

BEGOU Elsie

STAGE PROJET ETE 2016

Suivie des faons par radiopistage : Etude des relations entre le statut physiologique des femelles chevreuils en début de gestation et la survie de leurs faons au printemps suivant



Structure d'accueil : INRA CEFS (comportement et écologie de la faune sauvage)

Lieu : Aurignac (France, 31)

Maitre de stage : CHAVAL Yannick

Co-encadrant : CARGNELUTTI Bruno

Professeur référent :



Résumé

L'étude de la survie juvénile des faons de chevreuil permet de suivre la dynamique de population et le succès reproducteur. On a cherché à déterminer l'impact de l'état de santé de la mère en début de gestation sur la survie de leur faon au printemps suivant au cours des quarante premiers jours de vie, qui sont les plus critiques. Une première étude (Hodoul J., 2016) s'est intéressée à l'effet de l'infestation parasitaire en strongles totaux (strongyloïdes, strongles intestinaux...) de la mère en début de gestation. Il a ainsi été montré que les faons issus de mère fortement infestée (nombre d'œufs/gr de fèces ≥ 150) ont une probabilité de survie significativement plus faible que ceux issus de mère faiblement infestée. A partir de cette étude, on s'est intéressé à l'effet de l'état physiologique de la mère. On a cherché dans un premier temps l'effet de l'infestation en strongles totaux sur le statut physiologique de la mère en début de gestation, puis si le statut physiologique pouvait expliquer la survie de son faon au printemps suivant. Le statut physiologique est décomposé en trois composants : une composante biochimique (concentration en créatinine, protéine sérique totale et fructosamine) qui est fortement influencée par l'infestation parasitaire, une composante immunitaire (concentration en globules blancs, hémolyse et hémagglutination) qui de manière surprenante n'est ici pas atteinte par l'infestation en strongles totaux, et enfin une composante sanguine (taux de globules rouges et hémoglobine) qui n'est pas non plus influencée par l'infestation. Enfin, ces différents composants ne permettent pas au final d'expliquer la survie des faons. On ne peut donc pas faire de lien entre le statut physiologique de la mère en début de gestation et la survie de son faon au printemps suivant : il serait intéressant d'avoir les mêmes données en fin de gestation et début de lactation.

Abstract

We try to determine the impact of the health of the roe deer's mother in early gestation on the survival of their fawn the following spring during the first 40 days of life, which are the most crucial. A previous study (Hodoul J., 2016) showed the effect of the parasitic infestation in strongyles totals of the mother in early gestation. The fawns whose mother is heavily infested (number of eggs/ gr of faeces > 150) have a probability of survival significantly lower than fawns from mother few infested (number of eggs/ gr of faeces < 150). From this study, first we have searched the effect of the infestation of strongyles totals on the physiological status of the mother at the early gestation. Then, we have looked if the physiological status could explain the survival of the fawns. The physiological status is divided in 3 parts: biochemical part (creatinine, fructosamine and total serum protein) which is heavily affected by the infestation of strongyles, immunity response (white blood cells, hemolysis and hemagglutination) which is surprisingly not affected and finally a sanguine part (red blood cell and hemoglobin) which is not affected by the parasitic infestation. So, the infestation of strongyles affects the physiology of the mother, but the physiological status in the early gestation can't explain the survival of fawn the following spring. It will be interesting to have the same data at the end of gestation and early lactation.

SOMMAIRE

I.	Introduction	1
	1. La structure d'accueil	1
	2. Site d'étude et suivis des animaux	2
	3. Modèle d'étude : le chevreuil	3
	4. Capture des chevreuils	5
	5. Analyses préliminaires	6
	6. Organisation de notre étude et hypothèses	7
II.	Matériel et méthode	9
	1. Suivi des faons par radiopistage	9
	2. Prélèvement sanguin et paramètres étudiés	10
	3. Description des binômes retenus pour l'étude	11
	4. Méthodes statistiques	12
III.	Résultats	13
	1. Analyse biochimique	13
	2. Système immunitaire	15
	3. Composants sanguins	15
IV.	Discussion	16

Annexes

Bibliographie

I. Introduction

1. La structure d'accueil

L'Institut National de la Recherche Agronomique ou INRA est un institut de recherche structuré en plusieurs départements. Parmi ceux-là, on trouve le département EFPA (Ecologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques) dont fait partie l'unité CEFS (Comportement et Ecologie de la Faune Sauvage), établit sur le site de l'INRA d'Auzeville-Tolosane. Cette unité se consacre à l'étude de la faune sauvage, et plus précisément des ongulés sauvages.

Les recherches du laboratoire CEFS se concentrent sur le fonctionnement des populations et notamment leurs interactions avec l'environnement et l'homme afin d'aider à leur gestion et/ou à leur conservation. Ces études concernent principalement les grands ongulés sauvages tels que le chevreuil, ou plus récemment le bouquetin. L'unité a été sollicitée par le Parc National des Pyrénées et le Parc Régional des Pyrénées Ariègeoises pour valoriser les données des colliers GPS lors de la réintroduction de bouquetin ibérique (*Capra pyrenaica*).

Cependant, le modèle biologique principalement étudié au CEFS reste le chevreuil (*Capreolus capreolus*). Ce dernier constitue en effet un modèle d'étude intéressant puisqu'il s'agit d'une espèce en expansion qui a su s'adapter aux modifications de son environnement, historiquement forestier, le chevreuil a su coloniser les milieux ouverts que façonne l'agriculture. Ce phénomène démontre une plasticité et/ou adaptabilité comportementale importante chez cette espèce. C'est ce compromis plasticité/adaptation qui est au centre des recherches menées au CEFS afin d'appréhender les mécanismes qui gouvernent l'adaptabilité au sens général du terme, des espèces. De plus, le chevreuil étant le plus petit des cervidés que l'on trouve en France, sa capture et sa manipulation sont relativement plus facile que celles d'un cerf par exemple. Il existe en France, deux autres sites d'études du chevreuil qui se trouvent à Chizé (Deux-Sèvres) et Trois-fontaines (Marne), cependant, ces deux sites sont des domaines forestiers clos qui ne permettent pas de mesurer le compromis comportemental que nous venons d'évoquer. Le CEFS réalise ces recherches avec deux approches différentes. La première approche est expérimentale et se déroule en enclos qui se situe à Gardouch, en Haute Garonne. Sur ce site est réalisé l'élevage

de chevreuil qui permet leur étude en captivité. La seconde approche est un suivi en milieu naturel sur la commune d'Aurignac dans le sud-est du département. L'étude en élevage permet d'étudier des traits comportementaux de manière plus aisée car les animaux sont imprégnés depuis leur plus jeune âge et ne craignent pas la présence de l'homme. L'étude en milieu naturel permet de voir si les comportements étudiés en enclos sont transposables à une population vivant à l'état naturel. Sur le site de suivi d'Aurignac, les animaux sont suivis par la méthode de marquage, capture, recapture, afin de connaître les modalités d'utilisation de l'espace lors des déplacements des animaux adultes, subadultes (yearling) ou jeunes (faons). Depuis 2007, l'unité CEFS s'intéresse particulièrement aux relations qu'entretiennent les chevrettes et leurs faons, en général au nombre de deux par année et par chevrete. Ces études permettent de quantifier la mortalité juvénile ainsi que la croissance des jeunes qui sont des facteurs clefs de la dynamique de la population chez les ongulés sauvages (Gaillard et al., 2000).

Mon stage s'inscrit dans le cadre de ces recherches. Au cours de celui-ci j'ai en effet cherché à déterminer si l'impact de certains traits physiologiques de la chevrete en début de gestation pourrait être des indicateurs fiables de la survie de son faon au cours des premières quarante premiers jours de vie au printemps suivant. Je me suis plus particulièrement focalisée sur l'étude de traits hématologiques et biochimiques.

2. Site d'étude et suivis des animaux

Le site d'étude en milieu naturel s'étend sur une surface de 10 km² environ et est situé dans le sud-ouest du département de la Haute-Garonne, sur la commune d'Aurignac. Il s'agit d'une zone agricole de polyculture élevage dont la structure paysagère évoque celle d'un bocage (présence de haies plus ou moins résiduelles entre les différentes parcelles agricoles). On trouve dans ce paysage une certaine diversité, dû à une mosaïque persistante de prairie, de champs cultivés, de bosquets de haies ainsi que de deux forêts.

Sur ce site, sont effectuées les expérimentations suivantes chaque année : la capture annuelle par panneautage des animaux sauvages de mi-janvier à fin-février; l'estimation des densités sur les cinq sites de capture par recapture visuelle (au mois mars) ; l'enregistrement

par observations et approches standardisées de la personnalité des animaux (entre la mi-mars et le début avril) ; la capture des faons (mois de mai à début juin) et leur suivi (entre mi-juin et début septembre) et l'estimation du succès reproducteur par recapture visuelle (fin septembre).

3. Modèle d'étude : le chevreuil (d'après Boisebert & Boutin, 1988)

Le chevreuil est un ongulé, ruminant appartenant à la famille des cervidés et à l'ordre des artiodactyles.

- **Morphologie** : Il s'agit du plus petit cervidé d'Europe, avec une taille au garrot de 60 à 70 cm pour 1m20 de longueur, pesant de 15 à 30 kg. On observe par ailleurs un léger dimorphisme sexuel, le mâle ou brocard possédant des bois et étant légèrement plus imposant que la femelle appelée chevrette.
- **Répartition et habitat** : On retrouve le chevreuil sur tout le territoire français, aussi bien en milieu forestier que dans les plaines et bocages agricoles où ils se nichent dans les bosquets et les haies (depuis les années 80 environ).
- **Alimentation** : Le chevreuil est une espèce « très dépendante » de la disponibilité immédiate de ses ressources alimentaires. En effet, les réserves corporelles qu'il peut effectuer sont très limitées, ils sont qualifiés d' « income breeder » (Houston et al. 2007) et le coût énergétique de la reproduction est élevé. Par ailleurs, les ressources alimentaires sont le principal facteur de limitation de l'espèce (Gaillard et al. 1997). Les années où le climat est peu clément, et les ressources peu présentes, le nombre de naissance est largement diminué ainsi que la survie des jeunes (Gaillard et al. 2000 ; Vincent et al. 1995). Les chevreuils se nourrissent principalement de bourgeons de ligneux et de fruits pour les chevreuils forestiers et d'espèces herbacées pour ceux habitants en milieu ouvert.
- **Reproduction** : La reproduction des chevreuils s'effectue de mi-juillet à mi-août. Le chevreuil présente une particularité au niveau de sa reproduction : après la fécondation,

l'embryon ne s'implante pas immédiatement dans l'utérus. En effet, il commence son développement puis s'arrête et reste dans la cavité utérine où il entre en dormance pendant plusieurs mois. On parle d'implantation différée ou diapause embryonnaire (ce phénomène existe chez d'autres mammifères). Cette période dure environ 150 jours, l'implantation de l'ovocyte dans la cavité utérine s'effectue alors fin décembre- début janvier et la gestation à proprement parler dure environ 144 jours.

- **Faons** : Les naissances des faons s'effectuent au printemps, de mi-avril à mai. La femelle donne naissance à 1 à 3 faons. Ce nombre dépend de la condition corporelle de la femelle, des ressources alimentaires ainsi que de la densité de la population (Gaillard et al. 1997, Vincent et al. 1995). Lors des deux premières semaines après la naissance, la femelle cache ces faons dans des lieux différents sous un couvert végétal plus ou moins important et vient régulièrement les nourrir, ces derniers ne bougent pas quoiqu'il arrive. On parle de comportement de type « hider ». De ce fait, les morts sont très fréquentes au cours des premiers jours de vie : fauche et prédation sont les principales causes de décès des jeunes faons. Le sevrage des faons s'effectue à 2-3 mois, cependant les jeunes animaux restent auprès de leur mère jusqu'à l'âge d'un an environ. Ensuite, une partie de ces faons devenus subadultes ou yearlings vont disperser, c'est-à-dire qu'ils quittent le domaine vital de leur mère.

- **Chevreuil et hommes** : on retrouve de plus en plus les chevreuils en milieu ouvert, dans les cultures agricoles et éventuellement au contact du bétail, ils sont de ce fait parfois suspectés d'être vecteur de certaines maladies et zoonoses qui touchent le bétail (comme la fièvre Q, le virus Schmallenberg). Les chevreuils font peu de dégâts sur les cultures, ce qui n'est pas le cas dans les forêts. Ils aiment se nourrir de bourgeons et de jeunes pousses, empêchant ainsi les arbres de pousser. De plus, les mâles ou brocard se frottent les bois contre les branches afin de les faire tomber. Le chevreuil est souvent victime de l'activité et de la présence humaine dans son environnement : prédation par les chiens domestiques, fauche par les machines agricoles, collision avec les véhicules... Il s'agit d'une des espèces d'ongulés les plus chassées, afin de réguler les populations qui connaissent une forte expansion depuis plusieurs années. C'est près d'un tiers de la population française de

chevreuil qui est prélevé à la chasse chaque année (les plans de chasse annuels ne sont cependant jamais atteints).

4. Capture des chevreuils

- **Capture des femelles en début de gestation** : Les captures s'effectuent en hiver : c'est au cours de cette période que s'effectue l'implantation différée de l'embryon, les femelles capturées sont donc en général en début de gestation et les faons sont assez grands pour supporter les captures.

Les animaux sont capturés grâce à la technique de panneautage : des filets sont disposés sur plusieurs kilomètres au niveau de sites spécifiques, une ligne de personnes se charge de rabattre des animaux pour les pousser dans les filets. Les animaux capturés sont immédiatement pris en charge par des personnes placées à l'affut à proximité des filets pour éviter toute blessure due au débattement dans les filets. Les chevreuils capturés reçoivent un tranquillisant (acépromazine à 0,07 mg/kg) puis ils sont placés dans des sabots jusqu'à la fin de la capture. Le sabot est une caisse noire où le chevreuil retrouve des conditions propices à réduire le stress lié à la capture. A la fin des différents rabats, les animaux sont déplacés jusqu'au lieu de manipulation (Moreau, 2014).

- **Capture des faons** : La capture des faons a lieu au mois de mai à début juin, peu de temps après la mise bas des chevrettes. L'observation de l'évolution du volume du ventre et des mamelles de la chevrette permet de détecter le moment de la mise-bas. Une fois que celle-ci est avérée, les membres de l'équipe de capture localisent les faons en observant le comportement de leur mère lorsque celle-ci vient les nourrir. La stratégie d'immobilité totale employée par les faons pour leur survie est alors mise à profit pour les capturer. Cette technique ne peut être utilisée que durant les deux premières semaines de vie des animaux, passé ce délai, il devient extrêmement difficile de les attraper car ils sont alors capables de fuir.

Après leur capture, une biopsie est réalisée pour des analyses génétiques (recherche de parenté) puis les animaux sont pesés, sexés, leur âge est évalué en fonction de leur poids et de leur tonicité et ils sont équipés d'un collier avec un émetteur VHF avant d'être relâché à

l'endroit même de leur capture. Le système de suivi par colliers VHF nécessite, au contraire des colliers GPS, une localisation manuelle des animaux pour connaître leurs déplacements. Les colliers sont extensibles, de façon qu'ils ne gênent pas le faon lorsqu'il grandit. Les manipulations doivent être précises et rapides pour éviter toutes blessures ou abandon.

5. Analyses préliminaires

L'étude de la survie des faons est un facteur clef pour comprendre la dynamique de population sur le long terme. A court terme, c'est la survie des adultes (les reproducteurs) qui influence principalement cette dynamique. Cependant, la mortalité juvénile (i.e. mortalité au cours de la première année) influence la valeur sélective des individus reproducteurs. C'est en effet pendant cette période que s'exprime le plus fortement la sélection naturelle. La mortalité juvénile détermine donc, en grande partie, sur le long terme la composition des populations de chevreuils et in fine leur dynamique de population (Gaillard et al. 2000).

De nombreuses études ont été menées sur le chevreuil et notamment sur la survie des faons et le succès reproducteur de l'espèce. Ces études visent à déterminer quels sont les principaux effets qui influencent la survie des faons. Il a été montré que celle-ci dépend en grande partie de l'année c'est ce qu'on appelle « l'effet cohorte » (Gaillard et al. 1997). Pour une espèce comme le chevreuil, qui adopte une stratégie d'« income breeder », la disponibilité alimentaire en fin de la période de gestation et en début de la période de lactation est essentielle. Si les conditions climatiques sont mauvaises, et que les ressources alimentaires viennent à manquer, alors la survie des faons est moins bonne (Gaillard et al. 1997). Cet effet cohorte peut être encore accentué par le fait qu'en cas de sécheresse estivale ou d'hiver particulièrement rigoureux, les ressources alimentaires se font plus faibles. Dans ce cas, les femelles, qui souffrent de ce manque de ressources, font moins de faons au printemps suivant (plutôt 1 que des jumeaux). D'autre part, si la densité de la population de chevreuil dans un secteur donné est trop importante, alors le nombre de naissances sera plus faible (Vincent and al. 1995).

Une étude préliminaire et préalable à mon stage (Hodoul, J., 2016) a été effectuée sur les faons suivis à Aurignac afin d'étudier la survie des faons en fonction de l'infestation parasitaire de la mère en début de gestation. Il est ressorti de cette étude que le taux d'infestation par les strongles totaux des chevrettes en début de gestation influence significativement la probabilité de survie des faons de ces chevrettes au cours des quarante premiers jours de leur vie. Les strongles totaux comprennent divers parasites : les strongyloïdes, les nématodirus et les strongles gastro-intestinaux. Les strongles totaux sont des nématodes qu'on retrouve dans l'intestin et la caillette. Ils provoquent des lésions au niveau du tube digestif, ainsi qu'une spoliation. Décrit principalement chez les bovins, on les trouve également largement chez les chevreuils.

Cette étude (Hodoul, J., 2016) compare la survie des faons issus de mère faiblement infestée (nombre d'œufs par gramme de fèces inférieur à 150) et des faons issus de mère fortement infestée (nombre d'œufs par gramme de fèces supérieur ou égal à 150).

La figure 1 montre que lors des premiers jours de vie, il n'y a pas de différence significative entre la survie des faons et l'infestation massive (≥ 150 œufs) ou faible (< 150 œufs) des mères en début de gestation. Cependant, après 7 à 8 jours environ, on constate que les faons dont les mères sont faiblement infestées en début de gestation ont une probabilité de survie significativement plus forte que ceux issus de mères fortement infestées ($n = 69$ faons, $p_{\text{logrank}} = 0,049$).

6. Organisation de notre étude et hypothèses

On étudie le statut physiologique des mères selon deux approches : dans un premier temps, par rapport à l'infestation en strongles totaux toujours en début de gestation puisqu'il a été montré que cette infestation a un effet significatif sur la survie des faons. Dans un second temps, on regarde le statut physiologique en fonction de la survie des faons au printemps suivants si un effet avec les strongles totaux a pu être mis en évidence.

On va donc chercher à déterminer les effets qu'entraîne l'infestation parasitaire en strongles totaux des femelles en début de gestation sur leur physiologie, en étudiant certains paramètres hématologiques et biochimiques. On divise l'étude de la physiologie de la mère

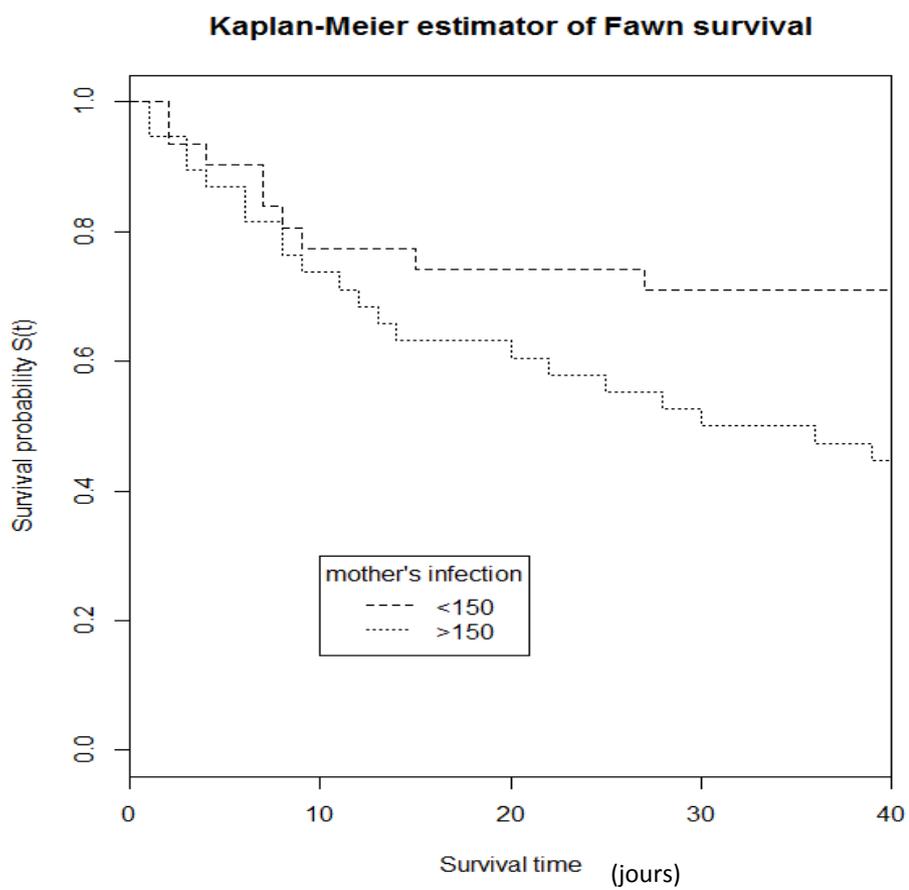


Figure 1: Courbe de survie des faons en fonction du taux d'infestation en strongles totaux de la mère au cours du temps

en trois parties : une partie biochimie, une partie sur l'immunité et enfin une sur les composants sanguins. Afin de tester les effets de l'infestation en strongles sur les différentes parties de la physiologie de la femelle, on prend dans chaque partie 2 à 3 paramètres dont on va étudier les variations (voir tableau 1).

Les parasites intestinaux entraînent une spoliation, on peut avoir un état de malnutrition chez les animaux fortement infestés. Les parasites devraient donc avoir un effet sur le métabolisme avec une diminution des molécules énergétiques et des marqueurs de la malnutrition. En effet, la concentration en créatinine diminue en cas de malnutrition, il en va de même pour le taux de protéines sériques totales.

Au niveau de l'immunité de la femelle, la présence de parasites dans le tube digestif entraîne une activation de la réponse immunitaire. Or celle-ci est modulée par les globules blancs et plus précisément par les neutrophiles éosinophiles, on devrait donc observer une augmentation du nombre de globules blancs en cas d'infestation. Cependant, en cas d'infestation massive on peut avoir une baisse voir un arrêt de la réponse immunitaire car l'animal est alors trop affaibli pour répondre efficacement à cette infestation. Quant aux tests de l'hémolyse et de l'héماغلuttination, ils permettent de vérifier la capacité des anticorps à agglutiner et à vérifier la capacité du complément, ce sont des indicateurs de l'immunocompétence. On pourrait s'attendre à des valeurs plus faibles pour les femelles fortement infestées, qui auraient leur système immunitaire affaibli par une charge parasitaire importante.

Enfin, concernant les composants sanguins, la présence de parasites affaiblit l'organisme qui peut se manifester notamment par une anémie par exemple. On devrait également observer une modification de la formulation sanguine en cas d'infestation massive.

Or, un affaiblissement des femelles par ces parasites peut avoir des répercussions directes sur la gestation, la lactation et ainsi la survie du faon que l'on va chercher à mettre en évidence.

	Paramètre	Unité	Méthode	Nombre de donnée (toutes les femelles/ femelles avec un faon suivi/femelles avec un faon suivi non fauché)
Paramètres Biochimiques	Créatinine	μmol/L	Spectrophotométrie	106/39/36
	Fructosamine	μmol/L	Spectrophotométrie	106
	Protéine totale	g/L	Spectrophotométrie	106/39/36
Immuno compétence	Globule blanc (GB)	10 ⁻³ /μl	Cytométrie de flux	179
	Hémolyse (HI)	-	Manuelle	192
	Hémagglutination (Hg)	-	Manuelle	192
Composants sanguins	Globule rouge (GR)	10 ⁻⁶ /μl	Cytométrie de flux	179/57
	Hémoglobininémie (Hb)	g/dl	Méthode photométrique	179

Tableau 1 : paramètres étudiés

I. Matériels et méthodes

1. Suivi des faons par radiopistage

Durant mon stage, j'ai participé à la localisation deux fois par jour d'une quinzaine de faons nés sur la zone d'étude au printemps 2016. Les faons sont équipés d'un collier avec un émetteur VHF. Ce type d'émetteur nécessite une localisation manuelle grâce à une antenne à 3 brins qui permet de recevoir le signal du collier et d'un boîtier récepteur qui permet les différents réglages et la visualisation du signal (Photos 1 & 2).

Le collier émet une onde radio qui est reçue par l'antenne réceptrice. Un câble coaxial permet de conduire le signal jusqu'à un récepteur (boîtier). Celui-ci traduit le signal par un bip sonore plus ou moins fort. L'expérimentateur peut visualiser la puissance du signal reçu grâce à l'affichage numérique d'un diagramme à barres sur l'écran du récepteur et il peut également en faire varier le gain. En faisant un tour de 360°, on peut déterminer la direction où le signal est le meilleur. Cependant, l'intensité du signal ne nous indique qu'une direction et non pas une localisation précise ni une distance par rapport à l'animal. En effet, l'antenne a une portée de dix kilomètres sans obstacles, mais elle est « sensible » au relief : si l'animal se trouve en contrebas ou de l'autre côté d'une crête par rapport à la personne qui cherche à le localiser, celui-ci ne percevra qu'un signal faible ou inexistant, même si l'animal est proche de lui. Au contraire, si l'animal est situé en ligne direct par rapport à l'expérimentateur, celui-ci peut percevoir un signal fort, même si l'émetteur se trouve à plusieurs centaines de mètres de lui. De plus, les ondes peuvent être réfléchies par le relief, c'est le phénomène d'échos. Il est alors difficile de déterminer une direction, puisque le signal parvient d'un peu partout, il faut alors se dégager du relief jusqu'à trouver une seule direction.

La localisation exacte de l'animal nécessite au minimum deux directions qui se recoupent pour former un point. Cependant, cette localisation est alors peu précise puisque la déviation par le relief d'une de ces directions, peut entraîner une importante variation dans la localisation réalisée. Une troisième direction est alors nécessaire pour préciser la position,

c'est la technique de la triangulation. Au-delà de la précision de la localisation, l'information

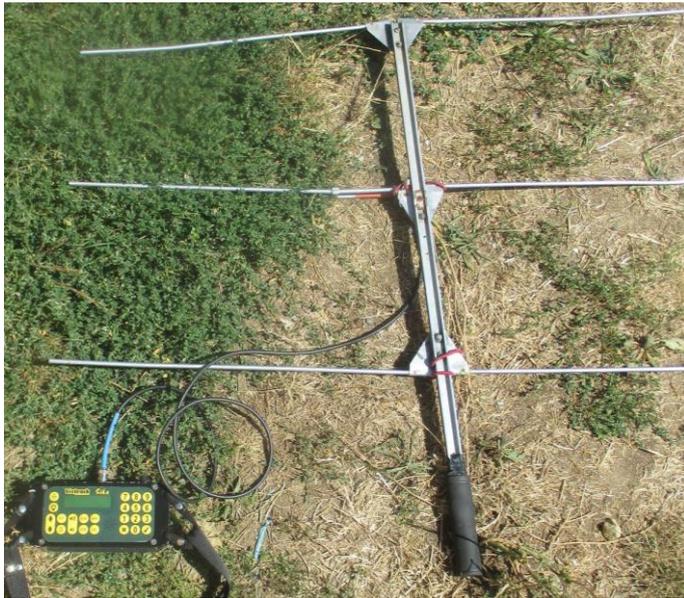


Photo 1 : matériels nécessaires à la localisation des faons (photo personnelle)



Photo 2 : faon équipé d'un collier VHF
(photo : Bruno Lourtet)

la plus intéressante pour savoir comment un faon établit son domaine vital au cours du temps est le relevé du milieu dans lequel l'animal est localisé.

Le radiopistage permet donc de localiser les animaux vivants, mais il permet également de trouver les animaux morts et ainsi de pouvoir déterminer éventuellement la cause du décès. En effet, si l'animal reste immobile plus de 4 heures, la vitesse du signal est doublée. Ce dispositif permet de retrouver rapidement les animaux morts puisque deux localisations par jour sont réalisées, ce qui évite que leur carcasse soit trop endommagée. On peut ainsi réaliser une nécropsie et déterminer la cause de la mort. Cependant, il existe des cas où le collier n'est pas retrouvé, on perd tout simplement le signal. Ce peut être le cas lorsque l'émetteur est défectueux, que l'animal a été tué et l'émetteur détruit par des machines agricoles ou emmené sous terre par des prédateurs creusant des terriers (renards, blaireaux). Le temps écoulé entre la date de mort et la date de naissance (estimée à partir de l'âge à la capture) permet de modéliser la probabilité de survie des faons en fonction du temps. Les animaux dont la cause de mortalité était liée aux fauches ont été écartés de l'étude car il n'y a pas de relation attendue entre la mort de ces individus et la physiologie de leur mère.

2. Prélèvement sanguin et paramètres étudiés

Durant mon stage je n'ai pas participé aux captures hivernales durant lesquelles sont réalisés les prélèvements de sang, mais c'est à partir des résultats de ces analyses que j'ai réalisé mon étude et c'est pourquoi je les présente ici de façon détaillée. Sur chaque femelle capturée (et plus largement chaque individu capturé), une prise de sang est réalisée au niveau d'une veine jugulaire. Le sang est collecté dans différents tubes : tube sec, tube EDTA, tube citraté et hépariné. Après avoir été retourné une dizaine de fois, les tubes sont étiquetés à l'aide d'un identifiant unique et sont placés dans une glacière.

Les échantillons sanguins sont analysés dans le laboratoire de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. Un automate d'hématologie qui fonctionne selon trois méthodes (cytométrie de flux, variation d'impédance et méthode photométrique) permet d'obtenir la numération en globules blancs et globules rouges, ainsi que la concentration en hémoglobine. Les valeurs de l'hémolyse et de l'hémagglutination sont obtenues par un test manuel.

Les échantillons destinés à l'analyse biochimique sont, quant à eux, centrifugés rapidement et une partie du sérum est placée dans un tube Eppendorf. Les analyses sont effectuées au laboratoire de biochimie de VetAgroSup, par un automate qui fonctionne sur le principe de la spectrophotométrie (voir Tableau 1).

3. Description des binômes d'animaux (mère-faons) retenus pour l'étude

Nous souhaitons étudier les corrélations entre certains traits physiologiques des chevrettes au début de leur gestation et leur charge en strongles totaux à cette époque. Si ces corrélations sont significatives, nous chercherons à comprendre si le statut physiologique des mères pour le ou les traits considérés peut être mis en relation avec la survie de leurs faons comme cela est le cas pour la charge parasitaire en strongles totaux (Hodoul, J., 2016).

Les captures et prélèvements des femelles et le suivi de leurs faons au printemps suivants s'effectuent depuis 2007. On peut voir sur la figure 2 qu'en moyenne, une trentaine de faons sont capturés en tout au cours du printemps, cependant, seulement une dizaine de faons ont leurs mères qui ont été capturés à l'hiver précédent et donc ont une mère dont le statut physiologique est connu, ce qui réduit considérablement le jeu de données.

3.1. Données utilisées pour étudier les corrélations entre les traits physiologiques sélectionnés et l'infestation en strongles totaux chez les chevrettes en début de gestation.

La recherche de ces corrélations est réalisée sur l'ensemble des femelles capturées. Le jeu de données ainsi constitué comprend entre 106 et 192 individus suivant le trait étudié (voir le détail dans le tableau 1).

3.2. Données utilisées pour étudier les relations entre les traits physiologiques chez les chevrettes en début de gestation et la survie de leurs faons.

Le jeu de données comporte des couples mères/faons dont les chevrettes ont été capturées en hiver afin que leur statut parasitologique en strongles totaux et leur statut physiologique pour les traits choisis soient connus. Il faut également que l'un de leurs faons ait été marqué

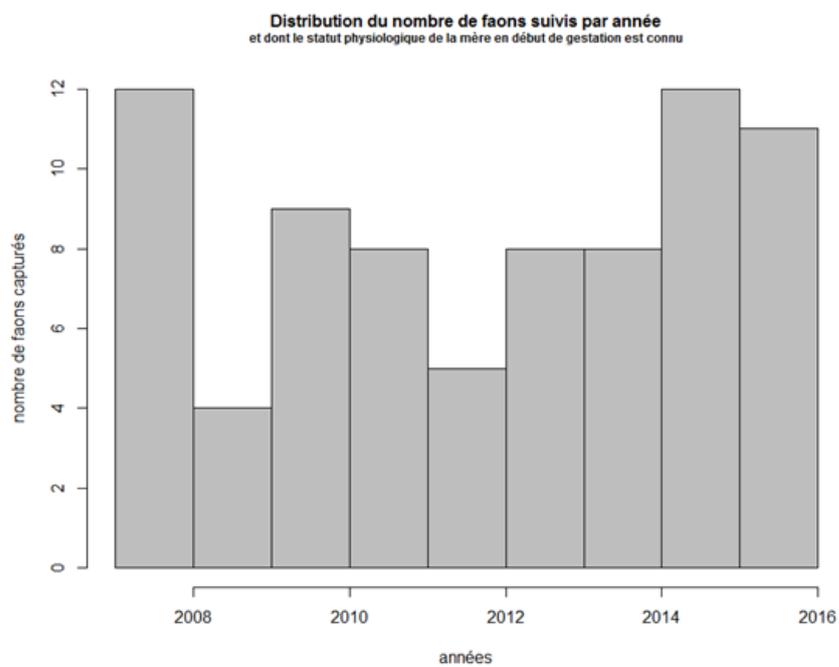


Figure 2 : Nombre de faons dont le statut physiologique de la mère est connu capturés par année

et suivi au printemps suivant afin de connaître son statut en termes de survie entre la naissance et la limite de quarante jours fixée. Cette limite des quarante premiers jours de vie du faon a été choisie identique à celle de l'étude réalisée préalablement à mon stage (Hodoul, J., 2016) car celle-ci a montré qu'après cette date, la survie entre les lots d'individus n'est plus différenciée. L'extraction des couples chevrettes/faons répondant à ces critères dans la base données du CEFS, entre les années 2007 et 2015, procure un jeu de données incluant entre 39 et 57 couples chevrettes/faons suivant le trait considéré. Cependant, pour étudier les relations entre la survie des faons et les traits physiologiques dont la variance est significativement structurée par le degré d'infestation en strongles digestifs des chevrettes en début de gestation, les animaux dont la mort n'est pas, à priori, en relation avec le statut physiologique de la femelle ont été retirés. C'est le cas des faons qui sont morts à cause de machines agricoles (3 individus, voir tableau 1). Les faons qui ont été prédatés ont été conservés dans cette analyse. En effet, lors des premières semaines de vie, les faons appellent leurs mères s'ils ne sont pas assez nourris et cet appel peut attirer les prédateurs qui les entendent. Hors, les chevreuils étant des « income breeder » et les macro-parasites étant connus pour détourner le métabolisme de leur hôte à leur profit (Combes, C., 2010), le manque de nourriture du faon peut être lié au parasitisme maternel. Le jeu de données qui a été étudié pour les relations entre la physiologie de la mère en début de gestation et la survie des faons est donc constitué de 36 couples chevrettes/faons.

4. Méthode statistique

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R.

On commence par calculer le coefficient de corrélation non paramétrique par la méthode Spearman. En effet, nous souhaitons tester les corrélations entre des variables mesurées dont la plupart ont des distributions normales ou qui s'approche de cette distribution et le taux d'infestation en strongles totaux qui suit approximativement une loi de Poisson. Cette corrélation sera tout d'abord testée sur l'ensemble des femelles capturées. Si ces corrélations sont significativement différentes de zéro, nous testerons alors si les deux classes qui définissent l'infestation des chevrettes en strongles totaux (i.e. très parasitées versus peu parasité) structurent significativement la variance de ces traits physiologiques

lorsque ceux-ci sont pris séparément à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA), ou pris ensemble lorsqu'il s'agit de traits affectant le même compartiment physiologique (MANOVA). Pour effectuer ces analyses, le jeu de données sera restreint aux femelles qui ont un faon suivi afin de voir si on retrouve la même tendance.

Enfin, si un lien fort existe entre la parasitologie des chevrettes en début de gestation et certains traits physiologiques, nous testeront si la survie/mortalité des faons non fauchés dans les quarante premiers jours de leur vie structure significativement la variance observée pour ces traits physiologiques. Pour cela un troisième jeu de données sera utilisé qui exclut les individus dont la cause de la mort est la fauche. Les analyses de variance sont des modèles linéaires aussi on s'assurera avant de les réaliser que la ou les variables à expliquer sont normales à l'aide d'un test de Shapiro.

II. Résultats

1. Analyse biochimique

On étudie les corrélations des traits physiologiques suivants : concentration en créatinine, en protéines sériques totales et en fructosamine chez les chevrettes en début de gestation avec leur taux d'infestation en strongles totaux respectif à la même période. Si les deux variables sont corrélées, on regarde ensuite si l'infestation en strongle totaux caractérisé par deux classes (infestation élevée ≥ 150 œufs par grammes de fèces et infestation faible < 150 œufs/gr de fèces) structure la variance de chacun de ces traits.

Créatinine : La créatinine est corrélée négativement à l'infestation en strongles totaux ($r_{\text{spearman}} = -0,33$, $S=263980$, $p\text{-value} = 5,5 \times 10^{-4}$) C'est-à-dire que lorsque l'infestation en strongles augmente, le taux de créatinine dans le sang diminue (Figure 3).

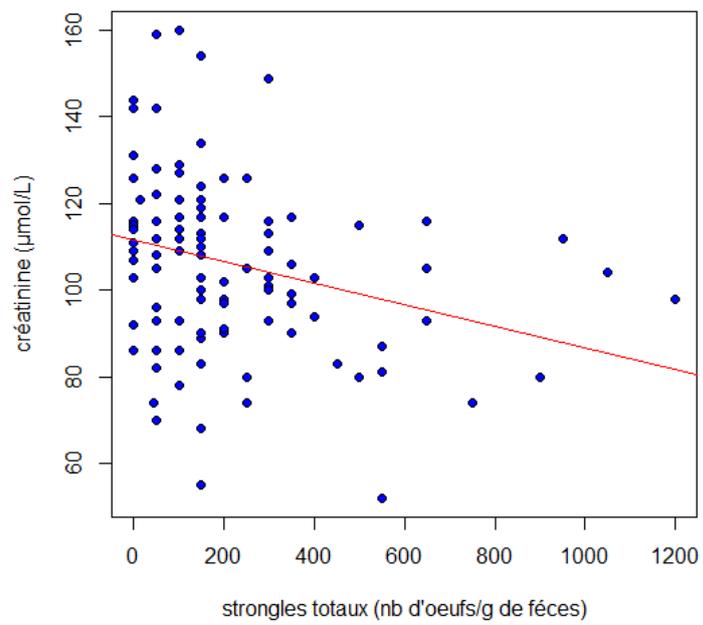


Figure 3 : Evolution de la concentration en créatinine par rapport à l'infestation en strongles totaux

Une analyse de la variance (p -value= $4,5e^{-3}$ voir Annexe 1) montre que les femelles qui ont un taux d'infestation élevé en strongles totaux ont significativement une concentration plus faible en créatinine.

On réitère l'analyse avec seulement les femelles qui ont eu un faon capturé et suivi, l'effet devient alors marginal (p -value= 0.06 voir Annexe 2).

13

- **Fructosamine** : On trouve de nouveau une corrélation négative avec l'infestation en strongles qui est significativement différente de zéro ($r_{\text{spearman}} = -0,33$, $S = 263980$, p -value= $5,5e^{-4}$). La concentration en fructosamine diminue lorsque l'infestation en strongles totaux augmente (Figure 4).

L'analyse de variance nous montre cependant que la variance de la concentration en créatinine n'est pas expliquée par le taux d'infestation en strongles totaux (p -value= 0,40 voir Annexe 3).

- **Protéine totale** : On observe une corrélation négative entre la mesure de protéine totale et le taux d'infestation en strongles totaux (Figure 5) qui est significativement différent de zéro ($r_{\text{spearman}} = -0,41$, $S = 280590$, p -value= $1,05e^{-5}$). La corrélation entre ce trait physiologique et l'infestation par les parasites est plus forte que les précédentes.

L'analyse de variance montre que l'infestation en strongles structure significativement la variance de la concentration en protéine totale (p -value= $1,5e^{-3}$ voir Annexe 4).

En réduisant les données aux seules femelles qui ont des faons suivis sur la même année que leur capture, on obtient à l'instar de la créatinine, un effet marginal (p -value= 0.06).

Ces deux traits physiologiques sont par ailleurs corrélés entre eux positivement (coefficient de corrélation de Pearson= 0,30, p -value = $1,5e^{-3}$). On utilise ici le coefficient de Pearson pour tester la corrélation entre ces deux variables car un test de Shapiro appliqué à chacune d'entre elle a montré qu'elles sont toutes deux normales. Cependant, l'analyse de variance multivariée sur ces deux paramètres pris ensemble nous montre que l'infestation en

strongles totaux ne structure que marginalement la variance/covariance de ces deux

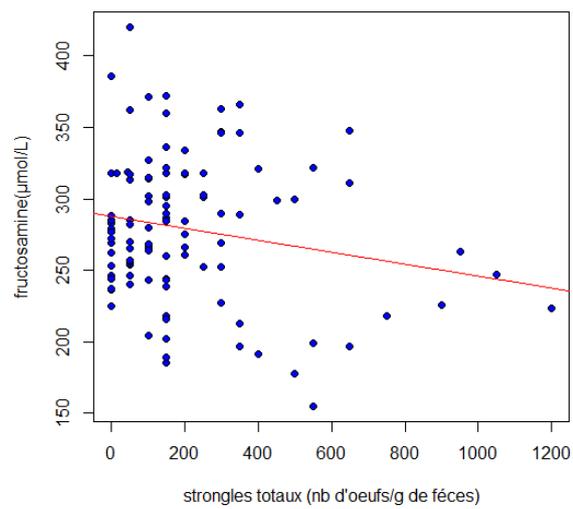


Figure 4 : Evolution de la concentration en fructosamine par rapport à l'infestation en strongles totaux

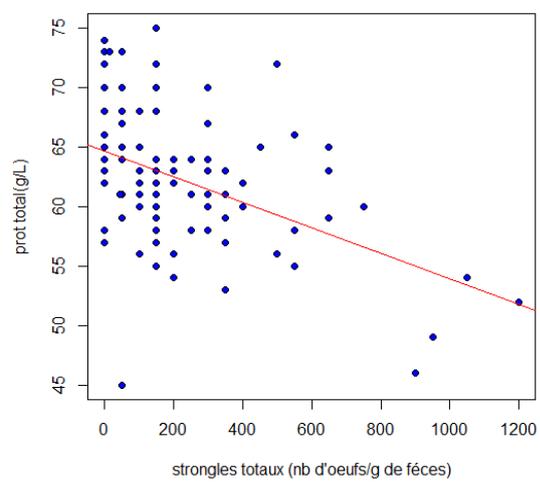


Figure 5 : Evolution de la concentration en protéine total par rapport à l'infestation en strongles totaux

paramètres pour les femelles dont le faon a été suivi (Pillai (1,36)= 0,12 , p-value= 0.094 voir Annexe 5). L'effet est là aussi marginal avec un risque de 5%. J'ai ensuite essayé de voir si la variance de la mesure de ces deux traits mesurés chez les chevrettes en début de gestation était structurée par la survie ou la mortalité de leurs faons durant les quarante premiers jours de leur vie.

L'analyse de variance multivariée montre que le statut physiologique des chevrettes pour ces deux traits n'est pas un bon marqueur de la survie futur de leur faon (Pillai (1,28)=1,4e⁻², p-value= 0.81 voir Annexe 6).

2. Système immunitaire

On regarde les variables suivantes : concentration en globules blancs, l'hémolyse et l'héماغلuttination.

Pour les globules blancs, on n'observe pas de corrélation avec le taux d'infestation en strongles ($r_{\text{spearman}}=0.04$, $S=919140$, $p\text{-value}=0.61$).

Pour les tests de l'hémolyse et de l'héماغلuttination, on n'observe pas non plus de corrélation avec le taux d'infestation en strongles totaux : hémolyse ($r_{\text{spearman}}= 0.024$, $S=1150800$, $p\text{-value}=0.74$) et héماغلuttination ($r_{\text{spearman}}=-0.033$, $S=1218700$, $p\text{-value}=0.65$).

3. Composants sanguins

On étudie les variables suivantes : concentration en globules rouges et hémoglobémie.

- **Globules rouges** : Comme précédemment, on calcule le coefficient de corrélation avec l'infestation en strongles totaux, qui nous montre une corrélation négative significativement différente de zéro entre ces deux paramètres ($r_{\text{spearman}}=-0.22$, $S=1162700$, $p\text{-value}=3,6e^{-3}$) (Figure 6).

On effectue alors une analyse de variance qui nous montre que les femelles qui ont un taux d'infestation élevé en strongles totaux ont significativement une concentration plus faible en globules rouges ($p\text{-value}= 6,4e^{-3}$ voir Annexe 7). Cependant, si on réduit le nombre de données aux femelles qui ont un faon suivis, ce qui nous donne 57 individus, l'analyse de variance n'est plus significative ($p\text{-value}= 0.35$). On ne peut dans ce cas, pas montrer de lien directement entre le taux de globules rouges et la survie des faons.

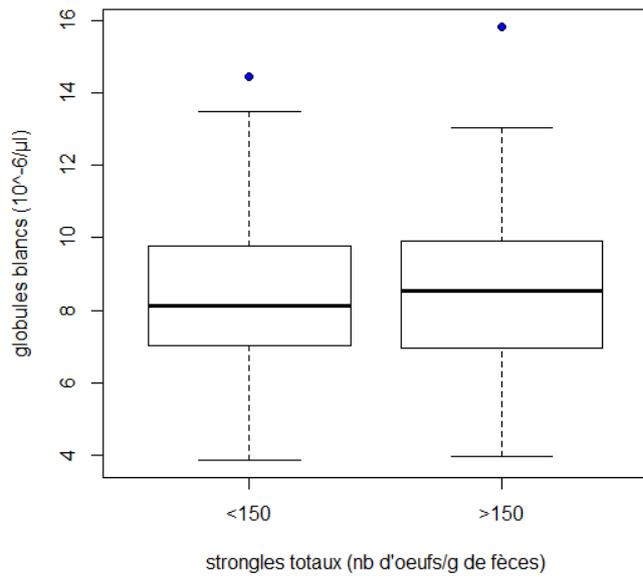


Figure 6 : taux de globules blancs en fonction de l'infestation en strongles totaux

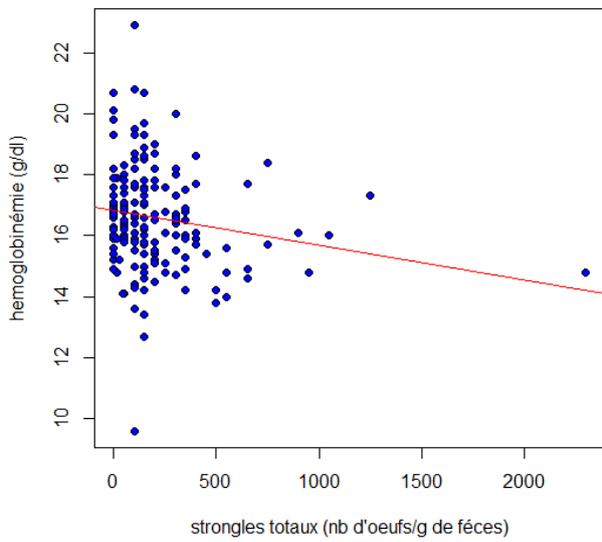


Figure 7 : Evolution de l'hémoglobinémie en fonction du taux d'infestation en strongles totaux

- **Hémoglobémie** : L'hémoglobémie est corrélée négativement de façon significative avec le taux d'infestation en strongles ($r_{\text{spearman}}=-0.20$, $S=1147100$, $p\text{-value}=7,2e^{-3}$) (voir figure 7).

Cependant, lorsqu'on effectue l'analyse de variance entre les deux paramètres, on obtient un effet marginale ($p\text{-value}= 0.09$ voir Annexe 8), qui disparaît lorsqu'on réduit le nombre de femelles à celles qui ont un faon suivi (57 individus) ($p\text{-value}= 0.30$ voir Annexe 9).

III. Discussion

Les analyses nous ont permis de montrer que l'infestation en strongles totaux des mères en début de gestation a un effet sur leur statut physiologique. En effet, certains paramètres biochimiques et sanguins sont influencés par cette infestation parasitaire. Cependant, ces données physiologiques recueillies en début de gestation sur les femelles, ne permettent pas de prédire la probabilité de survie des faons.

Les femelles fortement infestées en strongles (> 150 œufs par gramme de fèces) en début de gestation présentent des concentrations en créatinine et en protéine totale significativement plus faibles que les femelles faiblement infestées (< 150 œufs par gramme de fèces) ; concernant la fructosamine, bien que l'infestation en strongles et la concentration en fructosamine soient corrélées (coefficient de corrélation de -0,33), il n'y a pas de différence significative de la concentration en fructosamine entre les femelles fortement infestées et les femelles faiblement infestées ($p\text{-value}= 0,40$). Une diminution de la concentration en protéines totales et en créatinine peut être des signes de la malnutrition et de défaut d'absorption des nutriments : les strongles affaiblissent ainsi les chevrettes en détournant le métabolisme. Cependant, lorsqu'on considère les mesures de créatinine et protéine totale ensemble dans une analyse de variance multivariée (MANOVA), la variance/covariance de ses traits n'est pas significativement expliquée par une forte ou une faible infestation en strongles totaux. Ces deux paramètres sont bien corrélés à l'infestation en strongles cependant, avec seulement 38 individus pour tester la covariance, on manque certainement

de puissance pour détecter un quelconque effet. On a tout de même un effet marginal (p -value=), donc en augmentant l'échantillonnage, l'effet sera alors peut-être visible.

Parmi les paramètres du système immunitaire étudiés, on n'observe aucune corrélation avec l'infestation en strongles, ce qui paraît assez surprenant. En effet, que l'infestation en strongles soit faible ou forte, on n'observe pas de différence au niveau du taux de globules blancs. Il en va de même pour les tests d'hémolyse et d'héماغلuttination, il n'y a pas de corrélation entre ces valeurs et le taux d'infestation en strongles totaux. On aurait donc pu observer une diminution de l'immunocompétence chez les femelles fortement infestées ainsi qu'une augmentation de la quantité de globules blancs en réponse à l'infestation. Les femelles que l'on considère donc ici comme fortement infestées, ne le sont peut-être pas assez pour observer une réponse visible sur nos données.

Enfin, concernant les données sanguines que sont la numération de globules rouges et l'hémoglobine, on observe une corrélation négative de ces deux paramètres avec l'infestation parasitaire. Les femelles fortement infestées présentent un taux de globules rouges significativement plus faible que les femelles faiblement infestées. Pour l'hémoglobine, l'analyse de variance a montré un effet marginal, en augmentant l'effectif on pourrait peut-être visualiser un effet. Dans ce cas, on peut dire que les femelles fortement infestées ont sûrement un taux d'hémoglobine plus faible que les femelles peu infestées. Ainsi, les chevrettes qui ont un taux d'infestation en strongles totaux important semblent disposer à souffrir d'anémie. Cependant, on ne connaît pas de valeur de références pour ces données pour les chevreuils, on ne peut donc pas savoir si elles sont en dessous d'une limite pour qu'on puisse dire qu'elles sont anémiées. Ces femelles présentent dans tous les cas un affaiblissement dû significativement à l'infestation parasitaire. Ces effets ne se retrouvant pas lorsque l'on prend comme données seulement les femelles dont un de leurs faons a été suivis, on ne peut pas mettre en évidence de lien entre ces paramètres sanguins et la survie du faon.

L'infestation en strongles totaux des chevrettes en début de gestation influence la survie de leurs faons le printemps suivant (Hodoul, J., 2016), et certains paramètres physiologiques témoignent de cette infestation. Cependant, on ne peut pas directement expliquer la

mortalité juvénile ou du moins prédire une probabilité de survie en fonction du statut physiologique de la mère.

Un premier facteur qui peut expliquer, au moins partiellement, est le faible nombre de données pour les femelles ayant des faons suivis qui n'ont pas été tués par des travaux agricoles ($n= 36$). Les analyses que nous avons utilisées ici, particulièrement les analyses multivariées manquent de puissance lorsqu'elles sont utilisées sur des jeux de données aussi restreint. Un échantillonnage plus important serait donc souhaitable. Une seconde raison qui peut expliquer ce résultat est que les mesures physiologiques sont effectuées en tout début de gestation alors que l'effet recherché concerne la survie du faon qui est suivi au printemps suivant, soit cinq mois plus tard. Hors les paramètres physiologiques peuvent varier entre le moment où ils sont mesurés et le moment où l'on étudie la survie des faons et ce même si le lien avec l'infestation en strongles totaux estimé à la même époque que les paramètres physiologique est avéré. Il serait donc plus pertinent de collecter des données sur le statut physiologique des femelles en fin de gestation ou en début de lactation pour mesurer ces relations même si la capture des femelles à ce moment là en plus de leur faon est peu réalisable sur le terrain.

Un troisième facteur pourrait expliquer que l'infestation en strongles totaux est un facteur qui explique certains traits physiologiques lorsque l'ensemble des femelles capturées est considéré et ne l'explique que marginalement lorsque seules les femelles dont les faons sont suivis sont considérées. En effet, ces mesures sont supposées être faites en début de gestation, or aucun test n'est effectué au moment de la capture afin de s'assurer que la femelle est bien gestante. Il se peut ainsi que parmi le jeu de données qui englobe l'ensemble des femelles capturées, certaines de ces femelles ne soient pas gestantes et que cette différence physiologique au sein de l'échantillonnage fasse tendre le résultat vers une tendance qui ne se retrouve pas lorsque l'échantillonnage est réduit aux seules femelles gestantes. Il serait ainsi intéressant d'effectuer un test afin de s'assurer que les femelles sont bien gestantes, ce qui permettrait de contrôler ce paramètre en comparant la réponse physiologique à une infestation de strongles totaux par des femelles gestantes ou non gestantes.

Enfin mon étude reste très partielle et n'étudie que l'influence des strongles totaux sur certains traits physiologiques. Or, dans la nature, les animaux sont souvent infestés par

d'autres parasites qui doivent sans doute interagir et intervenir dans le statut physiologique des animaux. Ce multiparasitisme pourrait venir brouiller le signal physiologique que nous souhaitons mesurer. L'élaboration de variables composites de parasitisme ou l'étude d'animaux en conditions contrôlées (élevage de Gardouch) pourrait être un bon prolongement à mon étude.

J'ai focalisé mon étude sur les relations entre le statut physiologique des chevrettes en début de gestation et la survie de leurs faons au cours du début de la lactation. Or, une étude pour comprendre comment les différents paramètres physiologiques influencent la gestation, d'éventuels avortements, le développement du faon serait à priori également pertinente. Cependant, une étude préliminaire à mon stage (Yannick Chaval, comm. Pers.) a montré que le poids des faons à la naissance n'a pas de différence significative pour les faons issus de femelles fortement infestées en strongles totaux et celles faiblement infestées, mais que la différence intervient environ 7 à 8 jours plus tard avec une différence de prise de poids significative entre ces deux populations de faons. Cette différence de croissance intervient en outre au moment où l'on observe une différence de survie entre les deux lots de faons. Cette analyse suggère que l'effet du parasitisme de la chevrette intervient donc au moment de la lactation et jusqu'au moment où le faon est assez grand pour compenser le manque à gagner dans sa balance énergétique en commençant à se nourrir par lui-même au-delà de quarante jours. D'autre part l'effet du parasitisme sur l'avortement des femelles gestantes ne peut être entrepris tant que le statut de gestation des femelles au moment des captures ne sera pas contrôlé.

Beaucoup de facteurs autres que le parasitisme influence la survie des faons. L'étude aurait pu également prendre en compte d'une part l'année de naissance des faons suivis. En effet, l'effet cohorte est un des principaux paramètres qui rentrent en compte dans la mortalité juvénile (Gaillard et al, 1997). D'autre part, on aurait pu s'intéresser à l'âge de la mère. Il a été mis en évidence un phénomène de sénescence chez les femelles à partir de l'âge de 6-7 ans (Jego, 2014). C'est-à-dire que ces femelles présentent un système immunitaire moins performant, elles sont donc plus sensibles aux infestations parasitaires multiples. Cependant, les données actuelles concernent en grande partie des femelles âgées de moins

de 6 ans, et très peu des femelles de plus de 6 ans, ne permettant pas actuellement l'étude de ce paramètre sur la survie du faon.

Finalement, on ne peut pas expliquer la survie des faons au cours des quarante premiers jours de vie avec le statut physiologique de la femelle en début de gestation, même si l'infestation en strongles totaux à cette même époque influence la probabilité de survie des faons. Cependant, j'ai pu montrer que cette infestation agit sur de nombreux paramètres physiologiques de la femelle. Il n'est donc pas utopique de trouver des relations entre le statut physiologiques des chevrettes et la survie de leur faon même si le jeu de données que j'ai utilisé ne permet pas de le démontrer.

Annexes

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Infestation chevrette en strongles totaux	1	3330	3330	8,406	0,00456 **
Residuals	104	41196	396		

Annexe 1 : analyse de la variance de la mesure de Créatinine en fonction des deux classes d'infestation de chevrettes pas les strongles totaux (≥ 150 œufs/gr de fèces ou < 150 œufs/gr de fèces)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Infestation chevrette en strongles totaux	1	1197	1196,7	3,603	0,0655 .
Residuals	37	12289	332,1		

Annexe 2 : analyse de la variance de la mesure de Créatinine en fonction des deux classes d'infestation des chevrettes par les strongles totaux (≥ 150 œufs/gr de fèces ou < 150 œufs/gr de fèces) pour les mères dont un des faons a été suivi.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Infestation en strongles totaux	1	1823	1823	0.729	0.395
Residuals	104	260040	2500		

Annexe 3 : Analyse de la variance de la mesure de fructosamine en fonction des deux classes d'infestation de chevrettes pas les strongles totaux (≥ 150 œufs/gr de fèces ou < 150 œufs/gr de fèces)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Infestation en strongles totaux	1	311.7	311.71	10.64	0.00149 **
Residuals	104	3045.7	29.29		

Annexe 4 : Analyse de la variance de la mesure en protéine totale en fonction des deux classes d'infestation de chevrettes pas les strongles totaux (≥ 150 œufs/gr de fèces ou < 150 œufs/gr de fèces)

	Df	Pillai approx	F num	Df den	Df	Pr(>F)
Infestation en strongles totaux	1	0.12312	2.5274	2	36	0.0939 .
Residuals					37	

Annexe 5 : Analyse de la variance multivariée de la mesure en protéine totale et en créatinine en fonction des deux classes d'infestation de chevrettes pas les strongles totaux (≥ 150 œufs/gr de fèces ou < 150 œufs/gr de fèces)

	Df	Pillai approx	F num	Df den	Df	Pr(>F)
Survie ou mort à 40 jours	1	0.014829	0.2032	2	27	0.8174
Residuals					28	

Annexe 6 : Analyse de la variance multivariée de la mesure en protéine totale et en créatinine en fonction des deux classes de faons (mort ou vivant à 40 jours)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Infestation en strongles totaux	1	8.14	8.135	7.621	0.00638 **
Residuals		177 188.95	1.067		

Annexe 7 : Analyse de la variance de la mesure de globules rouges en fonction des deux classes d'infestation de chevrettes pas les strongles totaux (≥ 150 œufs/gr de fèces ou < 150 œufs/gr de fèces)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Infestation en strongles totaux	1	7.8	7.788	2.845	0.0934 .
Residuals		177 484.5	2.738		

Annexe 8 : Analyse de la variance de la mesure en hémoglobine en fonction des deux classes d'infestation de chevrettes pas les strongles totaux (≥ 150 œufs/gr de fèces ou < 150 œufs/gr de fèces)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Infestation en strongles totaux	1	2.32	2.323	1.086	0.302
Residuals	55	117.62	2.139		

Annexe 9 : Analyse de la variance de la mesure en hémoglobine en fonction des deux classes d'infestation des chevrettes par les strongles totaux (≥ 150 œufs/gr de fèces ou < 150 œufs/gr de fèces) pour les mères dont un des faons a été suivi

Bibliographie

- Boiseaubert, B. & Boutin, J.M., 1988 : Le chevreuil. 236 p. Hatier
- Combes, C., 2010 : L'art d'être parasite: les associations du vivant; Flammarion, editor.
- Gaillard, J. M., Boutin, J. M., Delorme, D., Van Laere, G., Duncan, P. & Lebreton, J.D., 1997: " Early survival in roe deer : causes and consequences of cohort variation in two contrasted populations ". *Oecologia*. 112 : 502-513
- Gaillard, J.-M., Festa-Bianchet, M., Yoccoz, N.G., Loison, A., Toigo, C., 2000: "Temporal variation in fitness components and population dynamics of large herbivores." *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 367–393.
- Hodoul, Joanna, 2016 : Etude de la survie des faons de chevreuil (*Capreolus capreolus*) en fonction du statut parasitaire de leur mère en début de gestation. Rapport de stage « mini-projet » 2^{ème} année, Ecole Nationale vétérinaire de Toulouse.
- Houston, A. I., Stephens, P. A., Boyd, I. L., Harding, K. C., & McNamara, J. M. , 2007. "Capital or income breeding? A theoretical model of female reproductive strategies." *Behavioral Ecology*, 18(1), 241-250
- Jegou, Maël, 2014 : " Condition physique, immunocompétence et parasitisme dans des populations naturelles de chevreuils (*Capreolus capreolus*) " thèse de doctorat en biologie, Université Claude Bernard Lyon 1
- Morau, Mathieu, 2015 : " Utilisation de l'hématologie et de la biochimie dans l'évaluation du stress à la capture chez le chevreuil, *Capreolus capreolus* ", thèse pour obtenir le grade de docteur vétérinaire, Ecole Nationale vétérinaire de Toulouse.
- Vincent, J. P., E. Bideau, A. J. M. Hewison, et al., 1995. " The influences of increasing density on body weight, kid production, home range and winter grouping in roe deer (*Capreolus capreolus*). " *Journal of Zoology*
- Site internet de l'unité CEFS : <http://www6.toulouse.inra.fr/cefs/> visité le 05/08/16

