART n'apparaît pas non plus satisfaisante : si la totalité des béliers prédits gardés l'ont réellement été, seuls 50% des béliers prédits non gardés ont été éliminés. La raison est le déséquilibre au niveau de l'effectif des deux groupes d'animaux avec très peu de béliers éliminés.

Concernant le niveau de production, les différents modèles n'ont pas permis de mettre en évidence de différence significative entre les différents types de béliers.

Afin d'étudier le démarrage de la fonction sexuelle, les béliers ont été répartis dans trois catégories (précoces, intermédiaires et tardifs). L'utilisation d'un modèle de régression basé sur la cinétique d'évolution de l'ensemble des variables mesurées (volume testiculaire, échogénicité et chute d'AMH) a permis de construire un prédictif du démarrage de la fonction sexuelle et donc de déterminer à quelle catégorie appartiennent les béliers.

▪ Espèce caprine

Les différents modèles utilisés n'ont pas permis de prédire de façon suffisamment fiable le devenir des boucs, ni le démarrage de la fonction sexuelle ou le niveau de production, en raison d'un effectif trop réduit.

L'intérêt de l'utilisation de l'échographie testiculaire pour prédire le potentiel reproducteur des mâles a été démontré chez les taureaux (Coursin, 2012) et les béliers (Ahmadi et al., 2012). Les résultats obtenus dans le projet ont montré que l'échographie testiculaire pouvait être un outil de gestion pour les centres, d'autant plus que son approche est relativement simple et peu coûteuse. Suite au projet, une formation a donc été réalisée pour permettre aux centres de s'approprier cette technique et d'anticiper l'élimination des mâles présentant des anomalies testiculaires, qui présenteront par la suite des problèmes de fertilité. En ovins, les résultats permettront aussi de cibler le démarrage de la fonction sexuelle, et de réformer les mâles les plus tardifs, ou d'adapter la période d'entraînement. Par la suite, les données d'échographie collectées par les centres viendront enrichir la base de données, afin qu'une nouvelle analyse puisse être réalisée avec des effectifs plus conséquents.

2. Agir sur les conditions d'élevage et d'apprentissage pour améliorer les performances des mâles

Les jeunes mâles qui entrent en CPS vont devoir à terme fournir de la semence de qualité et en quantité suffisante. Ils passent donc par une phase d'apprentissage avant de pouvoir être collectés de façon régulière. A cette étape, certains animaux peuvent être éliminés pour défauts de comportement qui se manifestent de façons diverses : peur de l'homme, refus de saut, manque de libido,... L'élevage des jeunes mâles serait une étape clé avec un impact important sur le comportement sexuel (Orgeur et al., 1988).

2.1 Exploration des conduites d'élevage des futurs mâles reproducteurs

L'objectif était d'étudier la diversité des conditions d'élevage et d'apprentissage des mâles reproducteurs et d'identifier des pratiques favorables à la mise en place du comportement sexuel.

2.1.1 Méthodes de travail

Pour explorer les conduites d'élevage, des actions ont été réalisées à différents niveaux :

- Les données de conditions d'élevage ont été collectées, par le biais de questionnaires distribués aux éleveurs, dans les élevages fournissant des mâles à trois CPS : Capgènes pour les caprins, le Centre Départemental de l'Elevage Ovin pour la filière ovine laitière et Insem'ovin pour la filière ovine allaitante.
- Des enquêtes semi-directives portant sur la gestion des mâles reproducteurs et des futurs mâles d'IA ont été réalisées dans des élevages privés. Les élevages caprins ont été choisis car les boucs qu'ils fournissent à Capgènes ont un taux de réforme pour cause comportementale très faible ou très élevé. Les élevages ovins ont été sélectionnés car ils étaient habitués à manipuler leurs mâles reproducteurs (pour de la monte en main par exemple).
- Des visites de l'ensemble des 9 CPS ovins et caprins ont été réalisées et les données de conduite alimentaire, de photopériodisme et d'entraînement ont été enregistrées.
- Des informations sur le comportement des mâles ont été collectées dans les CPS tout au long de l'entraînement, afin de réaliser une typologie des mâles en fonction de leur capacité à être collectés. Ces données de comportement ont aussi été croisées avec les caractéristiques d'hébergement et de manipulation des animaux dans les CPS et les pratiques des élevages d'origine des mâles.

Les enquêtes en élevage ont concerné les sujets suivants :

- La présentation de l'exploitation et la conduite de la reproduction,
- Les conditions d'élevage des jeunes (séparation de la mère, sevrage, événements stressants).
- Le contact homme-animal et la perception par l'éleveur du travail avec les animaux.
- La visite des bâtiments et l'observation du comportement des mâles.

2.1.2 Résultats et discussion

▪ Enquêtes dans les CPS

Une fiche de synthèse a été élaborée pour chaque centre avec des informations sur l'alimentation, l'hébergement, les pratiques d'élevage et d'entraînement, le plan des bâtiments avec la circulation des animaux et le résultat des mesures au luxmètre.

Les analyses statistiques des pratiques des CPS ont permis de dégager plusieurs tendances :

- Aucun effet du traitement photopériodique n'a été mis en évidence sur les difficultés de comportement à l'entraînement.
- Les centres avec un délai court entre l'entraînement et la collecte et utilisant de nombreuses pratiques pour les mâles récalcitrants éliminent moins de mâles présentant des problèmes de comportement.

Chez les boucs (Capgènes), la réussite de la collecte au cours de la période d'entraînement est influencée par :

- L'âge à la collecte : la réussite s'améliore avec l'âge,
- Le nombre de tentatives de collecte précédant la collecte considérée : les chances d'observer un saut s'améliorent au cours de l'entraînement,
- L'âge au sevrage : la réussite tend à être meilleure quand le sevrage est fait plus jeune,
- L'âge à l'écornage : s'il y a écornage, l'écornage précoce semble favorable.

Chez les béliers Manech Tête Rousse (CDEO), la réussite de la collecte au cours de la période d'entraînement est influencée par :

- Le poids de l'animal : la collecte est plus facile pour les animaux plus légers,
- La période d'entraînement : la collecte est plus facile pour les animaux entraînés en désaisonné que ceux entraînés en saison,
- Le GMQ : la période d'entraînement est moins longue pour les béliers avec un meilleur GMQ.

Chez les béliers viande (Insem'ovin), il n'a malheureusement pas été possible d'envisager d'analyses statistiques poussées car les effectifs étaient faibles et le dispositif était déséquilibré (nombre de sollicitations différent selon les béliers, par exemple).

▪ **Enquêtes dans les élevages**

Les facteurs testés étaient la race, la présence ou l'absence de mâles agressifs ou peureux dans l'élevage, la manipulation fréquente des mâles par l'éleveur, la réaction à l'approche d'une personne inconnue, le taux d'élimination élevé/faible des mâles entrés en centre (pour les élevages fournisseurs), l'impact des manipulations stressantes (poids au sevrage, âge à l'écornage, au bouclage ou à la pose de tip-tag, nombre et moment des pesées et des vaccins). D'un point de vue statistique, aucun de ces facteurs n'avait d'effet significatif sur l'élimination des mâles.

Les discussions avec les éleveurs, en particulier ceux habitués à manipuler des mâles, ont permis de dégager plusieurs pistes pour faciliter la collecte : passer plus de temps avec les animaux (cet aspect était aussi ressorti lors des enquêtes dans les centres), rester calme, utiliser des animaux meneurs, récompenser les animaux avec de la nourriture.

2.2 Evaluation de nouvelles pratiques d'entraînement des jeunes mâles en centre d'IA

L'objectif était d'essayer d'améliorer la collecte des animaux en proposant des évolutions aux centres. Ce travail a été réalisé à Capgènes et à CORSIA.

2.2.1 Méthode de travail

Des évolutions ont été proposées en s'appuyant sur le bilan réalisé au niveau des centres et lors de visites par un spécialiste du comportement animal.

A Capgènes, un certain nombre d'aménagements ont été proposés :

- Au niveau des locaux : déplacement de la source lumineuse dans la salle de collecte car l'ombre portée faisait peur aux animaux, installation de barrières pleines pour mieux canaliser les animaux durant les trajets, de la peinture noire au sol pour éviter les ombres.
- Au niveau de la phase d'apprentissage : des mesures ont été mises en place afin de dissocier différentes étapes dans l'apprentissage de façon à ce qu'il soit plus progressif.

En parallèle, des relevés de comportement ont été réalisés de façon à adapter l'apprentissage au comportement des différents boucs et à augmenter ainsi son efficacité.

A CORSIA, les béliers à mettre en testage sont choisis au mois de juin, puis ils sont laissés en lutte libre avec les agnelles pendant les mois de juillet et août. Les entraînements démarrent au mois de septembre. Pendant l'été, les seuls contacts que les animaux ont avec l'homme sont lorsque les animaliers les nourrissent et pratiquent des tris hebdomadaires pour les changer de lot de lutte, cette pratique pouvant être stressante pour les béliers. Un protocole a été établi avec un double objectif : 1) désensibiliser les béliers à la présence de l'homme et aux manipulations en lot, 2) réaliser une mise en contact avec une brebis à l'attache dans des conditions similaires à la collecte.

2.2.2 Résultats obtenus

Les résultats de ce travail se mesurent au quotidien au niveau du travail des animaliers et de l'organisation de Capgènes :

- Les ajustements réalisés au niveau de la salle de collecte, les relevés de comportement qui permettent de mieux connaître les animaux et les nouvelles pratiques d'entraînement (en dissociant plusieurs étapes dans l'apprentissage des animaux) ont permis une nette progression de la mise en route des boucs : 75% des boucs sont opérationnels deux ou trois semaines après la quarantaine au lieu de 30 à 40% auparavant.
- Le temps passé par bouc au moment de la collecte a diminué ce qui permet un rythme de travail moins soutenu pour les animaliers. Le temps gagné est ré-investi auprès des boucs plus difficiles.
- Le nombre de paillettes réalisées en 2017 était supérieur à l'année précédente à la même date. Les problèmes de comportements ont été réduits et le pourcentage de boucs récalcitrants est en baisse sur les dernières années.

A CORSIA, les entraînements de septembre qui ont suivi le protocole mis en place se sont déroulés avec plus de facilité que les années précédentes. Les animaux étaient plus calmes et le nombre de jours de sollicitation était moins important : il est passé à 19 jours en moyenne au lieu de 28 ou 29 jours les années précédentes. Finalement l'expérimentation conduite sur les béliers a permis d'augmenter le pourcentage de béliers gardés à l'issue du testage de 6% par rapport à la moyenne des années précédentes (57% contre 51% en moyenne sur les 4 dernières années).

Les évolutions proposées au niveau des centres ont eu un impact réel sur la gestion des mâles au quotidien : le gain de temps et une collecte facilitée ont simplifié le travail des animaliers et ont permis d'augmenter le nombre de mâles collectés.

3. Améliorer le niveau génétique des caractères de production de semence

L'objectif était de réaliser une analyse génétique des caractères de production de semence qui sont collectés en routine par Capgènes. L'estimation des paramètres génétiques et la mise en place d'une indexation permettront à terme d'envisager une sélection génétique sur ces caractères. En parallèle, une détection de QTL a été réalisée de façon à mieux connaître le déterminisme génétique de ces caractères.

3.1 Méthodes d'étude

Des analyses de variance ont été réalisées afin de tester plusieurs facteurs de variation susceptibles d'avoir un impact sur les caractères de production de semence et de définir un modèle d'analyse qui a été ensuite utilisé pour l'analyse génétique. Les analyses de variance ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS. Les paramètres génétiques ont ensuite été estimés pour les cinq caractères de production de semence : volume (en ml), concentration (en milliards/ml), nombre de spermatozoïdes (en milliards), pourcentage de spermatozoïdes vivants, motilité (note de 1 à 5, avec un pas d'un demi-point). Les deux derniers caractères sont mesurés après décongélation de la semence. Les analyses ont été conduites séparément chez les jeunes (en saison naturelle) et chez les adultes (sous photopériodisme). Enfin,

une évaluation génétique a été mise en place sur ces 5 caractères de production de semence. La corrélation entre les index production de semence et les index des autres caractères en sélection a été estimée.

Pour la détection de QTL, les génotypages réalisés à l'aide de la puce 50K SNPs d'Illumina (Tosser-Klopp et al., 2014) ont été utilisés. Les phénotypes pris en compte étaient les moyennes par mâle des performances de leurs filles corrigées pour les différents effets du modèle. Des génotypes et phénotypes étaient ainsi disponibles pour un total de 672 boucs Alpin et 519 boucs Saanen.

L'analyse d'association a été réalisée à l'aide de modèles mixtes polygéniques et mis en œuvre avec le logiciel Gemma (Zhou et Stephens, 2012). Les résultats sont considérés significatifs au seuil corrigé pour les tests multiples d'après la méthode de Bonferroni.

3.2. Résultats et discussion

3.2.1 Recherche d'un modèle d'analyse

Les facteurs significatifs étaient les suivants :

- Pour le volume et le nombre de spermatozoïdes en race Saanen : âge et mois de collecte, interaction âge*mois*année, interaction intervalle entre collectes*année.
- Pour la concentration, le pourcentage de spermatozoïdes vivants, la motilité et le nombre de spermatozoïdes en race Alpine : interaction âge*mois*année, interaction intervalle entre collectes*année

3.2.2 Estimation des paramètres génétiques

Les valeurs d'héritabilité sont plus élevées chez les jeunes animaux que chez les adultes (Tableau 3). Chez les jeunes, elles varient entre 0,13 et 0,22 pour le volume, la concentration et le nombre de spermatozoïdes et entre 0,06 et 0,10 pour les caractères mesurés après décongélation. Quoiqu'un peu plus faibles, les estimations d'héritabilité sont semblables à celles de l'étude de Furstoss et al. (2009) sur la même population de boucs, avec des données plus anciennes et un effectif moins important. Elles sont aussi du même ordre de grandeur que celles estimées en France dans des races ovines (David et al., 2007). A l'inverse, les études réalisées en France chez des taureaux présentent des valeurs d'héritabilité plus fortes pour la motilité et le pourcentage de spermatozoïdes vivants (Basso et al., 2005 ; Ducrocq et Humblot, 1995).

Les héritabilités estimées ainsi que le coefficient de variation génétique (rapport de l'écart type génétique sur la moyenne), qui varie entre 10 et 21% en fonction du caractère et de la race, montrent qu'il existe une variabilité génétique pour ces caractères et qu'une sélection peut être envisagée.

Tableau 3 : Héritabilités estimées (en gras sur la diagonale : Saanen / Alpine) et corrélations génétiques entre caractères (Alpine au-dessus de la diagonale et Saanen en-dessous) pour les jeunes boucs. Les écarts types d'erreur des héritabilités sont égaux à 0,02 ou 0,03 pour le pourcentage de spermatozoïdes vivants et la motilité et ils varient entre 0,03 et 0,05 pour les autres caractères.

	Volume	Concentration	Nb spz	% spz vivants	Motilité
Volume	0,23 / 0,17	-0,35 ± 0,14	0,81 ± 0,05	-0,46 ± 0,17	-0,45 ± 0,16
Concentration	-0,66 ± 0,15	0,19 / 0,22	0,24 ± 0,15	0,45 ± 0,15	0,44 ± 0,14
Nb spz	0,88 ± 0,05	-0,25 ± 0,21	0,13 / 0,13	-0,24 ± 0,20	-0,21 ± 0,20
% spz vivants	-0,43 ± 0,18	0,48 ± 0,17	-0,29 ± 0,21	0,10 / 0,06	0,99 ± 0,01
Motilité	-0,35 ± 0,18	0,43 ± 0,17	-0,23 ± 0,22	0,99 ± 0,14	0,10 / 0,08

Nb spz : nombre de spermatozoïdes ; % spz vivants : pourcentage de spermatozoïdes vivants

Avant d'envisager une amélioration génétique sur les caractères de production de semence, il est nécessaire de connaître les relations génétiques qui existent entre caractères. Certains sont corrélés favorablement, comme le volume et le nombre de spermatozoïdes, ou encore la concentration et le pourcentage de vivants. La corrélation proche de 1 entre le pourcentage de spermatozoïdes vivants et la motilité laisse penser que ces deux caractères ont le même déterminisme génétique. Certains caractères sont opposés comme le volume et la concentration ou le volume et la motilité.

3.2.3 Mise en place d'une évaluation génétique

Une indexation a été réalisée pour chacune des deux races sur les cinq caractères étudiés. Une évaluation différente a été mise en place chez les jeunes en saison naturelle et chez les adultes sous photopériodisme. Plusieurs éjaculats par boucs ont été pris en compte.

Pour certains caractères, les index moyens montrent une évolution positive au cours du temps, comme c'est le cas pour la concentration en race Alpine avec un gain de 150 millions de spermatozoïdes / ml en 13 ans. L'écart entre deux classes extrêmes d'index est de 2,3 milliards de spermatozoïdes / ml. C'est aussi le cas pour la motilité en race Saanen avec une progression de 0,13 points en 20 ans. En revanche, pour d'autres caractères, les index ne présentent pas d'évolution au cours du temps. Ces résultats montrent que l'élimination des boucs les moins bons sur ces caractères de production de semence a contribué à améliorer la population d'un point de vue génétique, même si l'évolution reste très modérée. Une prise en compte de ces caractères au niveau du schéma de sélection devrait donc permettre de progresser significativement sur ces caractères.

3.2.4 Relation génétique avec les caractères en sélection

La corrélation entre les index de production de semence et les index des caractères en sélection et de la fertilité sont présentés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Corrélation entre index des caractères de production de semence et index des caractères en sélection et de fertilité, race Saanen à gauche, race Alpine à droite.

	Concentration	Volume	Nb spz	% spz vivants	motilité
Lait	-0,17 / 0,05	0,35 / 0,23	0,29 / 0,24	0,16 / -0,02	0,15 / -0,03
MP	-0,14 / 0,05	0,33 / 0,23	0,27 / 0,24	0,20 / -0,02	0,18 / -0,02
MG	-0,15 / 0,05	0,33 / 0,23	0,28 / 0,24	0,18 / -0,02	0,17 / -0,02
TP	0,01 / 0	0,04 / 0,10	0,03 / 0,09	0,19 / 0	0,18 / 0,01
TB	0,02 / -0,01	0,04 / 0,06	0,03 / 0,06	0,09 / 0,01	0,09 / 0,01
CCS	0,02 / -0,01	-0,07 / -0,02	-0,06 / -0,03	-0,10 / -0,04	-0,10 / -0,04
IMC	-0,11 / 0	0,24 / -0,02	0,21 / -0,01	0,11 / 0	0,10 / 0
Fertilité	0,15 / 0	-0,19 / 0,05	-0,14 / 0,04	0,01 / 0,10	0 / 0,11

MP : Matière Protéique ; MG : Matière Grasse ; TP : Taux Protéique ; TB : Taux Butyreux ; CCS : Cellules Somatiques du lait ; IMC : Index de synthèse morphologique ; nb spz : nombre de spermatozoïdes ; % spz vivants : pourcentage de spermatozoïdes vivants.

Les corrélations entre les index montrent qu'en race Alpine il n'y a pas de lien entre les caractères de production de semence et les caractères en sélection, excepté entre le volume ou le nombre de spermatozoïdes et les caractères de production laitière (lait, MP et MG) pour lesquels il existe une corrélation favorable. En race Saanen, la situation est plus complexe qu'en race Alpine. Si la majorité des corrélations sont favorables, certaines sont négatives comme entre la concentration et le lait, les matières (MP et MG) et la morphologie ou encore entre le pourcentage de spermatozoïdes vivants ou la motilité et les cellules somatiques. La relation avec la fertilité semble défavorable pour le volume et le nombre de spermatozoïdes.

Les liens entre les caractères de production de semence et les autres caractères s'avèrent complexes en particulier en race Saanen où il existe des interactions entre caractères liées vraisemblablement à des effets de pléiotropie. Cependant, les corrélations entre caractères en sélection et caractères de production de semence sont plutôt favorables, ce qui devrait faciliter la prise en compte de ces derniers au niveau du schéma de sélection.

3.2.5 Détection de QTL

Les résultats de l'analyse d'association mettent en évidence un QTL majeur sur la production de semence sur le chromosome 19 (22,8 – 28,9 Mb) uniquement dans la race Saanen. Les résultats significatifs à l'échelle du génome sont obtenus pour le volume de semence (p -value = $8,43e-21$), le nombre de spermatozoïdes (p -value = $8,6e-11$) et leur concentration (p -value = $9,7e-08$).

Afin de caractériser plus finement le QTL, une analyse de variance a été conduite sur le variant le plus significatif pour les deux caractères : volume de semence et nombre de spermatozoïdes. L'effet du SNP est additif sur le volume. L'allèle A (fréquence égale à 52,8% en race Saanen) est associé à une augmentation du volume, soit +1,36 écart type entre les homozygotes GG et les homozygotes AA. Par ailleurs ce même allèle A est associé à une diminution de la concentration mais une augmentation du nombre total de spermatozoïdes (Figure 2). L'allèle A est très peu fréquent dans la race Alpine (fréquence < 2%). Cet allèle A présente donc un intérêt pour une production augmentée de paillettes d'insémination animale.

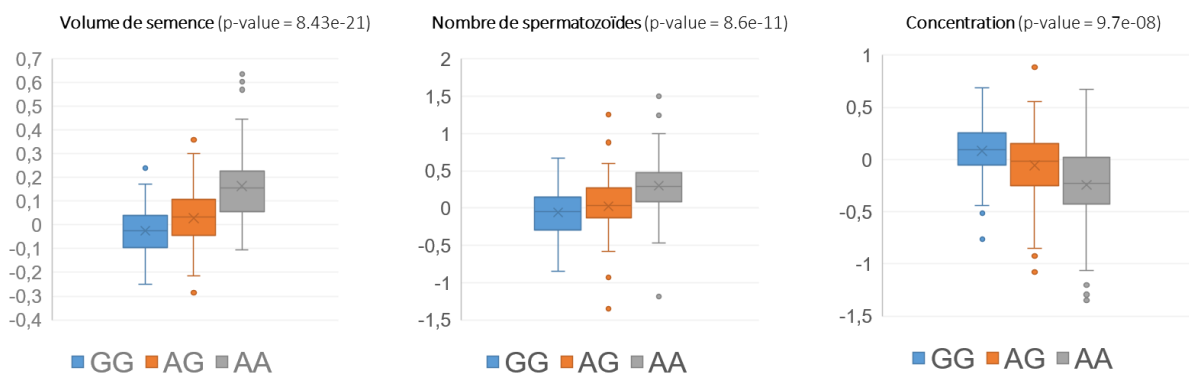


Figure 2 : Moyennes des performances corrigées (volume, nombre de spermatozoïdes et concentration) pour les différents génotypes observés

Le travail réalisé sur les caractères de production de semence a montré qu'il était possible de les prendre en compte dans le schéma de sélection : leur héritabilité est modérée et les corrélations avec les caractères en sélection sont plutôt favorables. L'analyse d'association a mis en évidence, en race Saanen, un QTL majeur sur le chromosome 19 ayant un effet sur le volume, la concentration et le nombre de spermatozoïdes.

Conclusion

Le projet Maxi'mâle a permis de fournir aux centres de production de semence des outils pour les aider à optimiser la gestion de leurs mâles reproducteurs. La technique de l'échographie testiculaire a montré qu'il était possible d'écarter précocement les boucs et les béliers présentant des anomalies structurales des testicules en lien avec des problèmes de fertilité. L'analyse des conditions d'élevage et des pratiques des centres de production de semence a permis de proposer des leviers d'action pour faciliter la collecte et réduire le nombre d'animaux éliminés pour problème de comportement. Des index ont été fournis pour des caractères de morphologie fonctionnelle et de production de semence afin d'améliorer le niveau génétique des mâles.

Références bibliographiques

- Ahmadi B., Pik-Shan Lau C., Giffin J., Santos N., Hahnel A., Raeside J., Christie H., Bartlewski P., 2012. Suitability of epididymal and testicular ultrasonography and computerized image analysis for assessment of current and future semen quality in the ram. *Exp Biol Med (Maywood)*, 237(2), 186-93.
- Basso B., Fritz S., Druet T., Guillaume F., Rossignil N.L., Amigues Y., Gabriel R., Sellem E., Salas-Cortes L., Humblot P., Druart X., 2005. Estimation de paramètres génétiques et estimation de QTL liés à des caractères de fertilité males, de production de semence, et de qualité de la semence chez les taureaux laitiers. *Renc. Rech. Rumin.*, 12, 145-148.
- Coursin S., 2012. Prédiction du potentiel reproducteur des jeunes taureaux par échographie testiculaire et mesure de la circonférence scrotale. Thèse vétérinaire UNCEIA.
- David I., Druart X., Lagriffoul G., Manfredi E., Robert-Granie C., Bodin, L., 2007b. Genetic and environmental effects on semen traits in Lacaune and Manech tête rousse AI rams. *Genet. Sel. Evol.*, 39, 405–419.
- Ducrocq V., Humblot P., 1995. Genetic characteristics and evolution of semen production of young Normande bulls. *Livest. Prod. Sci.*, 41, 1-10.
- Furstoss V., David I., Leboeuf B., Guillouet P., Boué P., Bodin L., 2009. Genetic and non-genetic parameters of several characteristics of production and semen quality in young bucks. *Anim. Reprod. Sci.*, 110, 25-36.
- Orgeur P., Mimouni P., Leboeuf B., Signoret J.P., 1988. Effet de l'expérience sociale au cours du développement sur le comportement sexuel et la production spermatique de jeunes boucs. *Annales de Zootechnie*, 37 (2), 99-110.
- Tosser-Klopp G., Bardou P., Bouchez O., Cabau C., Crooijmans R., Dong Y., Donnadiu-Tonon C., Eggen A., Heuven H.C., Jamli S., Jiken A.J., Klopp C., Lawley C.T., McEwan J., Martin P., Moreno C., Mulsant P., Nabihoudine J., Pailloux E., Palhière I., Rupp R., Sarry J., Savre B.L., Tircazes A., Jun W., Wang W., Zhang W., 2014. Design and characterization of a 52K SNP chip for goats. *International Goat Genome Consortium. PloS One*, 9(1)
- Zhou X., Stephens M., 2012. Genome-wide efficient mixed-model analysis for association studies. *Nat Genet.*, 44, 821-824.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL ou DOI).