



HAL
open science

Qualité des cuirs d’agneaux : “ Déterminisme génétique en race Lacaune ”

Emeric Dugas, Hélène Larroque, Laurence Drouilhet

► To cite this version:

Emeric Dugas, Hélène Larroque, Laurence Drouilhet. Qualité des cuirs d’agneaux : “ Déterminisme génétique en race Lacaune ”. Inrae. 2021. hal-04215063

HAL Id: hal-04215063

<https://hal.inrae.fr/hal-04215063>

Submitted on 22 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers CFR Rennes

| | |
|--|--|
| <p>Année universitaire : 2021-2022</p> <p>Spécialité : Biologie, Agrosiences</p> <p>Spécialisation (et option éventuelle) : Science de l'Animal pour l'Elevage de Demain</p> | <p>Mémoire de fin d'études</p> <p><input type="checkbox"/> d'ingénieur d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> de master d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de Montpellier SupAgro (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p> |
|--|--|

Qualité des cuirs d'agneaux : « Déterminisme génétique en race Lacaune »

Par : Emeric Dugas



source : Lacaune-ovitest.com

Soutenu à Rennes le 29/06/2021

Devant le jury composé de :

Président : François FERRIERE

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Maître de stage : Hélène LARROQUE
Laurence DROUIHLET

Rapporteuse : Sophie ALLAIS

Enseignant référent : Yannick LE COZLER

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier, mes maitres de stage, Hélène LARROQUE, ingénieur de recherche à INRAE au sein de l'équipe GeSPR et Laurence DROUILHET, chargée de recherche à INRAE au sein de l'équipe GenROC pour leur patience, leur disponibilité, leurs précieux conseils ainsi que pour la relecture et la correction de mon mémoire.

Je remercie également les intervenants professionnels du projet « L'A-PROPOS », pour leurs apports de connaissances et leur retour sur mes différentes présentations. La mégisserie Alric, pour m'avoir permis de découvrir comment fonctionnait une tannerie au travers d'une visite, et ainsi comprendre tout le cheminement de l'arrivée des peaux en provenance de l'abattoir, jusqu'à la classification et la vente au client.

Je tiens également à remercier l'équipe GeSPR et l'équipe GenROC, pour les apports de connaissances, les remarques sur mon travail et pour leur bonne humeur !

Je remercie les étudiants, thésards et stagiaires d'INRAE, pour les conseils, l'intégration et le retour d'expérience sur la thèse.

Merci, aux enseignants d'Agrocampus-Ouest, qui m'ont permis d'accéder à cette formation extrêmement intéressante. Merci pour leurs conseils et leur pédagogie. Merci pour leur accompagnement dans nos projets professionnels durant ces deux années de Master.

Sommaire

| | | |
|-------------|---|----------|
| I. | Contexte et enjeux actuels de la filière ovine | 1 |
| II. | Introduction bibliographique | 1 |
| II-A | La filière ovine : Race Lacaune | 1 |
| II-A.1. | Standard de race | 1 |
| II-A.2. | Bassin de production | 2 |
| II-A.3 | Fonctionnement d'un élevage Lacaune lait..... | 2 |
| II-A.4 | Objectifs de sélection de la race Lacaune..... | 3 |
| II-B | Caractéristiques de la laine et des cuirs..... | 4 |
| II-B.1 | Caractéristiques de la laine | 4 |
| II-B.2 | Caractéristiques de la peau..... | 5 |
| II-B.3 | Problématique des défauts de la peau | 5 |
| II-B-3.1 | Le buissonné pailleux | 5 |
| II-B-3.3 | Le piqué de laine..... | 6 |
| II-C | Le génome et les puces de génotypage | 6 |
| II-C.1 | Le génome Ovin | 6 |
| II-C.2 | Les SNP (single-nucleotide polymorphism)..... | 7 |
| II-C-3 | Les puces à SNP..... | 7 |
| II-D | Les paramètres génétique | 7 |
| II-D-1 | L'héritabilité..... | 7 |
| II-D-2 | La corrélation génétique | 8 |
| III. | Matériels et méthode..... | 8 |
| III.A | Population de l'étude | 8 |
| III.B | Description des variables | 9 |
| III.C | Description des facteurs explicatifs..... | 10 |
| III.D | Modèles utilisés | 11 |
| III.D.1 | Modèle d'analyse des variables de la laine | 11 |
| III.D.2 | Modèle d'analyse des variables de toison..... | 11 |
| III.D.3 | Modèle d'analyse des variables de peau..... | 11 |
| III.E | Estimation des paramètres génétiques..... | 12 |
| III-E-1 | Modèle laine | 13 |
| III-E-2 | Modèle toison et peau..... | 13 |

| | |
|--|-----------|
| III.F Nettoyage des géotypages | 13 |
| IV. Résultats et discussion..... | 14 |
| IV-A Exploration des effectifs | 14 |
| IV-B Analyse des variables | 15 |
| IV-B-1 Variables de laine | 15 |
| IV-B-1.1 Répartition des effectifs..... | 15 |
| IV-B-1.2 Résultat du modèle laine | 16 |
| IV-B-1.3 Illustrations des effets significatifs..... | 16 |
| IV-B-2 Variables de toison | 17 |
| IV-B-2.1 Répartition des effectifs..... | 17 |
| IV-B-2.2 Résultat du modèle toison | 18 |
| IV-B-2.3 Illustrations des effets significatifs..... | 19 |
| IV-B-3 Variables de peaux | 20 |
| IV-B-3.1 Répartition des effectifs..... | 21 |
| IV-B-3.2 Résultat des modèles des défauts de peaux..... | 21 |
| IV-B-3.3 Illustrations des effets significatifs pour le piqué de laine | 22 |
| IV-B-3.4 Illustrations des effets significatifs pour le buissonné pailleux | 23 |
| IV-C Traitement des géotypages | 25 |
| IV-D Estimation des paramètres génétiques..... | 26 |
| IV-D-1 Héritabilité des caractères | 26 |
| IV-D-2 Corrélations génétiques | 27 |
| V. Conclusion | 28 |

Liste des figures et des tableaux :

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Année type d'un système d'élevage Lacaune lait dans le Rayon de Roquefort (France génétique élevage, 2010). La frise commence en juillet, chaque lettre correspond à un mois de l'année..... | 2 |
| Figure 2 : Contrôle laitier et organisation pyramidale de la population (France génétique élevage, 2010)..... | 4 |
| Figure 3 : Défaut de buissonné sur une peau tannée (E.Dugas)..... | 5 |
| Figure 4 : Défaut du piqué de laine observable sur une peau d'agneau (A) (E. Dugas). Photomicrographie montrant que le piqué de laine résulte de la rupture des parois folliculaires adjacentes (les piqués de laine sont fléchés) (B) (S.M Cooper, 2002)..... | 6 |
| Figure 5: Protocole expérimental de l'étude, avec l'âge moyen des agneaux à chaque étape..... | 8 |
| Figure 6 : Protocole de notation des peaux Alric | 10 |
| Figure 7 : Nombre d'agneaux par père..... | 14 |
| Figure 8 : Nombre d'agneaux par cheptel..... | 14 |
| Figure 9 : Répartition du nombre d'agneaux par père et par cheptel (un cheptel par couleur, N=16)..... | 14 |
| Figure 10 : Exemple de distribution d'une variable de laine : la finesse..... | 15 |
| Figure 11 : Boxplot de l'effet du cheptel sur la finesse de la laine..... | 16 |
| Figure 12 : Effet du cheptel sur la couverture de laine intermédiaire..... | 19 |
| Figure 13 : Effet de la durée d'engraissement sur la couverture de laine intermédiaire..... | 20 |
| Figure 14 : Effectifs pour la variable du piqué de laine en fonction de l'année..... | 20 |
| Figure 15 : Effectifs pour la variable du buissonné pailleux en fonction de l'année..... | 20 |
| Figure 16 : Relation entre les défauts de piqué de laine et de buissonné pailleux..... | 21 |
| Figure 17 : Relation entre la frisure de la toison et le piqué de laine..... | 22 |
| Figure 18 : Relation entre la couverture laineuse et le piqué de laine..... | 22 |
| Figure 19 : Capacité de compression en fonction de la cotation de piqué de laine..... | 23 |
| Figure 20 : Cotation de buissonné pailleux en fonction de la durée d'engraissement en 2019 (a), en 2020 (b), et les deux ensemble(c)..... | 24 |
| Figure 21 : Cotation de buissonné en fonction du type de râtelier et de la classe de durée d'engraissement. (a : râtelier en hauteur, b :râtelier à fond plat)..... | 24 |
| Tableau 1 : Synthèse des variables utilisées dans l'étude et leur type..... | 9 |
| Tableau 2 : Facteurs explicatifs des caractères de laine, de toison et de peau et leurs effectifs..... | 11 |
| Tableau 3: Récapitulatif des variables de laine..... | 15 |
| Tableau 4 : Synthèse de l'analyse de variance du modèle 1 pour chacune des variables de laine avec les effets significatifs et le coefficient de détermination R ² | 16 |

| | |
|--|----|
| Tableau 5 : sélection des pères extrêmes pour la finesse de la laine avec au moins 15 descendants..... | 17 |
| Tableau 6 : Répartition des effectifs d'agneaux selon chaque catégorie pour chaque caractère de toison | 17 |
| Tableau 7 : Synthèse de l'analyse de variance du modèle toison avec les effets significatifs pour chacune des variables et le coefficient de détermination R^2 | 18 |
| Tableau 8 : Corrélations entre les couvertures et les frisures de laine..... | 18 |
| Tableau 9 : Synthèse des effets significatifs sur les deux défauts de peau : le piqué de laine et le buissonné pailleux et le coefficient de détermination du modèle R^2 ou AIC (critère d'information d'Akaike)..... | 21 |
| Tableau 10 : Récapitulatif des étapes du contrôle qualité des génotypages..... | 25 |
| Tableau 11 : Paramètres génétiques estimés pour chaque caractère : variances génétiques et résiduelles et leurs écart-type d'erreur (SE) estimés en unicaractère, héritabilités (h^2) estimées en unicaractère et leurs écart-type d'erreur (SD), plage de variation des héritabilités obtenues en modèle bi-caractères, coefficient de variation génétique CV_g calculé à partir de la variance génétique unicaractère..... | 26 |
| Tableau 12 : Corrélations génétique entre les caractères de laines, de toisons et de peaux..... | 27 |

I. Contexte et enjeux actuels de la filière ovine

La mégisserie Alric, située à Millau, est spécialisée dans la production de peaux d'agneaux souples et très légères. L'entreprise produit des peaux de très grande qualité destinées au marché « haut de gamme » pour la ganterie, maroquinerie, vêtement, gainerie, chaussures.

Face à la détérioration de la qualité des peaux d'agneaux de race Lacaune dans le bassin du Roquefort, la mégisserie s'est tournée vers un approvisionnement en Espagne. Depuis, la génétique Lacaune s'est largement répandue en Espagne. Ainsi, les défauts qui étaient apparus progressivement sur les peaux en France commencent à se retrouver sur les peaux des agneaux Lacaune issues de la filière espagnole.

Dans ce contexte, la mégisserie Alric a lancé un projet, « L'A-PROPOS » (Filière Lacaune : pour un Approvisionnement Pérenne et Relocalisé de l'Origine des Peaux d'Ovins de qualité Supérieure), destiné à comprendre les facteurs à l'origine de ces défauts de peau. Pour cela, la mégisserie Alric, porteur du projet, a souhaité s'entourer de tous les acteurs de la filière peau afin de construire avec eux un projet qui permette la relocalisation de l'approvisionnement en peaux de qualité. Ainsi, INRAE apporte son expertise en génétique, la coopérative UNICOR regroupe des éleveurs et circuits de production d'agneaux Lacaune et enfin l'entreprise de sélection OVI-TEST apporte les doses de semence des béliers sélectionnés. Dans le cadre de ce projet, un peu moins de 1500 agneaux ont fait l'objet d'un phénotypage comprenant plusieurs caractères (laine, toison, peau).

Mon stage a été réalisé sous la direction de Hélène LARROQUE, ingénieur de recherche, et Laurence DROUILHET, chargée de recherche, au sein de l'unité mixte de recherche GenPhySE (Génétique Physiologie et Système d'Élevage) à INRAE et s'inscrit totalement dans le projet L'A-PROPOS. En effet, mon stage a consisté à analyser les données issues de ce projet.

Avant de présenter le matériel et méthodes ainsi que les résultats, une étude bibliographique est réalisée pour prendre connaissance du fonctionnement d'un élevage ovin, de la sélection en race Lacaune ainsi que des études déjà effectuées sur ces défauts de peaux.

II. Introduction bibliographique

II-A La filière ovine : Race Lacaune

II-A.1. Standard de race

Produit de croisements de plusieurs races locales (Camarés, Larzac, Lauraguaise...), la race Lacaune a subi des infusions de races étrangères (mérinos et Southdown) à la fin du 19^{ème} siècle (France génétique élevage, 2010). Son standard est définitivement fixé par arrêté ministériel en 1902 (Races de France), il comprend entre autres une absence de cornes, une peau blanche, une toison de 1,5 à 2kg et un poids de 70 à 80 kg pour les femelles et de 100kg ou plus pour les mâles.

La race Lacaune est mixte, c'est-à-dire ayant à la fois des aptitudes bouchères et laitières. A partir des années 1970, la sélection de la race a été différenciée en fonction du produit souhaité : la Lacaune lait et la Lacaune viande, créant ainsi deux rameaux génétiques différents (France génétique élevage, 2010).

II-A.2. Bassin de production

Le nom « Lacaune » provient d'une commune dans le Tarn, localisée dans le bassin de production de la race (aussi appelé le Rayon de Roquefort). L'effectif de la race Lacaune est important (1 100 000 brebis) comparé à d'autres races françaises comme le Mouton Vendéen (250 000 brebis) ou les Rouge de l'Ouest (240 000 brebis), mais sa répartition reste néanmoins locale et se concentre sur le Tarn et l'Aveyron pour 75 % des effectifs et sur le Languedoc Roussillon pour 20 % des effectifs (Races de France). La Lacaune est aussi exportée dans plusieurs pays, dont l'Espagne, le Brésil ou encore la Tunisie (AgroParisTech, 2007).

En Espagne, les brebis Lacaune sont au autour de 85 000 pour environ 1400 mâles (Elvira, 2016). Comme en France, on observe une concentration des élevages Lacaune dans certaines régions (Andalousie, Castilla-La Manche, Navarre, Castille et León et Estrémadure). Dans certaines zones il y a des élevages de race Lacaune mais avec une coexistence de races autochtones (Castillas ou Merina), pour conserver une partie de la production de certaines marques de qualité ; le D.O.P Torta del Casar par exemple est produit avec du lait de Merina (Elvira, 2016). En 2007, un organisme de sélection a été créé : l'Asociación Española de Criadores de Raza Lacaune (AESLA, www.Lacaune.es). Leur programme de sélection vise à tirer parti de l'amélioration génétique obtenue dans le programme Français (Elvira, 2016).

II-A.3 Fonctionnement d'un élevage Lacaune lait

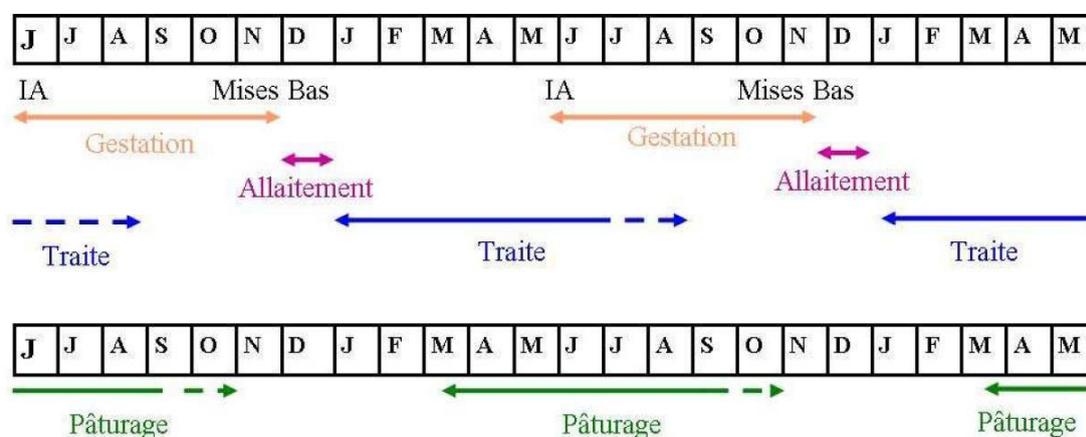


Figure 1 : Année type d'un système d'élevage Lacaune lait dans le Rayon de Roquefort (France génétique élevage, 2010).

La frise commence en juillet, chaque lettre correspond à un mois de l'année.

La mise à la reproduction (50,4% par insémination animale) a lieu en juin-juillet pour des mises-bas en automne. Les agnelages se déroulent de novembre à décembre pour les brebis, et sont décalés d'un mois environ pour les agnelles. L'allaitement dure généralement un mois, puis les agneaux sont sevrés. C'est seulement après cette période que la traite exclusive débute, pour 6 à 8 mois (figure 1), à raison de deux traites par jour avec un intervalle de 12 h.

Le pâturage commence entre février et avril suivant l'altitude des exploitations, et dure jusqu'au début de l'automne (figure 1). En bergerie, l'alimentation des brebis est à base de fourrages, plus ou moins riches en azote suivant leur stade de lactation. L'alimentation comprend aussi

une complémentation avec du concentré d'aliment, à raison de 200 à 800 grammes par jour par animal selon les élevages (France génétique élevage, 2010).

Après le sevrage des agneaux, l'éleveur conserve une grande majorité des agnelles pour le renouvellement du troupeau. Les agneaux mâles, pour la majorité, ne sont pas gardés sur leur élevage de naissance et peuvent être soit vendus en agneaux de lait, soit envoyés en engraissement vers des engraisseurs spécialisés. Unicor est un groupe agricole et agro-alimentaire qui représente 100% des agneaux à indication géographique protégée (IGP) sud-ouest abattus. Ce groupe fait partie du projet l'A-PROPOS, il est historiquement présent en Aveyron mais couvre aujourd'hui plusieurs départements notamment le Tarn, le Lot, la Garonne ou la Lozère.

Chaque année, plus d'un million d'agneaux Lacaune naissent et seulement un quart d'entre eux sont gardés sur les exploitations pour renouveler le cheptel. Certaines associations dénoncent un surplus de naissances, et des agneaux seulement produits pour fabriquer du lait (Association L214, 2019). Cependant, ces agneaux sont valorisés pour leur viande ainsi que pour leur cuir. La mégisserie Alric fait partie des entreprises valorisant le cuir d'agneaux, qui représente 90% de leur production (Leatherfashiondesign.fr).

II-A.4 Objectifs de sélection de la race Lacaune

L'UPRA Lacaune est l'organisme de sélection de la race. Elle coordonne les activités des différentes entreprises de sélection (Gebro, Ovi-test et Confédération de roquefort), qualifie les reproducteurs et fixe les orientations raciales.

La race Lacaune viande possède 2 schémas de sélection dirigés par GEBRO et par Ovi-test. On trouve des critères similaires au sein de ces deux schémas de sélection comme le rendement de carcasse, mais aussi des différences, notamment la prise en compte du gène culard dans le schéma GEBRO (ce gène lorsqu'il est muté cause une hypertrophie musculaire chez les individus). La race Lacaune lait comporte deux schémas de sélection, dirigés par la confédération de Roquefort et Ovi-test, l'objectif de sélection est le même pour les deux organismes. Les critères sélectionnés sont depuis le début de la race le taux butyreux et protéique du lait, puis la sélection a porté sur des composantes sanitaires notamment la résistance à la tremblante et le nombre de cellules somatiques, ainsi que la morphologie de la mamelle afin d'améliorer la résistance aux mammites (France génétique élevage, 2010).

La base de sélection Lacaune lait compte plus de 170 000 brebis dans des élevages au contrôle laitier officiel (CLO, figure 2). Dans ces élevages 80% des brebis adultes sont inséminées avec pour 50% des béliers améliorateurs, et 50 % des béliers en testage. Les animaux avec une forte valeur génétique sont produits à partir d'accouplements raisonnés, c'est-à-dire des inséminations de mères à béliers, qui correspondent aux meilleures brebis parmi les 170 000 présentes dans la base de sélection, avec les meilleurs béliers de la race. Les inséminations sont réalisées en semence fraîche à cause de l'efficacité très faible avec de la semence congelée (France génétique élevage, 2010).

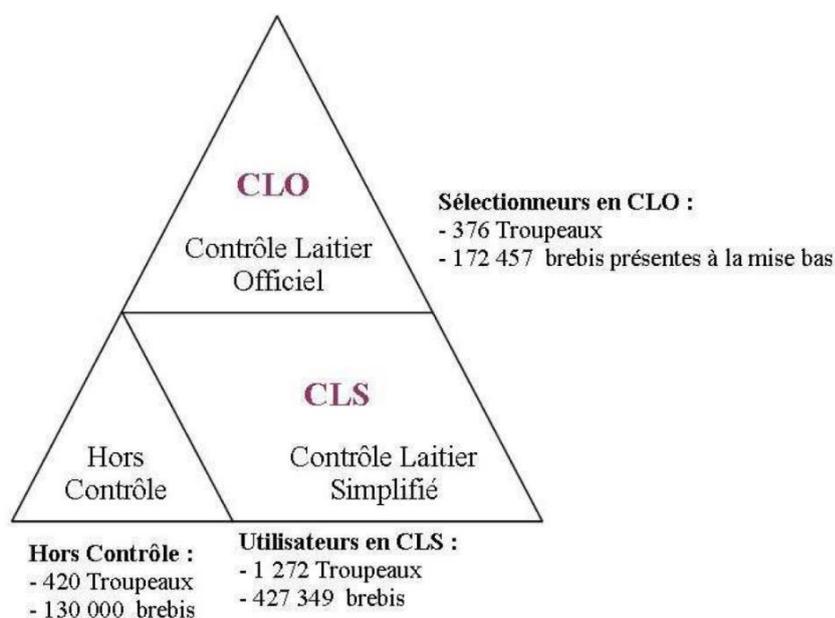


Figure 2 : Contrôle laitier et organisation pyramidale de la population (France génétique élevage, 2010)

Parmi les partenaires du projet figure Ovi-test, qui est le premier centre français d'insémination ovine, avec 300 000 IA réalisées sur brebis laitières en 2014, dont 213 000 sur des brebis Lacaune (www.lacaune-ovitest.com). Durant le projet L'A-PROPOS, Ovi-test a dirigé les inséminations et réparti les béliers sur les différents cheptels naisseurs de l'étude.

Les éleveurs sélectionneurs créent et diffusent le progrès génétique. Les éleveurs non sélectionneurs affiliés au contrôle laitier simplifié achètent des béliers à 6-7 mois aux éleveurs sélectionneurs, pour une utilisation en monte naturelle, ce qui permet de diffuser le progrès génétique. Leur niveau génétique est inférieur à celui des élevages au CLO. (Lozere.chambre-agriculture.fr).

II-B Caractéristiques de la laine et des cuirs

II-B.1 Caractéristiques de la laine

La fibre de laine et le poil poussent dans des follicules cutanés. La peau du mouton présente deux types de follicules : les follicules primaires produisent du poil et de la laine très rude, les follicules secondaires sont plus petits et produisent de la laine fine. La nature de la toison est déterminée par la dimension des follicules, et par le nombre de follicules secondaires et primaires.

Les follicules se développent surtout avant la naissance et leur nombre reste ensuite inchangé. Cependant, la production lainière s'accroît pendant les premières années de vie du mouton, car le diamètre et la vitesse de croissance des fibres augmentent à cet âge (D.Allain, communication personnelle).

Ce diamètre de laine appelé finesse constitue un premier caractère mesurable et quantifiable, sa mesure est en microns. La finesse et la frisure de la laine se mesurent sur plusieurs fibres d'un même animal, cette dernière s'exprime en °/mm. La capacité de compression s'exprime en cm³/g, elle représente le volume occupé par 1 gramme de laine propre sous une pression de 10⁷

³ Newton. Elle est estimée à partir des mesures de finesse et de frisure grâce à l'équation suivante (Sumner et al, 2005). :

Capacité de compression = $14.4 + 0.0076 * (\text{Finesse moyenne} * \text{Frisure moyenne})$

II-B.2 Caractéristiques de la peau

La peau est un élément du cinquième quartier chez les ovins, ce cinquième quartier constitue tout ce qu'il reste après une découpe de carcasse en quatre quartiers. La peau est donc un sous-produit de l'élevage ovin. La peau est constituée de différentes couches. Certaines seront éliminées durant l'élaboration du cuir comme l'épiderme ou le tissu sous-cutané. Le derme par contre est le composant essentiel du cuir. Il est composé de 2 couches différentes d'un point de vue histologique et visuel : la fleur (couche papillaire du derme après élimination de l'épiderme) et la chair (couche lamellaire après écharnage du tissu sous-cutané). Une peau travaillée côté fleur donne le cuir ou le Nubuck tandis qu'une peau travaillée côté chair donne le velours (A. Le Guen, 2007). Les caractéristiques des peaux quantifiables seront les deux défauts d'intérêts (le buissonné pailleux et le piqué de laine), les épaisseurs de colonne et de flanc.

II-B.3 Problématique des défauts de la peau

II-B-3.1 Le buissonné pailleux

Le buissonné pailleux, visible sur les peaux tannées des agneaux (figure 3), se caractérise par des trous sur la peau plus ou moins marqués. Au sein de ces perforations, on retrouve parfois la présence de débris végétaux appelés « barbes ».



Figure 3 : Défaut de buissonné sur une peau tannée (E.Dugas)

Ces défauts engendrent un déclassement des peaux et donc une perte économique importante pour les mégisseries. On estime entre 15 et 50% les peaux touchées par ce défaut (A. Le Guen, 2007).

L'origine de ce défaut n'est pas encore déterminée avec certitude, cependant l'hypothèse majeure serait une cause environnementale plutôt que génétique. Une étude réalisée en 2000, impliquant 1007 agneaux Lacaune répartis en 5 lots avec des modalités de râteliers d'alimentation et de durée d'engraissements différentes, montrait qu'une durée d'engraissement de 15 jours plus courte par rapport à la durée d'engraissement classique

engendrait une baisse de 13,4% de l'incidence du buissonné pailleux sur les peaux. De plus, dans une autre expérimentation (F. Personne, 2001), l'utilisation de râteliers aménagés appelés caisses à foin retenant les éléments agressifs tels que les barbes permettait d'obtenir des taux très faibles de buissonné, de l'ordre de 2,4% de peaux touchées.

II-B-3.3 Le piqué de laine

Le piqué de laine est un défaut visible sur les peaux tannées d'agneaux, il est comparable à un trou d'épingle (figure 4).

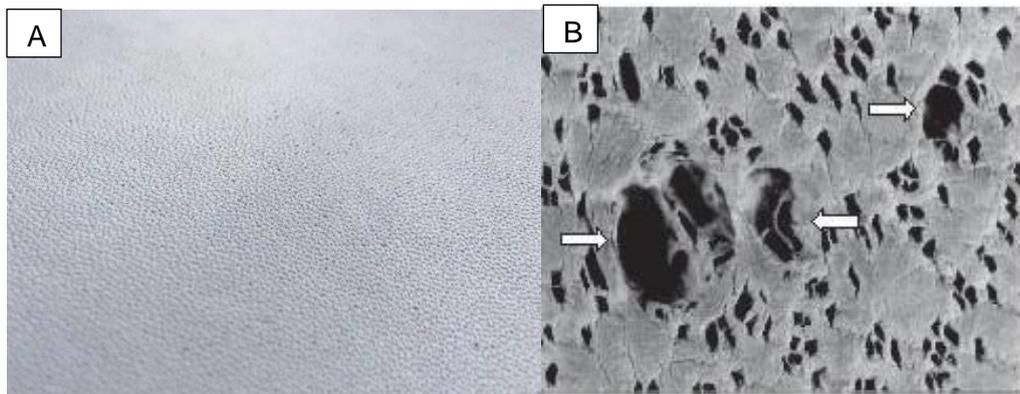


Figure 4 : Défaut du piqué de laine observable sur une peau d'agneau (A) (E. Dugas). Photomicrographie montrant que le piqué de laine résulte de la rupture des parois folliculaires adjacentes (les piqués de laine sont fléchés) (B) (S.M Cooper, 2002).

Une étude australienne réalisée en 1996 sur 524 agneaux de races différentes montrait que le piqué de laine pouvait avoir une origine génétique. Lors de cette étude 13 races différentes et 28 pères étaient utilisées, la race Poll Dorset était la plus représentée avec 13 pères, les autres races n'étaient représentées que par 2 pères au maximum. Le piqué de laine touchait 23,5% des peaux analysées. L'étude montrait une grande variabilité intra-race pour les Poll Dorset avec des taux de piqué de laine variant de 9,5% à 65,5% intra descendance de père. De plus, une variabilité inter-race était aussi mise en évidence, les Texel présentant une incidence relativement plus faible et moins variable intra père de 16% à 20,8%. L'héritabilité estimée pour ce caractère dans cette étude était de 0,4. Le faible effectif total, la diversité des races et le faible nombre de descendants par père amènent à considérer ce résultat avec précautions (I.P. Campbell et al, 1996).

II-C Le génome et les puces de génotypage

II-C.1 Le génome Ovin

Le génome ovin a été entièrement séquencé pour la première fois en 2010 par le consortium international ISGC (International Sheep Genomics Consortium), regroupant 26 institutions de recherche dont INRAE. Depuis, plusieurs autres versions du génome ovin ont été réalisées, améliorant ainsi la qualité de son assemblage et de son annotation. La dernière version du génome disponible a été réalisée à partir d'une brebis de Rambouillet (Oar rambouillet v1.0) assemblée en 2017 par le Baylor College of Medicine Human Genome Sequencing Center (Ensembl, 2021).

Le caryotype du mouton est composé de 26 chromosomes autosomaux et d'une paire de chromosomes sexuels, comprenant 26 764 gènes dont 20 921 gènes codants (Ensembl, 2020).

II-C.2 Les SNP (single-nucleotide polymorphism)

Il existe de nombreux types de marqueurs génétiques. Un marqueur génétique est une séquence polymorphe d'ADN localisée à une position connue sur le génome. Le polymorphisme génétique est défini par l'existence de différents allèles possibles à un locus dans une population. Parmi ces marqueurs moléculaires, les plus répandus aujourd'hui sont les SNP (Single Nucleotide Polymorphism) qui correspondent à des différences d'une seule base de la séquence d'ADN.

II-C-3 Les puces à SNP

Le principe du génotypage vise à déterminer l'identité d'une variation génétique, sur une partie du génome, pour un individu donné. Ces génotypages vont être regroupés sur des puces à SNP qui sont des supports regroupant N SNP génotypés simultanément. Grâce à la première version disponible du génome ovin (*Ovis_aries_1.0*) et à l'évolution des techniques de génotypes, des puces de génotypage de plusieurs milliers de SNP ont été mises au point, permettant d'obtenir le génotypage d'un individu à plusieurs milliers de positions du génome simultanément.

Le principe des puces à SNP repose sur la technique d'hybridation. Des oligonucléotides spécifiques d'un locus sont immobilisés sur un support solide, leur rôle est de détecter des cibles d'acides nucléiques complémentaires. Les signaux d'hybridation vont être détectés par fluorescence puis quantifiés pour déterminer le génotype au SNP considéré (Jussiau et al, 2013).

La première puce qui a été développée pour le mouton par un consortium international est la puce 54K d'Illumina en 2009 (Rupp et al, 2016). Il existe en ovin, une puce basse densité 15K (Larroque et al., 2017) ainsi qu'une puce 600K haute densité, ces différents outils sont utilisés en fonction du type d'analyse génétique réalisée, les puces 54K et 15K sont utilisées en sélection génomique. (www.Illumina.com).

II-D Les paramètres génétique

II-D-1 L'héritabilité

L'héritabilité (h^2) est un paramètre génétique représentant la part de la variabilité d'un caractère liée à des causes génétiques. L'héritabilité peut différer entre deux populations d'une espèce similaire évoluant dans un milieu différent. Cette héritabilité au sens strict (h^2) correspond à $h^2 = V(A) / V(P)$, avec $V(A)$ la variance génétique additive transmissible et $V(P)$ la variance phénotypique. Pour un caractère donné, plus l'héritabilité sera élevée, plus la sélection génétique devrait être efficace. Un caractère dont l'héritabilité est inférieure à 0.2 est peu héritable (caractères de reproduction femelle, résistance à des maladies...), si l'héritabilité d'un caractère se situe entre 0.2 à 0.4 il est moyennement héritable (morphologie, croissance, production de lait...), et si son héritabilité est de plus de 0.4 il est fortement héritable (caractères de composition des produits...) (C.Robert-Granié, 2016).

II-D-2 La corrélation génétique

La corrélation génétique représente la corrélation entre les valeurs génétiques additives du même individu pour deux caractères différents. On peut estimer cette corrélation génétique (r_g) entre deux caractères par le calcul suivant : $r_g = \text{Cov}(A1, A2) / \sigma_{A1} * \sigma_{A2}$, avec $\text{Cov}(A1, A2)$ la covariance entre valeurs génétiques pour les deux caractères étudiés, et σ_{A1} ou σ_{A2} les écarts types génétiques de ces deux caractères (C.Robert-Granié, 2016).

III. Matériels et méthode

III- Population de l'étude

L'étude a été menée à partir de deux chantiers de phénotypages réalisés à un an d'écart (2019 et 2020), à 35 jours environ post agnelage. Les agneaux sont nés sur différents cheptels, 12 cheptels pour l'année 2019 et 14 pour l'année 2020, ce qui correspond à 16 cheptels au total car 10 sont en commun sur les 2 années. Le but de cette étude est de suivre les agneaux individuellement, durant leur développement, en récoltant plusieurs données exploitables à différentes étapes de leur vie.

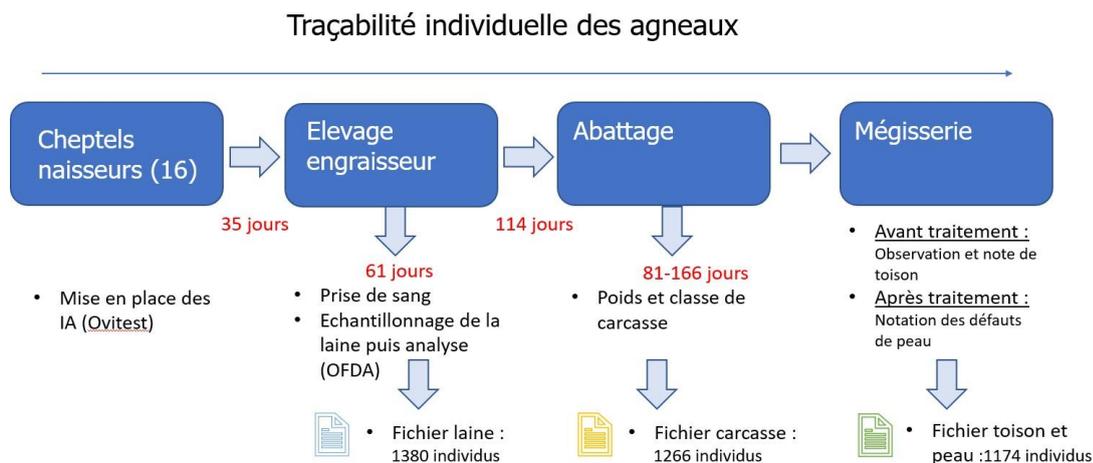


Figure 5 : Protocole expérimental de l'étude, avec l'âge moyen des agneaux à chaque étape

Les agneaux sont répartis sur 16 cheptels naisseurs, puis à l'âge de 35 jours en moyenne vont entrer en engraissement, c'est un engraisseur unique pour tous les agneaux. En engraissement, une prise de sang et un échantillonnage de laine vont être fait à la même date pour tous les agneaux de chaque année. A l'âge de 114 jours environ les animaux sont abattus, et les données de poids de carcasse et de classe de carcasse sont récoltés. Les peaux sont ensuite envoyées à la mégisserie, notée pour la toison avant le tannage, et après le tannage pour les défauts de peaux. Le même protocole a été appliqué en 2019 et en 2020 (figure 5).

Les données ont été récoltées par différents acteurs : le fichier laine provenant de INRAE, le fichier carcasse provenant d'Unicor et le fichier de notation de peau et toison provenant de la mégisserie Alric. Un cinquième fichier de données contenant les données de pédigree et leur date de naissance.

Pour constituer le fichier utile aux analyses statistiques et regroupant les données de chaque fichier nous avons vérifié la cohérence des données de naissance avec la base de données SIEOL (Système d'Information en Elevage Ovin Laitier). Un fichier global regroupant toutes les données du protocole a ainsi été constitué, et il comprenait 1494 individus.

IV- Description des variables

Les échantillons de laine sont analysés par OFDA (Optic Fibre Diameter Analysis), qui est un outil de vidéo numérique permettant d'analyser la fibre de laine. A partir de ces analyses pour chaque échantillon sur des milliers de fibres, 7 variables qualitatives de caractéristiques de la laine seront retenues dans l'étude (Tableau 1). Elles concernent la finesse : finesse moyenne, coefficient de variation et des taux de fibres de certaines catégories, la frisure et la capacité de compression. Cette dernière est estimée par l'appareil suivant une équation de prédiction à partir de la finesse et de la frisure de la laine (Capacité de compression = $14.4 + 0.0076 * (\text{Finesse moyenne} * \text{Frisure moyenne})$).

Tableau 1 : Synthèse des variables utilisées dans l'étude et leur type

| Variable de laine | | Variable de toison | | Variable de peau | |
|--|--------------|--------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| Caractère | Type | Caractère | Type | Caractère | Type |
| Finesse (μm) | Quantitative | Couverture des flancs | Catégorielle – 0 à 2 | Epaisseur de la colonne | Quantitative |
| Frisure ($^{\circ}/\text{mm}$) | Quantitative | Couverture intermédiaire | Catégorielle – 0 à 2 | Cotation de piqué de laine | Catégorielle – 0 à 4 |
| Capacité de compression (cm^3/g) | Quantitative | Couverture du dos | Catégorielle – 0 à 2 | Cotation de buissonné pailleux | Catégorielle – 0 à 2 |
| Coefficient de variation de la finesse | Quantitative | Frisure du collet | Catégorielle – 0 à 3 | | |
| Taux de fibres grossières | Quantitative | Frisure du milieu | Catégorielle – 0 à 3 | | |
| Taux de fibres > 30 microns | Quantitative | Frisure de la culée | Catégorielle – 0 à 3 | | |
| Taux de fibres < 15 microns | Quantitative | | | | |

Les caractères de peau et de toison sont notés par la mégisserie Alric, avant tannage pour la toison, et après tannage pour les défauts de la peau. Chaque peau a été découpée de façon spéciale pour le protocole et comporte une oreille avec la boucle d'identification nationale afin que la peau soit identifiée par le numéro national de l'animal. Puis avant tannage un marquage (numéro formé à l'aide de petites piques) est pratiqué sur la peau et un tableau de correspondance permet de faire le lien entre numéro national et numéro de marquage. Les zones identifiées pour la notation de la couverture laineuse sont la couverture des flancs (A), la couverture intermédiaire (B) et la couverture du dos (C) selon une grille de quantification en 3 catégories (pas de laine à beaucoup de laine) (figure 6). La frisure est notée en 4 catégories (de l'absence de frisure à une laine très frisée), et identifiée au niveau du collet (A), du milieu de la peau (B) et de la culée (C) (figure 6). Ces deux notations sont réalisées à l'œil nu par un ou plusieurs employés, puis les peaux sont marquées afin d'être identifiées après l'étape du tannage.

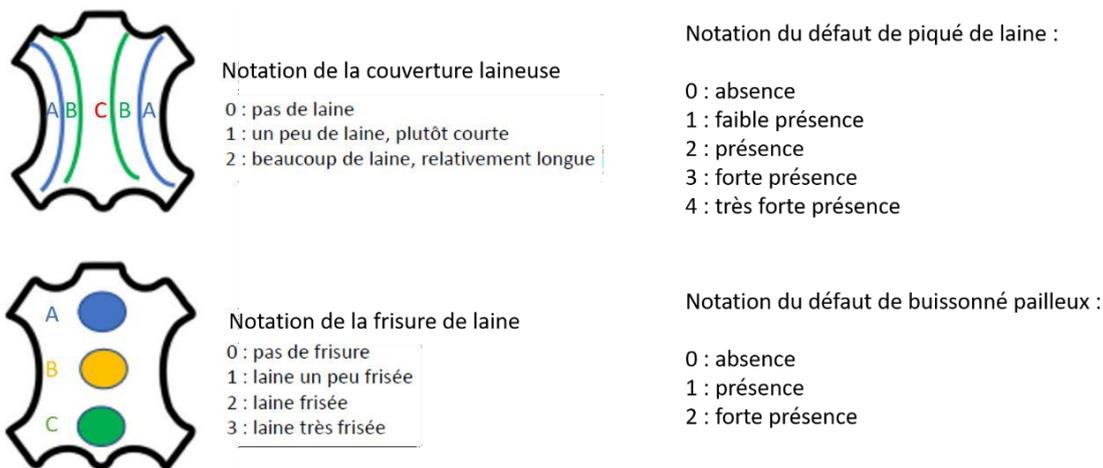


Figure 6 : Protocole de notation des peaux Alric

La notation des défauts de peau est réalisée sur la peau dans sa globalité, mais plus précisément sur la zone centrale, qui correspond à la zone privilégiée des clients qui travailleront ensuite le cuir. La destination commerciale de la peau ne sera pas la même en fonction de la zone de présence de ces défauts. Le piqué de laine est noté en 5 catégories (de l'absence à la très forte présence), tandis que le buissonné n'est noté que sur 3 catégories (de l'absence à la forte présence), ces notations sont faites à l'œil nu par un expert, qui manipule les peaux à la lumière (figure 6).

V- Description des facteurs explicatifs

Dans notre étude, 8 facteurs explicatifs peuvent être pris en compte. Parmi ces facteurs, 6 seront communs aux modèles utilisés sur la laine et la toison : le père (n=72), le cheptel (n=16), le sexe (n=2), la taille de portée (3 niveaux : 1 agneau ; 2 agneaux ; 3 agneaux et +), le râtelier-année (3 niveaux : râtelier-2019 ; râtelier-classique ; râtelier-fondplat) et le poids de carcasse en covariable.

Deux facteurs seront spécifiques à chacun des modèles. L'effet de l'âge à la mesure (âge au moment du chantier de prise d'échantillons de laine et de sang) est utile seulement pour les variables de laines, ce sont les seules variables mesurées sur animaux vivants. La durée d'engraissement (nombre de jours entre la date d'entrée dans l'élevage engraisseur et la date de départ pour l'abattoir) est utilisée pour l'explication des défauts de peau et les caractères de toison. Le facteur « râtelier-année » a été étudié seulement en 2020, tous les agneaux de l'année 2019 ont évolué avec des râteliers classiques, ils sont renseignés sous la modalité « râtelier-2019 », tandis que pour l'année 2020 les individus étaient élevés avec des râteliers classiques en hauteur (414 agneaux) ou des râteliers à fond plat (418 agneaux). Les descendants de tous les pères ayant été répartis entre les 2 modalités d'alimentation, Les différents facteurs explicatifs sont résumés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Facteurs explicatifs des caractères de laine, de toison et de peau et leurs effectifs

| Facteurs explicatifs | Nombre de classes | Effectif par classe | Moyenne et écart-type | |
|-------------------------------|-------------------|--|-------------------------------------|---|
| Père | 72 | Moyenne : 20 Minimum : 1 Maximum : 43 | / | Facteurs explicatifs communs à tous les modèles |
| Cheptel | 16 | Moyenne : 93 Minimum: 28 Maximum: 166 | / | |
| Râtelier-année | 3 | Râtelier-2019 : 665 Râtelier-classique: 414 Râtelier-fondplat: 418 | / | |
| Sexe | 2 | Mâle : 1242 Femelle : 43 | / | |
| Taille de portée | 3 | 1 : 752 2 : 687 3 : 53 | / | |
| Poids (kg) | Covariable | / | Moyenne : 18,25 Ecart-type : 2,5 | Facteur explicatif spécifique au modèle laine |
| Age à la mesure (jours) | Covariable | / | Moyenne : 61 Ecart-type : 12 | |
| Durée d'engraissement (jours) | 3 | 50-70 : 456 70-90 : 474 90-130 : 335 | / | |

VI- Modèles utilisés

Des analyses de variance ont permis de tester l'effet de chacun des facteurs sur les variables retenues. Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R (sous interface R studio) et les packages « car » et « glm2 » ont été utilisés pour réaliser les deux types de modèle.

III.VI.1 Modèle d'analyse des variables de la laine

Le modèle utilisé pour analyser les variables de laine est un modèle linéaire. Ces variables laineuses ont été analysées en fonction de cinq facteurs explicatifs : le cheptel de naissance, le père, l'âge à la mesure, le poids de l'animal et son sexe. L'effet râtelier-année est testé indépendamment de l'effet père qui est confondu.

(Modèle laine) : $Y_{ijkl} = \mu + \text{Père}_i + \text{cheptel}_k + \hat{\text{âge à la mesure}}_{ijkl} + \text{poids}_{ijkl} + \text{sexe}_l + e_{ijkl}$ Avec Y le caractère de laine étudié et e la résiduelle du modèle

III.VI.2 Modèle d'analyse des variables de toison

Les variables de couverture de laine et de frisure ont été analysées selon un modèle linéaire. Les facteurs explicatifs testés sont le père, le cheptel de naissance, la durée en engraissement, le sexe et le côté de la loge.

(Modèle toison) : $Y_{ijklm} = \mu + \text{Père}_i + \text{cheptel}_k + \text{durée en engraissement}_l + \text{sexe}_m + e_{ijklm}$ Avec Y le caractère de toison étudié et e la résiduelle du modèle

III.VI.3 Modèle d'analyse des variables de peau

Deux modèles linéaires ont été testés pour analyser le défaut de piqué de laine. Le premier comporte en facteurs explicatifs les caractéristiques de la toison, le deuxième des caractéristiques de la laine. En effet, comme certaines variables de laine et de toison sont très liées (comme par exemple la frisure de la toison et la frisure de laine), nous avons choisi de les tester séparément. L'effet « râtelier-année » a été testé indépendamment de l'effet père.

(Modèle piqué de laine 1) : $Y_{ijklmnop} = \mu + \text{Père}_i + \text{cheptel}_k + \text{taille de portée}_l + \text{durée en engraissement}_m + \text{sexe}_n + \text{épaisseur de colonne}_{ijklmnop} + \text{couverture intermédiaire}_o + \text{frisure milieu}_p + e_{ijklmnop}$ Avec Y la cotation de piqué de laine et e la résiduelle du modèle

(Modèle piqué de laine 2) : $Y_{ijklmn} = \mu + \text{Père}_i + \text{cheptel}_k + \text{taille de portée}_l + \text{durée en engraissement}_m + \text{sexe}_n + \text{épaisseur de colonne}_{ijklmn} + \text{Capacité de compression}_{ijklmn} + \text{frisure de laine}_{ijklmn} + \text{CV finesse}_{ijklmn} + \text{Finesse}_{ijklmn} + e_{ijklmn}$ Avec Y la cotation de piqué de laine et e la résiduelle du modèle

Pour les mêmes raisons, deux modèles catégoriels ont été utilisés pour analyser le buissonné pailleux. Le buissonné a été analysé en régression logistique binomiale, traduisant un effet de « présence/absence ». L'effet « râtelier-année » a été testé indépendamment de l'effet père.

(Modèle buissonné 1) = $Y_{ijklmnop} = \mu + \text{Père}_i + \text{cheptel}_k + \text{durée en engraissement}_l + \text{taille de portée}_m + \text{sexe}_n + \text{épaisseur de colonne}_{ijklmnop} + \text{couverture intermédiaire}_o + \text{frisure milieu}_p + e_{ijklmnop}$ Avec Y_i la cotation de buissonné pour l'individu i et e la résiduelle du modèle

Avec Y la cotation de buissonné pailleux et e la résiduelle du modèle

(Modèle buissonné 2) = $Y_{ijklmn} = \mu + \text{Père}_i + \text{cheptel}_k + \text{durée en engraissement}_l + \text{taille de portée}_m + \text{sexe}_n + \text{épaisseur de colonne}_{ijklmn} + \text{Capacité de compression}_{ijklmn} + \text{frisure de laine}_{ijklmn} + \text{CV finesse}_{ijklmn} + \text{Finesse}_{ijklmn} + e_{ijklmn}$ Avec Y la cotation de buissonné pailleux et e la résiduelle du modèle

VII- Estimation des paramètres génétiques

Les estimations de paramètres génétiques, héritabilités et corrélations génétiques entre caractères, sont estimées à partir de deux modèles différents selon le type de variables : le modèle laine et le modèle peau. Les estimations ont été réalisées à l'aide du logiciel AIREML de la famille des programmes BLUPF90 développée par Misztal et al. (2002)

Ces estimations ont été réalisées sans utilisation des génotypes SNP (cf partie III.F)

Les performances pour chaque caractère sont analysées suivant un modèle génétique comprenant des effets fixes d'environnement (testés significatifs dans les analyses de variance précédentes) ainsi qu'un effet génétique aléatoire de l'animal et une résiduelle. Les résiduelles du modèle suivent une loi normale $(0, I\sigma_e^2)$ et les valeurs génétiques des animaux suivent une loi normale telle que $\text{Var}(a) = A\sigma_a^2$, où A est la matrice de parenté entre les individus. Si des génotypes sont utilisés alors $\text{Var}(a) = H\sigma_a^2$ où H est la matrice de parenté qui combine les pedigrees et l'information obtenue par les SNP.

L'estimation des paramètres génétiques consiste à estimer les variances génétiques et résiduelles. L'héritabilité peut être alors calculée comme le rapport entre la variance génétique σ_a^2 et la variance phénotypique σ_p^2 soit $\frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2}$. Ces estimations sont entachées d'une certaine erreur qui dépend notamment des effectifs utilisés et que l'on apprécie par l'écart type d'erreur d'estimation SE.

Les analyses ont été menées tout d'abord en unicaractère (caractère par caractère) puis en bicaractère afin d'estimer la corrélation génétique r_g entre les caractères 2 à 2 telle que :

$$r_g = \frac{\sigma_{a_{12}}}{\sqrt{\sigma_{a_1}^2} \times \sqrt{\sigma_{a_2}^2}} \text{ où } \sigma_{a_{12}} \text{ est la covariance génétique entre les caractères 1 et 2.}$$

III-E-1 Modèle laine

Les caractéristiques de laine retenues pour l'analyse génétique selon ce modèle sont : la finesse, la frisure, la capacité de compression et le coefficient de variation de la finesse.

Le modèle génétique retenu s'écrit :

(Modèle génétique laine 1) : $Y_{aijk} = \mu + \text{valeur génétique}_a + \text{cheptel}_j + \text{âge à la mesure}_{ijk} + \text{côté de la loge}_k + \text{taille de portée}_j + \text{sexe}_k + \text{épaisseur de colonne}_{ijk} + e_{ijk}$ Avec Y la performance d'une variable laineuse pour un animal a .

Dans ce modèle, les performances des variables de laines sont analysées en fonction des mêmes effets d'environnement fixes significatifs dans les analyses de variance : le cheptel, le côté de la loge, l'âge des agneaux lors de la mesure ainsi que la taille de portée.

Cette analyse comprend 1378 individus phénotypés, ainsi que 8525 animaux dans les pédigrées remontés sur 6 générations.

III-E-2 Modèle toison et peau

Le modèle visant à estimer les paramètres génétiques avec des variables de peaux et de toison comprend un effet en plus, la durée d'engraissement en effet fixe. L'effet de l'âge à la mesure est enlevé du modèle. Deux variables de toisons sont retenues, la couverture intermédiaire et la frisure au milieu du dos. Les deux défauts de peaux et l'épaisseur de la colonne sont analysés pour les variables de peaux.

Le modèle génétique retenu s'écrit :

(Modèle génétique peau 1) : $Y_{aijk} = \mu + \text{valeur génétique}_a + \text{cheptel}_j + \text{durée en engraissement}_{ijk} + \text{côté de la loge}_k + \text{taille de portée}_j + \text{sexe}_k + \text{épaisseur de colonne}_{ijk} + e_{ijk}$ Avec Y la performance d'une variable de toison ou de peau pour l'individu a et e la résiduelle du modèle

L'effectifs est plus faible que pour le modèle laine en raison du nombre réduit d'individus échantillonnés pour les performances de toisons et de peaux. Cette analyse comprend 1164 agneaux phénotypés, ainsi que 7710 animaux dans les pédigrées remontés sur 6 générations.

VIII- F Nettoyage des génotypages

Parmi les 1494 individus de l'étude, 1244 sont génotypés sur une puce ovine 50K. Les génotypages des 72 pères ont pu être ajoutés, ce qui forme un fichier de 1316 individus génotypés. Ces génotypages seront utiles dans un premier temps pour estimer avec une meilleure précision les paramètres génétiques. Dans un second temps, les génotypages seront utilisés pour les analyses de liaisons (GWAS).

La totalité du nettoyage des génotypages est réalisé avec le logiciel plink1.9 et des commandes de langage shell et awk, sous le système d'exploitation linux. Ce nettoyage a pour but d'obtenir un fichier de génotypage robuste, en éliminant soit des marqueurs peu informatifs, soit des animaux avec peu de génotypages. Le fichier brut de génotypages comprend 45 444 marqueurs pour chacun de nos 1316 individus génotypés.

IV- Résultats et discussion

IV-A Exploration des effectifs

Le nombre d'agneaux par père n'est pas uniforme (figure 5), il est en moyenne de 20 et varie de 1 à 42. Le nombre d'agneaux par cheptel diffère également, le cheptel le moins représenté comporte 28 agneaux, tandis que le plus représenté en comporte 166 (figure 6). Ces effectifs très différents s'expliquent par le fait que certains cheptels ont été utilisés lors des deux années, alors que d'autres n'ont été présents que lors de la première ou deuxième année.

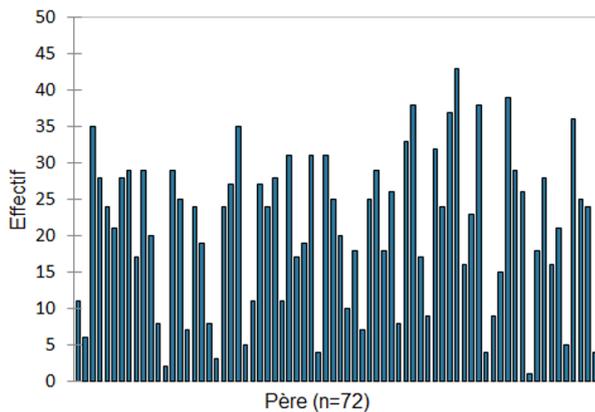


Figure 7 : Nombre d'agneaux par père

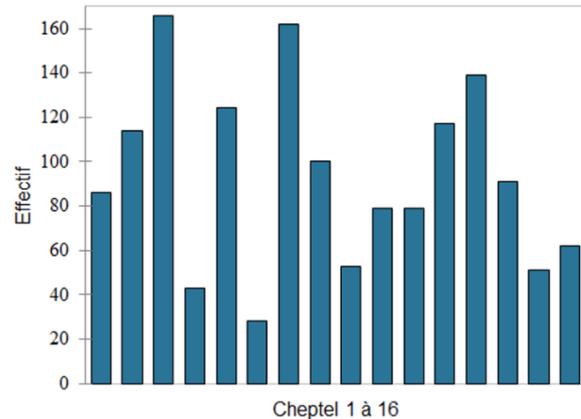


Figure 8 : Nombre d'agneaux par cheptel

La répartition des agneaux par père et par cheptel n'est pas uniforme. Treize pères n'ont été utilisés que dans un seul cheptel (figure 9, encadrés en rouge) et seulement lors du chantier de 2020 (figure 9). Ces pères ont en moyenne 8 descendants, ce qui est faible comparé à la moyenne globale des descendants par père. Cette mauvaise répartition peut engendrer une confusion d'effets car il est impossible de dissocier pour ces individus l'effet cheptel de l'effet père.

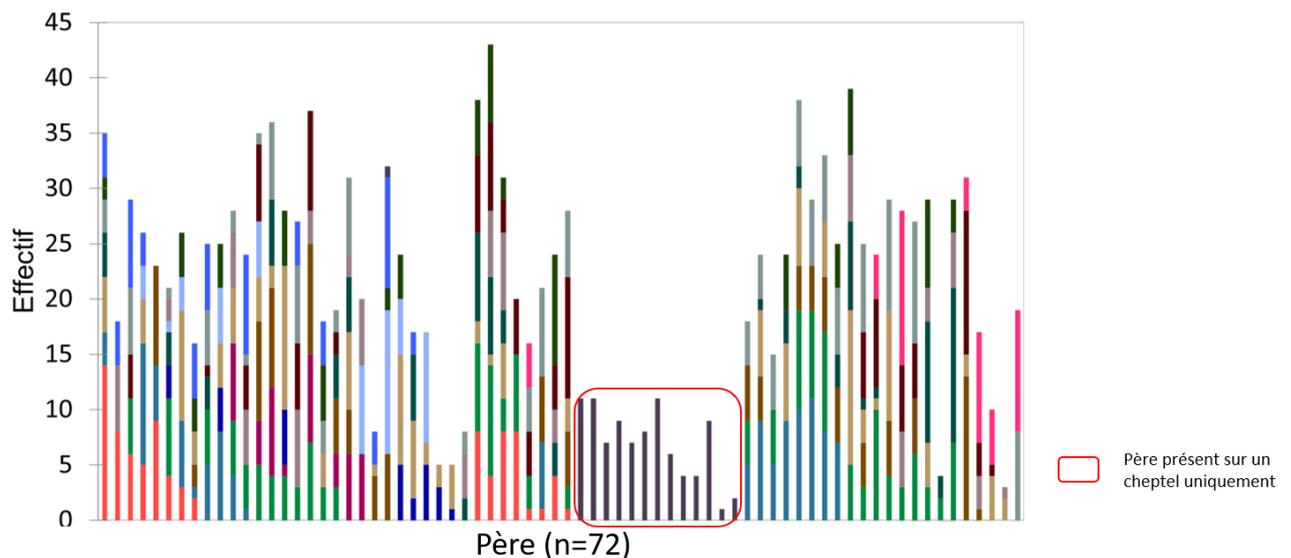


Figure 9 : Répartition du nombre d'agneaux par père et par cheptel (un cheptel par couleur, N=16)

IV-B Analyse des variables

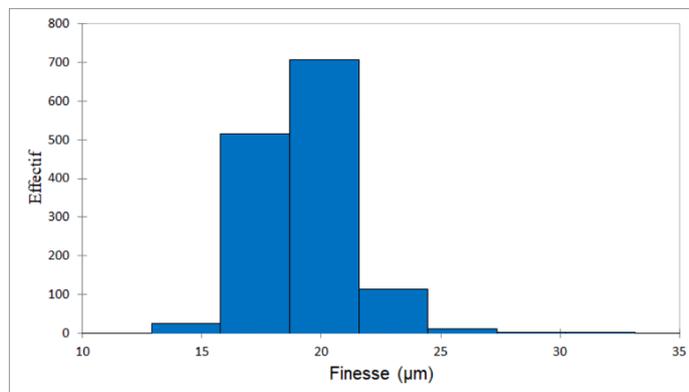
IV-B-1 Variables de laine

IV-B-1.1 Répartition des effectifs

Les variables de laine ont été enregistrées sur 1380 individus. Les données pour ces variables sont synthétisées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Récapitulatif des variables de laine

| Variable | Moyenne | Ecart-type |
|--|---------|------------|
| Finesse (μm) | 18,5 | 2 |
| Frisure ($^{\circ}/\text{mm}$) | 27,8 | 11,6 |
| Capacité de compression (cm^3/g) | 88,7 | 0,9 |
| Coefficient de variation de la finesse | 26 | 3,3 |
| Taux de fibres grossières (%) | 4,29 | 0,5 |
| Taux de fibres > 30 microns (%) | 0,65 | 1,7 |
| Taux de fibres < 15 microns (%) | 21,5 | 9,4 |



| Variable | Nombre d'observations | Moyenne | Ecart-type | Coefficient de variation |
|----------|-----------------------|---------|------------|--------------------------|
| Finesse | 1380 | 19,3 | 2 | 10,4% |

Figure 10 : Exemple de distribution d'une variable de laine : la finesse

La variable de finesse est de nature quantitative, il s'agit du diamètre moyen en micron de la fibre de laine. La distribution suit une loi normale, avec 1380 individus échantillonnés pour une finesse moyenne de 19,3 microns et un écart-type de 2.

IV-B-1.2 Résultat du modèle laine

Les résultats obtenus pour le modèle laine (décrit dans le matériel et méthodes, modèle 1) sont détaillés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Synthèse de l'analyse de variance du modèle 1 pour chacune des variables de laine avec les effets significatifs et le coefficient de détermination R^2

| Caractères | Effets significatifs | R2 du modèle |
|--|------------------------|--------------|
| Finesse (microns) | Cheptel + père + poids | 25,6% |
| Frisure (°/mm) | Cheptel + père + poids | 20,3% |
| Capacité de compression (cm ³ /g) | Cheptel + père | 22,9% |
| Taux de fibres grossières | / | 9,4% |
| Coefficient de variation de la finesse | Cheptel + père | 18,5% |
| Taux de fibres supérieures à 30 microns | Père | 12,2% |
| Taux de fibres inférieures à 15 microns | Cheptel + père + poids | 31,2% |

Les effets du cheptel, du père et du poids jouent un rôle dans la variabilité des caractères de laine. En revanche, l'âge à la mesure et le sexe n'influent pas sur cette variabilité et sont non-significatifs pour tous les caractères. Le taux de fibres grossières n'est expliqué par aucun des effets fixes testés.

Les coefficients de détermination pour les caractères de laine tels que la finesse, la frisure, la capacité de compression ou le taux de fibres inférieures à 15 microns dépassent les 20%, ce qui signifie que 20% de la variabilité de ces caractères au sein de la population sont expliqués par le modèle. Ce chiffre important est largement lié à l'effet du père qui représente au sein du modèle environ 75% du coefficient de détermination.

IV-B-1.3 Illustrations des effets significatifs

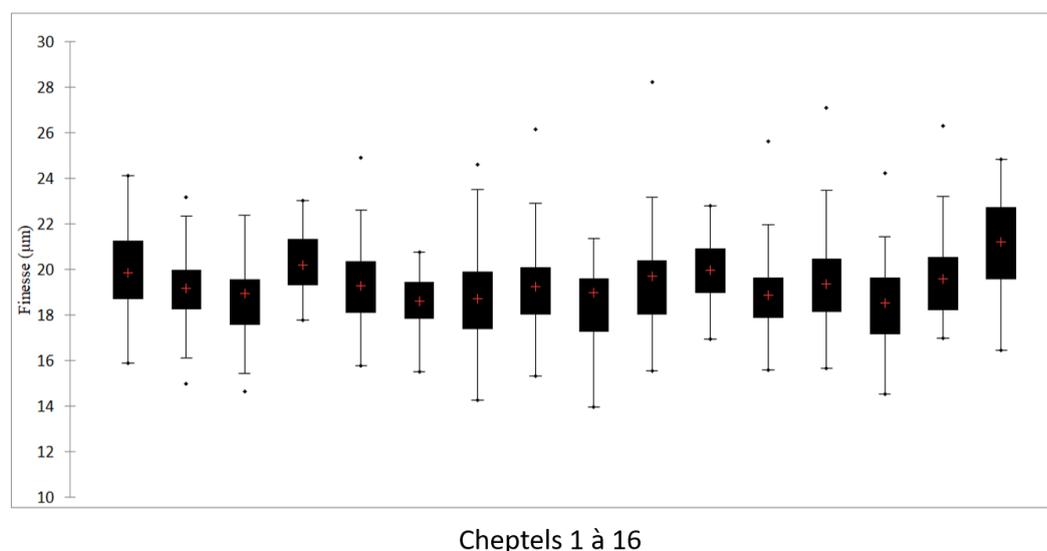


Figure 11 : Boxplot de l'effet du cheptel sur la finesse de la laine

La figure 11 montre l'effet du cheptel sur la finesse de la laine. L'écart entre les cheptels les plus extrêmes est de 3 microns, cette variabilité est assez faible puisque la différence de moyenne ne dépasse pas un écart-type. L'effet est donc significatif mais un autre effet doit jouer un rôle plus fort dans la variabilité de ce caractère.

Tableau 5 : Sélection des pères extrêmes pour la finesse de la laine avec au moins 15 descendants

| Père | Moyenne de finesse corrigée | SE | Père | Moyenne de finesse corrigée | SE |
|------|-----------------------------|-----|------|-----------------------------|-----|
| 58 | 17.0 | 0.7 | 5 | 20.4 | 0.4 |
| 1 | 17.2 | 0.6 | 39 | 20.4 | 0.5 |
| 12 | 17.5 | 0.9 | 45 | 20.5 | 0.7 |
| 46 | 17.5 | 0.4 | 8 | 20.6 | 0.4 |
| 33 | 17.9 | 0.4 | 50 | 21.4 | 0.3 |

Le tableau 5 illustre l'effet du père sur la finesse de la laine. La moyenne de frisure corrigée est une moyenne par père qui ne prend pas en compte les autres effets du modèle, elle permet d'estimer exclusivement l'effet père sur la variabilité du caractère. La moyenne du diamètre de fibre diffère de 4,4 microns entre les deux pères les plus extrêmes. Deux pères ont une moyenne corrigée de frisure au-delà de + 1 écart-type, en revanche on ne dénombre aucun père à -1 écart-type. Seuls les pères avec un nombre de descendants suffisants (>15) ont été pris en compte pour cette sélection afin de bien estimer les moyennes des pères.

IV-B-2 Variables de toison

IV-B-2.1 Répartition des effectifs

Les caractères de toisons ont été notés sur 1174 individus. Ils comprennent la notation de la couverture laineuse et de la frisure de la toison. Leur grille de notation va de la catégorie 0 qui représente une frisure ou une couverture très faible, à la catégorie 2 pour la couverture et 3 pour la frisure qui représentent une frisure ou une couverture très importante (Tableau 6).

Tableau 6 : Répartition des effectifs d'agneaux selon chaque catégorie pour chaque caractère de toison

| Caractère | Effectif Catégorie 0 | Effectif Catégorie 1 | Effectif Catégorie 2 | Effectif Catégorie 3 |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Couverture flanc | 631 | 479 | 64 | . |
| Couverture intermédiaire | 47 | 715 | 412 | . |
| Couverture dos | 7 | 408 | 759 | . |
| Frisure collet | 9 | 83 | 313 | 765 |
| Frisure milieu | 182 | 492 | 330 | 165 |
| Frisure culée | 49 | 260 | 442 | 419 |

La répartition des effectifs pour les couvertures de flanc et de dos est inversée : très peu d'individus sont observés avec une importante couverture laineuse des flancs, à l'inverse la majorité (64,6%) des individus sont très couverts au niveau du dos. Ces résultats montrent qu'un

agneau va avoir une couverture laineuse plus fournie sur le dos, moyennement fournie sur le côté et très peu fournie sur les flancs.

La frisure du collet et la frisure de la culée semblent fortes pour la majorité des agneaux, par contre la frisure est moins marquée au milieu de la peau (avec 70% des agneaux dans la catégorie 1 et 2). La culée et le collet constituent les extrémités de la colonne de l'animal, ce ne sont pas des zones tendues de la peau, ce qui pourrait expliquer en partie cette différence de frisure.

IV-B-2.2 Résultat du modèle toison

Les variables de couverture de laine et de frisure ont été analysées selon le modèle 2 décrit dans le matériel et méthodes.

Tableau 7 : Synthèse de l'analyse de variance du modèle toison avec les effets significatifs pour chacune des variables et le coefficient de détermination R^2

| Caractère | Effets significatifs | R^2 du modèle |
|--------------------------|---|-----------------|
| Couverture flanc | Cheptel + père + durée d'engraissement + sexe | 23% |
| Couverture intermédiaire | Cheptel + père + durée d'engraissement + sexe | 26% |
| Couverture dos | Cheptel + père + durée d'engraissement + sexe | 22% |
| Frisure collet | Père + durée d'engraissement | 17% |
| Frisure milieu | Père + durée d'engraissement | 19% |
| Frisure culée | Père + durée d'engraissement | 14% |

Les coefficients de détermination des différents modèles sont très proches, les R^2 concernant les modèles des caractères de frisure sont proches entre eux, mais sont globalement plus faibles que les R^2 concernant les modèles des caractères de couverture. Quelle que soit la région de l'animal concernée par les notations de frisure et de couverture, les mêmes effets du modèle expliquent la variabilité observée. Cela peut s'expliquer par la corrélation qui existe entre le caractère noté à différentes régions de l'animal. En effet les trois notes de frisure sont fortement corrélées entre elles (tableau 8), avec des corrélations dépassant 0,5 : un animal très frisé au niveau du collet aura tendance à l'être aussi au niveau des 2 autres zones.

Tableau 8 : Corrélations entre les couvertures et les frisures de laine

| Variable | Frisure collet | Frisure milieu | Frisure culée | Variable | Couverture dos | Couverture intermédiaire | Couverture flanc |
|----------------|----------------|----------------|---------------|--------------------------|----------------|--------------------------|------------------|
| Frisure collet | 1 | 0,6 | 0,53 | Couverture dos | 1 | 0,23 | 0,041 |
| Frisure milieu | 0,6 | 1 | 0,7 | Couverture intermédiaire | 0,23 | 1 | 0,56 |
| Frisure culée | 0,53 | 0,7 | 1 | Couverture flanc | 0,041 | 0,56 | 1 |

Les valeurs en rouge sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha = 0,05$

La couverture intermédiaire est corrélée à la couverture du dos (0,23) et la couverture des flancs (0,56). Un agneau avec une couverture intermédiaire importante, aura une couverture laineuse importante sur le flanc et le dos également.

Etant données les corrélations observées, nous n'avons retenu dans les analyses génétiques que la frisure du milieu et la couverture intermédiaire.

IV-B-2.3 Illustrations des effets significatifs

Le cheptel a un effet important sur la couverture de laine. La proportion de cotation 0 diffère peu entre les cheptels et reste faible. En revanche les catégories les plus représentées, c'est-à-dire les catégories 1 et 2, diffèrent respectivement de 10% à 100% et de 2% à 71%. Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que certains cheptels ont beaucoup moins d'effectifs que d'autres. Par exemple, le cheptel qui a tous ses agneaux en catégorie 1 ne possède que 27 agneaux (alors que la moyenne est de 47 agneaux par cheptel). Les deux cheptels présentant le plus de catégorie 2 (71%) sont composés de 38 et de 52 agneaux.

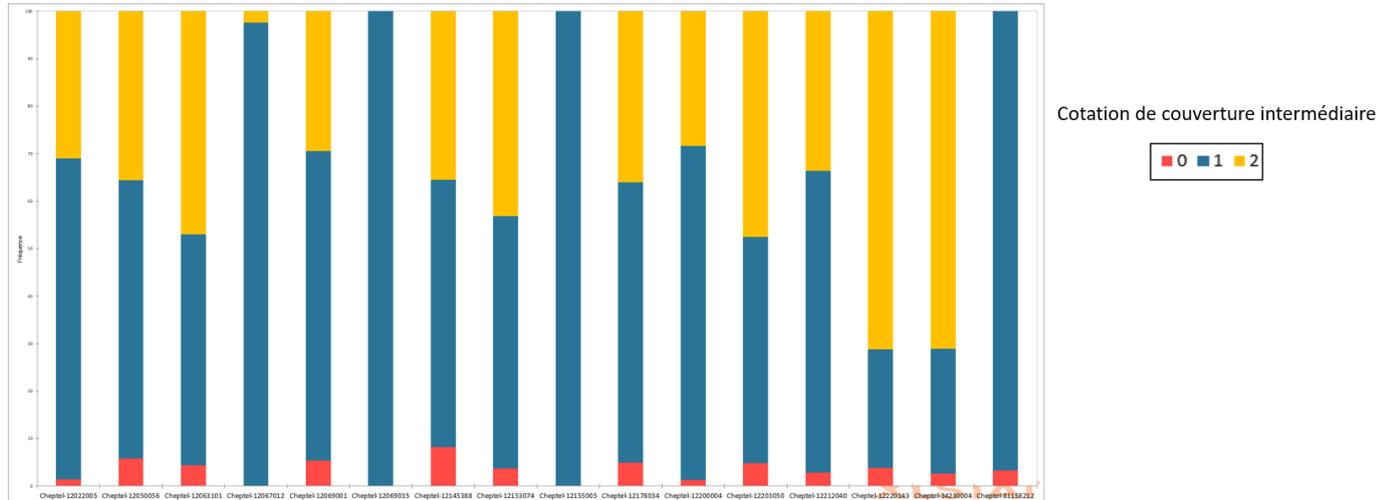


Figure 12 : Effet du cheptel sur la couverture de laine intermédiaire

La durée d'engraissement a un effet significatif sur la couverture de laine. La catégorie 50 à 70 jours d'engraissement est significativement différente des deux autres catégories (figure 13). En effet, parmi les agneaux engraisés le moins longtemps (catégorie 50 à 70 jours), 79% présentent une couverture de laine moyenne (catégorie 1), contre 48% pour les agneaux engraisés pendant 70 jours ou plus. Les agneaux engraisés plus de 70 jours présentent 30% de couverture laineuse supplémentaire que les agneaux engraisés moins de 70 jours. Cette variabilité peut être due à l'âge puisque l'âge est corrélé à la durée d'engraissement. En effet, l'agneau va développer son poids et sa laine en engraissement ce qui engendre une couverture plus dense lorsque l'agneau est plus âgé, le développement de la toison laineuse semblerait être stable au-delà de 70 jours.

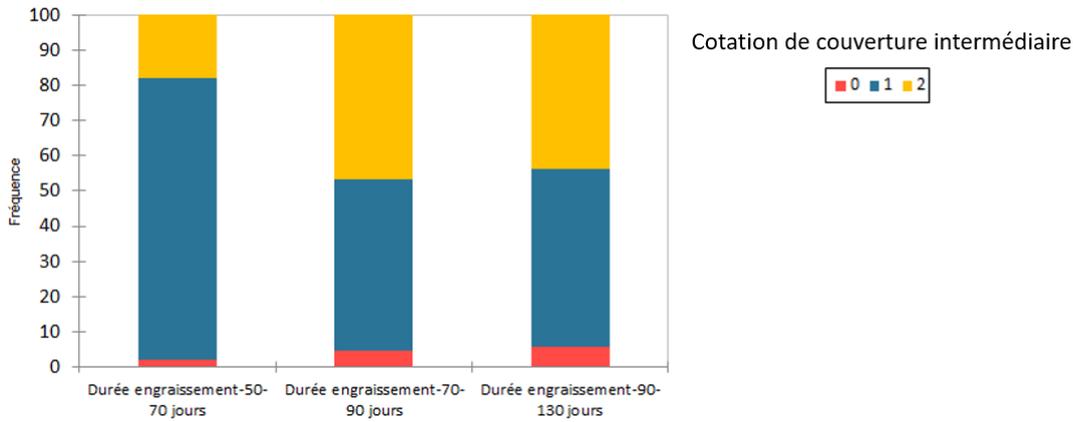


Figure 13 : Effet de la durée d'engraissement sur la couverture de laine intermédiaire

IV-B-3 Variables de peaux

IV-B-3.1 Répartition des effectifs

Les variables de peaux ont été enregistrées pour 1174 individus. Il s'agit de la notation des défauts de peaux. La cotation de piqué de laine est notée en 5 catégories, 0 étant une peau sans défaut, 4 correspondant à un défaut présent partout sur la peau (figure 14).

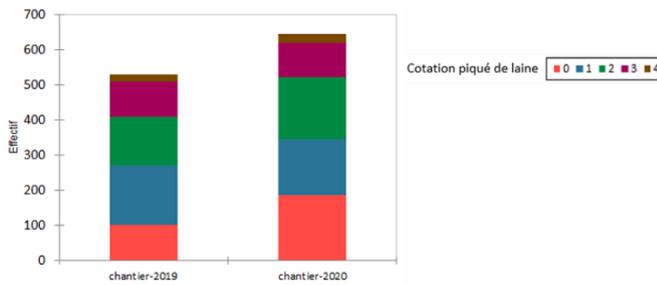


Figure 14 : Effectifs pour la variable du piqué de laine en fonction de l'année

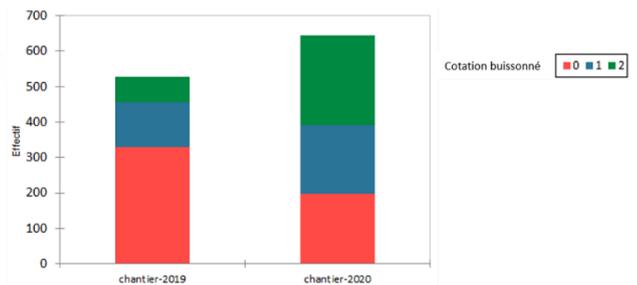


Figure 15 : Effectifs pour la variable du buissonné pailleux en fonction de l'année

La catégorie 4 du piqué de laine est peu fréquente mais elle représente un défaut plus marqué que la catégorie 3 (notamment au niveau de sa répartition sur la peau). C'est pourquoi les deux modalités n'ont pas été regroupées entre elles. Les effectifs dans ces catégories sont sensiblement les mêmes entre 2019 et 2020.

Le buissonné pailleux est réparti en 3 catégories (0 à 2), 0 correspondant à l'absence de défaut et 2 à la présence de défaut sur plusieurs zones de la peau (figure 15).

Les effectifs par catégorie sont équilibrés, en revanche on voit une nette différence de répartition entre les deux années. En 2019, la cotation 0 du buissonné représente 60% des effectifs contre seulement 30% en 2020 (figure 15). A l'inverse, la catégorie 2 représente moins de 15% en 2019 et 39% en 2020. On remarque donc une qualité de peau plus faible en 2020 qu'en 2019.

La présence des deux types de défaut semble liée. En effet, 60 % des individus sans piqué de laine (catégorie 0) n'ont pas non plus de buissonné pailleux (figure 16). On remarque une tendance, plus les peaux sont touchées par le piqué de laine (catégories 3 et 4), et plus la proportion de buissonné pailleux est forte. Ces défauts semblent donc phénotypiquement positivement corrélés. Les proportions de catégorie de buissonné pour les catégories 3 et 4 de

piqué de laine ne semblent pas différentes, mais le faible effectif présent dans la dernière catégorie de piqué de laine peut peut-être expliquer l'absence d'une proportion accrue de buissonné pailleux dans cette classe de piqué de laine.

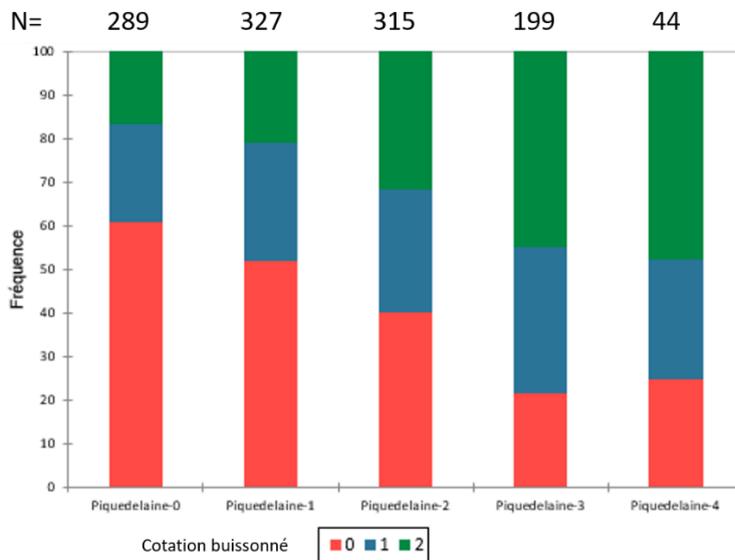


Figure 16 : Relation entre les défauts de piqué de laine et de buissonné pailleux

IV-B-3.2 Résultat des modèles des défauts de peaux

Pour l'analyse du piqué de laine, deux modèles linéaires ont été analysés en fonction des effets fixes utilisés (Matériels et méthodes, modèles 3.1 et 3.2). Concernant le piqué de laine, deux modèles catégoriels ont été étudiés (Matériels et méthode, modèles 4.1 et 4.2). Les résultats de ces différents modèles ont été synthétisés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Synthèse des effets significatifs sur les deux défauts de peau : le piqué de laine et le buissonné pailleux et le coefficient de détermination du modèle R^2 ou AIC (critère d'information d'Akaike)

| Caractère | Effets significatifs | Coefficient de détermination du modèle | |
|---------------------------------|---|--|------------------------|
| Piqué de laine – modèle 3.1 | Durée d'engraissement – père – cheptel – râtelier-année – épaisseur colonne – couverture intermédiaire – frisure milieu | R^2 : 20% | ■ Facteurs explicatifs |
| Piqué de laine – modèle 3.2 | Durée d'engraissement – père – cheptel – râtelier-année – coefficient de variation de finesse – capacité de compression | R^2 : 28% | ■ Variables de laine |
| Buissonné pailleux – modèle 4.1 | Durée d'engraissement – père – sexe – râtelier-année – couverture intermédiaire – frisure milieu | AIC : 1370 | ■ Variables de peau |
| Buissonné pailleux – modèle 4.2 | Durée d'engraissement – père – sexe – râtelier-année – frisure laine – capacité de compression | AIC : 1342 | ■ Variables de toison |

Les facteurs significatifs pour le piqué de laine sont la durée d'engraissement, le père, le cheptel et le type de râtelier. Le modèle semble être mieux expliqué avec les variables de laine puisque le R^2 correspondant est plus élevé.

Les facteurs significatifs pour le buissonné pailleux sont la durée d'engraissement, le père, le sexe et le type de râtelier. Le modèle buissonné semble aussi être mieux expliqué par les variables de laine, plus l'AIC est petit et plus le modèle explique la variable concernée.

L'effet râtelier-année est testé indépendamment de l'effet père qui est confondu.

IV-B-3.3 Illustrations des effets significatifs pour le piqué de laine

Lorsque les individus ne sont pas frisés (catégorie 0), seulement 20% d'entre eux possèdent une cotation de piqué de laine entre 1 et 4 (figure 17). Pour un individu très frisé (catégorie 3), cette part augmente, ils sont 32% à avoir une cotation de piqué de 0. La catégorie 4 de piqué de laine disparaît totalement pour les individus extrêmement frisés. Ainsi, le fait de posséder une frisure de laine importante semble donc être lié à très peu de présence de piqué de laine.

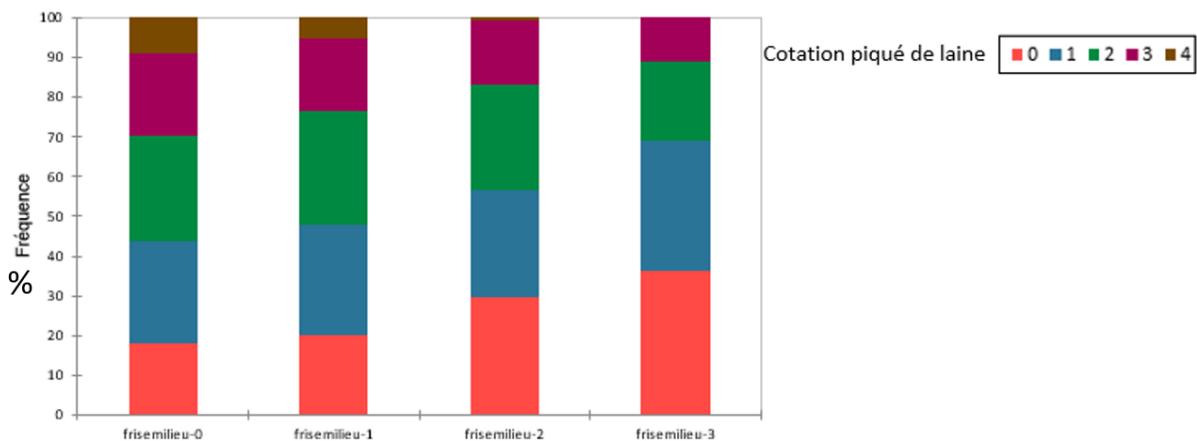


Figure 17 : Relation entre la frisure de la toison et le piqué de laine

A l'inverse, la couverture intermédiaire de la toison de l'animal présente une tendance opposée. En effet, 46% des animaux très peu couverts (couverture de catégorie 0) présentent une cotation de piqué de laine de 0, et 73% une cotation de piqué de laine de 0 ou 1. Pour les individus très couverts (couverture de catégorie 2), 48 % ont une cotation de piqué de laine de 0 ou 1. Un agneau avec une couverture laineuse importante présente plus souvent une cotation plus forte de piqué de laine qu'un agneau peu couvert (figure 18).

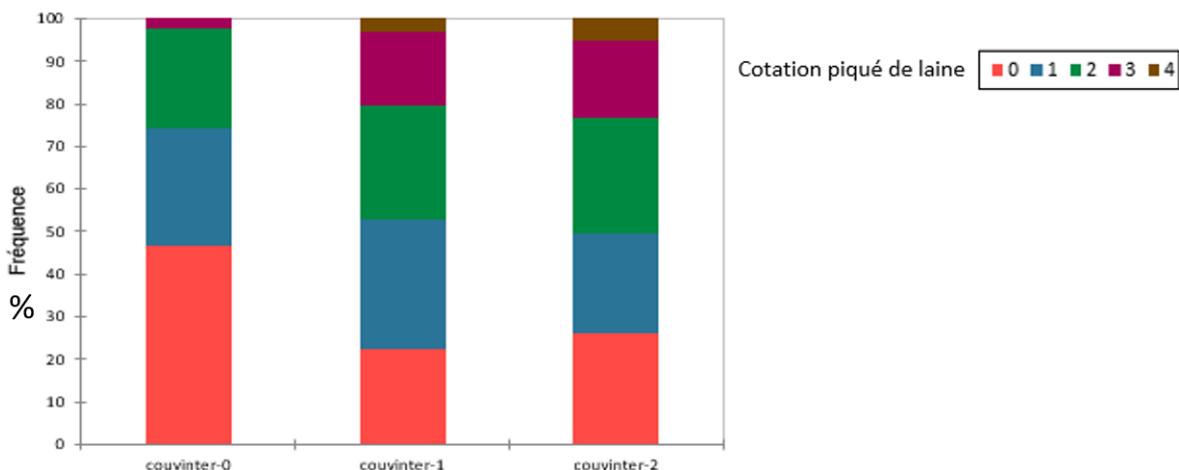


Figure 18 : Relation entre la couverture laineuse et le piqué de laine

La figure 19 illustre la relation positive qui existe entre le piqué de laine et la capacité de compression. Les écarts entre différentes catégories sont au maximum de 1,45 microns, donc toutes les catégories de piqué sont comprises entre la moyenne et 1 écart-type. La capacité de compression explique donc une partie de la variabilité du piqué de laine. Une plus grande partie de la variabilité du piqué de laine est expliquée par d'autres effets.

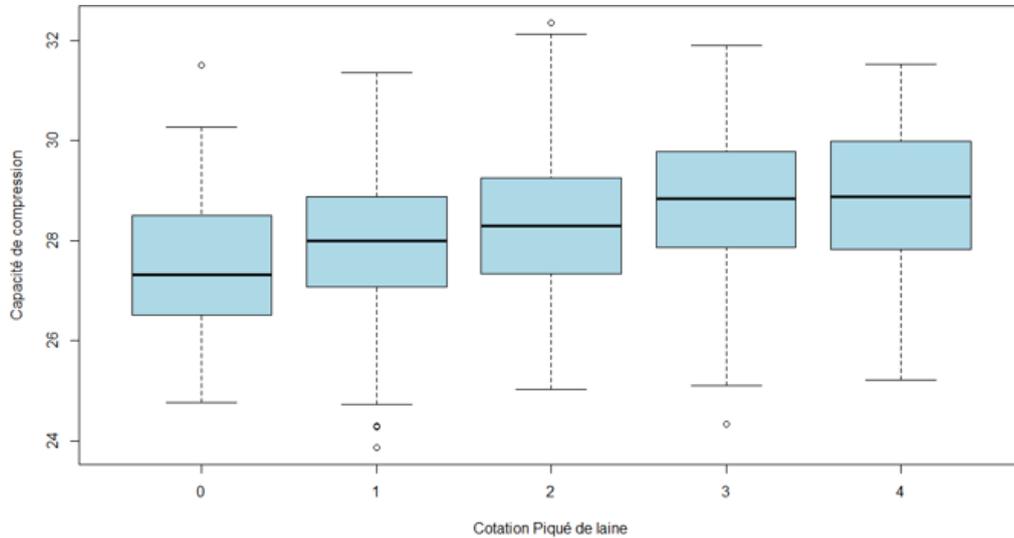


Figure 19 : Capacité de compression en fonction de la cotation de piqué de laine

IV-B-3.4 Illustrations des effets significatifs pour le buissonné pailleux

La répartition des agneaux en fonction de leur durée d'engraissement montre une différence significative entre les deux années analysées. En effet, les effectifs 2019 ont une durée d'engraissement plus faible que les individus du chantier de 2020, en moyenne de 15 jours (figure 20 a et b).

Les animaux engraisés plus de 70 jours présentent significativement plus de buissonné pailleux que les animaux engraisés entre 50 et 70 jours (figure 20 c). En revanche, il n'y a pas de différence significative entre un animal engraisé 70 jours ou au-delà.

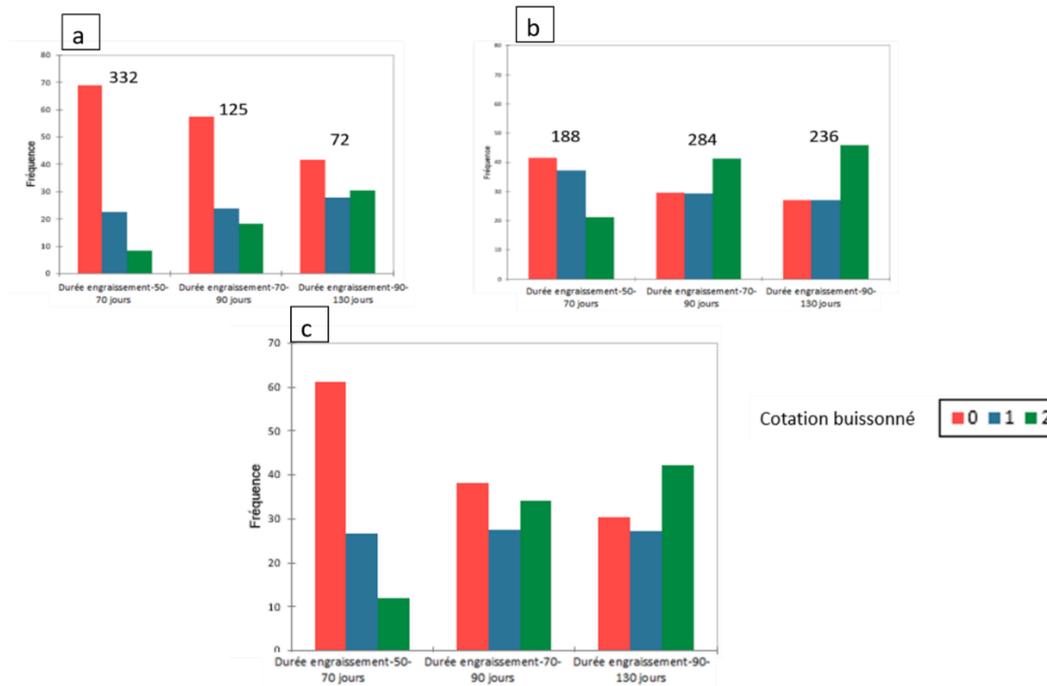


Figure 20 : Cotation de buissonné pailleux en fonction de la durée d'engraissement en 2019 (a), en 2020 (b), et les deux ensemble(c).

En 2020, deux types de râteliers ont été utilisés, l'un classique en hauteur et l'autre par terre à fond plat. En 2019, seul le râtelier classique en hauteur était présent. Nous avons testé l'effet râtelier-année dans le modèle, en enlevant l'effet du père qui était confondu.

Si on regarde les effectifs de cotation du buissonné en fonction du type de râtelier et de la classe de durée d'engraissement (figure 21), on constate qu'au sein du même type de râtelier l'allongement de la durée d'engraissement va de pair avec une augmentation de la fréquence des cotations élevées de buissonné pailleux. Pour une même durée d'engraissement on observe une plus grande proportion d'agneaux sans buissonné pailleux (cotation 0) pour les râteliers à fond plat.

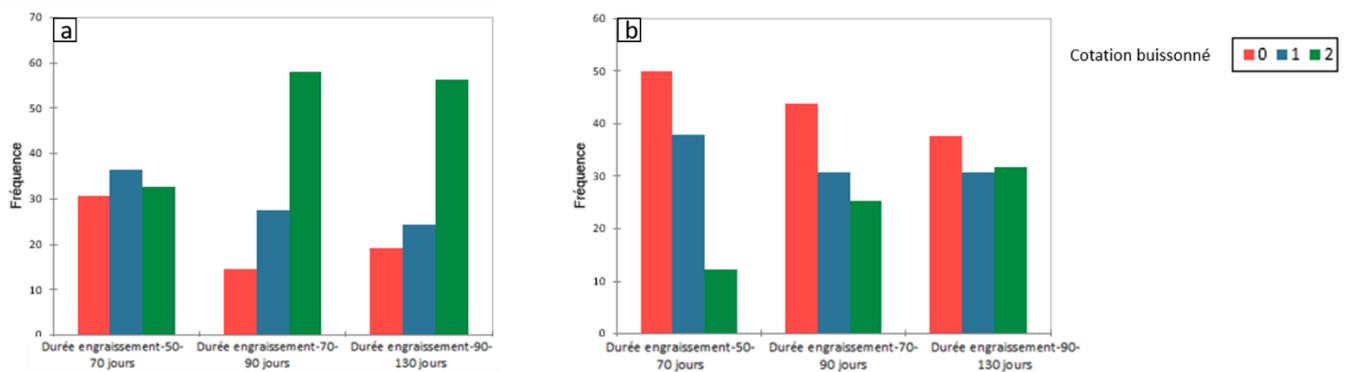


Figure 21 : Cotation de buissonné en fonction du type de râtelier et de la classe de durée d'engraissement. (a : râtelier en hauteur, b :râtelier à fond plat)

IV-C Traitement des génotypages

Les 1244 agneaux et les 72 pères sont génotypés sur 45 444 marqueurs, ces génotypages vont être utilisés pour estimer avec précision les héritabilités et les corrélations des différents caractères étudiés. Ces génotypages seront également utilisés pour les études d'associations lors des prochaines étapes.

La première étape de nettoyage contrôle le pourcentage de marqueurs SNP génotypés par individu (call rate individu). Dix animaux ont été éliminés à cette étape car ils se situent sous le seuil des 90% de SNP génotypés par animal. Les 10 individus éliminés correspondent à des agneaux, tous les pères sont donc conservés dans le jeu de données. Pour ces animaux, le faible taux de marqueurs génotypés s'explique certainement par un problème de qualité de l'échantillon d'ADN.

La seconde étape contrôle le pourcentage d'individus génotypés par SNP, son seuil est fixé à 95% (call rate SNP). A cette étape, 2724 marqueurs ont été écartés de la suite de l'analyse.

La troisième étape du nettoyage concerne la fréquence du polymorphisme du SNP dans la population. En fixant un seuil de fréquence de l'allèle mineur de 5%, on assure un minimum de polymorphisme dans la population, ce qui permet d'estimer précisément par la suite les effets alléliques du SNP. Le seuil de fréquence de l'allèle mineur pourrait être diminué si la population de l'étude était plus importante.

Le dernier paramètre contrôlé pour les génotypages est l'équilibre d'Hardy-Weinberg. Ce principe vérifie si les fréquences alléliques et génotypiques d'une population sont en équilibre d'une génération à l'autre. Si les SNP ne vérifient pas cet équilibre avec un seuil de 10^{-4} , ils sont éliminés. Dans une population en sélection, les hypothèses concernant cet équilibre ne sont pas respectées, il est utilisé avec un seuil très laxiste (10^{-4}) afin d'éliminer les SNP présentant des valeurs extrêmes qui se traduisent par un problème technique de génotypage. A cette étape 88 marqueurs sont éliminés.

Au final, le fichier de génotypage qui sera utilisé pour augmenter la précision des estimations des paramètres génétiques est constitué de 1306 individus et de 38 439 SNP (tableau 10).

Tableau 10 : Récapitulatif des étapes du contrôle qualité des génotypages

| | Puce SNP ovine |
|---|--|
| Nombre de SNP avant contrôle | 45 444 |
| Nombre d'individu avant contrôle | 1 316 (1244 agneaux + 72 pères) |
| Call rate individu >90% | 10 individus éliminés |
| Call rate SNP >95% | 2724 marqueurs éliminés |
| MAF >0.05 | 4193 marqueurs éliminés |
| Equilibre d'Hardy-Weinberg $P(< 10^{-4})$ | 88 marqueurs éliminés |
| SNP retenus après analyse | 38 439 |
| Individus retenus après analyse | 1 306 |

IV-D Estimation des paramètres génétiques

IV-D-1 Héritabilité des caractères

Les estimations des variances génétiques et résiduelles ainsi que les héritabilités des caractères sont reportées au tableau 11. Le coefficient de variation génétique (CV_g) a été calculé en faisant le rapport de l'écart-type génétique sur la moyenne du caractère. Des écart-type d'erreur (SE) ont été calculés par le logiciel pour chaque variance alors que pour les héritabilités des écart-types d'erreur approchés (SD) ont été calculés par le logiciel.

Tableau 11 : Paramètres génétiques estimés pour chaque caractère : variances génétiques et résiduelles et leurs écart-type d'erreur (SE) estimés en unicaractère, héritabilités (h^2) estimées en unicaractère et leurs écart-type d'erreur (SD), plage de variation des héritabilités obtenues en modèle bi-caractères, coefficient de variation génétique CV_g calculé à partir de la variance génétique unicaractère.

| | Variables de laine | | | | Variables de toison | | Variables de peau | | |
|------------------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--|--------------------------|----------------|-------------------------|----------------|--------------------|
| | Finesse | Frisure | Capacité de compression | Coefficient de variation de la finesse | Couverture intermédiaire | Frisure milieu | Épaisseur de la colonne | Piqué de laine | Buissonné pailleux |
| Héritabilité | 0,35 | 0,49 | 0,53 | 0,60 | 0,30 | 0,51 | 0,44 | 0,49 | 0,28 |
| SD (h^2) | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,09 |
| Héritabilité (bi caractère) | 0,34-0,37 | 0,47-0,51 | 0,51-0,55 | 0,56-0,63 | 0,3-0,34 | 0,5-0,54 | 0,43-0,44 | 0,48-0,55 | 0,26-0,3 |
| Variance génétique | 1,31 | 52,78 | 1,02 | 18,56 | 0,06 | 0,43 | 0,98 | 0,65 | 0,16 |
| SE | 0,32 | 11,75 | 0,23 | 3,82 | 0,02 | 0,1 | 0,25 | 0,16 | 0,05 |
| Variance résiduelle | 2,49 | 55,9 | 0,92 | 12,64 | 0,14 | 0,42 | 1,27 | 0,67 | 0,41 |
| SE | 0,27 | 9,1 | 0,17 | 2,86 | 0,01 | 0,08 | 0,20 | 0,12 | 0,04 |
| Coefficient de variation génétique | 1,7% | 13% | < 1% | 14,6% | 1,5% | 7% | 2,3% | 10,9% | 6% |

Les héritabilités estimées sont toutes fortes comprises entre 0,28 et 0,60. Pour le buissonné pailleux, l'hypothèse initiale d'un déterminisme purement environnemental semble contredite. Avec une h^2 de 0,28 il serait à considérer comme un caractère héritable. Cependant, la part de variance phénotypique expliquée par l'environnement pour ce caractère reste plus importante que celle expliquée par la génétique ($\text{var}(e) > \text{var}(a)$). La couverture intermédiaire, la finesse de la laine et l'épaisseur de la colonne sont les caractères ayant aussi une part de variance environnementale plus importante que celle dû à la génétique. Les autres caractères ont un déterminisme génétique équivalent ou plus important que celui dû à l'environnement. Le piqué de laine possède une très forte héritabilité (0,49), et une variance génétique et résiduelle équivalente, la variabilité observée du caractère semble donc expliquée autant par la génétique que par l'environnement. L'héritabilité de ce caractère est ici un peu plus élevée que celle estimée dans l'étude de I.P. Campbell et al en 1996, 0,49 vs 0,40 respectivement. Pour les caractères de laine, on retrouve pour la finesse une héritabilité proche de celle mesurée en chèvre dans la race Angora 0,51. Par contre le coefficient de variation de la finesse a lui une héritabilité plus faible en chèvre, 0,29 (D. Allain and C. Renieri).

De manière générale, ces estimations d'héritabilités sont très élevées, elles se rencontrent généralement pour des caractères de composition des produits (comme le taux protéique du lait, h^2 de l'ordre de 0,50) ou encore des caractères de morphologie comme la taille des individus (C.Robert-Granié, 2016).

L'héritabilité n'est pas le seul critère à prendre en compte en matière de sélection. Le coefficient de variation génétique traduit la capacité relative du caractère à évoluer par sélection, et la « facilité » de sélectionner des animaux extrêmes. Le piqué de laine a une très forte héritabilité, et un coefficient de variation dépassant les 10%. Par comparaison le taux protéique du lait a une héritabilité du même ordre mais un coefficient de variation génétique de seulement 4% en bovins (H. Larroque communication personnelle).

Ces héritabilités semblent relativement stables lorsqu'elles sont estimées par des modèles bicaractère en comparaison aux estimées en unicaractère. On remarque cependant des écarts de variation d'estimation selon les caractères allant de 0,01 à 0,07. De même, les écart-types d'erreur d'estimation sont relativement importants. Ceci peut être mis en relation avec des effectifs phénotypés, qui restent malgré tout très modestes dans ce type d'étude. Cependant, la fiabilité de ces estimations pourraient être améliorée dans le futur par l'utilisation des génotypes.

IV-D-2 Corrélations génétiques

Tableau 12 : Corrélations génétique entre les caractères de laines, de toisons et de peaux

| | Capacité compression | Frisure OFDA | CV Finesse | Couverture inter | Frisure milieu | Epaisseur | Buissonné | Piqué |
|----------------------|----------------------|--------------|------------|------------------|----------------|-----------|-----------|-------|
| Finesse | 0,41 | -0,42 | 0,52 | 0,54 | 0,01 | -0,01 | 0,47 | 0,44 |
| Capacité compression | | 0,67 | 0,09 | 0,51 | -0,28 | 0,06 | 0,50 | 0,69 |
| Frisure OFDA | | | -0,24 | 0,12 | -0,31 | 0,01 | 0,12 | 0,36 |
| CV finesse | | | | 0,15 | -0,43 | -0,30 | 0,01 | 0,15 |
| Couverture inter | | | | | 0,17 | -0,38 | 0,29 | 0,41 |
| Frisure milieu | | | | | | -0,13 | -0,41 | -0,41 |
| Epaisseur | | | | | | | 0,28 | 0,27 |
| Buissonné | | | | | | | | 0,68 |

Les corrélations génétiques entre caractères sont présentées au tableau 12. Les caractères de toison (couverture intermédiaire et frisure du milieu) sont génétiquement faiblement corrélés entre eux : 0,17. Les caractéristiques de la laine présentent des corrélations génétiques élevées : notamment entre la capacité de compression de la laine et ses 2 composantes : 0,41 avec la finesse et 0,67 avec la frisure. Une laine avec une capacité de compression élevée sera génétiquement d'autant plus épaisse et peu frisée. Les deux défauts de peaux sont positivement et fortement corrélés entre eux (0,68), ce qui éclaire la corrélation observée dans notre analyse phénotypique de départ sur la relation positive entre les deux défauts. L'épaisseur de la colonne est peu corrélée aux deux défauts. Entre variables de différents groupes, on observe que la capacité de compression et dans une moindre mesure la finesse et la frisure de la laine sont fortement corrélées positivement au piqué de laine. Une laine épaisse et peu frisée sera génétiquement corrélée à la présence accrue de piqué de laine. La capacité de compression, la finesse et la frisure sont donc des pistes de potentiels prédicteurs de ce défaut de peau et ont l'avantage d'être mesurables sur animaux vivants. Pour le buissonné pailleux on retrouve également d'assez fortes corrélations avec la capacité de compression et la finesse de la laine.

V. Conclusion

Le but de cette étude a été de déterminer les facteurs d'origine environnementale ou génétique impactant des deux défauts de peaux, le piqué de laine et le buissonné pailleux. Le deuxième objectif de l'étude était aussi de déterminer si ces défauts pouvaient être prédits par d'autres caractères au phénotypage possible sur animal vivant. A ces fins, deux chantiers ont été nécessaires pour obtenir une population d'étude suffisamment importante de 1494 agneaux avec une structure familiale (nombre de descendants par père) optimisée. Le phénotypage a demandé une organisation très particulière avec en amont un plan spécifique de répartition par père des inséminations dans les élevages naisseurs, des chantiers dans l'élevage engraisseur de prise d'échantillons de sang et de laine, une identification individuelle des peaux, et enfin une notation des peaux avant et après tannage. L'étape de notation des défauts est cruciale et est réalisée à l'œil nu. Des tests ont été réalisés par les mégisseries avec des machines équipées de laser pour classer les peaux de manière automatisée, mais ils se sont avérés non concluants donc la méthode utilisée est pour l'instant la plus optimale par des experts.

Pour le buissonné pailleux, les résultats montrent que l'hypothèse de départ d'une faible part de variabilité d'origine génétique n'était pas tout à fait juste avec une héritabilité de l'ordre de 0,30. Pour le piqué de laine, la forte part de variabilité d'origine génétique est en revanche confirmée avec une héritabilité de 0,5. Les corrélations génétiques fortes estimées entre les 2 défauts de peau et les caractéristiques de la laine sont très encourageantes sur des possibilités de prédiction voire de sélection à partir de ces phénotypes indirects peu invasifs mais qui nécessitent cependant des prises d'échantillons de laine.

Ces résultats sont assez originaux puisque jusqu'à présent une seule étude avait porté sur le déterminisme génétique du piqué de laine et aucune sur celle du buissonné pailleux.

Cependant, les héritabilités et les corrélations doivent être estimées à nouveau en incluant les marqueurs SNP lors des calculs afin d'améliorer la matrice de parenté entre les individus. Cette étape devrait permettre d'obtenir des estimations plus précises des paramètres génétiques et donc de conclure plus précisément sur les héritabilités et corrélations génétiques. De plus, les modèles génétiques utilisés pour le piqué de laine et le buissonné sont des modèles linéaires, or leur notation est en catégories, ce qui peut laisser penser que les résultats obtenus en les analysant avec d'autres types de modèles prenant mieux en compte les catégories peuvent différer.

Cette étude se poursuivra par la prise en compte des marqueurs SNP lors de l'estimation des paramètres génétiques pour augmenter les précisions d'estimation. Une analyse de liaison sera aussi menée pour détecter si des zones du génome sont plus particulièrement impliquées dans le déterminisme génétique de ces défauts.

Bibliographie

- AESLA. Asociación Española de Criadores de Ovino Selecto de Raza Lacaune. [En ligne] (2018). Disponible sur : <http://www.lacaune.es/> (Consulté le 25/01/2021).
- AgroParisTech - UFR Génétique, élevage et reproduction. Race ovine Lacaune lait. [En ligne] (modifié en septembre 2007) Disponible sur : <http://www2.agroparistech.fr/svs/generes/especes/ovins/lacaulai.htm#:~:text=La%20race%20LACAUNE%20LAIT%20compte,de%20570%20hl%20par%20exploitation>. (Consulté le 12/01/2021)
- Allain D. and Renieri C. Genetics of fibre production and fleece characteristics in small ruminants, Angora rabbit and South American camelids. *Animal* 2010, 4:9, 1472-1481
- Allain D. et Thébaud R, G. La production de fibres textiles chez la chèvre, le lapin et le mouton. INRA Production Animales, hors-série Génétique quantitative, 1992, pp.161-165.
- Association L214. Être tué à l'abattoir de Mauléon. [En ligne] (2019). Disponible sur : <https://www.l214.com/enquetes/2016/abattoir-made-in-france/mauleon/>. (Consulté le 01/05/2021)
- Auger L. Etude d'association pangénomique du trait SMR « Suppressed Mite reproduction » dans des colonies d'apis mellifera au Québec. [Maîtrise en biologie, Université de Laval]. (2019).
- Bush S. W., Moore J. H., (2012). Chapter 11: Genome-wide association studies. *PLoS Computer Biology*, 8(12).
- Campbell I.P., Hopkins A.F, Kenney P.A. Comparing pelt quality from lambs of different sires and sire breeds. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 1996, Vol.21, pp 348.
- Castonguay F. Synchronisation et Induction des Chaleurs : Le CIDR. [En ligne] (2013). Disponible sur : [Microsoft Word - CIDR 2013 \(cepoq.com\)](#). (Consulté le 08/06/2021)
- Chambre d'agriculture Lozère. Du monde pour la vente de béliers Lacaune Lait Ovitest. [En ligne] (2019). Disponible sur [Du monde pour la vente des béliers Lacaune Lait OVITEST - Chambre d'agriculture Lozère \(chambre-agriculture.fr\)](#). (Consulté le 10/06/2021)
- Cooper S. M.. The effects of sheep breed on the defects pinhole and raised rib. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 2002. Vol.62, pp.69-71.
- De Vienne D. L'héritabilité : un concept utile, souvent dévoyé. [En ligne]. Disponible sur : https://sfg.igh.cnrs.fr/DOC/MAP_Heritabilite.pdf. (Consulté le 18/05/2021).
- Elvira Partida L. Características productivas de la raza ovina lechera Lacaune bajo un sistema de producción intensivo en España: factores que afectan dichas características [Thèse de doctorat, Université Complutense – Madrid]. (2016).
- Ensembl. Sheep assembly and gene notation. [En ligne] (mise à jour en mai 2021). Disponible sur : [Ovis_aries_rambouillet - Ensembl genome browser 104](#). (Consulté le 05/05/2021).
- Ensembl. Whole genome - Ovis_aries. [En ligne] (novembre 2020). Disponible sur : https://www.ensembl.org/Ovis_aries/Location/Genome?db=core;r=5:22842506-23602012 (Consulté le 13/01/2021)

FranceAgriMer. Le marché des produits laitiers, carnés et avicoles – Bilan 2019, Perspectives 2020. [En ligne]. 2020. Disponible sur <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/63165/document/BIL-VIA-LAI-Bilan2019-Perspectives2020.pdf?version=2> (Consulté le 15/03/2021)

France génétique élevage. Les races Lacaune. [En ligne]. 2010, 16 p. Disponible sur : http://es.france-genetique-elevage.org/IMG/pdf/lacaunelait_plaquette_general_2010.pdf (Consulté le 11/01/2021)

Illumina. *OvineSNP50 DNA Analysis Kit* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.illumina.com/products/by-type/microarray-kits/ovine-snp50.html> (Consulté le 14 janvier 2021).

ISGC. International Sheep Genomics Consortium. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.sheepmap.org/> (Consulté le 13/01/2021)

JUSSIAU R, PAPET A, RIGAL J, et ZANCHI E. (2013). Amélioration Génétique Des Animaux D'élevage, Génome, Caractères, Sélection et Croisements

Larroque, H., Chassier, M., Saintilan, R., Astruc, J.-M. (2017). Imputation accuracy from a low density SNP panel in 5 dairy sheep breeds in France. In: Book of Abstracts of the 68th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (p. 151-151). Annual Meeting of the European Association for Animal Production, 23 (1er Ed.). Presented at 68. Annual Meeting of the European Association for Animal Production (EAAP), Tallinn, EST (2017-08-28 - 2017-09-01). Wageningen, NLD: Wageningen Academic Publishers. 513 p.

Le Guen A. État des lieux et pistes d'optimisation de la filière engraissement des agneaux du groupement de producteurs Unicor (Aveyron) [Thèse de doctorat, Université Claude Bernard – Lyon I]. (2007).

Leatherfashiondesign. Alric perpétue le savoir faire de la mégisserie traditionnelle. [En ligne]. Disponible sur [Alric perpétue le savoir-faire de la mégisserie traditionnelle - Leather Fashion Design \(LFD\)](#). (Consulté le 06/06/2021).

Misztal, I., S. Tsuruta, T. Strabel, B. Auvray, T. Druet, and D. H. Lee. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). Pages 21–22 in Proc. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Quae, Versailles, France.

Personne F. Essais buissonné-pailleux sur agneaux Lacaune à l'engraissement, (2001) SGCP, 19 p.

Races de France. Ovin Lacaune. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.races-montagnes.com/fr/races/lacaune.php> (Consulté le 12/01/2021)

Robert-Granié C. (2016). Concepts de base en génétique quantitative. [Diapositives en ligne]. Disponible sur : <http://www.mabs.ups-tlse.fr/site/images/e/e0/Genetique-quantitative.pdf>. (Consulté le 18/05/2021).

Rupp R., Mucha S., Larroque H., Mcewan J., Conington J. Genomic application in sheep and goat breeding. *Animal Frontiers*, American Society of Animal Science, 2016, 6 (1), pp.39-44. [ff10.2527/af.2016-0006ff](https://doi.org/10.2527/af.2016-0006ff). [ffhal-02637118f](https://doi.org/10.2527/af.2016-0006ff)

Sumner R. M. W., et al. (2005). "Investigations into the prediction of core bulk using OFDA instruments." *International journal of sheep and wool science* 57(1)

| | |
|--|--|
|  agriculture • alimentation • environnement | Diplôme : Master Spécialité : Biologie, Agrosciences Spécialisation / option : Science de l'Animal pour l'Elevage de Demain Enseignant référent : Yannick LE COZLER |
| Auteur(s) : Emeric Dugas Date de naissance : 18/01/1996 | Organisme d'accueil : INRAE Adresse : 24 chemin de Borde Rouge, 31320 Auzeville-Tolosane |
| Nb pages : 28 Annexe(s) : 0 | Maître de stage : Hélène Larroque et Laurence Drouilhet |
| Année de soutenance : 2021 | |
| Titre français : Qualité des cuirs d'agneaux : « Déterminisme génétique en race Lacaune » Titre anglais : Quality of lamb hides: « Genetic determinism in the Lacaune breed » | |
| Résumé La peau d'agneaux Lacaune est réputée pour sa très bonne qualité et son utilisation dans l'industrie du cuir et du prêt-à-porter de luxe. Dans un contexte de dégradation de la qualité du cuir d'agneaux en race Lacaune, l'approvisionnement de ces peaux est délocalisé en Espagne, au détriment du bassin de production du Roquefort. Cette délocalisation est due à la présence de deux défauts de peau : le piqué de laine et le buissonné pailleux. Le projet « L'A-PROPOS » a pour but d'étudier les facteurs à l'origine de ces défauts afin de relocaliser et revaloriser ces cuirs d'agneaux. Pour cela, environ 1500 agneaux Lacaune, issus de 31 familles génétiques, ont été produits et finement phénotypés. Pour chaque animal, 7 caractères de laine, 6 de toison et 3 de peau (dont les 2 défauts de peau) ont été enregistrés. Les paramètres génétiques tels que l'héritabilité et les corrélations génétiques de ces différents caractères ont été estimés. Le défaut de piqué de laine présente une variabilité importante au sein de notre population étudiée (avec un coefficient de variation de 10%) et une forte héritabilité (0,50 ± SE). La variabilité du défaut de buissonné pailleux est plus faible (6%) et semble être davantage expliquée par des effets environnementaux que par des effets génétiques. Les défauts de peaux ne se mesurent que sur une peau tannée. Notre étude a également permis d'identifier la finesse et la frisure de la laine comme potentiels prédicteurs de ces défauts sur animal vivant, permettant leur sélection. | |
| Abstract Lacaune lamb skins are renowned for their very good quality and their use in the leather industry and luxury ready-to-wear clothing. In a context of deterioration of the quality of the Lacaune lamb hides, the supply of these skins is relocated in Spain, to the detriment of the Roquefort production basin. This delocalization is due to the presence of two skin defects: the pinhole and the straw-like bushiness. The project " L'A-PROPOS " aims at studying the factors at the origin of these defects in order to relocate and revalue these lamb skins. For this purpose, about 1500 Lacaune lambs, from 31 genetic families, were produced and finely phenotyped. For each animal, 7 wool traits, 6 fleece traits and 3 skin traits (including the 2 skin defects) were recorded. Genetic parameters such as heritability and genetic correlations of these different traits were estimated. The pinhole defect shows a high variability within our study population (with a coefficient of variation of 10%) and a high heritability (0.50 ± SE). The variability of the straw-like bushiness defect is lower (6%) and seems to be explained more by environmental effects than by genetic effects. Skin defects are only measured on a tanned skin. Our study also identified wool fineness and crimp as potential predictors of these defects in live animals, allowing their selection. | |
| Mots-clés : Lamb Hides, Lacaune, Génétique, Piqué de laine, Buissonné pailleux Key Words: Lamb skin, Lacaune, Genetic, Pinhole, Straw-like bushiness | |