

# EFFET DE LA CONSANGUINITE SUR LES PERFORMANCES DE REPRODUCTION DANS L'ESPECE CANINE

---

THESE  
pour obtenir le titre de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement  
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

*par*

**MONS Gaëlle, Manon, Emeline**  
Née le 06/09/1995 à RENNES (35)

**Directrice de thèse : Mme Sylvie CHASTANT**

---

## JURY

PRESIDENT :

**M. Roger LEANDRI**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

**Mme Sylvie CHASTANT**

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**M. Alain DUCOS**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITEE :

**Mme Amélie MUGNIER**

Ingénieure de Recherches à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE



**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation  
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

**Directeur** : Professeur Pierre SANS

**PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE**

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie – Thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **PETIT Claude**, (Emérite) - *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

**PROFESSEURS 1° CLASSE**

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*

**PROFESSEURS 2° CLASSE**

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et Économie de la santé animale*

**PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE**

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

#### MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

#### MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie- Bactériologie-Pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
- Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie - Analgésie*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
- Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
- Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

#### CHARGES D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS

- M. **FERCHIOU Ahmed**, *Economie, production animale,*
- M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*
- Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophtalmologie*
- Mme **SOUVESTRE Marie**, *Production et pathologie aviaire*
- Mme **TOUSSAIN Marion**, *Pathologie des équidés*

#### ENSEIGNANT DE PREMIERE ANNEE COMMUNE AUX ETUDES VETERINAIRES

- Mme **GAUCHARD Cécile**, *Biologie-écologie-santé*

#### ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- M **BESSIERE Pierre**, *Microbiologie infectiologie*
- Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
- M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*
- M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

# Remerciements

## **A Monsieur le Professeur Roger LEANDRI**

*Professeur à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

*Biologie de la reproduction,*

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,

Hommage respectueux.

## **A Madame le Professeur Sylvie CHASTANT,**

*Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse*

*Pathologie de la reproduction,*

Pour m'avoir accordé votre confiance dans la réalisation de cette thèse.

Pour votre accompagnement et vos précieux conseils tout au long de la réalisation de cette thèse.

Sincères remerciements.

## **A Monsieur le Professeur Alain DUCOS**

*Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse*

*Zootchnie,*

Qui a très aimablement accepté de faire partie de mon jury de thèse,

Sincères remerciements.

## **A Madame Amélie MUGNIER,**

*Ingénieur de recherches à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,*

Pour tout le temps que tu m'as consacré pour m'aider et répondre à mes interrogations.

Sincères remerciements.



# Table des matières

Remerciements .....	5
Liste des Abréviations .....	9
Table des Figures .....	11
Table des Tableaux .....	13
Table des Annexes .....	15
Introduction .....	17
I. Matériels et méthodes.....	21
A. Collecte et nature des données .....	21
B. Définitions des variables .....	21
1. Consanguinité.....	21
2. Performances de reproduction.....	23
a) Paramètres caractérisant la portée .....	23
b) Paramètres caractérisant le chiot .....	25
c) Paramètres décrivant la survie des chiots .....	26
d) Paramètres caractérisant la croissance du chiot .....	27
C. Méthodes d'analyse statistique des données .....	28
II. Résultats .....	29
A. Description de la population .....	29
1. Description générale de la population.....	29
2. Description des paramètres d'intérêt dans la population .....	31
B. Description de la consanguinité.....	33
1. Description de la consanguinité de la mère .....	33
2. Description de la consanguinité du chiot .....	34
3. Relation entre la consanguinité de la mère et celle du chiot.....	34
C. Consanguinité et performances de reproduction .....	36
1. Relation entre la consanguinité de la mère et les paramètres d'intérêt ....	36
a) Relation avec le paramètre caractérisant le chiot .....	36
b) Relation avec le paramètre décrivant la survie des chiots.....	37
c) Relation avec les paramètres caractérisant la croissance du chiot.....	39

2. Relation entre la consanguinité du chiot et les paramètres d'intérêt .....	41
a) Relation avec le paramètre caractérisant le chiot .....	41
b) Relation avec les paramètres caractérisant la croissance du chiot .....	44
c) Relation avec le paramètre décrivant la survie des chiots .....	47
3. Bilan des résultats .....	48
III. Discussion.....	50
A. Discussion des résultats.....	55
1. Effet significatif de la consanguinité sur les paramètres .....	55
2. Effet non significatif de la consanguinité sur les paramètres .....	63
B. Limites de la base de données.....	69
Conclusion .....	73
Références bibliographiques.....	75
Annexes.....	81



## Liste des Abréviations

CV = Coefficient de variation du poids de naissance intra-portée

F<sub>5G</sub> = Coefficient de consanguinité à cinq générations

PDN = Poids de naissance

SCC = Société Centrale Canine



# Table des Figures

<u>Figure 1</u> : Effet de la consanguinité de la mère : paramètres d'intérêt retenus.....	24
<u>Figure 2</u> : Effet de la consanguinité du chiot : paramètres d'intérêt retenus. ....	24
<u>Figure 3</u> : Répartition des mises bas selon l'année, n = 537 portées. ....	29
<u>Figure 4</u> : Répartition du nombre de portées par mère, n = 339 mères.....	30
<u>Figure 5</u> : Distribution de la taille des portées, n = 337 portées. ....	32
<u>Figure 6</u> : Distribution de la taille de la portée selon le format, n = 337 portées.....	32
<u>Figure 7</u> : Distribution du coefficient de variation du poids de naissance intra-portée, n = 290 portées. ....	33
<u>Figure 8</u> : Distribution du taux de consanguinité à cinq générations des mères, n = 339 mères.....	34
<u>Figure 9</u> : Distribution du taux de consanguinité à cinq générations des chiots, n = 3180 chiots.....	35
<u>Figure 10</u> : Distribution du taux de consanguinité à cinq générations des mères en fonction de celui des chiots, n = 537 portées. ....	35
<u>Figure 11</u> : Distribution de la différence entre la consanguinité à cinq générations du chiot et celle de la mère, n = 537 portées. ....	36
<u>Figure 12</u> : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et la probabilité de naître avec un petit poids de naissance chez le chiot, n = 2737 chiots.....	37
<u>Figure 13</u> : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et la présence de chiots mort-nés au sein de la portée, n = 337 portées. ....	38
<u>Figure 14</u> : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et le nombre de chiots ayant une croissance négative entre 0 et 2 jours, n = 2174 chiots.....	39
<u>Figure 15</u> : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et le taux de croissance des chiots entre 0 et 2 jours, n = 2174 chiots. ....	40
<u>Figure 16</u> : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et le taux de croissance des chiots entre 0 et 21 jours, n = 1687 chiots. ....	41
<u>Figure 17</u> : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations du chiot et la proportion de chiots à petit poids de naissance, n = 2737 chiots. ....	43
<u>Figure 18</u> : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations et le poids de naissance en race Léonberg, n = 193 chiots. ....	44
<u>Figure 19</u> : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations du chiot et la proportion de chiots à croissance négative entre 0 et 2 jours, n = 2174 chiots. ....	45
<u>Figure 20</u> : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations du chiot et son taux de croissance entre 0 et 2 jours, n = 2174 chiots. ....	45
<u>Figure 21</u> : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations du chiot et son taux de croissance entre 0 et 21 jours, n = 1687 chiots. ....	46

<u>Figure 22</u> : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations du chiot et la proportion de chiots nés morts, n = 2103 chiots. ....	47
<u>Figure 23</u> : Représentation de l'allure de la courbe de la relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et la proportion de chiots nés avec un petit poids de naissance. ....	56
<u>Figure 24</u> : Représentation de l'allure de la courbe de la relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et le taux de croissance entre 0 et 2 jours des chiots. ....	57
<u>Figure 25</u> : Représentation de l'allure de la courbe de la relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et la proportion de portées ayant au moins un chiot mort-né. ....	57
<u>Figure 26</u> : Représentation de l'allure de la courbe de la relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et le taux de croissance entre 0 et 21 jours des chiots. ....	58
<u>Figure 27</u> : Représentation de l'allure de la courbe de la relation entre le taux de consanguinité à cinq générations du chiot et son taux de croissance entre 0 et 2 jours. ....	58

## Table des Tableaux

<u>Tableau 1</u> : Présentation des variables de l'étude.....	22
<u>Tableau 2</u> : Définition du format en fonction du poids du chien.....	23
<u>Tableau 3</u> : Effectifs selon le format racial.....	30
<u>Tableau 4</u> : Effectifs pour les 10 races les plus représentées dans la population d'étude (nombre total de chiots, de portées, de mères).....	31
<u>Tableau 5</u> : Description des poids de naissance des chiots des 4 races sélectionnées en fonction des seuils CART et ROC, n = 678 chiots .....	43
<u>Tableau 6</u> : Bilan de l'effet du taux de consanguinité de la mère à cinq générations sur les paramètres étudiés. ....	48
<u>Tableau 7</u> : Bilan de l'effet du taux de consanguinité du chiot à cinq générations sur les paramètres étudiés. ....	49
<u>Tableau 8</u> : Synthèse bibliographique de l'effet de la consanguinité sur les performances de production.....	50
<u>Tableau 9</u> : Synthèse bibliographique de l'effet de la consanguinité sur les performances de reproduction.....	51
<u>Tableau 10</u> : Taux de chiots présents dans les classes de consanguinité à cinq générations du chiot supérieure à 4 % selon les trois définitions du « petit » poids de naissance. ....	61
<u>Tableau 11</u> : Comparaison de la composition des classes de consanguinité à cinq générations du chiot de notre base de données avec nos données sur la race Léonberg. ....	62
<u>Tableau 12</u> : Comparaison de la taille de la population de différentes études ayant étudiées les effets de la consanguinité .....	71
<u>Tableau 13</u> : Comparaison de la distribution des coefficients de consanguinité à cinq générations entre la population de l'étude de Leroy et al. (2015) et notre étude.....	72



## Table des Annexes

<u>Annexe 1</u> : Méthode de calcul des coefficients de consanguinité utilisée par LOF Select. ....	83
<u>Annexe 2</u> : Liste des races des chiots présents dans l'étude classées par format. ...	87
<u>Annexe 3</u> : Nombre total de chiots, de portées et de mères par race (classées par format). ....	89
<u>Annexe 4</u> : Représentation du poids de naissance moyen en fonction de la consanguinité à cinq générations des chiots chez les races Berger Australien, Bouvier Bernois et Cocker Anglais.....	93





# Introduction

Depuis 2015, les animaux sont reconnus par la loi comme des êtres vivants doués de sensibilité (Légifrance 2015). Leur bien-être prend une place de plus en plus importante dans les mentalités et commence à faire partie des priorités en terme d'élevage. En outre, c'est ce qu'évoquait déjà l'annexe II de l'arrêté du 3 avril 2014 dans le chapitre II de sa section 2, « l'élevage vise à obtenir des animaux en bonne santé, au caractère équilibré, exempts de tares ou de propriétés portant atteinte à leur bien-être » (Légifrance 2014). La sélection génétique, dont le coefficient de consanguinité, des reproducteurs et la bonne gestion des accouplements, et notamment le degré de consanguinité des deux partenaires, prennent alors toute leur importance.

Le coefficient de consanguinité d'un individu correspond à la probabilité que les deux exemplaires d'un gène tirés au hasard chez un individu soient identiques et proviennent d'un ancêtre commun (Régnier 2008). Ce coefficient peut être calculé par différentes méthodes. Si un accouplement frère-sœur ou parent-enfant a lieu, le coefficient de consanguinité de leur descendance sera de 25 %. Celui-ci sera de 12,5 %, s'il s'agit d'un accouplement entre demi-frère et demi-sœur ou oncle et nièce. Celui-ci descend à 6,25 % lors d'un accouplement entre cousins. Généralement, si les ancêtres communs aux deux individus se situent dans l'arbre généalogique au-delà de cinq générations, ces ancêtres communs sont considérés comme ayant un faible effet sur la consanguinité. Les deux individus sont alors considérés comme non consanguins (Ocampo et Cardona 2013).

Au cours du processus de création des races canines, des accouplements entre chiens apparentés permettent de stabiliser le phénotype et d'obtenir des phénotypes conformes aux critères morphologiques de la race définis dans les standards de race. Selon Leroy et al. (2015), 24 % des éleveurs canins français ont déclarés avoir eu recours à ce type d'accouplement. Cette méthode d'accouplement permet de fixer les caractères voulus et produit des individus similaires phénotypiquement. Le petit effectif présent au sein des races canines permet une augmentation de la consanguinité plus rapide et donc une fixation des phénotypes plus rapide que dans des populations à plus grand effectif. Cependant,

l'augmentation de consanguinité entraînée par ces accouplements apparentés est aussi à l'origine d'effets indésirables. Elle entraîne une diminution de la diversité génétique puisqu'elle augmente l'homozygotie. Cette dernière correspond au nombre d'allèles identiques sur un locus. La consanguinité peut donc conduire à l'expression de certaines anomalies génétiques liées à des allèles récessifs ne donnant lieu à une expression phénotypique qu'à l'état homozygote. Par conséquent, en augmentant la consanguinité au sein des races canines et donc l'homozygotie, des effets délétères peuvent apparaître, notamment la dissémination dans une race donnée de maladies héréditaires ou de malformations congénitales.

La dépression de consanguinité est un autre effet indésirable lié à l'augmentation de consanguinité. Elle correspond à la diminution des valeurs de la population en caractères liés à la reproduction (comme la prolificité ou la fertilité) mais aussi en caractères liés à la production (comme l'aptitude laitière) (Jordana 1996). Elle est aussi à l'origine d'une diminution de la vigueur notamment en prédisposant les animaux à contracter plus facilement des maladies. C'est pourquoi dans sa circulaire du 12 mai 2017, la Société Centrale Canine (SCC) interdit les accouplements de forte consanguinité c'est-à-dire les accouplements frères-sœurs, mère-fils et père-fille à partir du 1<sup>er</sup> octobre 2017 ([www.centrale-canine.fr/articles/consanguinite-etroite-interdite](http://www.centrale-canine.fr/articles/consanguinite-etroite-interdite)). En 2007 et 2010, la Fédération Cynologique Internationale avait déjà mis en garde les éleveurs canins quant aux risques associés aux accouplements apparentés dans sa note sur la consanguinité et dans ses stratégies d'élevage (Fédération cynologique internationale 2007 ; Fédération cynologique internationale 2010). Elle invitait les éleveurs à éviter ce type d'accouplements et à mettre en place des mesures permettant le maintien de la diversité génétique. En effet, elle encourageait les éleveurs à ne pas exclure de la reproduction plus de 50 % des individus d'une race donnée.

Les effets de la consanguinité sur la diffusion d'anomalies génétiques dans une population et ses conséquences sur la santé, la longévité ou encore sur des paramètres de production et de reproduction ont été étudiés dans de nombreuses espèces et plus particulièrement chez les espèces domestiques de production. Le Mérinos de Rambouillet de la Bergerie Nationale est une race particulièrement intéressante pour étudier l'effet de la consanguinité puisque la population de cet élevage vit sans apport génétique extérieur depuis 1801. A ce jour, le coefficient de

consanguinité de la population de Mérinos de Rambouillet de la Bergerie Nationale est de plus de 52 % ([www.bergerie-nationale.educagri.fr](http://www.bergerie-nationale.educagri.fr)). Roy (2000) a étudié l'effet de la consanguinité du Mérinos de Rambouillet sur le poids de naissance, le poids au sevrage et la prolificité. Ainsi, la consanguinité aurait plus d'influence sur le poids au sevrage que sur le poids de naissance et aucun effet de la consanguinité sur le poids de naissance ou sur la prolificité n'a été mis en évidence. D'autres études concernant d'autres races ovines ont, quant à elles, pu montrer un effet négatif de la consanguinité des mères et des agneaux sur le poids de naissance et le poids des agneaux à 30, 70 ou encore 90 jours d'âge (Boujenane et Chami 1997 ; Mandal et al. 2005 ; Van Wyck 2009 ; Jannoune et al. 2014). Chez le porc, une étude sur les races Large White et Landrace a démontré que la consanguinité du porcelet avait un effet négatif sur le nombre de porcelets nés vivants (Köck et al. 2009). Dans une étude plus ancienne (Hochereau de Reviers et al. 1997), la consanguinité allongeait l'âge à la puberté et détériorait la survie embryonnaire précoce. De même, une étude sur un troupeau de Hampshire vivant sans apport génétique depuis 30 ans a aussi décrit un effet négatif de la consanguinité des agneaux sur leur survie à 7 et 90 jours de vie (Lamberson 1981). En outre, une étude sur des bovins de race Hereford a montré un effet négatif de la consanguinité de la mère sur les performances de croissance de la progéniture avec une baisse du poids de naissance et des poids au sevrage et à un an (Sumreddee et al. 2019). Chez des bovins de race Holstein, un allongement de l'âge au premier vêlage a été décrit en lien avec l'augmentation de la consanguinité de l'individu (McParland et al. 2007).

D'autre part, la consanguinité aurait un effet sur d'autres performances que celles liées à la reproduction. En effet, selon Coltman et al.(1999) (cité par Ocampo et Cardona 2013), elle entraînerait une moins bonne résistance des ovins au parasitisme. Le poids de la laine serait diminué chez des mères ayant un taux de consanguinité supérieure à 20 % (Ercanbrack et Knight 1991). Par ailleurs, une augmentation de consanguinité serait à l'origine d'une baisse de production laitière et de qualité du lait pour certaines races bovines (Thompson et al. 2000a ; Thompson et al. 2000b).

Dans l'espèce canine, certaines publications évoquent les effets d'une augmentation de la consanguinité sur les performances de reproduction. Une augmentation de la consanguinité de la mère et des chiots diminuerait la taille de la

portée et la longévité à deux ans (Leroy et al. 2015). Plus précisément, une consanguinité de 25 % de la portée, soit liée à un accouplement frère-sœur ou parent-enfant, diminuerait la taille de la portée de 0,65 chiot. Une femelle ayant un coefficient de consanguinité de 25 % aurait une taille de portée diminuée de 0,5 chiot par rapport à une mère non consanguine (Leroy et al. 2015). Ceci a également été observé dans une étude incluant 93 Golden Retrievers (Chu et al. 2019) : la taille d'une portée diminue d'un chiot lorsque le coefficient de consanguinité augmente de 10 %.

Cependant, d'autres études montrent une faible influence de la consanguinité sur les performances de reproduction. C'est le cas de l'étude d'Urfer (2009) sur des lévriers irlandais qui a mis en évidence un effet très significatif ( $p = 0,0001$ ) de la consanguinité de la mère et aucun effet significatif de la consanguinité de la portée ou du père jusqu'à 30 générations sur la taille de la portée. Urfer (2009) conclut à une influence de la consanguinité de la mère moins importante que ce que la valeur  $p$  indique au vue du faible coefficient de détermination du modèle obtenu ( $R^2 = 0,0341$ ) et de l'absence d'effet significatif des autres consanguinités étudiées.

Les travaux sur l'impact de la consanguinité sur les performances de reproduction dans l'espèce canine ont donc été menés sur une seule race (Urfer 2009 ; Mostert et al. 2015 ; Chu et al. 2019) ou sur quelques races (Leroy et al. 2015 ; Kania-Gierdziewicz et Palka 2019). Ils se sont intéressés principalement à la taille de la portée (Urfer 2009 ; Mostert et al. 2015 ; Leroy et al. 2015 ; Chu et al. 2019 ; Kania-Gierdziewicz et Palka 2019). L'objectif de notre étude était d'évaluer l'impact de la consanguinité sur la mortalité des chiots ainsi que sur leur croissance néonatale et ce sur un jeu de données incluant un grand nombre de races. L'impact sur la taille de la portée sera évaluée également.

# **I. Matériels et méthodes**

## **A. Collecte et nature des données**

Contactés par courriel, des éleveurs canins français ont fourni des informations concernant des portées enregistrées dans la base de données LOF Select. Le pré-requis était que les portées devaient être issues d'une mère possédant un arbre généalogique complet à cinq générations. Il est important de remarquer que les chiots d'une même portée ont les mêmes coefficients de consanguinité. Au total, 95 élevages ont contribué à la constitution de la base de données qui rassemble 3180 chiots issus de 339 mères de 52 races. La liste des variables enregistrées et le pourcentage de données manquantes pour chacune d'entre elles est présentée dans le Tableau 1.

## **B. Définitions des variables**

Dans cette étude, les effets d'une part de la consanguinité de la mère, et d'autre part de celle du chiot, sur les performances de reproduction ont été étudiés.

### **1. Consanguinité**

La consanguinité à cinq générations de la mère et celle du chiot sont exprimées à l'aide d'un coefficient calculé par LOF Select grâce à la « méthode des chemins » décrite dans l'annexe 1 à partir des ancêtres présents jusqu'à la cinquième génération. Cette méthode est identique pour les deux consanguinités ; seul le point de départ change, à savoir l'individu pour lequel le coefficient de consanguinité est calculé (la mère ou le chiot). Compte-tenu de la distribution observée sur ces paramètres, ceux-ci ont été découpés en sept classes (Tableau 1).

**Tableau 1 : Présentation des variables de l'étude**

*F<sub>5G</sub> = Coefficient de consanguinité à cinq générations, M = Mâle, F = Femelle, O = Oui, N = Non*

Nom de la variable	Type de variable	Format de la variable	Données manquantes (%)
<b>F<sub>5G</sub> de la mère</b>	quantitative	classe de pourcentages : 0, ]0 ; 1], ]1 ; 2], ]2 ; 4], ]4 ; 6], ]6 ; 10], ]10 ; 28]	0
<b>F<sub>5G</sub> du chiot</b>	quantitative	classe de pourcentages : 0, ]0 ; 1], ]1 ; 2], ]2 ; 4], ]4 ; 6], ]6 ; 10], ]10 ; 31,5]	0
<b>Race de la mère</b>	qualitative	classée selon le format : S/M/L/G	0
<b>Hétérogénéité des poids intra-portée</b>	quantitative	classe de pourcentages : [0-10[, [10-20[, [20-30[, [30-40 [, ≥ 40	14,4
<b>Poids de la portée</b>	quantitative	nombre en grammes	77,3
<b>Taille de la portée</b>	quantitative	nombre de chiots	37,2
<b>Petit poids de naissance</b>	quantitative	nombre en grammes	13,9
<b>Sexe du chiot</b>	qualitative	M/F	1
<b>Sex ratio</b>	quantitative	pourcentage	1
<b>Taux de croissance entre 0 et 2 jours</b>	quantitative	pourcentage	31,6
<b>Proportion de chiots ayant une croissance négative entre 0 et 2 jours</b>	qualitative	O/N	31,6
<b>Taux de croissance entre 0 et 21 jours</b>	quantitative	pourcentage	46,9
<b>Taux de mortinatalité</b>	quantitative	pourcentage	33,8
<b>Proportion de portées ayant au moins un chiot mort-né</b>	quantitative	pourcentage	37,2
<b>Taux de mortalité entre 0 et 2 jours</b>	quantitative	pourcentage	1,8
<b>Proportion de portées ayant au moins un chiot mort entre 0 et 2 jours</b>	quantitative	pourcentage	6
<b>Taux de mortalité entre 0 et 21 jours</b>	quantitative	pourcentage	3,6
<b>Proportion de portées ayant au moins un chiot mort entre 0 et 21 jours</b>	quantitative	pourcentage	8
<b>Taux de mortalité entre 0 et 2 mois</b>	quantitative	pourcentage	6,3
<b>Proportion de portées ayant au moins un chiot mort entre 0 et 2 mois</b>	quantitative	pourcentage	11

## 2. Performances de reproduction

Les performances de reproduction ont été décrites à l'aide de données portant sur les caractéristiques de la portée (en rose sur les Figures 1 et 2), de données portant sur la croissance du chiot (en bleu) ainsi que sur sa survie (en violet). Les paramètres retenus pour évaluer l'effet de la consanguinité sont présentés Figure 1 pour celle de la mère et Figure 2 pour celle du chiot.

### **a) Paramètres caractérisant la portée**

#### o **Race de la mère**

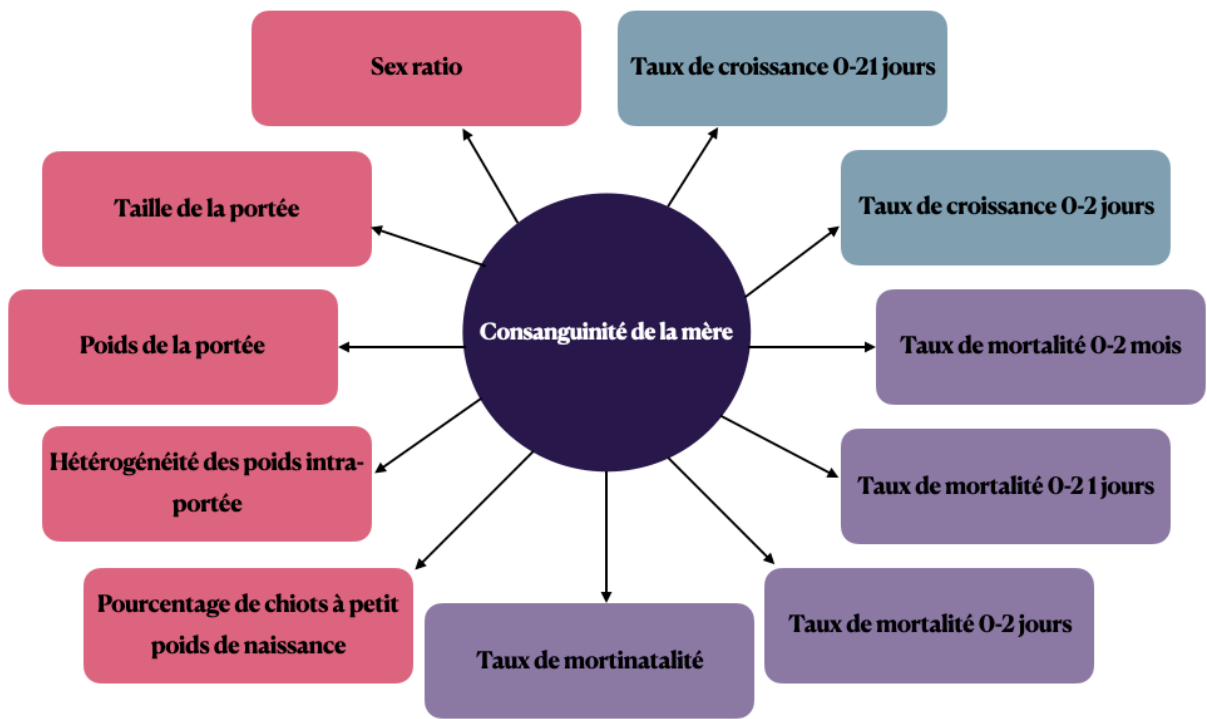
Les races ont été classées par format (Guillemot 2015; Tableau 2). Les petites races et les races naines correspondent au format S. Les races moyennes, les grandes races et les races géantes correspondent respectivement au format M, L et G. L'annexe 2 présente la classification des races de la population d'étude selon leur format.

*Tableau 2 : Définition du format en fonction du poids du chien.*

<b>Format</b>	<b>Poids (kg)</b>
S	1 - 10
M	11 - 25
L	26 - 44
G	> 44

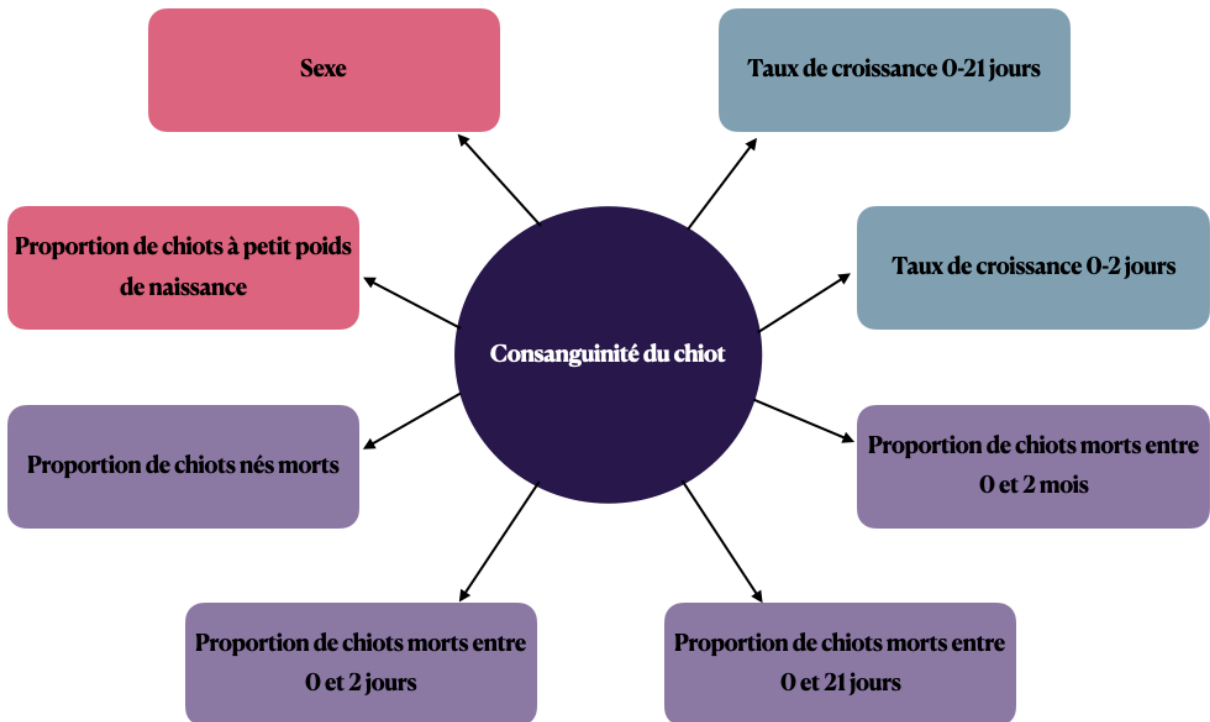
#### o **Taille de la portée**

La taille de la portée correspond au nombre total de chiots nés (vivants et morts) dans une portée.



*Figure 1 : Effet de la consanguinité de la mère : paramètres d'intérêt retenus.*

*En rose, les paramètres caractérisant la portée ; en violet, ceux concernant la survie néonatale et pédiatrique du chiot et en bleu, ceux relatifs à la croissance du chiot.*



*Figure 2 : Effet de la consanguinité du chiot : paramètres d'intérêt retenus.*

*En rose, les paramètres caractérisant le chiot ; en violet, ceux concernant la survie néonatale et pédiatrique du chiot et en bleu, ceux relatifs à la croissance du chiot.*



### o Poids de la portée

Le poids de la portée est ici décrit comme la part de poids maternel que représente le poids total de la portée. Cela permet de s'affranchir de la variabilité de poids créée par la grande diversité de formats et de races présente dans l'espèce canine. Il est calculé selon l'équation suivante :

$$\text{Poids de la portée (en \%)} = (\text{Poids total de la portée} / \text{Poids de la mère}) \times 100$$

Le poids de la mère donné par les éleveurs est pris en dehors de la lactation et de la gestation. Pour l'étude de ce paramètre, une sélection aléatoire d'une portée pour chaque mère a été faite en prenant à chaque fois la première portée de la mère renseignée dans la base de données. Elle a permis d'éviter un biais dans la sélection des données.

### o Hétérogénéité des poids intra-portée

L'hétérogénéité des poids intra-portée correspond à la variabilité des poids de naissance des chiots au sein d'une même portée. Elle est mesurée à l'aide du coefficient de variation du poids de naissance intra-portée (CV) dont la formule est la suivante :

$$\text{CV (en \%)} = (\text{Ecart-type des poids de naissance de la portée} / \text{Moyenne des poids de naissance de la portée}) \times 100$$

Pour l'étude de ce paramètre, une sélection aléatoire d'une portée par mère, comme décrite précédemment, a été effectuée lors de la sélection des données pour éviter un quelconque biais.

## ***b) Paramètres caractérisant le chiot***

### o Petit poids de naissance

Le fait d'être à petit poids de naissance (PDN) a été défini de trois façons différentes. Pour la première définition, un chiot est dit « à petit PDN » lorsque son PDN est inférieur à la valeur du premier quartile pour sa race. La valeur du premier quartile pour une race donnée a été calculée à partir de la base de données initiale, avant sélection des pedigrees à cinq générations. Les chiots appartenant à deux

races (Epagneul Français, 8 chiots et Braque Français type Pyrénées, 4 chiots) n'ont pas été gardés pour cette définition du paramètre car leur PDN était inconnu. Avec cette définition, le pourcentage de chiots à petit PDN est calculé pour chaque classe de consanguinité en divisant le nombre de chiots à petit PDN présent dans une classe de consanguinité par le nombre total de chiots appartenant à celle-ci. Pour la seconde définition, un chiot est considéré à petit PDN si son poids est inférieur au seuil donné par les arbres de décision (analyse CART pour classification and regression tree) (Mugnier et al. 2019) pour sa race nommé « seuil CART » par la suite. Enfin, la troisième façon de définir un chiot à petit PDN est quand son poids de naissance est inférieur au « seuil ROC », seuil déterminé par l'analyse ROC (Receiver Operating Characteristic, courbe de sensibilité/spécificité) pour sa race (Mugnier et al. 2019).

#### o **Sexe du chiot**

Le chiot est soit de sexe mâle soit de sexe femelle.

#### o **Sex ratio**

Il correspond à la part de chaque sexe dans une population donnée. Dans cette étude, il est représenté par le pourcentage de mâles défini par la formule suivante :

$$\text{Pourcentage de mâles} = \left( \frac{\text{Nombre de mâles dans la population}}{\text{Nombre total d'individus dans la population}} \right) \times 100$$

### ***c) Paramètres décrivant la survie des chiots***

Pour chaque portée, sa composition (nombre de chiots morts et nombre de chiots vivants) à la naissance des chiots et lorsque les chiots ont 2 jours, 21 jours et 2 mois est connue. A l'échelle de la portée, les proportions de portées ayant au moins un chiot mort à la naissance, à l'âge de 2 jours, de 21 jours et de 2 mois ont été calculées de la manière suivante :

$$\begin{aligned} &\text{Proportion de portées ayant au moins un chiot mort sur la période considérée (en \%)} \\ &= \left( \frac{\text{nombre de portées ayant au moins un chiot mort sur la période considérée}}{\text{nombre total de portées}} \right) \times 100 \end{aligned}$$

Pour chaque chiot, est renseigné son statut (mort ou vivant) à la naissance, à l'âge de 2 jours, de 21 jours et de 2 mois. A l'échelle de la population, sont calculés :

#### o **Taux de mortinatalité des chiots**

Le taux de mortinatalité correspond au rapport du nombre de chiots mort-nés sur le nombre total de chiots nés (morts et vivants) et est exprimé en pourcentage.

#### o **Taux de mortalité des chiots**

Ils ont été calculés sur trois périodes différentes (0-2 jours, 0-21 jours et 0-2 mois) en utilisant la formule suivante :

Taux de mortalité sur la période considérée (en %) = (Nombre de chiots morts sur la période considérée / Nombre total de chiots nés vivants) x 100

Les chiots mort-nés ne sont pas compris dans le calcul de ces taux de mortalité. Les mortalités entre 0 et 2 jours, entre 0 et 21 jours et entre 0 et 2 mois correspondent respectivement à la mortalité néonatale précoce, à la mortalité néonatale totale et à la mortalité pré-sevrage totale.

### ***d) Paramètres caractérisant la croissance du chiot***

#### o **Taux de croissance entre 0 et 2 jours**

Le taux de croissance entre 0 et 2 jours du chiot est défini par la formule suivante :

Taux de croissance (en %) = [(Poids du chiot à 2 jours - PDN du chiot) / PDN du chiot] x 100

Si le taux de croissance entre 0 et 2 jours est nul, la croissance entre 0 et 2 jours est considérée positive. Des études quantitative (taux de croissance entre 0 et 2 jours) et qualitative (proportion de chiots à croissance négative entre 0 et 2 jours) ont été réalisées pour ce paramètre.

### o Taux de croissance entre 0 et 21 jours

Le taux de croissance entre 0 et 21 jours du chiot est défini par la formule suivante :

$$\text{Taux de croissance (en \%)} = \left[ \frac{\text{(Poids du chiot à 21 jours - PDN du chiot)} / \text{PDN du chiot}}{1} \right] \times 100$$

Si le poids à 21 jours n'est pas indiqué, le poids à 20 jours est utilisé. Pour les chiots n'ayant aucun poids renseigné à 20 jours et 21 jours, le poids à 22 jours est retenu.

## C. Méthodes d'analyse statistique des données

La description des données ainsi que leur analyse ont été réalisées à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2016 et du logiciel R (version 3.5.2 ; R Core Team, 2016). Pour l'ensemble des tests statistiques (test de Chi<sup>2</sup> d'homogénéité, test de Kruskal-Wallis), le seuil de significativité a été fixé à 0,05. Si le test de Chi<sup>2</sup> d'homogénéité ou le test de Kuskal-Wallis mettait en évidence une différence de répartition en fonction de la classe de consanguinité, une comparaison deux à deux était réalisée (avec une correction de Bonferroni) pour identifier la ou les classes de consanguinité présentant des différences.

## II. Résultats

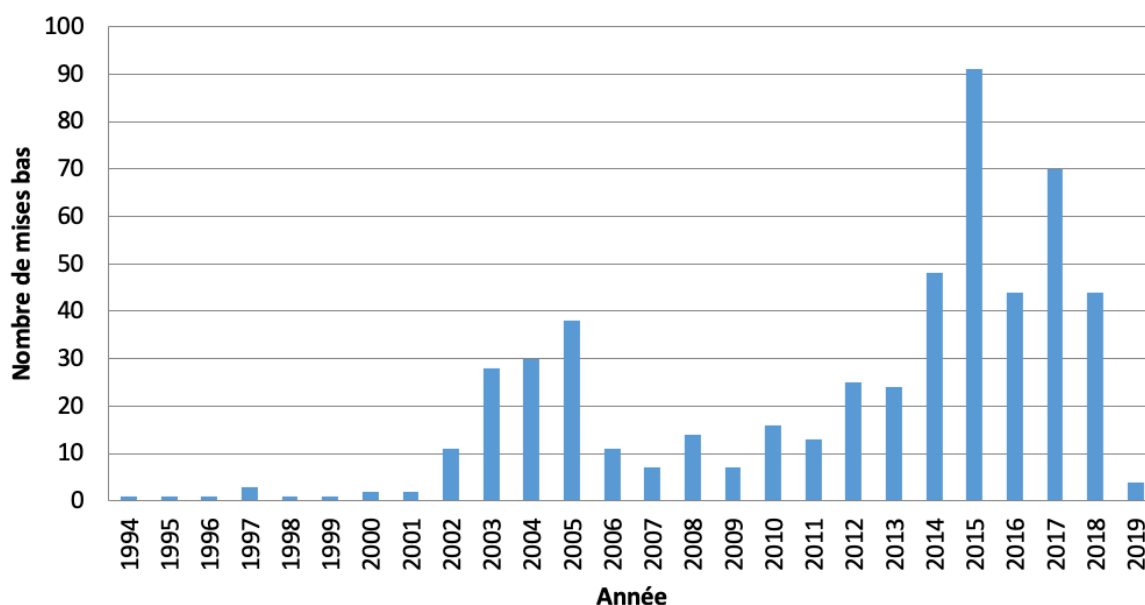
### A. Description de la population

#### 1. Description générale de la population

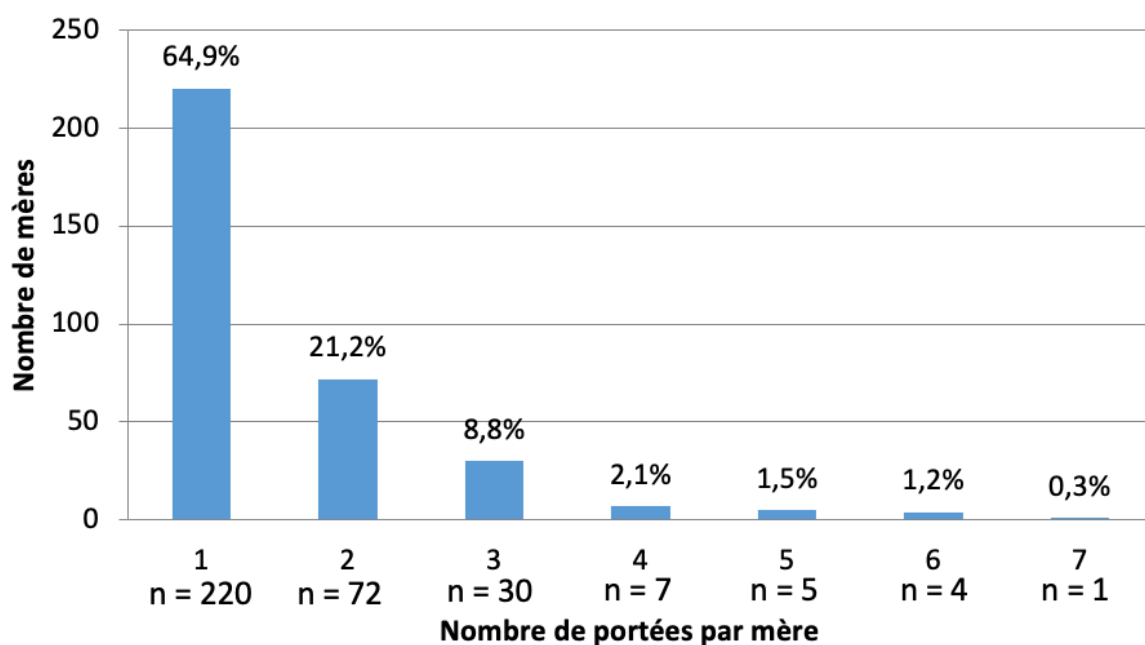
Après tri et sélection, 16,7 % du jeu de données initial a été conservé pour cette étude. La population finale comportait 3180 chiots nés entre 1994 et 2019 (Figure 3). Un total de 339 mères était représenté dans ce jeu de données, chacune ayant produit entre 1 et 7 portées (Figure 4).

Les 4 formats raciaux étaient représentés avec 29,7 % des chiots pour le format S, 17,9 % pour le format M, 31,3 % pour le format L et 21,1 % pour le format G. Le Tableau 3 détaille les effectifs par format racial.

Au total, 52 races étaient représentées avec des effectifs variant entre 1 et 229 chiots par race. Les 10 races les plus représentées sont présentées dans le Tableau 4. L'annexe 3 présente les données détaillées pour chacune des races de l'étude.



*Figure 3 : Répartition des mises bas selon l'année, n = 537 portées.*



*Figure 4 : Répartition du nombre de portées par mère, n = 339 mères.*

*Le pourcentage de l'effectif total est indiqué au dessus de chaque barre correspondant à un nombre de portées par mère.*

*Tableau 3 : Effectifs selon le format racial.*

Format	Nombre total de chiots	Nombre total de portées	Nombre total de mères	Nombre total de races
<b>S</b>	943	214	123	17
<b>M</b>	570	99	65	13
<b>L</b>	996	128	92	13
<b>G</b>	671	96	59	9
<b>Total</b>	3180	537	339	52

*Tableau 4 : Effectifs pour les 10 races les plus représentées dans la population d'étude (nombre total de chiots, de portées, de mères).*

<b>Races</b>	<b>Nombre total de chiots</b>	<b>Nombre total de portées</b>	<b>Nombre total de mères</b>
<b>Bouvier Bernois</b>	229	33	18
<b>Cavalier King Charles</b>	229	47	35
<b>Cocker Anglais</b>	225	44	22
<b>Braque d'Auvergne</b>	218	24	13
<b>Berger Belge Malinois</b>	197	29	19
<b>Léonberg</b>	194	25	16
<b>Shih Tzu</b>	179	35	19
<b>Terre Neuve</b>	173	26	14
<b>Berger Australien</b>	163	24	18
<b>West Highland White Terrier</b>	154	32	10

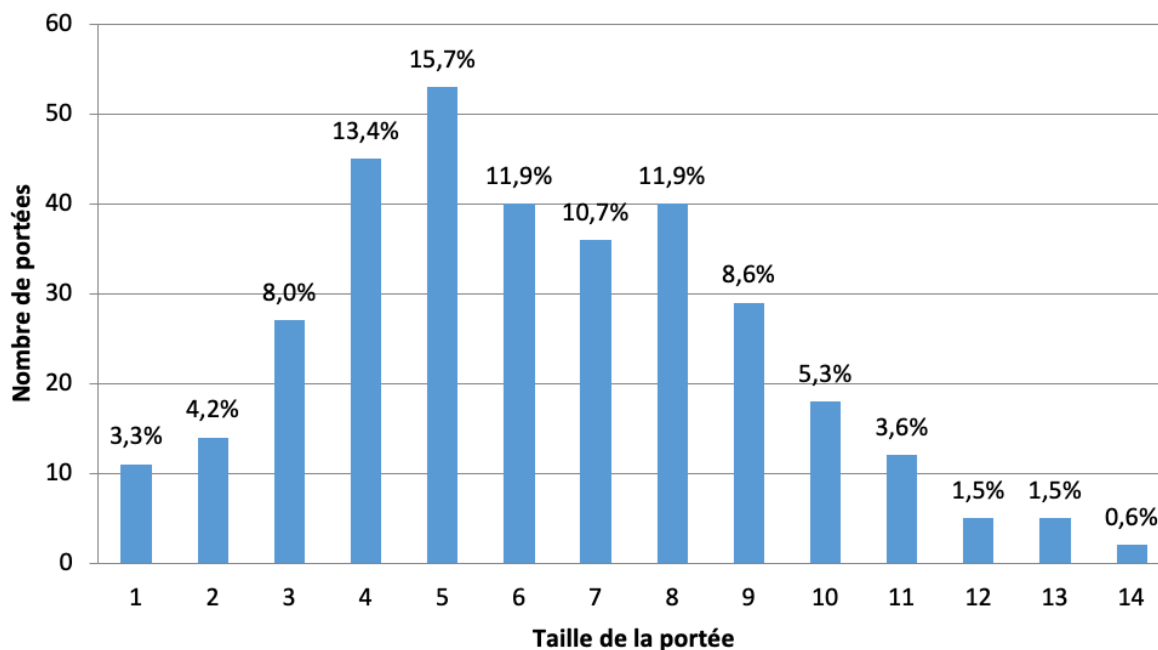
## 2. Description des paramètres d'intérêt dans la population

La population comptait 1592 mâles et 1555 femelles soit un sex ratio correspondant à 50,6 % de mâles. La taille de la portée variait entre 1 et 14 chiots (Figure 5). La taille moyenne des portées de format S, M, L et G était respectivement de  $5,5 \pm 2,0$  chiots,  $6,9 \pm 2,2$  chiots,  $8,6 \pm 2,3$  chiots et  $8,6 \pm 2,6$  chiots. La taille maximale des portées appartenant au format G était plus grande (14 chiots) que celle du format S (11 chiots) (Figure 6).

Le poids d'une portée représentait en moyenne  $10,3 \pm 4,1$  % du poids de la mère, avec des valeurs comprises entre 0,6 % et 20,5 %. Pour les 290 portées pour lesquelles le CV a pu être calculé, celui-ci variait entre 0,7 % et 50,2 % et 91 % des portées avaient un CV inférieur à 20 % (Figure 7).

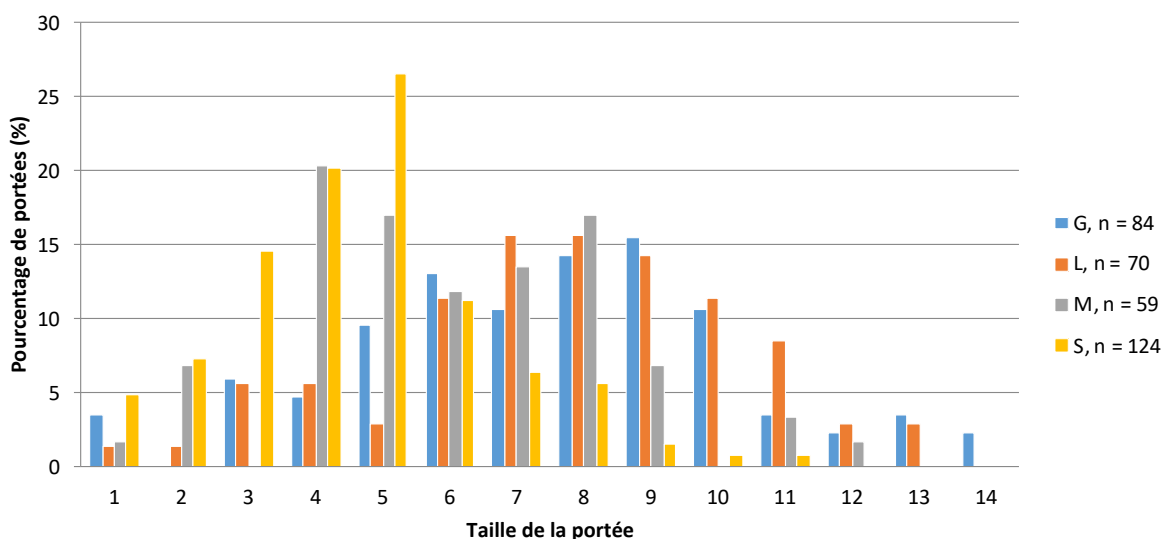
Le taux de croissance moyen des chiots entre 0 et 2 jours était de  $8 \pm 10$  % et 20,6 % des chiots (447/2174) avaient une croissance négative entre 0 et 2 jours. Le taux de croissance moyen des chiots entre 0 et 21 jours était de  $265 \pm 100$  %.

Le taux de mortalité des chiots était de 6,8 % (144/2103) et 28,5 % des portées présentaient au moins un chiot mort-né (96/337). Le taux de mortalité des chiots était de 2,5 % entre 0 et 2 jours de vie (79/3122), de 6,8 % entre 0 et 21 jours de vie (209/3065) et de 8,2 % entre 0 et 2 mois de vie (244/2979). De plus, 10,5 % des portées (53/505) présentaient au moins un chiot qui était mort au cours des deux premiers jours de vie, 23,1 % des portées (114/494) comportaient au moins un chiot mort au cours des 21 premiers jours de vie et 26,4 % comptaient au moins un chiot mort entre 0 et 2 mois de vie (126/478).



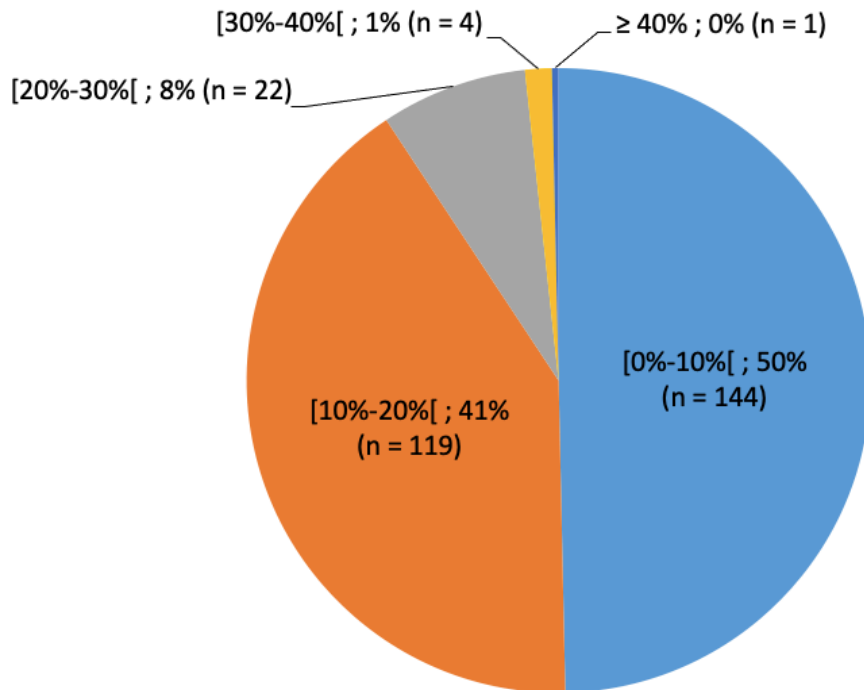
*Figure 5 : Distribution de la taille des portées, n = 337 portées.*

Le pourcentage de l'effectif total est indiqué au dessus de chaque barre correspondant à une taille de portée.



*Figure 6 : Distribution de la taille de la portée selon le format, n = 337 portées.*





*Figure 7 : Distribution du coefficient de variation du poids de naissance intra-portée, n = 290 portées.*

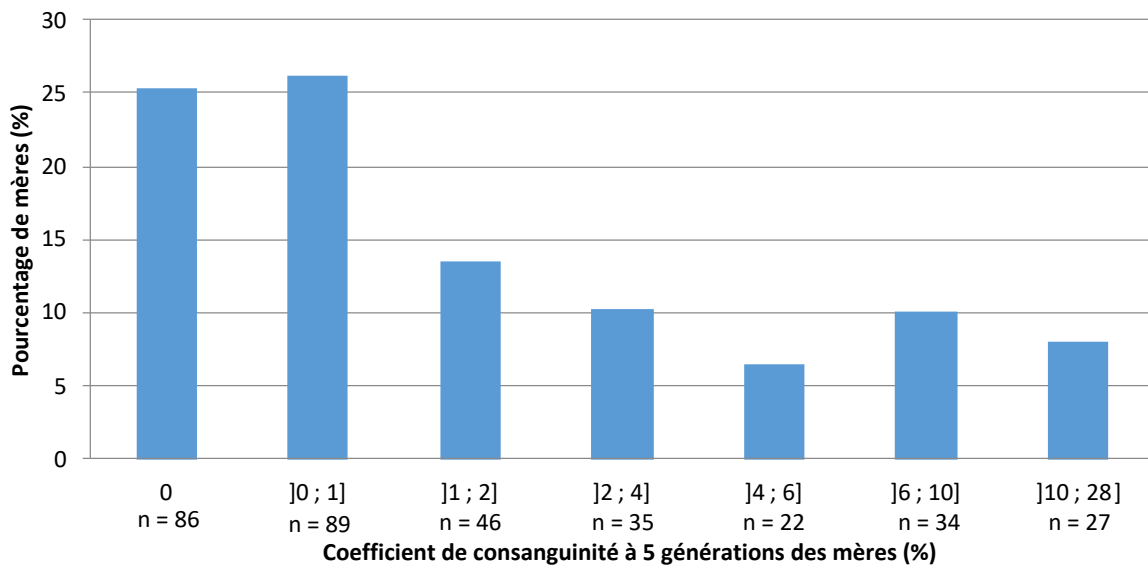
*Pour chaque secteur, sont indiqués la classe du coefficient de variation du poids de naissance intra-portée (CV), le pourcentage de l'effectif total et le nombre de portées dans la classe du CV.*

## B. Description de la consanguinité

### 1. Description de la consanguinité de la mère

Les 339 mères avaient un coefficient de consanguinité à cinq générations ( $F_{5G}$ ) compris entre 0 % et 27,7 % (Figure 8). Un quart des mères présentait un  $F_{5G}$  nul, deux quarts des mères avaient un  $F_{5G}$  compris entre 0,2 % et 3,8 % et un quart des mères présentait un  $F_{5G}$  supérieur à 3,9 %.

Les valeurs de consanguinité à cinq générations de la mère pour les formats S et M variaient respectivement de 0 à 27,7 % ou 26 % tandis que pour les formats L et G, les  $F_{5G}$  variaient de 0 à 12,9 % ou 15,6 % respectivement.



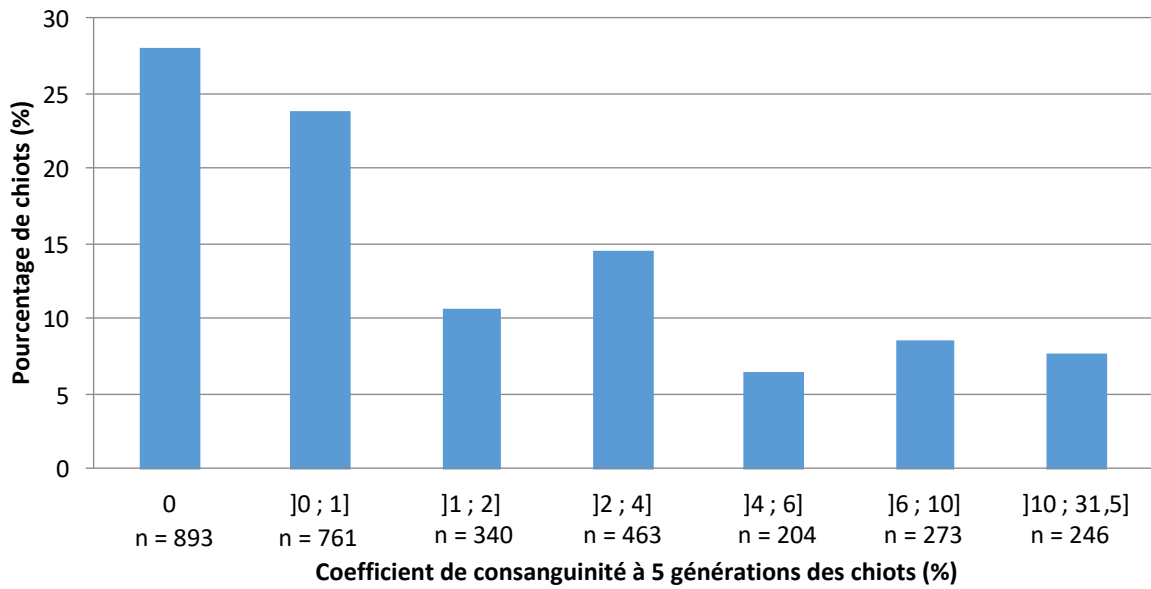
*Figure 8 : Distribution du taux de consanguinité à cinq générations des mères, n = 339 mères.*

## 2. Description de la consanguinité du chiot

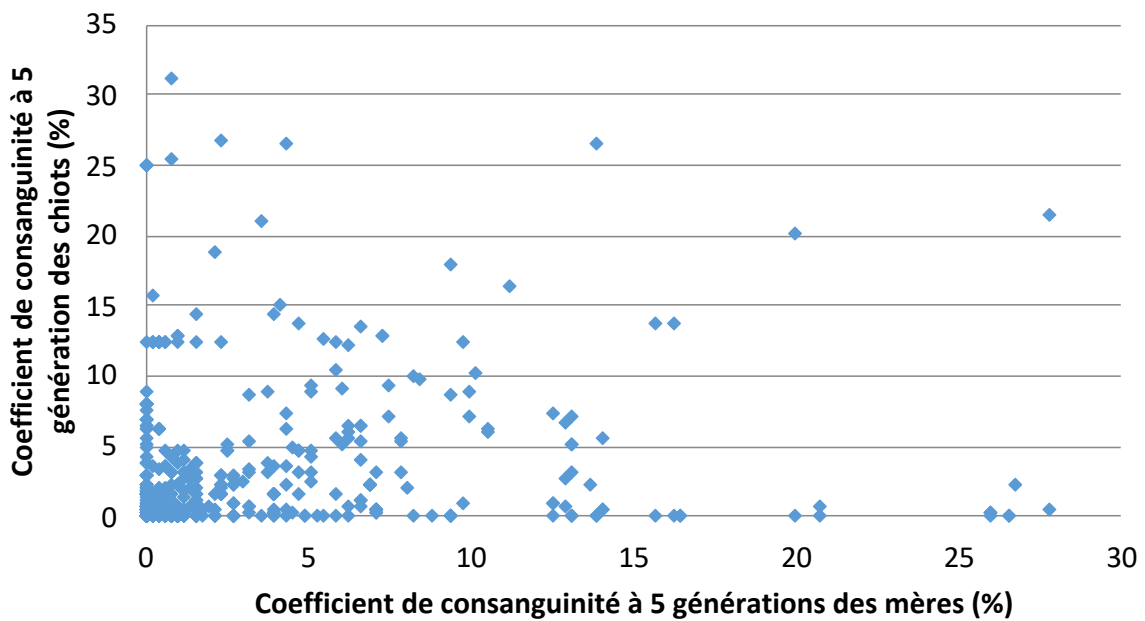
Les 3180 chiots de l'étude avaient un  $F_{5G}$  compris entre 0 % et 31,25 % (Figure 9). Ainsi, plus d'un quart des chiots (28,1 %) présentait un  $F_{5G}$  nul. Trois quart des chiots avaient un  $F_{5G}$  inférieur à 3,4 % et un quart des chiots avait un  $F_{5G}$  compris entre 3,5 % et 31,25%.

## 3. Relation entre la consanguinité de la mère et celle du chiot

La consanguinité des chiots a été représentée en fonction de celle de leur mère dans la Figure 10. Pour une mère ayant un  $F_{5G}$  nul, celui des chiots pouvait varier de 0 % à 25 %. De même, pour un chiot ayant un  $F_{5G}$  nul, celui des mères pouvait varier entre 0 % et 26,56 %. La différence des taux de consanguinité du chiot et de celle de la mère était comprise entre - 28 % et 30,5 % (Figure 11). Pour près de la moitié des portées (47 %), la différence différait de moins de 1 %.

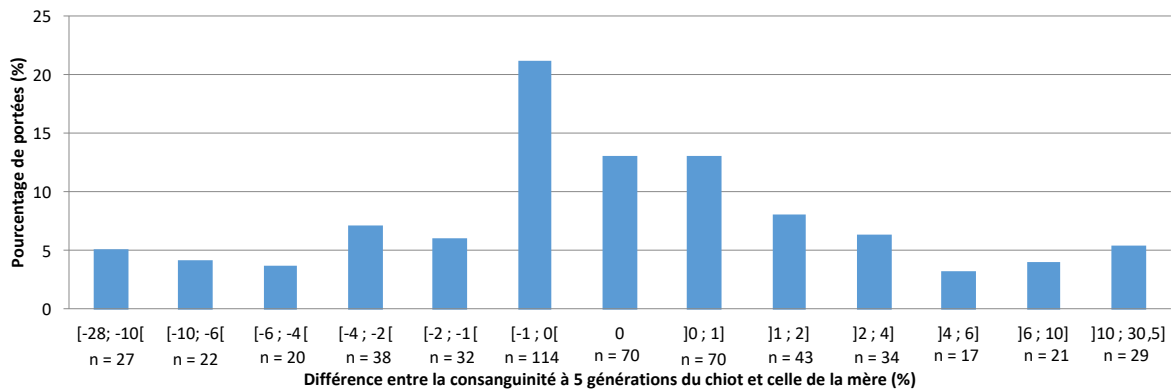


*Figure 9 : Distribution du taux de consanguinité à cinq générations des chiots, n = 3180 chiots.*



*Figure 10 : Distribution du taux de consanguinité à cinq générations des mères en fonction de celui des chiots, n = 537 portées.*

*Un point représente une portée. En effet, tous les chiots d'une même portée possèdent le même coefficient de consanguinité.*



**Figure 11** : Distribution de la différence entre la consanguinité à cinq générations du chiot et celle de la mère, n = 537 portées.

Le calcul de la différence a été fait de la manière suivante :  
*coefficient de consanguinité du chiot - coefficient de consanguinité de la mère.*

## C. Consanguinité et performances de reproduction

### 1. Relation entre la consanguinité de la mère et les paramètres d'intérêt

Sur l'ensemble des caractères évalués (Figure 1), la consanguinité de la mère a révélé un effet significatif sur quatre paramètres : le pourcentage de chiots à petit PDN, le taux de mortinatalité des chiots et les taux de croissance des chiots entre 0 et 2 jours et entre 0 et 21 jours. A l'inverse, aucune association de la consanguinité de la mère avec les autres paramètres étudiés n'a été mise en évidence ( $p > 0,05$ ) : il s'agissait du sex ratio, de la taille de la portée, du poids de la portée, de l'hétérogénéité des PDN intra-portée et du taux de mortalité sur les trois périodes considérées (0-2 jours, 0-21 jours, 0-2 mois).

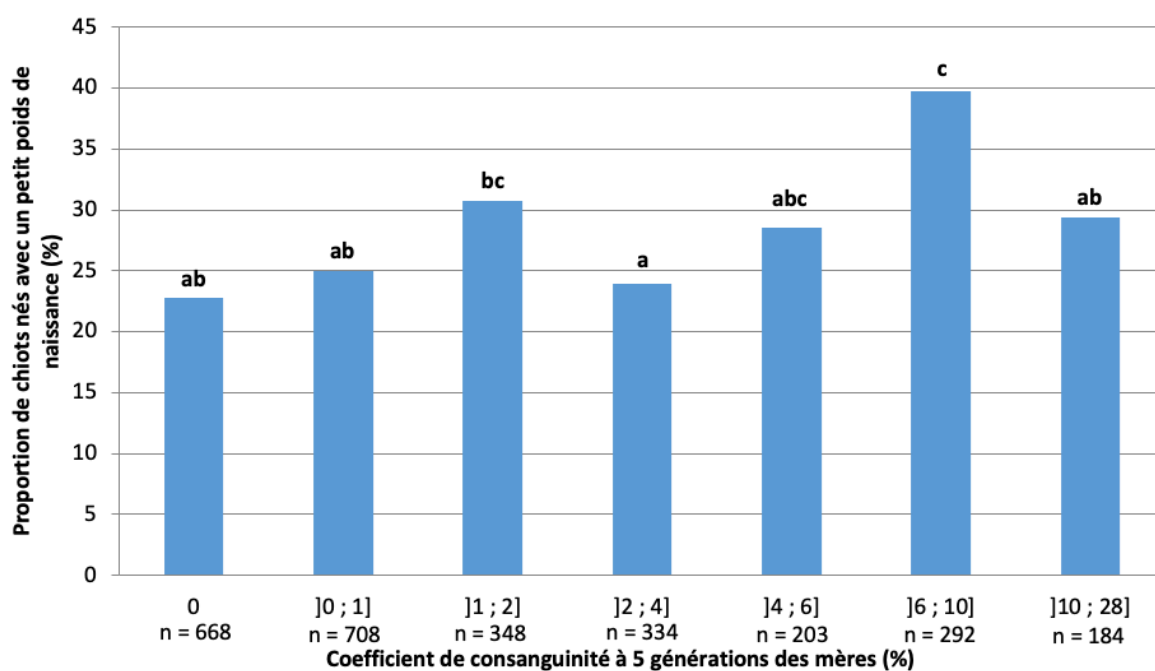
#### a) **Relation avec le paramètre caractérisant le chiot**

##### o **Pourcentage de chiots à petit PDN**

Pour ce paramètre, il s'agissait d'étudier le lien entre la consanguinité de la mère et la proportion de chiots à petits PDN au sein de la portée (poids inférieur au premier quartile pour la race). Seuls les chiots dont la valeur du PDN était connue

ont été sélectionnés pour cette partie de l'étude qui a donc été conduite sur 2737 chiots, soit 86,1 % des chiots de la population totale.

Le taux de chiots à petit PDN a été calculé pour chaque classe de consanguinité de la mère (Figure 12). Ainsi, 27,8 % des chiots ( $n = 744$ ) sont nés avec un petit PDN. Selon la classe de consanguinité, le taux de chiots à petit PDN se situait entre 20 % et 40 %. Il y avait une baisse du taux de chiots à petit PDN pour des mères ayant un  $F_{5G}$  compris entre 2 % et 4 % comparé aux mères appartenant aux classes de consanguinité ]1 ; 2] et ]6 ; 10]. Ainsi, la consanguinité de la mère avait une influence sur le taux de chiots à petit PDN.



*Figure 12 : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et la probabilité de naître avec un petit poids de naissance chez le chiot,  $n = 2737$  chiots.*

*Les petites lettres inscrites au-dessus des barres correspondent à une comparaison statistique deux à deux. Les barres portant la même lettre ne présentent pas de différence significative.*

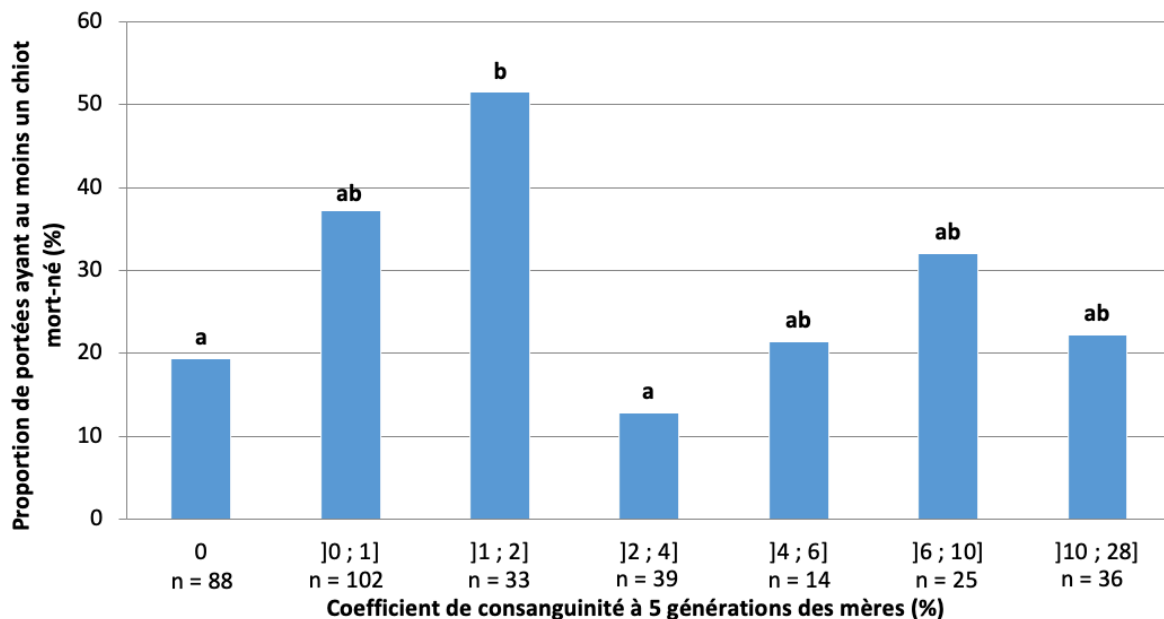
### **b) Relation avec le paramètre décrivant la survie des chiots**

La mortalité a été considérée à deux échelles : celle de la portée (proportion de portées avec au moins un chiot mort) et celle du chiot.

## o Taux de mortinatalité

Dans la population étudiée, la composition de la portée (nombre de nés vivants et nombre de nés morts) était connue pour 63 % des portées (337/537). A l'échelle du chiot, le statut à la naissance (mort ou vivant) était connu pour 66 % des individus (2103/3180). Le taux de portées ayant au moins un chiot mort-né et le taux de chiots mort-nés ont été calculés pour chaque classe de consanguinité de la mère.

A l'échelle de la portée, la proportion de portées comportant au moins un chiot mort-né variait statistiquement en fonction de la classe de consanguinité de la mère ( $p = 0,001$  ; test de  $\chi^2$  d'homogénéité ; Figure 13). Il y avait une augmentation du taux de portées ayant au moins un chiot mort-né pour des mères ayant un  $F_{5G}$  compris entre 1 % et 2 % comparé aux mères appartenant aux classes de consanguinité 0 et ]2 ; 4]. Dans la classe de consanguinité ]2 ; 4], seuls 13 % des portées comportaient au moins un chiot mort-né contre 51 % dans la classe ]1 ; 2]. A l'échelle du chiot, la proportion de nés morts n'était pas statistiquement différente entre les classes de consanguinité de la mère ( $p = 0,063$  ; test de  $\chi^2$  d'homogénéité). La consanguinité de la mère n'avait donc un effet sur la mortinatalité qu'à l'échelle de la portée.



*Figure 13 : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et la présence de chiots mort-nés au sein de la portée, n = 337 portées.*

*Les petites lettres inscrites au-dessus des barres correspondent à une comparaison statistique deux à deux. Les barres portant la même lettre ne présentent pas de différence significative.*

### c) Relation avec les paramètres caractérisant la croissance du chiot

#### o Taux de croissance entre 0 et 2 jours

Ce paramètre a pu être calculé pour 2174 chiots soit 68,4 % des chiots. L'étude qualitative montre une différence statistiquement significative du taux de chiots ayant une croissance négative entre 0 et 2 jours en fonction de la classe de consanguinité de la mère ( $p < 0,001$  ; test de Chi<sup>2</sup> d'homogénéité ; Figure 14). Cependant, la comparaison deux à deux (avec une correction de Bonferroni) n'a permis d'identifier aucune différence significative. Analysé quantitativement, le taux de croissance moyen entre 0 et 2 jours était statistiquement différent en fonction de la classe de consanguinité de la mère ( $p < 0,001$  ; test de Kruskal-Wallis ; Figure 15). Les mères dont le F<sub>5G</sub> était de 0 % et celles ayant un F<sub>5G</sub> compris entre 2 % et 4 % avaient des chiots ayant une croissance moins forte que les mères appartenant à la classe de consanguinité ]1 ; 2]. Dans les classes de consanguinité 0 et ]2 ; 4], le taux de croissance moyen entre 0 et 2 jours était de 7 % contre 10,5 % dans la classe de consanguinité ]1 ; 2]. Par conséquent, la consanguinité de la mère n'avait d'effet que sur le taux de croissance moyen entre 0 et 2 jours du chiot.

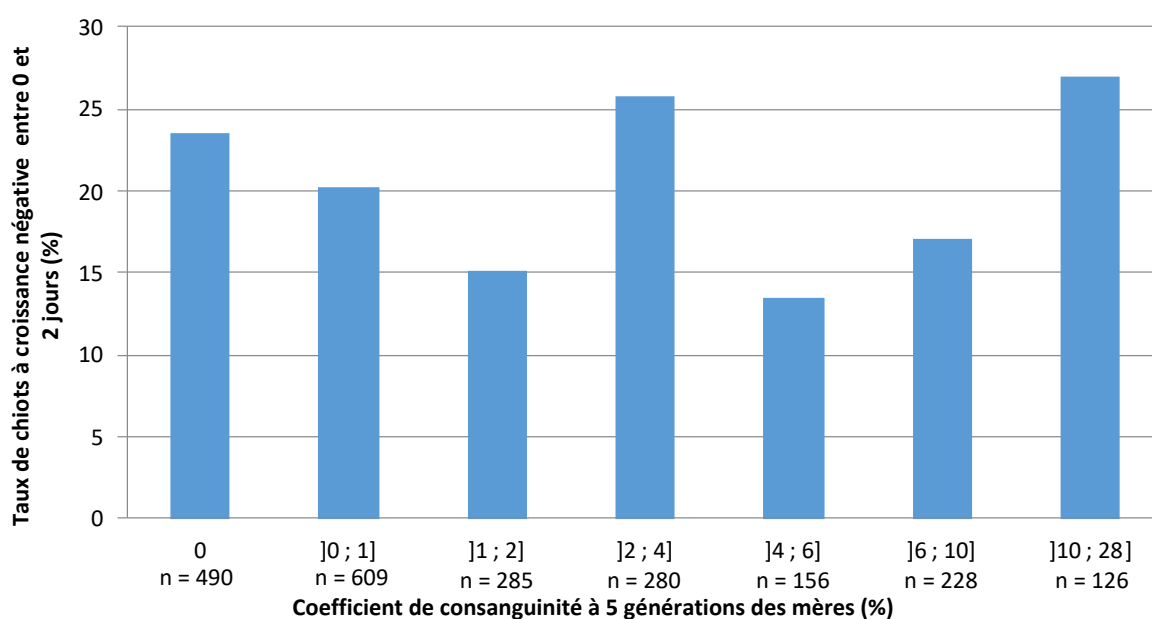
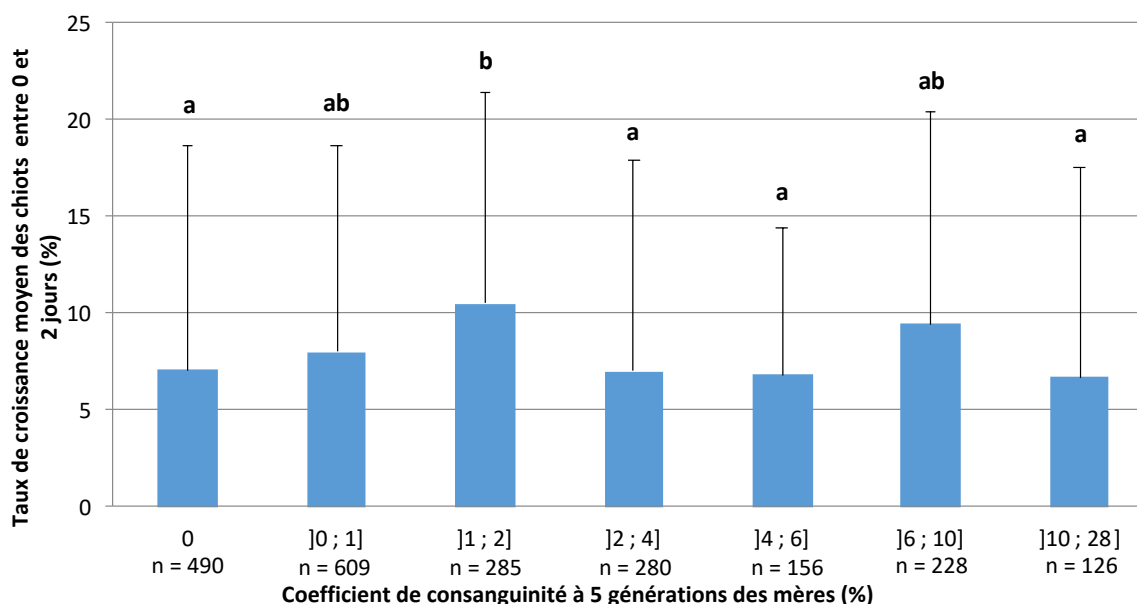


Figure 14 : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et le nombre de chiots ayant une croissance négative entre 0 et 2 jours, n = 2174 chiots.



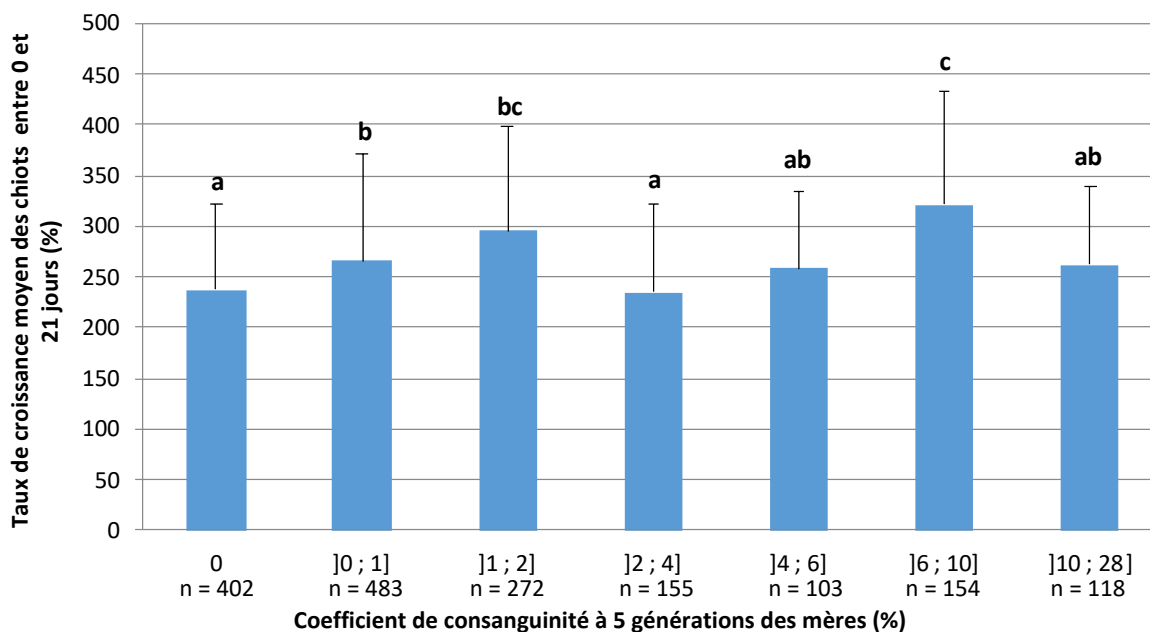
**Figure 15** : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et le taux de croissance des chiots entre 0 et 2 jours, n = 2174 chiots.

Les petites lettres inscrites au-dessus des barres correspondent à une comparaison statistique deux à deux. Les barres portant la même lettre ne présentent pas de différence significative. La barre d'erreur correspond à l'écart-type de la moyenne (valeur positive).

### o Taux de croissance entre 0 et 21 jours

Le taux de croissance entre 0 et 21 jours a pu être calculé pour 1687 chiots, soit 53,1 % de la population de chiots. Il était statistiquement différent en fonction de la classe de consanguinité de la mère ( $p < 0,001$  ; test de Kruskal-Wallis ; Figure 16). Une hausse du taux de croissance entre 0 et 21 jours a été observée pour des mères ayant un  $F_{5G}$  non nul et inférieur ou égal à 2 % par rapport aux mères appartenant aux classes de consanguinité 0 et ]2 ; 4]. Les mères appartenant à la classe de consanguinité ]6 ; 10] avaient un taux de croissance entre 0 et 21 jours plus élevé (321 %) que celles ayant un  $F_{5G}$  compris entre 2 % et 4 % (234 %). Ainsi, la consanguinité de la mère avait un effet sur le taux de croissance entre 0 et 21 jours du chiot.





*Figure 16 : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et le taux de croissance des chiots entre 0 et 21 jours, n = 1687 chiots.*

*Les petites lettres inscrites au-dessus des barres correspondent à une comparaison statistique deux à deux. Les barres portant la même lettre ne présentent pas de différence significative. La barre d'erreur correspond à l'écart-type de la moyenne (valeur positive).*

## 2. Relation entre la consanguinité du chiot et les paramètres d'intérêt

Sur l'ensemble des caractères évalués (Figure 2), la consanguinité du chiot a révélé un effet significatif pour quatre paramètres : la proportion de chiots à petit PDN, la proportion de chiots nés morts et les taux de croissance du chiot entre 0 et 2 jours et entre 0 et 21 jours. Par ailleurs, la consanguinité du chiot n'a montré aucun effet sur tous les autres paramètres étudiés ( $p > 0,05$ ) : le sexe du chiot et son taux de mortalité sur les trois périodes considérées (0-2 jours, 0-21 jours, 0-2 mois).

### **a) Relation avec le paramètre caractérisant le chiot**

#### **o Proportion de chiots à petit poids de naissance**

Les chiots dont le poids de naissance était connu ont été sélectionnés, soit 86,1 % des chiots de la population (2737/3180). Comme présenté dans la section Matériels et Méthodes, ce paramètre a été défini de trois manières différentes.

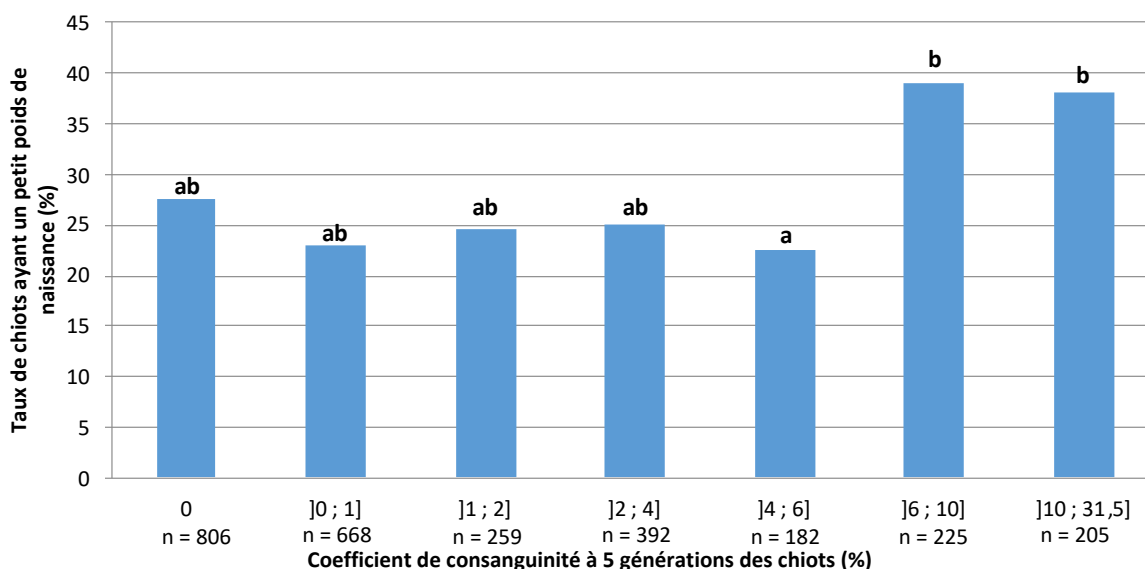
Parmi les 2737 chiots sélectionnés, 27,1 % étaient à petit PDN (744/2737) selon la première définition, à savoir avec une valeur de PDN inférieure au premier quartile pour la race. Le pourcentage de chiots à petit PDN variait significativement en fonction de la classe de consanguinité du chiot ( $p < 0,001$  ; test de  $\chi^2$  d'homogénéité ; Figure 17). La proportion de chiots à petit PDN augmentait lorsque les chiots avaient un  $F_{5G}$  compris entre 6 % et 31,5 % (39,1 %) par rapport à ceux dont le  $F_{5G}$  était compris entre 4 % et 6 % (22,5 %).

Ensuite, pour les deux autres définitions à savoir celles impliquant le seuil CART et le seuil ROC, les chiots dont les seuils CART et ROC de la race et le PDN étaient connus ont été sélectionnés. Ainsi, cela représentait 35,7 % des chiots de la population (1136/3180). Le PDN était inférieur au seuil CART pour 23,8 % des chiots (270/1136) et inférieur au seuil ROC pour 65 % des chiots (738/1136). La proportion de chiots ayant un PDN inférieur au seuil CART ne variait pas statistiquement selon les différentes classes de consanguinité du chiot ( $p = 0,099$  ; test de  $\chi^2$  d'homogénéité). A l'inverse, il y avait une différence statistique de la proportion de chiots ayant un PDN inférieur au seuil ROC en fonction de la classe de consanguinité du chiot ( $p < 0,001$  ; test de  $\chi^2$  d'homogénéité). Cependant, la comparaison deux à deux (avec une correction de Bonferroni) pour identifier la ou les classes présentant des différences n' a mis en évidence aucune différence significative.

Une analyse a été menée à l'échelle de la race. Si, les seuils CART et ROC étaient connus pour 11 races, seules les 4 races représentées par au moins 100 chiots dont le PDN était connu ont été sélectionnées. Il s'agissait des races Berger Australien ( $n = 143$ ), Bouvier Bernois ( $n = 183$ ), Cocker Anglais ( $n = 159$ ) et Léonberg ( $n = 193$ ). Les PDN des chiots des races sélectionnées ont été décrits en fonction des seuils CART et ROC (Tableau 5). Pour chacune des 4 races, le PDN moyen par classe de consanguinité du chiot a été calculé. L'analyse statistique n'a semblé pertinente à réaliser qu'avec la race Léonberg. En effet, il s'agissait de l'unique race pour laquelle toutes les classes de consanguinité comprenaient au moins un chiot. De plus, les chiots étaient répartis plus uniformément pour la race Léonberg par rapport aux trois autres races. L'annexe 4 présente les graphiques correspondant aux trois races pour lesquelles l'analyse statistique n'a pas été réalisée. Le PDN moyen d'un chiot Léonberg était statistiquement différent en

fonction de sa classe de consanguinité ( $p < 0,001$  ; test de Kruskal-Wallis ; Figure 18). Pour les classes de consanguinité ]2 ; 4] et ]10 ; 31,5], le PDN moyen d'un chiot Léonberg était le plus petit ( $347 \pm 50$  g et  $372 \pm 65$  g, respectivement) contrairement aux classes de consanguinité ]0 ; 1] et ]4 ; 6] pour lesquelles le PDN moyen était le plus élevé ( $512 \pm 77$  g et  $440 \pm 52$  g, respectivement).

Par conséquent, la consanguinité du chiot avait une influence sur la proportion de chiot à petit PDN en considérant uniquement la première définition du paramètre. A l'échelle de la race, la proportion de chiots à petit PDN est influencée par la consanguinité du chiot bien qu'une seule race n'ait pu être étudiée.



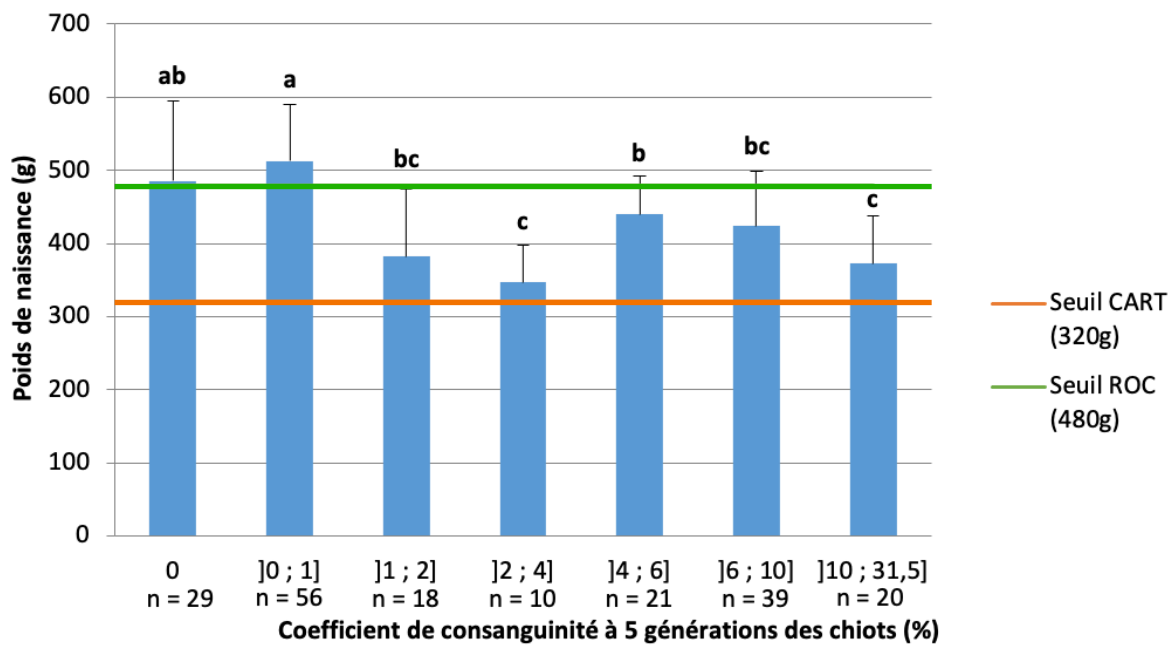
**Figure 17 :** Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations du chiot et la proportion de chiots à petit poids de naissance,  $n = 2737$  chiots.

Les petites lettres inscrites au-dessus des barres correspondent à une comparaison statistique deux à deux. Les barres portant la même lettre ne présentent pas de différence significative.

**Tableau 5 :** Description des poids de naissance des chiots des 4 races sélectionnées en fonction des seuils CART et ROC,  $n = 678$  chiots

PDN = poids de naissance.

Races	Pourcentage de chiots dont le PDN est inférieur au seuil CART (%)	Pourcentage de chiots dont le PDN est inférieur au seuil ROC (%)
Berger Australien (n = 143)	0,7	55,9
Bouvier Bernois (n = 183)	8,2	57,9
Cocker Anglais (n = 159)	1,3	63,5
Léonberg (n = 193)	8,8	65,3



**Figure 18** : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations et le poids de naissance en race Léonberg, n = 193 chiots.

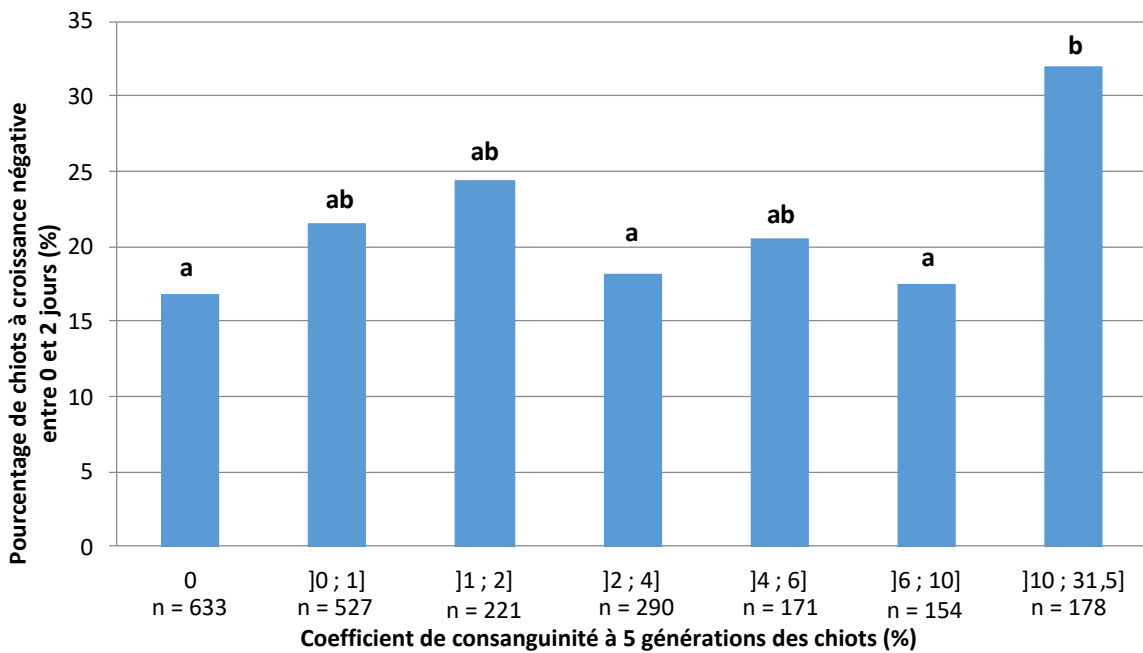
Les seuils CART et ROC sont issus de Mugnier et al. 2019. Les petites lettres inscrites au-dessus des barres correspondent à une comparaison statistique deux à deux. Les barres portant la même lettre ne présentent pas de différence significative. La barre d'erreur correspond à l'écart-type de la moyenne (valeur positive).

**b) Relation avec les paramètres caractérisant la croissance du chiot**

o **Taux de croissance entre 0 et 2 jours**

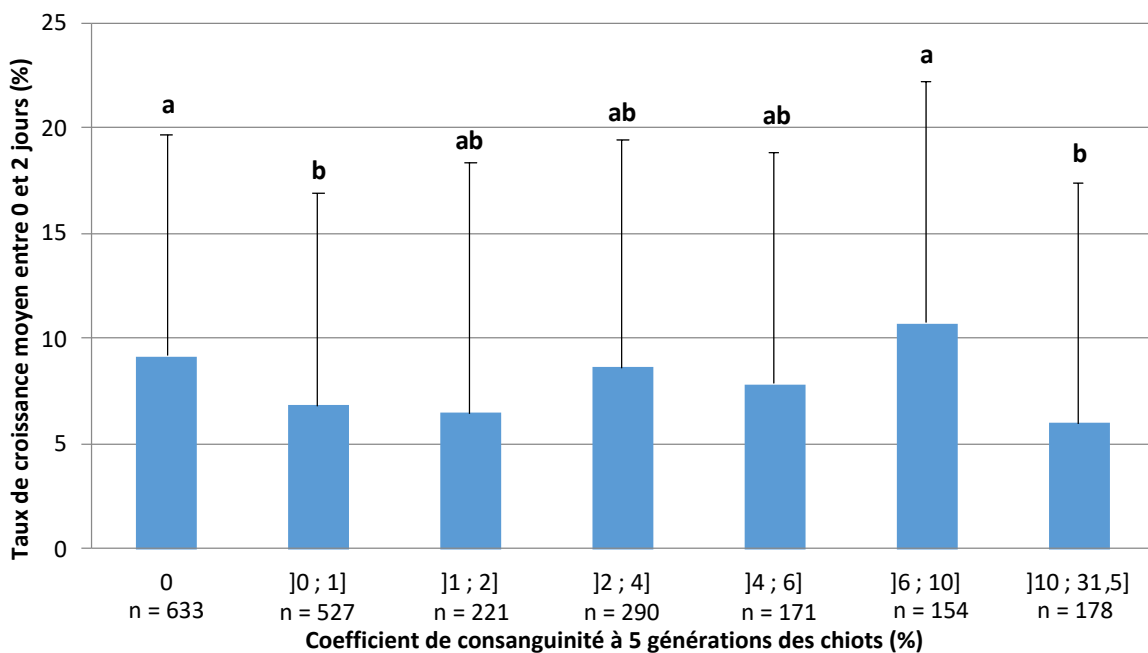
Pour 68,4 % des chiots (2174/3180), le taux de croissance a pu être calculé. Pour l'étude qualitative, la proportion de chiots ayant une croissance négative entre 0 et 2 jours a été calculé pour chacune des classes de consanguinité des chiots (Figure 19). Il y avait une différence statistique du taux de chiots ayant une croissance négative entre 0 et 2 jours en fonction de la classe de consanguinité du chiot ( $p < 0,001$  ; test de Chi<sup>2</sup> d'homogénéité). La classe dont le F<sub>5G</sub> du chiot était nul présentait un plus faible taux de chiots à croissance négative entre 0 et 2 jours que la classe de consanguinité ]10 ; 31,5]. Pour l'étude quantitative, le taux de croissance moyen entre 0 et 2 jours était significativement différent en fonction de la classe de consanguinité du chiot ( $p < 0,001$  ; test de Kruskal-Wallis ; Figure 20). Les chiots appartenant aux classes de consanguinité 0 et ]6 ; 10] avaient un taux de croissance entre 0 et 2 jours plus élevé que les chiots appartenant aux classes de consanguinité ]0 ; 1] et ]10 ; 31,5]. Ainsi, la consanguinité du chiot avait un effet sur son taux de

croissance entre 0 et 2 jours mais aussi sur le sens de sa croissance (positive ou négative).



**Figure 19** : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations du chiot et la proportion de chiots à croissance négative entre 0 et 2 jours, n = 2174 chiots.

Les petites lettres inscrites au-dessus des barres correspondent à une comparaison statistique deux à deux. Les barres portant la même lettre ne présentent pas de différence significative.

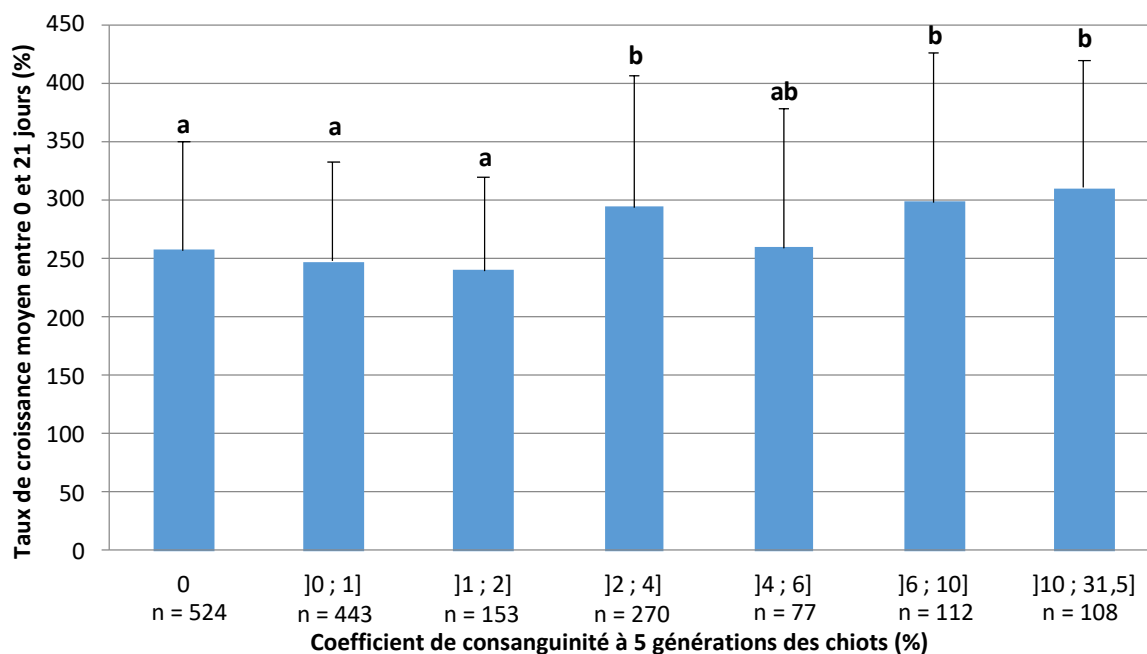


**Figure 20** : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations du chiot et son taux de croissance entre 0 et 2 jours, n = 2174 chiots.

Les petites lettres inscrites au-dessus des barres correspondent à une comparaison statistique deux à deux. Les barres portant la même lettre ne présentent pas de différence significative. La barre d'erreur correspond à l'écart-type de la moyenne (valeur positive).

### o Taux de croissance entre 0 et 21 jours

Ce paramètre était étudié pour 1687 chiots soit 53,1 % des chiots. Pour analyser l'effet de la consanguinité du chiot sur sa croissance entre 0 et 21 jours, le taux de croissance moyen entre 0 et 21 jours a été calculé pour chaque classe de consanguinité des chiots (Figure 21). Le taux de croissance moyen entre 0 et 21 jours était significativement différent en fonction de la classe de consanguinité du chiot ( $p < 0,001$  ; test de Kruskal-Wallis). Les chiots ayant un  $F_{5G}$  inférieur ou égal à 2 % avaient une croissance entre 0 et 21 jours plus faible que ceux ayant un  $F_{5G}$  strictement supérieur à 2 %. La consanguinité du chiot avait donc un effet sur son taux de croissance entre 0 et 21 jours.



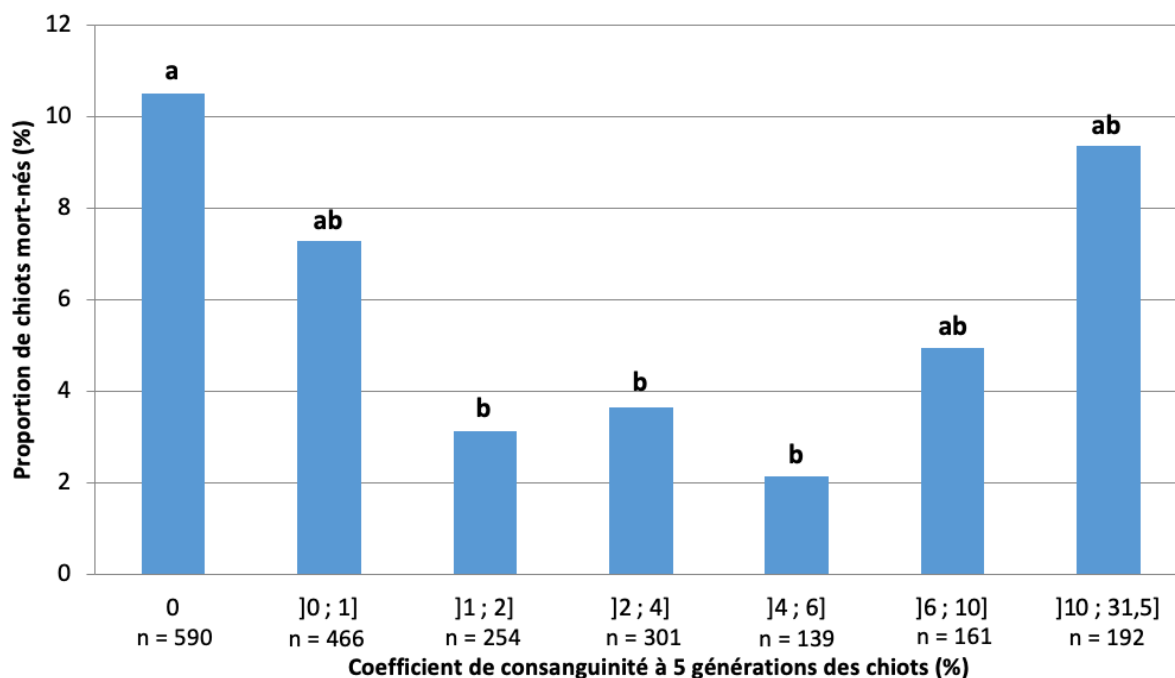
**Figure 21** : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations du chiot et son taux de croissance entre 0 et 21 jours,  $n = 1687$  chiots.

Les petites lettres inscrites au-dessus des barres correspondent à une comparaison statistique deux à deux. Les barres portant la même lettre ne présentent pas de différence significative. La barre d'erreur correspond à l'écart-type de la moyenne (valeur positive).

### c) Relation avec le paramètre décrivant la survie des chiots

#### o Proportion de chiots nés morts

Les chiots dont le statut à la naissance (mort ou vivant) était connu ont été sélectionnés pour l'étude de ce paramètre. Ils représentaient 66 % des chiots de la population d'étude (2103/3180). Le taux de mortalité, calculé pour chaque classe de consanguinité du chiot, variait significativement en fonction de la classe de consanguinité du chiot ( $p < 0,001$  ; test de Chi2 d'homogénéité ; Figure 22). Il y avait un plus haut taux de chiots mort-nés lorsque ces derniers n'étaient pas consanguins que lorsqu'ils avaient un  $F_{5G}$  compris entre 1 % et 6 %. Dans la classe de consanguinité 0, le taux de chiots mort-nés était de 10,5 % contre 2,2 % dans la classe ]4 ; 6]. Par conséquent, la proportion de chiots nés morts est influencée par la consanguinité du chiot.



*Figure 22 : Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations du chiot et la proportion de chiots nés morts, n = 2103 chiots.*

*Les petites lettres inscrites au-dessus des barres correspondent à une comparaison statistique deux à deux. Les barres portant la même lettre ne présentent pas de différence significative.*

### 3. Bilan des résultats

Les Tableaux 6 et 7 synthétisent l'ensemble des paramètres étudiés et la mise en évidence ou non d'une relation significative avec les  $F_{5G}$  de la mère et du chiot.

*Tableau 6 : Bilan de l'effet du taux de consanguinité de la mère à cinq générations sur les paramètres étudiés.*

« ns » : non significatif; \*\* : ( $p$  entre 0,001 et 0,01); \*\*\* : ( $p < 0,001$ ).

Paramètres d'intérêt étudiés	Consanguinité de la mère	
	effet	effectif
Sex ratio	ns	3147 chiots
Taille de la portée	ns	337 portées
Taille de la portée par format	ns	337 portées
Poids de la portée	ns	77 portées
Pourcentage de chiots à petit poids de naissance	***	2737 chiots
Hétérogénéité des poids de naissance intra-portée	ns	290 portées
Taux de mortinatalité	ns	2103 chiots
Proportion de portées ayant au moins un chiot mort-né	**	337 portées
Taux de mortalité entre 0 et 2 jours	ns	3122 chiots
Proportion de portées ayant au moins un chiot mort entre 0 et 2 jours	ns	505 portées
Taux de mortalité entre 0 et 21 jours	ns	3065 chiots
Proportion de portées ayant au moins un chiot mort entre 0 et 21 jours	ns	494 portées
Taux de mortalité entre 0 et 2 mois	ns	2979 chiots
Proportion de portées ayant au moins un chiot mort entre 0 et 2 mois	ns	478 portées
Taux de croissance entre 0 et 2 jours	***	2174 chiots
Proportion de chiots ayant une croissance négative entre 0 et 2 jours	ns	2174 chiots
Taux de croissance entre 0 et 21 jours	***	1687 chiots



*Tableau 7 : Bilan de l'effet du taux de consanguinité du chiot à cinq générations sur les paramètres étudiés.*

« ns » : non significatif; \*\*\* : ( $p < 0,001$ ).

Paramètres d'intérêt étudiés	Consanguinité du chiot	
	effet	nombre de chiots
<b>Sexe</b>	ns	3147
<b>Proportion de chiots à petit poids de naissance</b>	***	2737
<b>Proportion de chiots avec un poids inférieur au seuil CART</b>	ns	1136
<b>Proportion de chiots avec un poids inférieur au seuil ROC</b>	ns	1136
<b>Proportion de chiots mort-nés</b>	***	2103
<b>Taux de mortalité entre 0 et 2 jours</b>	ns	3122
<b>Taux de mortalité entre 0 et 21 jours</b>	ns	3065
<b>Taux de mortalité entre 0 et 2 mois</b>	ns	2979
<b>Proportion de chiots ayant une croissance négative entre 0 et 2 jours</b>	***	2174
<b>Taux de croissance entre 0 et 2 jours</b>	***	2174
<b>Taux de croissance entre 0 et 21 jours</b>	***	1687

### III. Discussion

L'objectif de cette étude était de déterminer l'effet de la consanguinité de la mère et du chiot sur différents paramètres de reproduction : la taille de la portée, la croissance néonatale du chiot et sa survie jusqu'à l'âge de deux mois. Dans l'introduction, nous avons évoqué que l'effet de la consanguinité avait été étudié dans de nombreuses espèces sur des paramètres de reproduction et de production. Une synthèse non exhaustive des paramètres de production et de reproduction pour lesquels l'effet de la consanguinité a été étudié, a été réalisée (Tableau 8 et 9). Pour chaque paramètre, elle présente l'espèce étudiée, montre la présence ou non d'un effet significatif de la consanguinité et décrit celui-ci lorsqu'il est significatif.

*Tableau 8 : Synthèse bibliographique de l'effet de la consanguinité sur les performances de production*

« ns » = non significatif, « NE » = non étudié, « — » = donnée inconnue, csg = consanguinité.

Animaux concernés	Article	Paramètres étudiés	Csg de l'individu	Csg de la mère	Csg du père
			effet (p-value)	effet (p-value)	effet (p-value)
Bovins	Thompson et al. 2000a	Production de lait	défavorable	NE	NE
		Score cellulaire somatique	ns	NE	NE
		Rendement en matière grasse	défavorable	NE	NE
		Rendement en protéine	défavorable	NE	NE
		Durée de lactation	défavorable	NE	NE
	Thompson et al. 2000b	Score cellulaire somatique	ns	NE	NE
		Perte de production (lait, matière grasse et protéine)	non linéaire	NE	NE
	McParland et al. 2007	Rendement en lait	défavorable (p < 0,01)	—	NE
		Rendement en matière grasse	défavorable (p < 0,01)	—	NE
		Rendement en protéine	défavorable (p < 0,01)	—	NE
Score cellulaire somatique		défavorable (p < 0,01)	—	NE	
Ovins	Lamberson 1981	Poids de la laine à 6 mois	ns	—	NE
	Mandal et al. 2005	Poids de la laine à 6 mois	ns	ns	NE
		Poids de la laine à 12 mois	ns	ns	NE

*Tableau 9 : Synthèse bibliographique de l'effet de la consanguinité sur les performances de reproduction*

*(Partie 1/5)*

« ns » = non significatif, « NE » = non étudié, « — » = donnée inconnue, csg = consanguinité.

Animaux concernés	Article	Paramètres étudiés	Csg de l'individu	Csg de la mère	Csg du père
			effet (p-value)	effet (p-value)	effet (p-value)
Bongo des Montagnes	Malo et al. 2019	Sex ratio	—	ns	en faveur des mâles chez de jeunes pères et inversement (p = 0,029)
		Taille de la portée	—	défavorable	ns
		Sexe	en faveur des femelles (p = 0,007)	—	en faveur des mâles (p = 0,034)
		Age à la conception	—	ns	ns
Bovins	Thompson et al. 2000a	Age au vêlage	défavorable	NE	NE
		Survie	défavorable	NE	NE
	Thompson et al. 2000b	Age au vêlage	non linéaire	NE	NE
		Survie	défavorable	NE	NE
	Adamec et al. 2006	Difficulté au vêlage	NE	favorable	NE
		Taux de mortinatalité	NE	favorable	NE
	McParland et al. 2007	Dystocie	ns	non linéaire (p < 0,001)	NE
		Taux de mortinatalité	p < 0,01	—	NE
		Sex ratio	—	non linéaire (p < 0,05)	NE
		Sexe	en faveur des mâles (p < 0,05)	—	NE
		Intervalle entre les deux premières lactations	défavorable (p < 0,01)	—	NE
		Age au premier vêlage	défavorable (p < 0,01)	—	NE
		Survie jusqu'à la seconde lactation	défavorable (p < 0,01)	—	NE

**Tableau 9 : Synthèse bibliographique de l'effet de la consanguinité sur les performances de reproduction**

*(Partie 2/5)*

« ns » = non significatif, « NE » = non étudié, « — » = donnée inconnue, csg = consanguinité.

Animaux concernés	Article	Paramètres étudiés	Csg de l'individu	Csg de la mère	Csg du père
			effet (p-value)	effet (p-value)	effet (p-value)
Bovins	Carolino et Gama 2008	Intervalle entre 2 vêlages	favorable (p < 0,05)	NE	NE
		Age au premier vêlage	favorable (p < 0,01)	NE	NE
		Nombre de vêlages jusqu'à 7 ans	défavorable (p < 0,01)	NE	NE
		Nombre de vêlage au cours de la vie	défavorable (p < 0,01)	NE	NE
		Poids de naissance	défavorable (p < 0,01)	défavorable (p < 0,01)	NE
		Poids à 3 mois	défavorable (p < 0,01)	défavorable (p < 0,05)	NE
		Poids à 7 mois	défavorable (p < 0,01)	défavorable (p < 0,01)	NE
		Poids à 12 mois	défavorable (p < 0,01)	ns	NE
		Poids à la maturité	défavorable (p < 0,01)	NE	NE
		Longévité productive	défavorable (p < 0,01)	NE	NE
	Atashi et al. 2012	Taux de mortinatalité	NE	ns	NE
		Dystocie	NE	ns	NE
	Sumreddee et al. 2019	Poids de naissance	ns	défavorable (p < 0,05)	NE
		Poids au sevrage	défavorable (p < 0,001)	défavorable (p < 0,001)	NE
		Poids à 12 mois	défavorable (p < 0,001)	défavorable (p < 0,001)	NE
		Age au premier vêlage	ns	ns	NE
		GMQ entre le sevrage et 1 an d'âge	défavorable (p < 0,01)	ns	NE

*Tableau 9 : Synthèse bibliographique de l'effet de la consanguinité sur les performances de reproduction*

*(Partie 3/5)*

« ns » = non significatif, « NE » = non étudié, « — » = donnée inconnue, csg = consanguinité.

Animaux concernés	Article	Paramètres étudiés	Csg de l'individu	Csg de la mère	Csg du père
			effet (p-value)	effet (p-value)	effet (p-value)
Chevaux	Sairanen et al. 2009	Taux de poulinage	défavorable (p < 0,05)	NE	NE
	Todd et al. 2020	Durée de gestation	ns	ns	ns
		Sex ratio	ns	ns	ns
		Taux de poulinage	ns	ns	ns
Chiens	Mostert et al. 2015	Taille de la portée	défavorable	NE	NE
		Survie à 14 jours	défavorable	NE	NE
	Leroy et al. 2015	Taille de la portée à 2 mois	défavorable (p < 0,05)	défavorable (p < 0,05)	favorable (p < 0,05)
		Survie à 2 ans	défavorable (p < 0,05)	NE	NE
	Kania-Gierdziewicz et Palka 2019	Taille de la portée	ns	favorable (p < 0,001)	ns
		Nombre de chiots mâles dans une portée	—	favorable (p < 0,01)	ns
		Nombre de chiots femelles dans une portée	—	favorable (p < 0,05)	ns
		Sex ratio	ns	ns	différent selon la race (p < 0,05)
		Différence entre les sexes d'une portée	ns	ns	ns
	Chu et al. 2019	Fréquence du cycle oestral	NE	ns	NE
		Taux de conception réussie	NE	ns	NE
		Taille de la portée	NE	défavorable (p = 0,02)	NE
	Urfer 2009	Taille de la portée	ns	p = 0,0001	ns
Porcs	Köck et al. 2009	Nombre de porcelets nés	défavorable (p < 0,01)	défavorable (p < 0,001)	favorable (p < 0,01)
		Nombre de porcelets nés vivants	défavorable (p < 0,01)	défavorable (p < 0,001)	favorable (p < 0,001)
		Nombre de porcelets sevrés	défavorable (p < 0,001)	défavorable (p < 0,001)	favorable (p < 0,001)

*Tableau 9 : Synthèse bibliographique de l'effet de la consanguinité sur les performances de reproduction*

*(Partie 4/5)*

« ns » = non significatif, « NE » = non étudié, « — » = donnée inconnue, csg = consanguinité.

Animaux concernés	Article	Paramètres étudiés	Csg de l'individu	Csg de la mère	Csg du père
			effet (p-value)	effet (p-value)	effet (p-value)
Mucidés	White 1972	Poids de naissance	p < 0,01	ns	NE
		Poids à 12 jours	défavorable (p < 0,01)	défavorable (p < 0,01)	NE
		Poids à 21 jours	défavorable (p < 0,01)	défavorable (p < 0,01)	NE
		Poids à 42 jours	défavorable (p < 0,01)	défavorable (p < 0,01)	NE
		Poids à 56 jours	défavorable (p < 0,01)	défavorable (p < 0,01)	NE
	Lacy et Horner 1997	Sex ratio	ns	NE	NE
		Taille de la portée	défavorable	NE	NE
		Poids total de la portée	défavorable (p = 0,015)	NE	NE
	Malo et al. 2017	Sex ratio	NE	ns	en faveur des femelles (p = 0,038)
	Ovins	Boujenane et Chami 1997	Poids de naissance	défavorable (p < 0,05)	défavorable (p < 0,05)
Poids à 30 jours			défavorable (p < 0,001)	défavorable (p < 0,05)	NE
Poids à 90 jours			défavorable (p < 0,05)	défavorable (p < 0,05)	NE
Survie à 90 jours			ns	ns	NE
Taille de la portée à la naissance			ns	ns	NE
Taille de la portée à 90 jours			ns	ns	NE
Poids de la portée à 90 jours			défavorable (p < 0,05)	ns	NE
Mandal et al. 2005		Poids de naissance	défavorable (p < 0,01)	ns	NE
		Poids à 6 mois	défavorable (p < 0,01)	ns	NE
		Poids à 9 mois	défavorable (p < 0,01)	ns	NE
		Poids à 12 mois	défavorable (p < 0,01)	ns	NE

*Tableau 9 : Synthèse bibliographique de l'effet de la consanguinité sur les performances de reproduction*

*(Partie 5/5)*

« ns » = non significatif, « NE » = non étudié, « — » = donnée inconnue, csg = consanguinité.

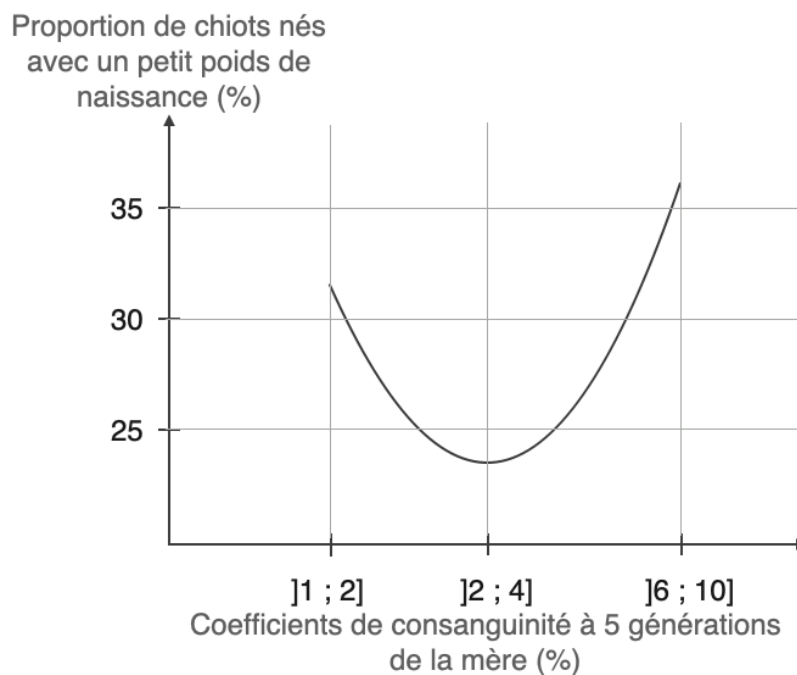
Animaux concernés	Article	Paramètres étudiés	Csg de l'individu	Csg de la mère	Csg du père
			effet (p-value)	effet (p-value)	effet (p-value)
Ovins	Jannoune et al. 2014	Poids à 10 jours	ns	ns	NE
		Poids à 30 jours	défavorable (p < 0,01)	ns	NE
		Poids à 70 jours	défavorable (p < 0,05)	ns	NE
		GMQ 10-30 jours	ns	ns	NE
		GMQ 30-70 jours	ns	favorable (p < 0,05)	NE
		Survie à 70 jours	favorable (p < 0,05)	ns	NE
	Lamberson 1981	Survie à 7 jours	défavorable (p < 0,01)	ns	NE
		Survie à 90 jours	défavorable (p < 0,01)	ns	NE
		Poids de naissance	ns	ns	NE
		Poids à 30 jours	ns	ns	NE
		Poids à 60 jours	ns	ns	NE
		Poids à 90 jours	ns	ns	NE
		Poids de l'agneau au sevrage par mère exposée au mâle	défavorable (p < 0,05)	ns	NE
		Délai entre l'introduction du mâle et la conception	défavorable	défavorable (p < 0,1)	NE
		Fertilité	ns	défavorable (p < 0,05)	NE
		Prolificité	ns	ns	NE

## A. Discussion des résultats

### 1. Effet significatif de la consanguinité sur les paramètres

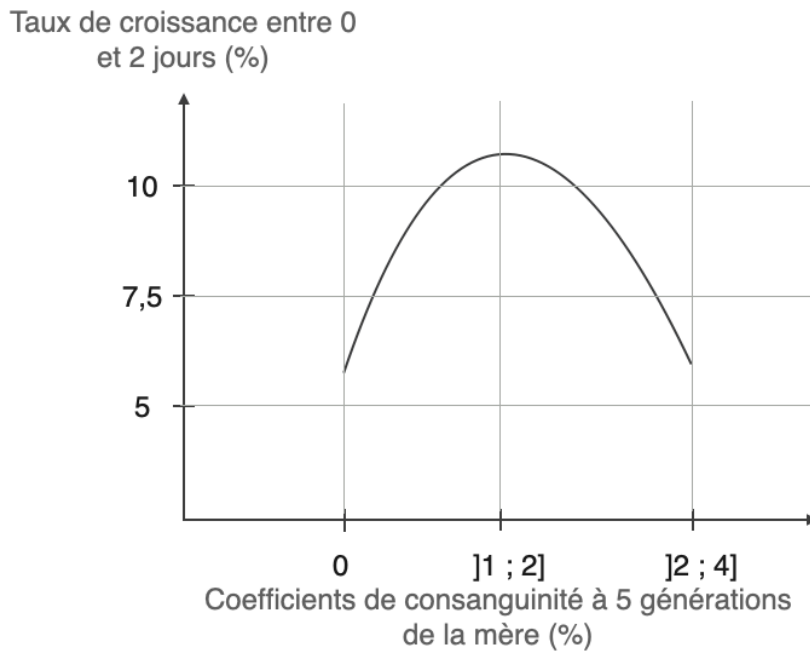
Pour chacun des paramètres étudiés où la consanguinité avait un effet significatif, ce dernier n'était pas linéaire. En effet, la relation entre la consanguinité

de la mère et la proportion de chiots à petit PDN pourrait être représentée par une courbe en U, le minimum correspondant à la classe de consanguinité ]2 ; 4] (Figure 23). L'effet de la consanguinité de la mère sur la croissance des chiots entre 0 et 2 jours et sur la proportion de chiots mort-nés par portée pourrait être représentée par une courbe en U inversé, le maximum correspondant à la classe de consanguinité ]1 ; 2] (Figure 24 et 25, respectivement). L'effet de la consanguinité de la mère sur la croissance du chiot entre 0 et 21 jours et celui de la consanguinité du chiot sur sa croissance entre 0 et 2 jours pourraient être représentées par les courbes présentées respectivement à l'aide des Figures 26 et 27. L'effet non linéaire de la consanguinité est évoqué dans plusieurs études concernant d'autres espèces animales notamment les porcins, la souris, les bovins ou encore la volaille (Bereskin et al. 1968 ; Thompson et al. 2000b ; Issa, Seeland 2001 ; Szwaczkowski et al. 2004 ; Croquet et al. 2007 ; Köck et al. 2009). En effet, celles-ci ont mis en évidence un effet curvilinéaire de la consanguinité. Klemetsdal (1998) a observé qu'une régression curvilinéaire traduisait mieux l'effet de la consanguinité qu'une régression linéaire. Croquet et al. (2007) ont souligné que la différence entre les deux régressions était minime pour une consanguinité comprise entre 0 et 10 %.

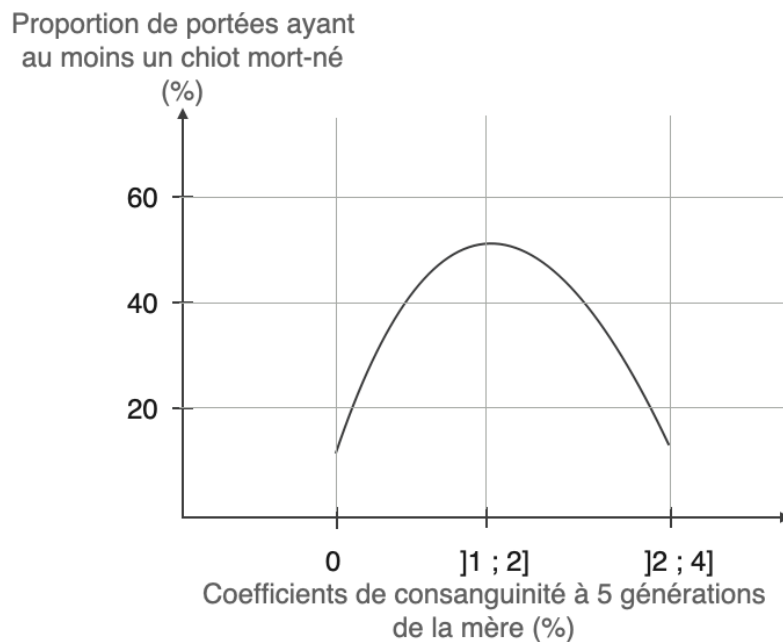


*Figure 23 : Représentation de l'allure de la courbe de la relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et la proportion de chiots nés avec un petit poids de naissance.*



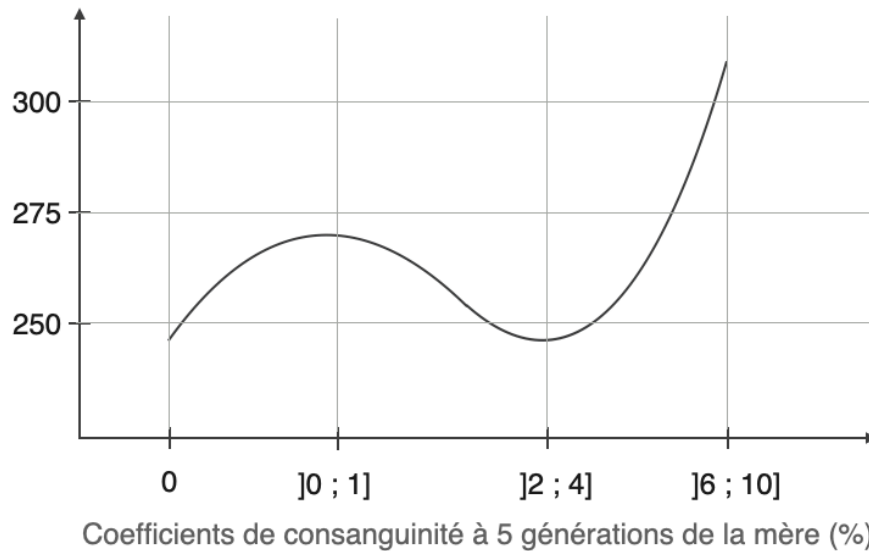


*Figure 24 : Représentation de l'allure de la courbe de la relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et le taux de croissance entre 0 et 2 jours des chiots.*



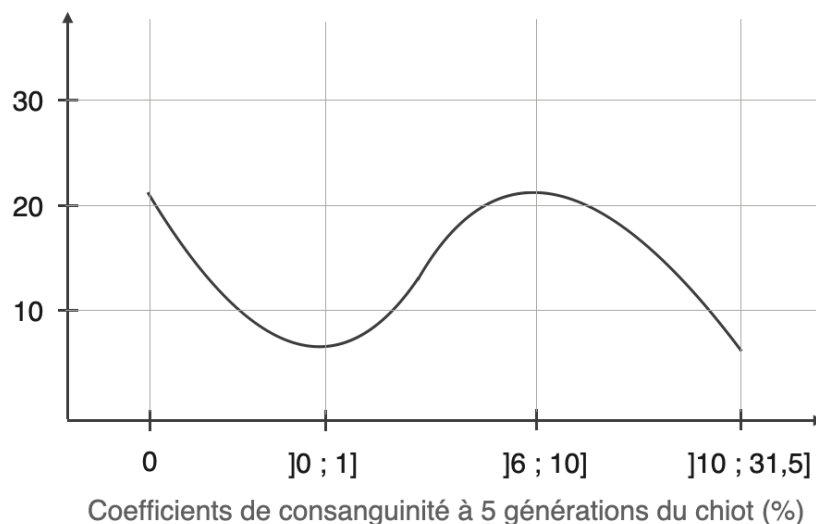
*Figure 25 : Représentation de l'allure de la courbe de la relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et la proportion de portées ayant au moins un chiot mort-né.*

Taux de croissance moyen  
entre 0 et 21 jours (%)



*Figure 26 : Représentation de l'allure de la courbe de la relation entre le taux de consanguinité à cinq générations de la mère et le taux de croissance entre 0 et 21 jours des chiots.*

Taux de croissance moyen  
entre 0 et 2 jours (%)



*Figure 27 : Représentation de l'allure de la courbe de la relation entre le taux de consanguinité à cinq générations du chiot et son taux de croissance entre 0 et 2 jours.*

Les différences entre les classes de consanguinité concernaient souvent les classes de consanguinité ]1 ; 2] et ]2 ; 4] pour les deux consanguinités étudiées. En effet, pour la consanguinité de la mère, la proportion de chiots à petit poids de naissance, le taux de mortinatalité et la croissance entre 0 et 2 jours présentaient

une différence significative entre ces classes de consanguinité tandis que pour la consanguinité du chiot, il s'agissait du taux de croissance entre 0 et 21 jours. Nous pouvons ainsi penser que la consanguinité exerce un effet beaucoup plus fort pour des taux compris entre 1 % et 4 %. Ensuite, une fois ces taux dépassés, celle-ci ne semble plus vraiment avoir d'effet. Une hypothèse expliquant l'effet défavorable de la classe de consanguinité ]1 ; 2] serait qu'entre 1 % et 2 %, des effets délétères s'appliquent sur les chiots comme de la mortalité, des malformations congénitales entre autres. Au fur et à mesure des générations, la consanguinité augmente et les allèles récessifs délétères sont éliminés par sélection naturelle. Ainsi, si la consanguinité augmente encore, elle n'aura que peu ou pas d'effet.

Chaque paramètre pour lequel un effet significatif de la consanguinité a été mis en évidence est analysé plus précisément ci-dessous :

- **Taux de mortinatalité**

Le taux de mortinatalité de notre étude était de 6,8 %. Il est proche de celui obtenu sur 37 958 portées (7,4 %) par Guillemot (2015) et dans une autre étude (Gill 2001). La proportion de portées comportant au moins un chiot mort-né était plus faible dans l'étude de Guillemot (2015) (20,5 %) que dans notre étude (28,5 %). Notre étude a mis en évidence des effets fortement significatifs de la consanguinité de la mère et du chiot sur la proportion de portées ayant au moins un chiot mort-né et sur la proportion de chiots nés morts, respectivement. A l'échelle de la portée, Gresky et al. (2005) ont montré qu'une augmentation de la consanguinité de la portée augmentait le nombre de chiots mort-nés par portée. McParland et al. (2007) ont démontré que toute augmentation de 1 % de la consanguinité du veau se traduisait par un accroissement de 0,2 % du taux de mortinatalité chez des mères primipares. En revanche, notre étude a montré une tendance inverse. En effet, lors de l'augmentation de la consanguinité du chiot à des taux compris entre 1 % et 6 %, le taux de mortinatalité diminuait par rapport aux chiots non consanguins. Cependant, au delà de 6 %, aucune différence significative n'était observée. D'autre part, des études ont montré que le taux de mortinatalité augmentait lors de l'augmentation de la consanguinité de la mère (Gresky et al. 2005 ; Adamec et al. 2006 ; McParland et al. 2007 ; Köck et al. 2009). Cependant, il est à noter que le taux de mort-nés calculé par Adamec et al. (2006) comprenait aussi les veaux morts entre

0 et 2 jours contrairement à notre étude qui considérait uniquement les chiots morts à la naissance. Pour des bovins d'Irlande de race Holstein, il a été montré qu'une augmentation de la consanguinité de la mère de 1 % augmentait le taux de mortinatalité de 0,06 % (McParland et al. 2007). Par ailleurs, il a été observé que les effets de la consanguinité sur le taux de mortinatalité diminuaient à mesure que la parité augmentait (Adamec et al. 2006). Bien que notre population ait comporté 64,9 % de mères primipares, aucun effet significatif de la consanguinité de la mère sur le taux de mortinatalité n'a été mis en évidence. Ceci est en accord avec une étude plus récente portant sur des bovins Holstein d'Iran (Atashi et al. 2012).

- **Proportion de chiots à petit poids de naissance**

Un effet très fortement significatif de la consanguinité de la mère a été montré sur la proportion de chiots à petit PDN. Parmi les trois définitions utilisées du « petit » PDN, un effet significatif de la consanguinité du chiot n'a été mis en évidence que pour les petits PDN définis par le premier quartile des poids de la race. Cette différence significative, comme décrite dans la section Résultats, concernait les classes de consanguinité du chiot ]4 ; 6], ]6 ; 10] et ]10 ; 31,5]. Pour les autres définitions, l'absence d'effet significatif pourrait être due à la perte d'effectif dans la classe de consanguinité ]6 ; 10] (Tableau 10). Par ailleurs, une analyse à l'échelle de la race n'a pu être réalisée qu'avec la race Léonberg car pour les autres races, la répartition des chiots dans les différentes classes de consanguinité n'était pas suffisamment homogène pour aboutir à une analyse correcte. L'étude sur la race Léonberg a montré un effet très fortement significatif de la consanguinité du chiot sur son PDN. Il a été observé que les chiots ayant un  $F_{5G}$  compris entre 2 % et 4 % et entre 10 % et 31,5 % avaient un plus petit PDN que ceux appartenant aux classes de consanguinité ]0 ; 1] et ]4 ; 6]. Il semble difficile de conclure à une généralité sur l'ensemble des races étant donné que cela n'a pu être étudié que sur une seule race et que la proportion de chiots présents dans chaque classe de consanguinité à cinq générations du chiot diffèrent grandement, à l'exception de la classe de consanguinité ]1 ; 2], entre notre base de données et nos données sur la race Léonberg (Tableau 11).

Dans l'espèce canine, une étude portant sur des Labradors Retrievers (Schelling et al. 2019) a montré qu'une augmentation de la consanguinité de la mère

de 1 % entraînait un PDN plus élevé de 1 g contrairement à l'augmentation de 1 % de celle du chiot qui diminuait son PDN de 1 g. Dans d'autres espèces animales, des études ont montré un effet linéaire négatif de la consanguinité de l'individu (Ercanbrack et Knight 1991 ; Boujenane et Chami 1997 ; Mandal et al. 2005 ; Carolino et Gama 2008) et de la mère (Young et al. 1969 ; Boujenane et Chami 1997 ; Carolino et Gama 2008 ; Sumreddee et al. 2019) sur le PDN. En effet, chez les bovins, Sumreddee et al. (2019) ont mis en évidence une baisse du PDN du veau de 89 g pour chaque augmentation de la consanguinité de la mère de 1 %. Young et al. (1969) ont montré que l'effet de la consanguinité de la mère sur le PDN différaient selon le sexe du veau : le PDN des femelles était plus diminué par l'accroissement de la consanguinité de la mère que celui des mâles. Chez les ovins, une baisse de 6 et 10 g pour chaque élévation de la consanguinité de l'agneau de 1 % a été mise en évidence pour des agneaux de race Beni Guil (Boujenane et Chami 1997) et de race Muzaffarnagari (Mandal et al. 2005), respectivement. Une hypothèse sur la corrélation négative entre le PDN et la consanguinité serait que celle-ci provoquerait un développement intra-utérin tardif ou bien serait à l'origine d'une gestation plus courte. Contrairement à notre étude et à celles citées précédemment, aucun effet significatif de la consanguinité de l'agneau (Lamberson 1981 ; Boujenane et Chami 1997 ; Mamani Maquera 2019) ou de la mère (Mandal et al. 2005) sur le PDN n'a été mis en évidence.

*Tableau 10 : Taux de chiots présents dans les classes de consanguinité à cinq générations du chiot supérieure à 4 % selon les trois définitions du « petit » poids de naissance.*

*PPN = petit poids de naissance.*

Classe de consanguinité à 5 générations du chiot	Taux de chiots sélectionnés (%)		
	PPN défini avec le premier quartile (n = 2737)	PPN défini avec le seuil CART (n = 1136)	PPN défini avec le seuil ROC (n = 1136)
]4 ; 6]	6,6	6,8	6,8
]6 ; 10]	8,2	3,4	3,4
]10 ; 31,5]	7,5	7,7	7,7

*Tableau 11 : Comparaison de la composition des classes de consanguinité à cinq générations du chiot de notre base de données avec nos données sur la race Léonberg.*

Classe de consanguinité à 5 générations du chiot	Taux de chiots présents (%)	
	Base de données de l'étude (n = 3180 chiots)	Données sur la race Léonberg (n = 193 chiots)
0	28,1	15
]0 ; 1]	23,9	29
]1 ; 2]	10,7	9,3
]2 ; 4]	14,6	5,2
]4 ; 6]	6,4	10,9
]6 ; 10]	8,6	20,2
]10 ; 31,5]	7,7	10,4

- **Croissance néonatale des chiots**

Notre étude a mis en évidence un effet très fortement significatif de la consanguinité de la mère et du chiot sur la croissance néonatale des chiots (entre 0 et 2 jours et entre 0 et 21 jours). Des études sur des bovins, des ovins et des rongeurs ont montré une corrélation négative entre la consanguinité de la mère et le poids de l'individu à 21 et 30 jours (White et al. 1972 ; Lamberson 1981 ; Boujenane et Chami 1997 ; Jannoune et al. 2014). Ces résultats sont contraires à nos observations puisque dans notre étude, les chiots ayant des mères non consanguines avaient une croissance entre 0 et 21 jours plus faible que ceux dont les mères avaient un  $F_{5G}$  compris entre 6 % et 10 %. Chez les souris, le poids à 12 jours des souriceaux dont les mères avaient un taux de consanguinité de 25 % était diminué par rapport à ceux ayant des mères non consanguines. La corrélation négative entre la croissance néonatale et la consanguinité de la mère pourrait s'expliquer par une baisse de production de lait chez les mères consanguines (Boujenane et Chami 1997) mais aussi par un lait de moins bonne qualité chez celles-ci. Cette hypothèse pourrait expliquer la baisse du taux de croissance entre 0 et 21 jours des chiots entre les classes de consanguinité de la mère ]0 ; 1] et ]2 ; 4]. De plus, une étude portant sur des bovins de race Hereford (Sumreddee et al. 2019) a observé une réduction du poids au sevrage de 1,2 kg pour chaque augmentation

de 1 % de la consanguinité de l'individu. Pour les races ovines Beni Guil, Sardi et Timahdite, une baisse du poids à 30 jours de 6,1 g, 4,4 g et 2,2 g , respectivement, a été mise en évidence pour chaque augmentation de la consanguinité de l'agneau de 1 % (Boujenane et Chami 1997 ; Jannoune et al. 2014). Selon White et al. (1972), la consanguinité de l'individu entraînerait un effet plus délétère sur sa croissance néonatale que la consanguinité de sa mère. En effet, ils ont montré qu'une baisse plus importante du poids à 12 jours du souriceau est attendue pour une consanguinité de l'individu de 30 % (- 0,30 g) par rapport à une consanguinité de la mère identique (- 0,18 g). Dans notre étude, il a été observé que les chiots ayant un  $F_{5G}$  supérieur à 10 % avaient un taux de croissance entre 0 et 2 jours plus faible par rapport aux chiots non consanguins. Les chiots consanguins pourraient avoir une consommation de colostrum et de lait moins importante que les chiots non consanguins, ce qui pourrait expliquer le résultat obtenu. A notre connaissance, aucune étude n'a étudié l'effet de la consanguinité sur le poids à 2 jours de vie. Contrairement aux études citées précédemment, Jannoune et al. (2014) n'ont mis en évidence aucun effet significatif de la consanguinité des agneaux et de la mère sur la croissance des agneaux entre 0 et 10 jours ni sur leur gain moyen quotidien entre 10 et 30 jours.

## 2. Effet non significatif de la consanguinité sur les paramètres

Notre étude a montré pour certains paramètres une absence d'effet significatif de la consanguinité. Pour ceux-ci, plusieurs hypothèses peuvent être proposées : soit une absence réelle d'effet ; soit un manque de puissance de notre base de données ; soit une augmentation de la consanguinité trop lente pour observer un éventuel effet ; soit des taux de consanguinité insuffisamment élevés dans la base de données (Kania-Gierdziewicz et Palka 2019 ; Todd et al. 2020).

Dans l'espèce ovine (Boujenane et Chami 1997 ; Jannoune et al. 2014) et chez des drosophiles (Pekkala et al. 2012), les effets de la consanguinité sur les paramètres de reproduction étaient plus prononcés lorsque les coefficients de consanguinité des individus dépassaient 30 %. Pour l'étude des performances de croissance, des études ont évoqué le fait qu'il soit nécessaire que la consanguinité soit supérieure à 30 % pour observer des effets (Boujenane et Chami 1997 ; Jannoune et al. 2014) tandis que pour Ercanbrack et Knight (1991), il suffit d'avoir

une consanguinité dépassant les 15 %. Dans notre étude, seule une portée de trois chiots présentait un  $F_{5G}$  supérieur à 30 % et 17 portées regroupant 101 chiots présentaient un  $F_{5G}$  supérieur à 15 %. Il n'aurait donc pas été possible d'étudier séparément les chiots ayant des coefficients de consanguinité supérieurs à 30 % avec notre base de données. De plus, le faible nombre d'individus dont le  $F_{5G}$  était supérieur à 15 % pourrait être l'une des raisons pour laquelle aucun effet significatif de la consanguinité n'a été mis en évidence.

Certaines études ont étudié l'effet de la consanguinité lors de l'augmentation rapide de celle-ci (Pedersen et al. 2005 ; Pekkala et al. 2014). Cette augmentation rapide a lieu dans des populations de petites tailles mais peut aussi être liée à l'apparition d'un ou plusieurs goulots d'étranglement dans une population de grande taille. Selon Pedersen et al. (2005), quatre générations de plus sont nécessaires pour atteindre le même niveau de consanguinité lors d'une augmentation lente de la consanguinité par rapport à une augmentation rapide de la consanguinité. Pour le même niveau de consanguinité, González-Recio et al. (2007) et Pekkala et al. (2014) ont montré que l'augmentation rapide de consanguinité avait des effets délétères plus importants sur la fitness qu'une augmentation lente de la consanguinité. Pedersen et al. (2005) ont obtenu des résultats similaires pour la fécondité chez des drosophiles. Ces résultats s'expliquent par le fait que la sélection naturelle n'est supposée efficace que sur les allèles fortement délétères en cas d'augmentation rapide de la consanguinité (Pekkala et al. 2014). Lors d'une augmentation lente de la consanguinité, la sélection naturelle sera aussi efficace sur les allèles moins délétères (Pekkala et al. 2014). Ainsi, pour un taux de consanguinité identique, la population ayant une augmentation lente de la consanguinité aura une plus faible dépression de consanguinité. L'augmentation de la consanguinité dans notre population s'est sans doute faite lentement et n'a pas entraîné une dépression de consanguinité sur certains paramètres étudiés suffisamment forte pour pouvoir observer un effet significatif.

Par ailleurs, l'effet de la consanguinité sur les performances de reproduction dans l'espèce canine pourrait être atténué voire masqué par les pratiques d'élevage. Todd et al. (2020) évoque cette possibilité pour le pur-sang australien. En effet, depuis plusieurs années, les éleveurs sont de plus en plus performants dans la gestion de leur élevage et se forment pour repérer les chiots qui demandent plus



d'attention de leur part du fait de leur petit poids ou encore de leur ordre de naissance.

Pour deux de nos paramètres (proportion de chiots à croissance négative entre 0 et 2 jours et proportion de chiots dont le poids de naissance est inférieur au seuil ROC), les premiers tests statistiques réalisés ont montré un effet significatif de la consanguinité mais lors des comparaisons deux à deux, aucune différence significative n'a été observée. Par conséquent, cette absence de différence significative aux comparaisons deux à deux est probablement liée à une perte de puissance liée au travail dans les sous-groupes et à la correction appliquée lors du test (indispensables lorsque des comparaisons multiples sont faites).

Nous allons ensuite analyser plus en détail les paramètres pour lesquels aucun effet significatif n'a été mis en évidence :

- **Sex ratio :**

L'étude de ce paramètre n'a pas montré d'effet significatif de la consanguinité de la mère. De même, Lacy et Horner (1997), Malo et al. (2019) et Todd et al. (2020), dont les études portent respectivement sur le rat à poils longs d'Australie, le Bongo des montagnes et le pur-sang australien ont obtenu le même résultat. A l'inverse, McParland et al. (2007) ont mis en évidence un effet non linéaire de la consanguinité de la mère sur le sex ratio chez des bovins irlandais de race Holstein : un taux de consanguinité de la mère compris entre 5 % et 10 % augmentait de 1 % le nombre de mâles nés tandis que lorsqu'il dépassait les 16 %, le sex ratio était déséquilibré en faveur des femelles. Ce phénomène pourrait être expliqué grâce à l'hypothèse émise par Trivers et Willard (1973) : une adaptation du sex ratio en faveur des femelles aurait lieu lors du déclin des conditions maternelles, c'est-à-dire dans le cas présent, lors d'une augmentation de consanguinité. Une seconde explication de ce déséquilibre du sex ratio en faveur des femelles serait que les embryons mâles ayant un fort taux de consanguinité auraient un plus faible taux de survie que les embryons femelles (Malo et al. 2019). Par ailleurs, la consanguinité du père influe aussi sur le déséquilibre du sex ratio (Malo et al. 2017 ; Kania-Gierdziewicz et Palka 2019 ; Malo et al. 2019). Malo et al. (2019) ont observé, chez des Bongos des montagnes, une augmentation de la probabilité d'avoir un mâle lors de l'augmentation de la

consanguinité chez de jeunes pères et inversement pour des pères plus vieux tandis que Kania-Gierdziewicz et Palka (2019) ont observé, pour le beagle, un déséquilibre du sex ratio au sein de la portée en faveur des chiots femelles lors de l'augmentation de la consanguinité du père. Malo et al. (2017) ont montré chez des souris à pâtes blanches que la consanguinité du père avait un effet indirect sur le sex ratio. En effet, son augmentation entraînait une augmentation de la surface du noyau des spermatozoïdes, ce qui a induit une plus grande proportion de femelles nées. Par ailleurs, le taux de consanguinité du père a permis d'expliquer 8 % de la variation du sex ratio de la descendance (Malo et al. 2017).

- **Sexe du chiot**

Notre étude n'a mis en évidence aucun effet significatif de la consanguinité du chiot sur la détermination de son sexe bien que des études en aient observé un (McParland et al. 2007 ; Malo et al. 2019). Une étude sur les Bongos des montagnes (Malo et al. 2019) a observé une augmentation de la probabilité d'être une femelle lors de l'augmentation de la consanguinité de l'individu. A l'inverse, une étude sur des bovins irlandais de race Holstein (McParland et al. 2007) a montré qu'une augmentation de 1 % du taux de consanguinité du veau augmentait de 0,1 % la probabilité du veau d'être un mâle. Cela pourrait s'expliquer par une altération au moment de la détermination du sexe ou par une mortalité foetale ou embryonnaire préférentielle de l'un des deux sexes engendrées par la consanguinité (McParland et al. 2007).

- **Mortalité des chiots après la naissance**

Notre étude n'a mis en évidence aucun effet significatif de la consanguinité de la mère et du chiot sur ce paramètre pour les périodes considérées (entre 0 et 2 jours, entre 0 et 21 jours et entre 0 et 2 mois). Jannoune et al. (2014) ont montré une absence d'effet significatif de la consanguinité de la mère sur la viabilité des agneaux de la naissance à 70 jours. De même, une étude sur des rat à poils longs d'Australie, a observé, comme dans notre étude, une absence de relation entre la consanguinité et la survie des jeunes entre la naissance et le sevrage (Lacy et Horner 1997). A l'inverse, des études sur des chiens, des ovins et des porcs (Lamberson 1981 ; Köck et al. 2009 ; Mostert et al. 2015) ont montré une corrélation négative entre la

consanguinité et le taux de mortalité de l'individu. Mostert et al. (2015) ont observé une baisse du nombre de chiots Boxers sud africains vivants à 14 jours de 1,4 chiots pour chaque augmentation de 1 % de la consanguinité. Lamberson (1981) a montré que la survie à 7 jours d'agneaux de race Hampshire était diminuée de 1,1 % lors d'une augmentation de 1 % de leur consanguinité. De même, chez des porcs de race Landrace, une augmentation de 10 % de la consanguinité de la mère ou de la portée entraînait une diminution de 0,21 et 0,29 porcelets sevrés, respectivement (Köck et al. 2009). Des résultats similaires ont été obtenu pour des porcs de race Large White (Köck et al. 2009). Une baisse de qualité du lait chez les femelles consanguines pourrait expliquer cette diminution de la viabilité des jeunes. Contrairement aux études citées précédemment, une étude sur des agneaux de race Timahdite et Sardi (Jannoune et al. 2014) a observé une corrélation positive mais significative uniquement pour les agneaux de race Timahdite entre la consanguinité de l'agneau et sa viabilité entre 0 et 70 jours d'âge.

- **Taille de la portée**

La taille moyenne de portée de notre étude était de  $6,2 \pm 2,8$  chiots. Cette valeur est proche de celle trouvée dans plusieurs études (Urfer 2009 ; Mostert et al. 2015 ; Kania-Gierdziewicz et Palka 2019). Une étude à plus grande échelle comportant 37985 portées provenant d'élevages français (Guillemot 2015) a obtenu une taille de portée plus faible que celle de notre étude ( $5,4 \pm 2,8$  chiots). Il en est de même pour une étude incluant 10 810 portées renseignées dans le Kennel Club Norvégien ( $5,4 \pm 0,025$  chiots) (Borge et al. 2010). Cette taille de portée correspondait à la taille de la portée au moment de la mise bas contrairement à la taille de portée définie dans l'étude de Leroy et al. (2015) sur la consanguinité, qui l'a déterminée lorsque les chiots avaient deux mois. Ces deux valeurs diffèrent en moyenne de 15 %, en raison de la mortinatalité et de la mortalité entre la naissance et l'âge de 2 mois (Chastant et al. 2017).

Dans notre étude, aucun effet significatif de la consanguinité de la mère sur la taille de la portée n'a été mis en évidence à l'échelle de l'espèce et du format. Un résultat similaire a été obtenu dans une étude portant sur deux races ovines (Boujenane et Chami 1997). A l'inverse, dans d'autres espèces, un effet significatif de la consanguinité de la mère sur la taille de portée a été décrit. Chez le Bongo des

montagnes (Malo et al. 2019), une corrélation négative entre la taille de la portée et la consanguinité de la mère a été montrée. Il en est de même chez le rat à poils long d'Australie où une baisse de 3,4 % de la taille de la portée était prédite en cas d'augmentation de la consanguinité de 10 % (Lacy et Horner 1997). A l'échelle de la race dans l'espèce canine, certaines études ont décrit un effet négatif chez plusieurs races : le Bouvier Bernois, le Basset Hound, le Cairn Terrier, l'Epagneul Breton, le Berger Allemand, le Léonberg, le West Highland White Terrier (Leroy et al. 2015), le Golden Retriever (Chu et al. 2019), et le Boxer d'Afrique du sud (Mostert et al. 2015). Chez le Boxer sud-africain, pour chaque accroissement de la consanguinité de 1 %, la taille de la portée diminuait de 0,85 chiots. Contrairement aux études citées précédemment, une augmentation de la taille de la portée lors de l'augmentation de la consanguinité de la mère chez le berger de Tatra ou de l'augmentation de celle de la portée chez le berger allemand a été mise en évidence (Kania-Gierdziewicz et Palka 2019). Ainsi, quelques études ont observé des effets significatifs de la consanguinité sur la taille de portée à l'échelle de la race, il aurait pu être intéressant de réaliser une étude à l'échelle de la race en sélectionnant les races avec le plus de portées renseignées dans la base de données sachant que des résultats significatifs ont été obtenus même avec une faible quantité de portée (23) (Kania-Gierdziewicz et Palka 2019).

- **Poids de la portée**

Un tri drastique a dû être réalisé pour étudier ce paramètre puisque seulement 77 portées ont été sélectionnées. Certaines classes de consanguinité de la mère comportaient moins de sept portées et correspondaient aux classes de consanguinité les plus élevées. Par conséquent, le nombre très faible de données et le fait que les classes de consanguinité les plus élevées soient le plus touchées (2 portées dans la classe ]4 ; 6] et 6 portées dans les classes ]6 ; 10] et ]10 ; 28]) pourrait expliquer l'absence d'effet significatif de la consanguinité de la mère sur le poids de la portée.

Le poids de la portée a été étudié dans l'espèce ovine mais il a été calculé au sevrage (Boujenane et Chami 1997) contrairement à notre étude qui le calculait à la naissance. L'étude citée précédemment a mis en évidence une corrélation négative entre la consanguinité des agneaux de race Beni Guil et le poids de la portée au

sevrage (lorsque les agneaux sont âgés de 90 jours) se traduisant par une baisse du poids de la portée de 0,0832 kg par augmentation de la consanguinité de l'agneau de 1 % (Boujenane et Chami 1997).

## **B. Limites de la base de données**

Les données ont été fournies par des éleveurs français volontaires. Par conséquent, malgré la grande quantité de données récoltées, elle ne représente pas l'ensemble des élevages canins français. De plus, certaines données nécessaires pour l'étude présentée ici n'ont pas pu être renseignées pour l'ensemble des chiots. Ce fût le cas entre autres pour le poids de la mère où seulement 22 % des mères ont pu être conservées pour l'étude du paramètre nécessitant cette information. En outre, certains paramètres concernant des informations avant la mise bas comme la fertilité, la fécondité ou encore la perte de la portée au cours de la gestation auraient pu être intéressants à inclure dans l'étude.

Par ailleurs, la récolte des coefficients de consanguinité sur LOF Select a été de temps en temps infructueuse. En effet, parfois les informations renseignées par les éleveurs différaient de ce qui était déclaré sur LOF Select. Par exemple, certaines portées enregistrées dans la base de données n'ont pas été déclarées sur le site de la SCC. Il était alors impossible d'ajouter les coefficients de consanguinité de la portée. Selon le rapport de stage d'Alicia Jacques (2019), seulement une partie des chiens de races sont enregistrés au LOF. De même, certains chiens ne seraient inscrits au LOF qu'une fois leur premier titre obtenu. Cela explique donc l'absence de certaines informations dans LOF Select. De plus, certains pères étant étrangers, leur généalogie n'était donc pas renseignée dans LOF Select et leur coefficient de consanguinité ainsi que celui de la portée étaient faussés. Les taux de consanguinité sont donc sous-estimés en cas d'arbre généalogique incomplet. C'est pourquoi dans cette étude, il a été décidé de ne conserver que les chiots et les mères ayant un arbre généalogique complet à cinq générations. Nous aurions pu nous contenter d'un arbre généalogique complet à trois générations comme cela a été fait dans une autre étude (Leroy et al. 2015), ce qui aurait permis d'augmenter de 272 % les effectifs. En outre, il semblerait qu'au-delà de cinq générations, l'impact des ancêtres sur le coefficient de consanguinité soit négligeable (LOF Select 2017). Il n'a donc pas été nécessaire d'obtenir des coefficients de consanguinité supérieurs à cinq générations.

Cette exigence quant à la précision du taux de consanguinité s'est faite au détriment des effectifs qui ne représentent que 17 % des effectifs de la base de données initiale.

Une étude sur cinq races de chiens (Kania-Gierdziewicz et Palka 2019) comportait une base de données de taille similaire (Tableau 12) à celle de notre étude. Cependant, d'autres études tant sur des chiens que sur d'autres espèces animales présentaient une base de données 10 à 100 fois plus grande que la nôtre (Tableau 12). Généralement, les études sur la consanguinité chez les espèces domestiques de production comportaient une très grande base de données allant de 30 000 animaux jusqu'à presque 30 000 000 individus. Au sein de l'espèce canine, les tailles des bases de données des études portant sur la consanguinité étaient plus restreintes. Elles comptaient entre 2000 et 5000 individus issus de 400 à 800 portées à l'exception de Leroy et al. 2015 et de Gresky et al. 2005 dont les bases de données regroupaient plus de 30 000 portées de chiens.

Nous avons fait le choix de créer des classes de  $F_{5G}$ . Cependant, en raison de la distribution de la consanguinité dans la population d'étude, les classes n'étaient pas homogènes. Il aurait pu être intéressant de classer les coefficients de consanguinité à la manière de Leroy et al. (2015) soit en trois classes :  $[0 ; 6,25[$ ,  $[6,25 ; 12,5]$  et  $> 12,5$ . Le Tableau 13 compare les effectifs de la population de l'étude de Leroy et al. (2015) avec ceux de notre étude. Il aurait donc été tout à fait possible d'utiliser uniquement ces trois classes de consanguinité car la répartition de la consanguinité de notre population est similaire à celle de l'étude de Leroy et al. (2015). Néanmoins, les résultats obtenus n'auraient pas tous été observés puisque les effets de la consanguinité mis en évidence dans notre étude ont lieu principalement chez les classes de consanguinité  $]1 ; 2]$  et  $]2 ; 4]$ . Ces classes sont regroupées dans la classe de consanguinité ( $< 6,25$  %) de Leroy et al. (2015).

Par ailleurs, des études précédentes (Köck et al. 2009 ; Leroy et al. 2015 ; Kania-Gierdziewicz et Palka 2019 ; Malo et al. 2019 ; Schelling et al. 2019) ont aussi analysé l'effet de la consanguinité du père sur les performances de reproduction. Si l'étude était poursuivie, il pourrait être intéressant d'étudier les effets de la consanguinité du père sur les paramètres étudiés.

*Tableau 12 : Comparaison de la taille de la population de différentes études ayant étudiées les effets de la consanguinité*

<b>Animaux étudiés</b>	<b>Article</b>	<b>Nombre de races</b>	<b>Taille globale de la population</b>
<b>Bovins</b>	Thompson et al. 2000a	1	27 000 000 vaches
	Thompson et al. 2000b	1	27 000 000 vaches
	Adamec et al. 2006	1	120 434 vaches
	Croquet et al. 2007	1	403 582 vaches
	McParland et al. 2007	1	2 678 663 vaches
	Carolino et Gama 2008	1	10 297 veaux et 19 054 mères
	Atashi et al. 2012	1	365 021 vêlages et 153 802 mères
	Martikainen et al. 2017	1	19 075 vaches
	Sumreddee et al. 2019	1	10 186 individus, 3315 mères et 639 pères
<b>Bongo des montagnes</b>	Malo et al. 2019	1	883 individus et 117 pères
<b>Chiens</b>	Gresky et al. 2005	1	42 855 portées
	Urfer 2009	1	4 940 chiots, 822 portées
	Leroy et al. 2015	7	32 722 portées
	Mostert et al. 2015	1	2096 portées, 1096 mères, 717 pères
	Chu et al. 2019	1	93 chiennes
	Kania-Gierdziewicz et Palka 2019	5	2560 chiots, 436 portées, 228 mères et 63 pères
	Notre étude	52	3180 chiots, 537 portées et 339 mères
<b>Chevaux</b>	Sairanen et al. 2009	2	19 790 juments, 2218 étalons
	Todd et al. 2020	1	27 296 saillies, 12 922 mères et 131 pères
<b>Mucidés</b>	White et al. 1972	1	2397 individus
	Lacy et Horner 1997	1	294 portées
	Malo et al. 2017	1	58 mâles
<b>Ovins</b>	Lamberson 1981	1	598 agneaux et 212 mères
	Boujenane et Chami 1997	2	11 673 agneaux, 1996 mères et 139 pères
	Mandal et al. 2005	1	4368 agneaux, 1446 mères et 156 pères
	Dorostkar et al. 2012	1	8836 agneaux, 2665 mères et 402 pères
	Jannoune et al. 2014	2	229 279 agneaux, 83 530 mères et 1371 pères
<b>Porc</b>	Hochereau de Reviers et al. 1997	3	247 truies
	Köck et al. 2009	2	76 771 portées, 25 352 mères, 4720 pères

*Tableau 13 : Comparaison de la distribution des coefficients de consanguinité à cinq générations entre la population de l'étude de Leroy et al. (2015) et notre étude.*

	<b>Coefficient de consanguinité à cinq générations (%)</b>			<b>Total</b>
	<b>&lt; 6,25</b>	<b>[6,25 ; 12,5]</b>	<b>&gt; 12,5</b>	
	<b>Nombre de portées (Part dans la population en %)</b>			
<b>Leroy et al. 2015</b>	28489 (87 %)	2929 (9 %)	1304 (4 %)	32722
<b>Notre étude</b>	451 (84 %)	58 (11 %)	28 (5 %)	537



## Conclusion

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de la consanguinité sur la taille de la portée, sur la mortalité des chiots ainsi que sur leur croissance néonatale et ce sur un jeu de données incluant un grand nombre de races. Aucun effet de la consanguinité à cinq générations de la mère sur le sex ratio, la taille de la portée, le poids de la portée, l'hétérogénéité des PDN intra-portée et le taux de mortalité sur les trois périodes considérées (0-2 jours, 0-21 jours, 0-2 mois) et de celle du chiot sur le sexe du chiot et son taux de mortalité sur les trois périodes considérées (0-2 jours, 0-21 jours, 0-2 mois) n'a été mis en évidence. Un effet significatif non linéaire de la consanguinité du chiot et de celle de la mère a été montré sur la proportion de chiots ayant un petit PDN, sur le taux de mortinatalité et sur les taux de croissance du chiot entre 0 et 2 jours et entre 0 et 21 jours. La classe de consanguinité à cinq générations [2 ; 4] est la classe pour laquelle une différence était observée le plus souvent avec les autres classes de consanguinité. Cette étude s'est concentrée sur les performances de reproduction mais n'a inclus que les paramètres utilisant des données sur la mère et sa portée récoltées après la mise-bas. L'effet de la consanguinité sur la fertilité et la fécondité a été très étudié dans les espèces domestiques de production (Young et al. 1969 ; Lamberson 1981 ; Thompson et al. 2000a ; Thompson et al. 2000b ; González-Recio et al. 2007 ; Sumreddee et al. 2019). Ces derniers ont montré que la consanguinité avait un effet négatif sur la fertilité et la fécondité. Selon Young et al. (1961), une proportion plus importante de mères ayant des taux de consanguinité élevés (25 %) échouait à concevoir après plusieurs inséminations artificielles par rapport à la proportion de mères non consanguines. Le taux de gestation était diminué de 1,7 % chez des vaches ayant un taux de consanguinité entre 6,25 % et 12,5 % par rapport aux vaches non consanguines (González-Recio et al. 2007). Il pourrait donc être envisagé d'étudier l'effet de la consanguinité sur la fertilité dans l'espèce canine.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussignée, Sylvie CHASTANT, Enseignant-chercheur, de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse, directrice de thèse, certifie avoir examiné la thèse de MONS Gaëlle Manon Emeline intitulée « Effet de la consanguinité sur les performances de reproduction dans l'espèce canine » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 15/07/2021  
Enseignant-chercheur de l'École Nationale  
Vétérinaire de Toulouse  
Professeure Sylvie CHASTANT

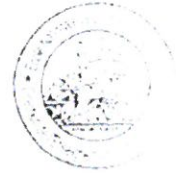
  
École Nationale Vétérinaire  
de Toulouse  
Reproduction  
24 chemin des Capelles  
31076 TOULOUSE cedex 03  
France

Vu :  
Le Président du jury  
Professeur Roger LEANDRI



Vu :  
Le Directeur de l'École Nationale  
Vétérinaire de Toulouse  
M. Pierre SANS

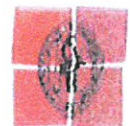




Vu et autorisation de l'impression :  
Le Président de l'Université Paul  
Sabatier  
Monsieur Jean-Marc BROTO  
Par délégation, le Doyen de la faculté de  
Médecine de Toulouse-Rangueil  
Monsieur Elic SERRANO



Mme MONS Gaëlle Manon Emeline  
a été admise(e) sur concours en : 2016  
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le: 06/07/2020  
a validé son année d'approfondissement le: 15/07/2021  
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.



## Références bibliographiques

ADAMEC, V., CASSELL, B. G., SMITH, E. P. et PEARSON, R. E., 2006. Effects of Inbreeding in the Dam on Dystocia and Stillbirths in US Holsteins. *Journal of Dairy Science*. Vol. 89, n°1, pp. 307-314. Disponible à l'adresse : [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72095-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72095-1).

ATASHI, H., ZAMIRI, M. J. et SAYADNEJAD, M. B., 2012. The effect of maternal inbreeding on incidence of twinning, dystocia and stillbirth in Holstein cows of Iran. *Iranian Journal of Veterinary Research*., Vol. 13, n° 2, Ser. n° 39.

BERESKIN, B., SHELBY, C. E., ROWE, K. E., URBAN, W. E., Jr., BLUNN, C. T., CHAPMAN, A. B., GARWOOD, V. A., HAZEL, L. N., LASLEY, J. F., MAGEE, W. T., MCCARTY, J. W. et WHATLEY, J. A., Jr., 1968. Inbreeding and Swine Productivity Traits. *Journal of Animal Science*. Vol. 27, n° 2, pp. 339-350. DOI 10.2527/jas1968.272339x.

BORGE, K., TØNNESEN, R., NØDTVEDT, A. et INDREBØ, A., 2010. Litter size at birth in purebred dogs—A retrospective study of 224 breeds. *Theriogenology*. Vol. 75, pp. 911-919. DOI 10.1016/j.theriogenology.2010.10.034.

BOUJENANE, I. et CHAMI, A., 1997. Effects of inbreeding on reproduction, weights and survival of Sardi and Beni Guil sheep. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. Vol. 114, n° 1-6, pp. 23-31. DOI 10.1111/j.1439-0388.1997.tb00488.x.

CAROLINO, N. et GAMA, L. T., 2008. Inbreeding depression on beef cattle traits: Estimates, linearity of effects and heterogeneity among sire-families. *Gene Sel Evol*. Vol. 40, n°5, pp. 511-527. DOI 10.1186/1297-9686-40-5-511.

CHASTANT, S., GUILLEMOT, C., FEUGIER, A., MARIANI, C., GRELLET, A. et MILA, H., 2017. Reproductive performance and pre-weaning mortality: Preliminary analysis of 27,221 purebred female dogs and 204,537 puppies in France. *Reproductive in Domestic Animals*. Vol. 52, Suppl. 2 , pp. 158-162. DOI [10.1111/rda.12845](https://doi.org/10.1111/rda.12845).

CHU, E. T., SIMPSON, M. J., DIEHL, K., PAGE, R. L., SAMS, A. J. et BOYKO, A. R., 2019. Inbreeding depression causes reduced fecundity in Golden Retrievers. *Mammalian Genome*. Vol. 30, n° 5-6, pp. 166-172. DOI 10.1007/s00335-019-09805-4.

CROQUET, C., MAYERES, P., GILLON, A., HAMMAMI, H., SOYEURT, H., VANDERICK, S. et GENGLER, N., 2007. Linear and curvilinear effects of inbreeding on production traits for walloon Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. Vol. 90, n° 1, pp. 465-471. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(07)72648-6.

DOROSTKAR, M., FARAJI AROUGH, H., SHODJA, J., RAFAT, S. A., ROKOUEI, M. et ESFANDYARI, H., 2012. Inbreeding and Inbreeding Depression in Iranian Moghani Sheep Breed. *Journal of Agricultural Science and Technology*. Vol. 14, n° 3, pp. 549-556.

ERCANBRACK, S. K. et KNIGHT A. D., 1991. Effects of inbreeding on reproduction and wool production of Rambouillet, Targhee and Columbia ewes. *Journal of Animal Science*. Vol. 69, n° 12, pp. 4734–4744. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.2527/1991.69124734x>.

FÉDÉRATION CYNOLOGIQUE INTERNATIONALE, 2007. Note sur la consanguinité [en ligne]. S.I. [Consulté le 11 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.fci.be/medias/SCI-ART-CON-BDE-fr-1729.pdf>.

FÉDÉRATION CYNOLOGIQUE INTERNATIONALE, 2010. Stratégies internationales d'élevage de la FCI [en ligne]. [Consulté le 11 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.fci.be/medias/ELE-REG-STR-fr-452.pdf>.

GILL, M. A., 2001. Perinatal and late neonatal mortality in the dog. Thèse de doctorat d'Université. University of Sydney. 190p.

GONZÁLEZ-RECIO, O., LÓPEZ DE MATURANA, E. et GUTIÉRREZ, J. P., 2007. Inbreeding Depression on Female Fertility and Calving Ease in Spanish Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*. Vol. 90, n° 12, pp. 5744-5752. DOI 10.3168/jds.2007-0203.

GRESKY, C., HAMANN, H. et DISTL, O., 2005. Influence of inbreeding on litter size and the proportion of stillborn puppies in dachshunds. *Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr.* Vol. 118, n° 3-4, pp. 134-139.

GUILLEMOT, C., 2015. Performances de reproduction de l'élevage canin en France. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. 116p. Disponible à l'adresse : <https://oatao.univ-toulouse.fr/14440/>.

HOCHEREAU DE REVIERS, M. T., LAGANT, H., DESPRÈS, P., VENTURI, E., BRUNET, L., PERREAU, C., WIANNY, F. et LEGAULT, C., 1997. Facteurs de variation de l'âge à la puberté, du taux d'ovulation et de la survie embryonnaire précoce chez la cochette : type génétique, poids vif, saison et consanguinité. 29<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Porcine en France [en ligne]. Paris, France : IFIP - Institut du Porc. [Consulté le 13 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-02771435>.

ISSA, B. S. et SEELAND, G., 2001. Effect of inbreeding and selection on fertility and growth in mice. *Archiv fur Tierzucht*. Vol. 44, n° 6, pp. 671-676.

JACQUES, Alicia, 2019. Development of genetic diversity indicators for French canine breeds. Rapport de stage pour le grade de Master 1.

JANNOUNE, A., BOUJENANE, I., FALAKI, M. et DERQAQUI, L., 2014. Effets de la consanguinité sur les performances de croissance et de viabilité des ovins des races Timahdite et Sardi. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*. Vol. 2, n° 1, pp. 23-28.

JORDANA, J., 1996. La Consanguinidad en la Cría de Perros. *El Mundo del Perro*. Vol. 190, pp. 24-27.

KANIA-GIERDZIEWICZ, J. et PAŁKA, S., 2019. Effect of inbreeding on fertility traits in five dog breeds. Czech Journal of Animal Science. Vol. 64, n° No. 3, pp. 118-129. DOI 10.17221/104/2017-CJAS.

KLEMETSDAL, G., 1998. The effect of inbreeding on racing performance in Norwegian cold-blooded trotters. Genetics Selection Evolution. Vol. 30, n° 4, pp. 51-366. hal-00894215.

KÖCK, A., FUERST-WALTL, B. et BAUMUNG, R., 2009. Effects of inbreeding on number of piglets born total, born alive and weaned in Austrian Large White and Landrace pigs. Archiv fur Tierzucht. Vol. 52, n° 1, pp. 51-64. DOI 10.5194/aab-52-51-2009.

LA BERGERIE NATIONALE. Bergerie Nationale: Expérimentations. [en ligne]. [Consulté le 2 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.bergerie-nationale.educagri.fr/conservatoire-du-merinos/conservation-troupeau/experimentations/>.

LACY, R. C. et HORNER, B. E., 1997. Effects of inbreeding on reproduction and sex ratio of *Rattus villosissimus*. Journal of Mammalogy. Vol. 78, n° 3, pp. 877–887. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.2307/1382946>.

LAMBERSON, W. R., 1981. The Effects of Inbreeding in a Flock of Hampshire Sheep. Thèse pour le degrés de Master de Science, Oregon State University. 43p.

LEGIFRANCE, 2014. Arrêté du 3 avril 2014 fixant les règles sanitaires et de protection animale auxquelles doivent satisfaire les activités liées aux animaux de compagnie d'espèces domestiques relevant du IV de l'articles L. 214-6 du code rural et de la pêche maritime. [en ligne]. [Consulté le 10 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : [https://academie-veterinaire-defrance.org/fileadmin/user\\_upload/DossiersThematiques/BienEtreAnimal/Arrete du 3 avril 2014 AnimaleriesNormes.pdf](https://academie-veterinaire-defrance.org/fileadmin/user_upload/DossiersThematiques/BienEtreAnimal/Arrete du 3 avril 2014 AnimaleriesNormes.pdf).

LEGIFRANCE, 2015. LOI n° 2015-177 du 16 février 2015 relative à la modernisation et à la simplification du droit et des procédures dans les domaines de la justice et des affaires intérieures (1). [en ligne]. [Consulté le 10 octobre 2020] Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000030248562/>.

LEROY, G., PHOCAS, F., HEDAN, B., VERRIER, E. et ROGNON, X., 2015. Inbreeding impact on litter size and survival in selected canine breeds. Veterinary Journal. Vol. 203, n° 1, pp. 74-78. DOI 10.1016/j.tvjl.2014.11.008.

LOF SELECT, 2017. Calcul du coefficient de consanguinité | Société Centrale Canine. [en ligne]. [Consulté le 6 septembre 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.centrale-canine.fr/lofselect/actualites/calcul-du-coefficient-de-consanguinite>.

MALO, A. F., MARTINEZ-PASTOR, F., CARCIA-GONZALEZ, F., GARDE, J., BALLOU, J. D. et LACY, R. C., 2017. A father effect explains sex-ratio bias. Proceedings of The Royal Society B Biological Sciences. Vol. 284, n° 1861, pp. 20171159. DOI 10.1098/rspb.2017.1159.

MALO, A. F., GILBERT, T. C. et RIORDAN, P., 2019. Drivers of sex ratio bias in the eastern bongo: lower inbreeding increases the probability of being born male. *Proceedings of The Royal Society B Biological Sciences*. Vol. 286, n° 1902, pp. 20190345. DOI 10.1098/rspb.2019.0345.

MAMANI MAQUERA, G. G., 2019. Estimación del Coeficiente de Consanguinidad y su Efecto sobre Peso al Nacimiento en Ovinos de la Raza Corriedale. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Universidad Nacional del Altiplano de Puno. 70p.

MANDAL, A., PANT, K. P., NOTTER, D., ROUT, P., ROY, R. et SINHA, N. K., 2005. Studies on Inbreeding and Its Effects on Growth and Fleece Traits of Muzaffarnagari Sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. Vol. 18, n° 10, pp. 1363-1367. DOI 10.5713/ajas.2005.1363.

MARTIKAINEN, K., TYRISEVÄ, A. M. et MATILAINEN, K. 2017. Estimation of inbreeding depression on female fertility in the Finnish Ayrshire population. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. Vol. 134, n° 5, pp. 383-392. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1111/jbg.12285>.

MCPARLAND, S., KEARNEY, J. F., RATH, M. et BERRY, D. P., 2007. Inbreeding Effects on Milk Production, Calving Performance, Fertility, and Conformation in Irish Holstein-Friesians. *Journal of Dairy Science*. Vol. 90, n° 9, pp. 4411-4419. DOI 10.3168/jds.2007-0227.

MOSTERT, B. E., VAN MARLE-KÖSTER, E., VISSER, C. et OOSTHUIZEN, M., 2015. Genetic analysis of pre-weaning survival and inbreeding in the Boxer dog breed of South Africa. *South African Journal of Animal Science*. 2015. Vol. 45, n° 5, pp. 476-484. DOI 10.4314/sajas.v45i5.4.

MUGNIER, A., MILA, H., GUIRAUD, F., BRÉVAUX, J., LECARPENTIER, M., MARTINEZ, C., MARIANI, C., ADIB-LESAUX, A., CHASTANT-MAILLARD, S., SAEGERMAN, C. et GRELLET, A., 2019. Birth weight as a risk factor for neonatal mortality: Breed-specific approach to identify at-risk puppies. *Preventive Veterinary Medicine*. Vol. 171, pp. 104746. DOI 10.1016/j.prevetmed.2019.104746.

OCAMPO, R. et CARDONA, H., 2013. La endogamia en la producción animal. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. Vol. 5, n° 1, pp. 463-479. DOI 10.24188/recia.v5.n2.2013.458.

PEDERSEN, K. S., KRISTENSEN, T. N. et LOESCHCKE, V., 2005. Effects of inbreeding and rate of inbreeding in *Drosophila melanogaster* – Hsp70 expression and fitness. *Journal of Evolutionary Biology*. Vol. 18, n° 4, pp. 756-762. DOI 10.1111/j.1420-9101.2005.00884.x.

PEKKALA, N., KNOTT, K. E., KOTIAHO, J. S., et PUURTINEN, M., 2012. Inbreeding rate modifies the dynamics of genetic load in small populations. *Ecology and Evolution*. Vol. 2, n° 8, pp. 1791–1804. DOI 10.1002/ece3.293.

PEKKALA, N., KNOTT, K. E., KOTIAHO, J. S., NISSINEN, K. et PUURTINEN, M., 2014. The effect of inbreeding rate on fitness, inbreeding depression and heterosis over a range of inbreeding coefficients. *Evolutionary Applications*. Vol. 7, n° 9, pp. 1107-1119. DOI 10.1111/eva.12145.

RÉGNIER, C., 2008. Le Mérinos de Rambouillet : gestion de la consanguinité et de la résistance génétique à la tremblante. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. 168p. Disponible à l'adresse : <http://theses.vet-alfort.fr/telecharger.php?id=1179>.

ROY, C., 2000. Contribution à l'étude de la préservation de la race Mérinos de Rambouillet par la constitution d'une cryobanque de semence. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. 162p.

SAIRANEN, J., NIVOLA, K., KATILA, T., VIRTALA, A. M. et OJALA, M., 2009. Effects of inbreeding and other genetic components on equine fertility. *Animal*. Vol. 3, n° 12, pp. 1662-1672. DOI 10.1017/S1751731109990553.

SCHELLING, C., GAILLARD, C., RUSSENBERGER, J., MOSELEY, L. et DOLF, G., 2019. Heritabilities for the puppy weight at birth in Labrador retrievers. *BMC Veterinary Research*. Vol. 15, n° 395. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1186/s12917-019-2146-8>.

SOCIÉTÉ CENTRALE CANINE, 2017. Circulaire SCC du 6 mai 2017 [en ligne]. [Consulté le 1 décembre 2020]. Disponible à l'adresse : [www.centrale-canine.fr/articles/consanguinite-etroite-interdite](http://www.centrale-canine.fr/articles/consanguinite-etroite-interdite).

SUMREDDEE, P., TOGHIANI, S., HAY, E. H., ROBERTS, A., AGRREY, S. E. et REKAYA, R., 2019. Inbreeding depression in line 1 Hereford cattle population using pedigree and genomic information. *Journal of Animal Science*. Vol. 97, n° 1, pp. 1-18. DOI 10.1093/jas/sky385.

SZWACZKOWSKI, T., CYWA-BENKO, K. et WEZYK, S. 2004. Curvilinear inbreeding effects on some performance traits in laying hens. *Journal of Applied Genetics*. 2004. Vol. 45, n° 3, pp. 343-345.

THOMPSON, J. R., EVERETT, R. W. et HAMMERSCHMIDT, N. L., 2000a. Effects of inbreeding on production and survival in Holsteins. *Journal of Dairy Science*. Vol. 83, n° 8, pp. 1856-1864. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(00)75057-0.

THOMPSON, J. R., EVERETT, R. W. et WOLFE, C. W., 2000b. Effects of Inbreeding on Production and Survival in Jerseys. *Journal of Dairy Science*. Vol. 83, n° 9, pp. 2131-2138. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(00)75096-X.

TODD, E. T., HAMILTON, N. A., VELIE, B. D. et THOMSON, P. C., 2020. The effects of inbreeding on covering success, gestation length and foal sex ratio in Australian thoroughbred horses. *BMC Genetics*. Vol. 21, n° 41. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1186/s12863-020-00847-1>.

TRIVERS, R. L. et WILLARD, D. E., 1973. Natural Selection of Parental Ability to Vary the Sex Ratio of Offspring. *Science*. Vol. 179, n° 4068, pp. 90-92. DOI 10.1126/science.179.4068.90.

URFER, S. R., 2009. Inbreeding and fertility in Irish Wolfhounds in Sweden: 1976 to 2007. *Acta Veterinaria Scandinavica*. Vol. 51, n° 1, pp. 21. DOI 10.1186/1751-0147-51-21.

VAN WYK, J. B., FAIR, M. D. et CLOETE, S. W. P., 2009. Case study: The effect of inbreeding on the production and reproduction traits in the Elsenburg Dormer sheep stud. *Livestock Science*. Vol. 120, n° 3, pp. 218-224. DOI 10.1016/j.livsci.2006.10.005.

WHITE, J. M., 1972. Inbreeding effects upon growth and maternal ability in laboratory mice. *Genetics*. Vol. 70, n° 2, pp. 307-317.

YOUNG, C. W., TYLER, W. J., FREEMAN, A. E., VOELKER H. H., MCGILLARD, L. D. et LUDWICK T. M., 1969. Inbreeding investigations with dairy cattle in the North Central region of the United States. Minnesota Agricultural Experiment Station.



# **Annexes**



**Annexe 1** : Méthode de calcul des coefficients de consanguinité utilisée par LOF Select.

Le calcul des coefficients de consanguinité par LOF Select (LOF Select 2017) se fait à l'aide de la méthode de Wright aussi nommée méthode « des chemins ». Cette méthode permet de connaître le coefficient de consanguinité d'un individu en se basant uniquement sur ses ancêtres communs. Un ancêtre est un ancêtre commun d'un individu s'il n'y a pas de rupture de la chaîne de parenté en partant de l'un des deux parents de l'individu, en remontant l'arbre généalogique jusqu'à l'ancêtre supposé commun et en redescendant l'arbre généalogique vers le deuxième parent de l'individu. Pour chaque ancêtre commun, il faut déterminer le rang des générations paternelle et maternelle au niveau desquelles il est présent. Ensuite, le coefficient de consanguinité de l'ancêtre commun est calculé selon la formule suivante :

Consanguinité de l'ancêtre commun =  $(1/2)^{p+m-1}$ , avec  $p$  = rang de la génération paternelle et  $m$  = rang de la génération maternelle.

Si un ancêtre commun est présent plus d'une fois dans la génération maternelle ou paternelle alors le coefficient de consanguinité de cet ancêtre commun correspond à la somme des coefficients de consanguinité de cet ancêtre commun calculés pour chaque rang dans la génération maternelle ou paternelle. Enfin, le coefficient de consanguinité de l'individu correspond à la somme des coefficients de consanguinité de tous ses ancêtres communs.

Nous allons montrer la méthode de calcul présentée ci-dessus avec l'exemple de Swing des Regaires. L'arbre généalogique de cette femelle extrait de LOF Select (ci-dessous) permet de déterminer son coefficient de consanguinité à trois générations. Il y a deux ancêtres communs : Tonus et Belinda du Schamdar.

Tonus est présent à la troisième génération paternelle et deux fois à la troisième génération maternelle. Nous allons calculer son coefficient de consanguinité à trois générations pour chaque rang qu'il occupe au sein de la génération maternelle. Le coefficient de consanguinité de Tonus pour la première fois où il appartient à la troisième génération maternelle sera appelé  $f_1$  et celui pour la deuxième fois où il est présent dans la troisième génération maternelle,  $f_2$ .

En utilisant la formule donnée précédemment :

- $f1 = (1/2)^{3+3-1}$  car Tonus appartient à la troisième génération maternelle et à la troisième génération paternelle;
- $f2 = (1/2)^{3+3-1}$  par la même explication que précédemment.

Le coefficient de consanguinité de Tonus à trois générations correspond à la somme de ses coefficients de consanguinité calculés pour chaque rang qu'il occupe dans la génération maternelle à savoir  $f1$  et  $f2$ . Donc le coefficient de consanguinité de Tonus à trois générations est de 0,0625 ( $f1 + f2$ ).

Belinda du Schamdar est présente à la troisième génération paternelle et maternelle. Donc son coefficient de consanguinité à trois générations correspond à  $(1/2)^{3+3-1}$  soit 0,03125.

Pour avoir le coefficient de consanguinité à trois générations de Swing des Regaires, il suffit de faire la somme des coefficients de consanguinité à trois générations de Tonus et de Belinda du Schamdar. Il est donc de 9,38 % ( $0,0625 + 0,03125$ ). Cela correspond bien au coefficient de consanguinité à trois générations donné par LOF Select.

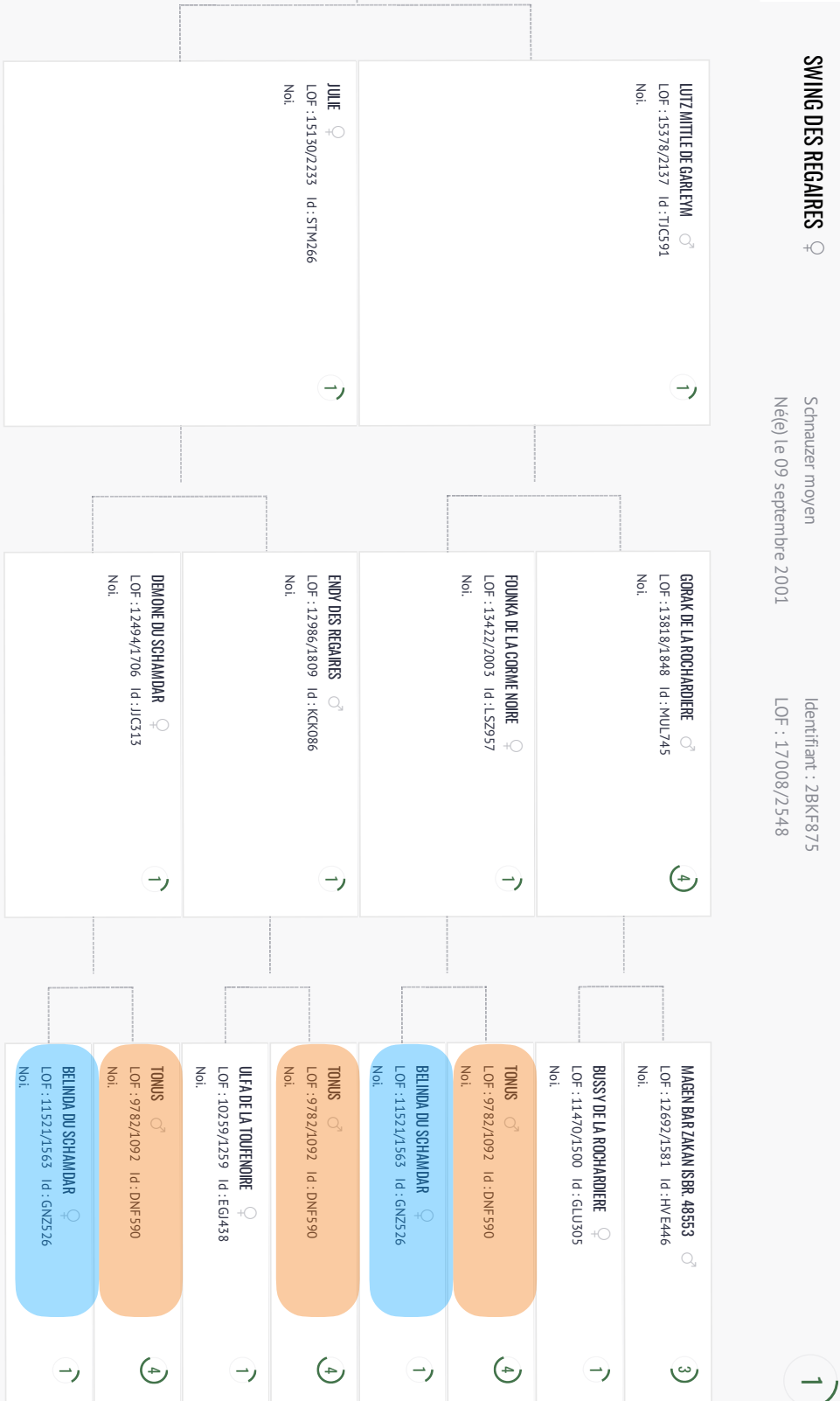
## SWING DES REGAIRES ♀

Schnauzer moyen

Né(e) le 09 septembre 2001

Identifiant : 2BKf875

LOF : 17008/2548



Les informations fournies dans ce certificat généalogique simplifié sont directement issues du LOF. Elles sont données à titre d'information et ne peuvent en aucun cas se substituer au certificat généalogique officiel papier dont l'obtention passe toujours par une demande officielle à la SCC.

Arbre généalogique à 3 générations de Swing des Regaires.

Les ancêtres communs sont indiqués par les encadrés orange et bleu.



**Annexe 2** : Liste des races des chiots présents dans l'étude classées par format.

**Format S**

Berger des Shetlands  
Cairn Terrier  
Caniche Nain/Toy  
Cavalier King Charles  
Chihuahua  
Epagneul Nain Continental  
Fox Terrier  
Lhasa Apso  
Petit Lévrier Italien  
Scottish Terrier  
Shih Tzu  
Silky Terrier  
Spitz Nain  
Teckel Nain  
Teckel Standard  
West Highland White Terrier  
Yorkshire Terrier

**Format M**

Beagle  
Berger Australien  
Bouledogue Français  
Bouvier Australien  
Braque Français type Pyrénées  
Bull Terrier  
Cocker Américain  
Cocker Anglais  
Colley à poil long  
Epagneul Breton  
Epagneul Français  
Eurasier  
Schnauzer moyen

**Format L**

Beauceron  
Berger Allemand  
Berger Belge Malinois  
Berger Belge Tervueren  
Berger de Brie  
Berger Picard  
Boxer  
Braque d'Auvergne  
Braque Hongrois  
Doberman  
Golden Retriever  
Labrador Retriever  
Setter Anglais

**Format G**

Bouvier Bernois  
Cane Corso  
Dogue Allemand  
Dogue de Bordeaux  
Landseer  
Léonberg  
Lévrier Irlandais  
Rottweiler  
Terre Neuve





**Annexe 3** : Nombre total de chiots, de portées et de mères par race (classées par format).

*Format S (nombre total de chiots, de portées et de mères), n = 943 chiots*

<b>Races</b>	<b>Nombre total de chiots</b>	<b>Nombre total de portées</b>	<b>Nombre total de mères</b>
<b>Berger des Shetlands</b>	127	28	17
<b>Cairn Terrier</b>	38	8	2
<b>Caniche Nain/Toy</b>	1	1	1
<b>Cavalier King Charles</b>	229	47	35
<b>Chihuahua</b>	16	6	3
<b>Epagneul Nain Continental</b>	3	1	1
<b>Fox Terrier</b>	18	4	2
<b>Lhasa Apso</b>	3	1	1
<b>Petit Lévrier Italien</b>	29	9	6
<b>Scottish Terrier</b>	5	1	1
<b>Shih Tzu</b>	179	35	19
<b>Silky Terrier</b>	10	2	1
<b>Spitz Nain</b>	5	3	3
<b>Teckel Nain</b>	81	24	13
<b>Teckel Standard</b>	20	4	3
<b>West Highland White Terrier</b>	154	32	10
<b>Yorkshire Terrier</b>	25	8	5
<b>Total</b>	<b>943</b>	<b>214</b>	<b>123</b>

*Format M (nombre total de chiots, de portées et de mères), n = 570 chiots.*

<b>Races</b>	<b>Nombre total de chiots</b>	<b>Nombre total de portées</b>	<b>Nombre total de mères</b>
<b>Beagle</b>	48	7	5
<b>Berger Australien</b>	163	24	18
<b>Bouledogue Français</b>	45	10	9
<b>Bouvier Australien</b>	4	1	1
<b>Braque Français type Pyrénées</b>	4	1	1
<b>Bull Terrier</b>	20	3	2
<b>Cocker Américain</b>	3	1	1
<b>Cocker Anglais</b>	225	44	22
<b>Colley à poil long</b>	5	1	1
<b>Epagneul Breton</b>	10	1	1
<b>Epagneul Français</b>	8	1	1
<b>Eurasier</b>	17	2	2
<b>Schnauzer moyen</b>	18	3	1
<b>Total</b>	<b>570</b>	<b>99</b>	<b>65</b>

*Format L (nombre total de chiots, de portées et de mères), n = 996 chiots.*

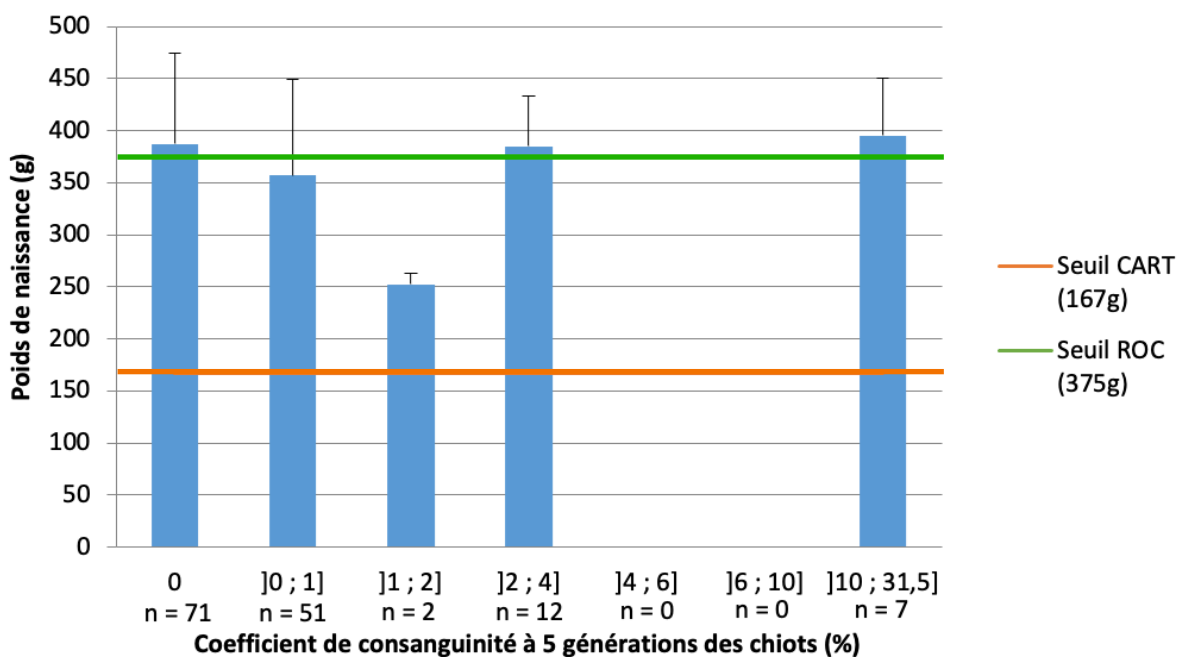
Races	Nombre total de chiots	Nombre total de portées	Nombre total de mères
Beauceron	105	12	10
Berger Allemand	28	4	3
Berger Belge Malinois	197	29	19
Berger Belge Tervueren	51	6	4
Berger de Brie	17	2	1
Berger Picard	24	4	3
Boxer	14	3	3
Braque d'Auvergne	218	24	13
Braque Hongrois	30	5	3
Dobermann	55	5	4
Golden Retriever	135	17	15
Labrador Retriever	92	13	12
Setter Anglais	30	4	2
<b>Total</b>	<b>996</b>	<b>128</b>	<b>92</b>

*Format G (nombre total de chiots, de portées et de mères), n = 671 chiots.*

Races	Nombre total de chiots	Nombre total de portées	Nombre total de mères
Bouvier Bernois	229	33	18
Cane Corso	6	1	1
Dogue Allemand	18	3	3
Dogue de Bordeaux	35	5	4
Landseer	8	1	1
Léonberg	194	25	16
Lévrier irlandais	6	1	1
Rottweiler	2	1	1
Terre Neuve	173	26	14
<b>Total</b>	<b>671</b>	<b>96</b>	<b>59</b>

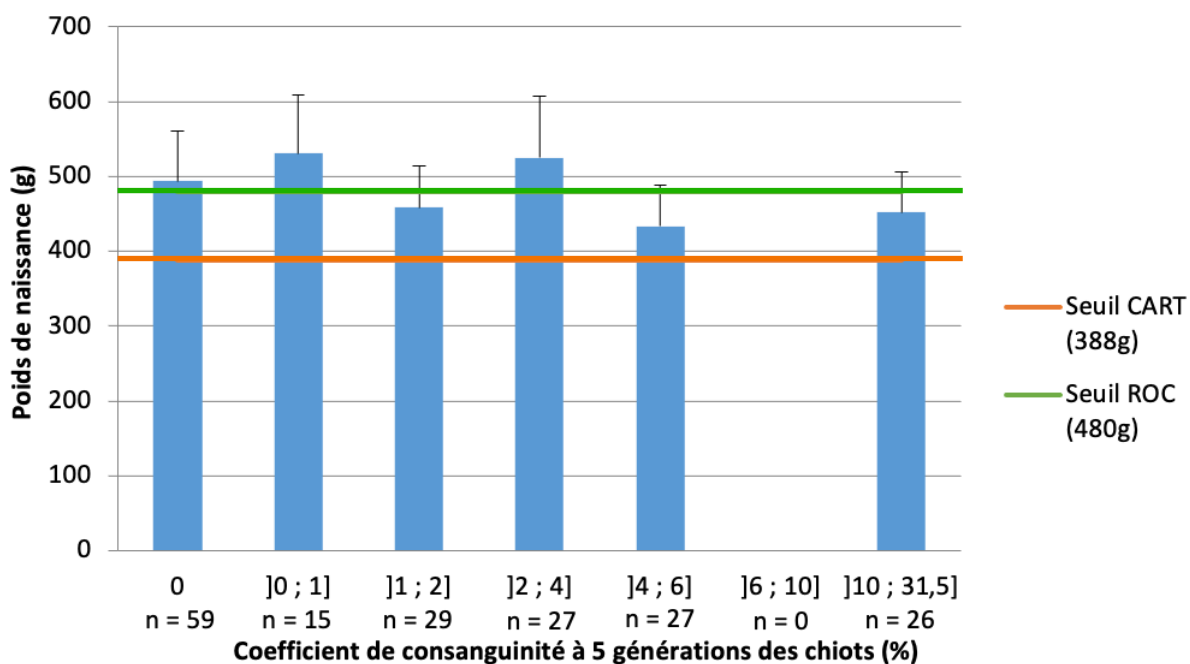


**Annexe 4** : Représentation du poids de naissance moyen en fonction de la consanguinité à cinq générations des chiots chez les races Berger Australien, Bouvier Bernois et Cocker Anglais.



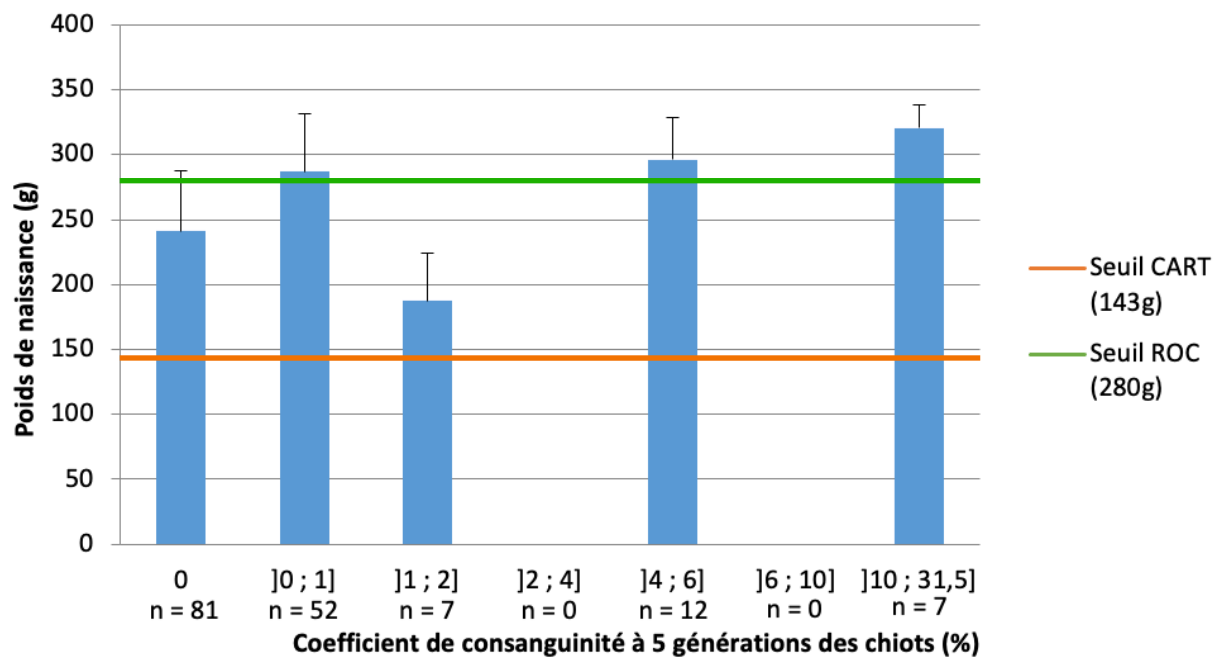
*Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations et le poids de naissance en race Berger Australien, n = 143 chiots.*

*Les seuils CART et ROC sont issus de Mugnier et al. 2019. La barre d'erreur correspond à l'écart-type de la moyenne (valeur positive).*



*Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations et le poids de naissance en race Bouvier Bernois, n = 183 chiots.*

*Les seuils CART et ROC sont issus de Mugnier et al. 2019. La barre d'erreur correspond à l'écart-type de la moyenne (valeur positive).*



*Relation entre le taux de consanguinité à cinq générations et le poids de naissance en race Cocker Anglais, n = 159 chiots.*

*Les seuils CART et ROC sont issus de Mugnier et al. 2019. La barre d'erreur correspond à l'écart-type de la moyenne (valeur positive).*



---

**TITRE : EFFET DE LA CONSANGUINITE SUR LES PERFORMANCES DE REPRODUCTION DANS L'ESPECE CANINE**

---

**RESUME** : L'objectif de cette étude était d'étudier l'effet de la consanguinité sur certaines performances de reproduction dans l'espèce canine, notamment la taille de la portée, le poids de naissance des chiots, leur croissance néonatale et leur survie jusqu'à l'âge de deux mois. Cette étude a inclus 3180 chiots et 339 mères issus d'élevages canins français appartenant à 52 races. La consanguinité a été étudiée à l'aide du F5G des chiots et des mères regroupé en 7 classes de consanguinité. Un effet significatif non linéaire de la consanguinité du chiot et de la mère a été montré pour quatre des paramètres étudiés (taux de chiots à petit poids de naissance, taux de mortinatalité, taux de croissance entre 0 et 2 jours et taux de croissance entre 0 et 21 jours). La classe de consanguinité à 5 générations [2 ; 4] correspondait à la classe pour laquelle une différence était observée le plus souvent avec les autres classes de consanguinité.

**MOTS-CLES** : CONSANGUINITE, CHIEN, REPRODUCTION, PROLIFICITE, POIDS DE NAISSANCE, MORTALITE

---

**TITLE : INBREEDING EFFECT ON REPRODUCTIVE PERFORMANCE IN THE CANINE SPECIES**

---

**ABSTRACT** : This study aimed to analyse the inbreeding effects on some reproduction abilities on canine species such as litter size, birth weight of puppies, neonatal growth, and finally, survival abilities up to their second month age. This study has included 3180 puppies and 339 dams, that were part of 52 breeds from French dog breeding. Inbreeding impact has been studied thanks to the inbreeding coefficient over five generations of puppies and dams, all included in seven different inbreeding classes. A non-linear aspect of puppy's inbreeding and dam has been shown on four of the studied parameters (low birth weight rate of puppies, stillbirth rate, the growth rate between 0 to 2 days, and 0 to 21 days). The inbreeding classe [2 ; 4] has shown, most of the time, a difference with any other inbreeding classes studied.

**KEYWORDS** : INBREEDING, DOG, REPRODUCTION, PROLIFICITY, BIRTH WEIGHT, MORTALITY