

Stage « mini-projet » :

Etude de la survie des faons de chevreuil (*Capreolus capreolus*) en fonction du statut parasitaire de leur mère en début de gestation



Figure 1: photo prise par Joanna Hodoul à Gardouch

HODOUL Joanna

Etudiante de 2^{ème} année à l'ENVT (Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse),
Année 2015-2016

Organisme d'accueil : INRA de Toulouse, unité CEFS (Comportement et Ecologie de la Faune Sauvage)

Maîtres de stage : Yannick Chaval & Bruno Cargnelutti

Stage effectué du 13/06/2016 au 22/07/2016



Résumé

La faune sauvage suscite un intérêt grandissant pour des raisons cynégétiques, sylvicoles et sanitaires. Le CEFS, une unité de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), étudie depuis une quinzaine d'années le chevreuil, une espèce d'ongulés sauvages dont l'étude est facilitée par la petite taille et l'abondance. C'est donc sur une large base de données que j'ai pu, au cours de ce « mini-projet », étudier la survie des faons au cours de leurs premiers jours de vie en fonction du statut parasitologique de leur mère en début de gestation. En particulier je me suis intéressée aux strongles gastro-intestinaux, dont la forte prévalence m'a permis une étude statistique relativement robuste. L'infestation en strongles digestifs a été déterminée par analyse coprologique sur des fèces prélevées lors des captures de chevreuils tandis que la survie des faons a été estimée pendant l'été par radiopistage. En effet, les animaux sont équipés de colliers émetteurs lors des captures puis suivis régulièrement. Ce qui ressort de cette étude, c'est que le degré de parasitisme des mères en début de gestation impacte la survie de leur faon entre leur huitième et leur quantième jour de vie mais n'a pas d'effet significatif sur leur première semaine de vie. Enfin, au bout de quarante jours, l'effet observé n'est plus significatif. Néanmoins pour confirmer cette tendance, il serait intéressant de tenir compte des effets confondants tels que la cohorte, le climat, l'habitat, le poids de la mère, etc. mais aussi de réduire le temps entre la prise des mesures (parasitologie de la mère) et l'observation des effets.

Abstract

Scientists are increasingly concerned about wildlife for several reasons: hunt, forestry and health. In the CEFS-INRA, some scientists are studying roe deer for about fifteen years, a wild abundant and little ungulate. I used all these data to realise this mini project: studying roe deer fawn survival during the first few days of their life according to their mother's parasitic infestation. I have taken a special interest in gastro-intestinal strongyles, a very prevalent worm. The mother's parasitic infestation was determined by coproscopic analysis on faeces collected during the roe deer captures whereas the fawn survival was estimated during the summer by radio-tracking. Indeed, animals are equipped with tracking collar throughout the captures, then regularly followed-up. The evidence from this study suggests that the degree of parasitism has an impact on her fawn survival between their eighth and their fortieth days of life.

Sommaire

I.	Introduction.....	4
A.	Contexte du stage.....	4
1.	Présentation de la structure d'accueil	4
2.	Articulation avec le sujet du stage	4
B.	Présentation des modèles d'étude : le chevreuil et les strongles digestifs	5
1.	Ce qu'il faut retenir sur le chevreuil	5
2.	La survie des faons : plusieurs menaces.....	6
3.	Parasitisme chez le chevreuil	7
4.	Etude préliminaire	10
II.	Matériels et méthodes	11
A.	Présentation du site d'étude	11
B.	Les captures des animaux	11
1.	Capture des chevreuils adultes	11
2.	Collecte des données sur les animaux capturés.....	11
3.	Capture des faons.....	14
C.	Radiopistage des faons et de leur mère	14
D.	Traitement des données	15
1.	Tri des données	15
2.	Présentation du jeu de données	15
3.	Etablissement de classes d'infestation par les strongles totaux pour les mères.....	17
4.	Réalisation de la courbe de survie des faons	17
5.	Test d'une différence de survie entre deux groupes	17
III.	Résultats	18
A.	Les strongles digestifs chez le chevreuil : une prévalence importante.....	18
1.	Quelques chiffres.....	18
2.	Une forte prévalence et une transmission horizontale efficace : un cercle vicieux	18
3.	Distribution de la charge parasitaire	20
B.	Survie des faons en fonction du statut parasitaire de leur mère en début de gestation	20
1.	L'influence d'un parasitisme par les strongles digestifs sur la survie d'un faon lors de sa première semaine de vie	20
2.	L'influence d'un parasitisme par les strongles digestifs sur la survie d'un faon entre le 8 ^{ème} et le 40 ^{ème} jour	21
IV.	Discussion et perspectives	22
A.	Conclusion globale sur les résultats obtenus	22

B.	Proposition d'hypothèses.....	22
1.	L'infestation en strongles digestifs de la mère n'impacte pas la survie du faon lors de sa première semaine de vie.....	22
2.	L'infestation en strongles digestifs de la mère impacte la survie des faons entre leur 8 ^{ème} et leur 40 ^{ème} jour.....	23
C.	Prolongation de l'étude.....	23
1.	Suivre le bon déroulement de la gestation	23
2.	Suivre la parasitologie des faons.....	24
3.	Suivre la parasitologie des mères pendant la lactation	24
4.	Prise en compte des effets confondants.....	24
V.	Retour sur l'expérience vécue.....	25
	Bibliographie.....	26

I. Introduction

A. Contexte du stage

1. Présentation de la structure d'accueil

J'ai effectué mon stage « mini-projet » de deuxième année d'étude vétérinaire au sein de l'unité « Comportement et Ecologie de la Faune Sauvage » (CEFS) de l'INRA, située à Castanet-Tolosan. Cette unité existe, sous sa forme et son appellation actuelle, depuis le 1er janvier 2004 et est aujourd'hui rattachée au département "Ecologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques". Elle s'inscrit dans la continuité de l'Institut de Recherche sur les Grands Mammifères (IRGM), groupement d'intérêt scientifique avec l'Université Paul Sabatier de Toulouse. Les objectifs scientifiques du CEFS sont de comprendre le fonctionnement des populations d'ongulés sauvages en relation avec les facteurs environnementaux et les activités humaines. Dans ce cadre l'unité de recherche documente l'impact des populations d'ongulés sauvages sur les productions agricoles et sylvicoles ainsi que sur la structuration de la biodiversité. La synthèse de ces connaissances permet au CEFS d'élaborer et proposer des outils de suivi et de gestion des populations. (INRA, s.d.)

Bien que de nombreuses espèces soient étudiées, telles que le Cerf élaphe, le Bouquetin des Pyrénées, l'Isard, le Mouflon de Corse, etc., la plupart des recherches se concentre sur le chevreuil (*Capreolus capreolus*), et ce depuis une quinzaine d'années. Le protocole reste le même d'année en année permettant ainsi d'enrichir la base de données et d'aboutir à des résultats plus significatifs. Ces études se font sur 2 sites, tous deux en Haute-Garonne :

- Le site LTER (Long Term Ecological Research) des vallons et coteaux de Gascogne où de nombreux animaux sont équipés de récepteurs GPS et VHF (environ 80 individus par an adultes et faons compris). C'est sur ce site que j'ai participé à la géolocalisation des faons pendant mon stage.
- L'installation expérimentale de Gardouch, hébergeant des chevreuils imprégnés (les faons y sont nourris au biberon et leurs contacts avec les hommes sont quotidiens). C'est sur ce site que j'ai pu participer à une capture de chevreuils en mars 2016 sur un enclos de 7 hectares par la technique du panneautage (= technique traditionnelle de chasse au filet qui permet de capturer le gibier vivant) qui sera détaillée dans la partie « matériel et méthodes ».

2. Articulation avec le sujet du stage

L'étude du Chevreuil trouve plusieurs intérêts, en particulier cynégétique (551 000 animaux prélevés à la chasse pendant la saison 2014-2015 en France (ONCFS, 2015)) mais aussi sylvicole (dégâts par abroustissement et frottis sur les jeunes plans) et sanitaire (rôle sur la dynamique de population de vecteurs de zoonoses (Rizzoli et al., 2009)).

Dans ce contexte, le suivi de la dynamique des populations, en particulier l'étude de la survie des faons, s'est révélée intéressante pour comprendre l'implication de l'espèce dans ces questionnements (Gaillard et al., 1988). La survie des adultes a été montrée comme le facteur influençant le plus fortement le taux de croissance des populations (Gaillard et al., 1988). Cependant la survie des stades juvéniles est aujourd'hui considérée comme la composante importante de la dynamique de population des grands herbivores. Malgré son rôle modéré dans l'accroissement brut des populations, la survie des faons est en effet la composante majeure de la variation de la valeur adaptative des populations de grands herbivores (Gaillard et al., 2000). Il a donc fallu se demander quels facteurs influençaient la survie des stades juvéniles. Ainsi, plusieurs études se sont intéressées à l'impact des facteurs abiotiques et biotiques sur la survie des faons de chevreuils. Le climat, facteur abiotique, semble jouer un rôle central dans la survie des faons de la fin de la période gestation au début de la lactation (Gaillard et al., 2013) et une survie différenciée par cohorte a été mise en évidence (Gaillard et al., 1997). Parmi les facteurs biotiques, la taille de la fratrie (Gaillard et al., 1998) ainsi que la masse et l'âge de la mère sont positivement corrélés à la survie des faons, alors que la prédation et la densité de population le sont négativement (Gaillard et al., 2000). L'intensité et la qualité des soins maternels pourraient également être impliquées dans la variation temporelle de la survie précoce chez les grands herbivores (Gaillard et al., 2000). Une publication récente montrant que la survie des faons est fortement influencée par l'interaction entre le profil comportemental des mères et l'habitat qu'elles utilisent conclue en ce sens (Monestier et al., 2015). Dans la continuité de ces travaux et dans le cadre de l'étude de l'effet maternel, il m'a été proposé, durant mon stage, de mener une étude préliminaire sur la relation entre la survie des faons et le statut parasitaire de leur mère en début de gestation.

B. Présentation des modèles d'étude : le chevreuil et les strongles digestifs

1. Ce qu'il faut retenir sur le chevreuil

a) Caractéristiques générales

Ce qui fait du chevreuil un bon modèle d'étude chez les ongulés, c'est sa petite taille, nous verrons dans la partie « matériel et méthode » que cela constitue un certain avantage notamment lors des captures et des manipulations. En effet, le chevreuil, appartenant à la classe des mammifères et à l'ordre des artiodactyles, est le plus petit représentant des cervidés européens avec un poids variant de 20 à 25kg, une hauteur au garrot de 60 à 80cm et une longueur totale de 1m à 1.25m. (ONCFS)

b) Rythme circadien

Le rythme d'activité du chevreuil est dit polyphasique. Le cycle journalier présente 6 à 12 phases d'activité dont 2 particulièrement marquées au lever du jour et à la tombée de la nuit. (ONCFS) C'est d'ailleurs à ces deux périodes de la journée que nous nous mettrons à l'affût lorsque nous voudrions observer les animaux.

c) Sociabilité

Le chevreuil est une espèce peu sociable excepté en hiver où l'on peut trouver des groupes d'une dizaine de chevreuils. Arrivés au printemps, ils se séparent : les femelles ne restent jamais très loin de leurs faons en gardant tout de même une certaine distance tandis que les mâles poursuivent leur route en solitaire.

d) Reproduction

La phase de rut se situe principalement pendant la période estivale. Le chevreuil est oligogame – un mâle pour quelques femelles – et territorial : le mâle s'accouple avec les femelles présentes sur son territoire.

Une des grandes particularités du chevreuil est la physiologie de sa reproduction (ONCFS). L'espèce est mono-oestrienne : une chevrette non fécondée devra donc attendre les prochaines chaleurs, qui se tiendront un an plus tard, pour pouvoir prétendre à une fécondation.

Après fécondation, se produit chez le chevreuil un phénomène très spécifique : l'ovo-implantation différée ou diapause embryonnaire. Il s'agit de l'arrêt de l'évolution embryonnaire pendant 170 jours. La gestation effective débute fin décembre, début janvier.

La période des mises bas s'étale du 1^{er} mai au 15 juin. La taille de la portée est généralement de deux mais celle-ci peut se compter 1 à 3 faons.

2. La survie des faons : plusieurs menaces

a) Prédation et accidents

En général, la mère sépare ses deux faons et les installe à quelques mètres l'un de l'autre. Cette stratégie lui évite de perdre toute sa portée si un prédateur venait à attaquer cette dernière. La prédation est responsable d'une grande partie des morts chez les faons. Parmi les prédateurs, on récence les renards, les blaireaux mais aussi parfois les sangliers et les chiens.

Une autre cause fréquente de mort précoce du faon est d'origine humaine et plus précisément agricole avec les fauchages. Enfin, d'autres dangers plus anecdotiques peuvent menacer la survie des faons : les nombreux cours d'eau engendrant des noyades, les routes engendrant des collisions le plus souvent mortelles, etc.

b) Abandon de la mère

Il n'est pas rare qu'un faon meurt car sa mère ne s'occupe plus ou pas assez bien de lui. L'espèce du chevreuil est qualifiée de « income breeder », c'est-à-dire qu'elle ne fait aucune réserve. Ainsi, si la chevrette ne dispose pas assez de ressources énergétiques après sa mise-bas, elle aura du mal à assumer sa maternité. En effet, si la nourriture qu'elle trouve dans la nature est insuffisante ou bien de mauvaise qualité, elle ne pourra pas répondre au besoin énergétique de la lactation qui s'ajoute à ses propres besoins métaboliques.

c) La maladie

Si toutes ces menaces peuvent facilement être reliées à la mort des faons, il y en a une qui reste plus énigmatique : la maladie. Quand les faons sont retrouvés cachectiques, la première hypothèse posée est une mort causée par une maladie. Nous allons nous intéresser ici, plus particulièrement, aux parasitoses.

Deux hypothèses :

- Le faon est mort car la mère, parasitée et affaiblie, n'a pas pu le nourrir et le défendre correctement,
- Le parasite s'est transmis de la mère au faon : le faon est mort de son propre parasitisme.

Toutes ces menaces peuvent bien évidemment être corrélées. Par exemple, un faon mal nourrit et qui a faim aura tendance à crier plus fréquemment pour appeler sa mère et sera donc plus repérable par un prédateur.

3. Parasitisme chez le chevreuil

Un parasite est un organisme vivant aux dépens de son hôte qui lui fournit tout ce dont il a besoin pour son cycle biologique (Combes, 1995). En revanche, ce mode de vie influence la physiologie de l'hôte chez qui la reproduction, l'endocrinologie, le développement et le comportement sont bouleversés. (Beckage, 1997).

a) Parasites et faune sauvage

Pour les animaux domestiques, on préfère en général éviter la compatibilité hôte-pathogène donc on leur administre généreusement des médicaments antiparasitaires. Les animaux de faune sauvage qui ne sont pas traités contre le parasitisme co-évoluent en permanence avec les parasites. Leurs mécanismes de défense sont soumis à une sélection naturelle permanente afin que le parasite n'entraîne pas la mort de l'hôte. Si certains hôtes deviennent résistants, d'autres tolèrent les pathogènes (Morand et al., 2014), jusqu'à devenir parfois des espèces réservoirs chez qui l'agent pathogène est porté « naturellement et insidieusement ». (Artois et al., 2003) Chez d'autres, la coévolution hôte-pathogène n'est pas encore optimale, c'est-à-dire que le parasite entraîne une réponse immunitaire trop forte de la part de l'hôte entraînant la mort de ce dernier. Nous allons étudier au cours de ce projet l'impact que pourrait avoir la parasitose d'une mère en début de gestation sur la survie de son faon.

Nous allons nous intéresser ici à des parasites dont la prévalence est assez importante pour permettre l'étude à savoir les strongles digestifs.

b) Les strongles digestifs

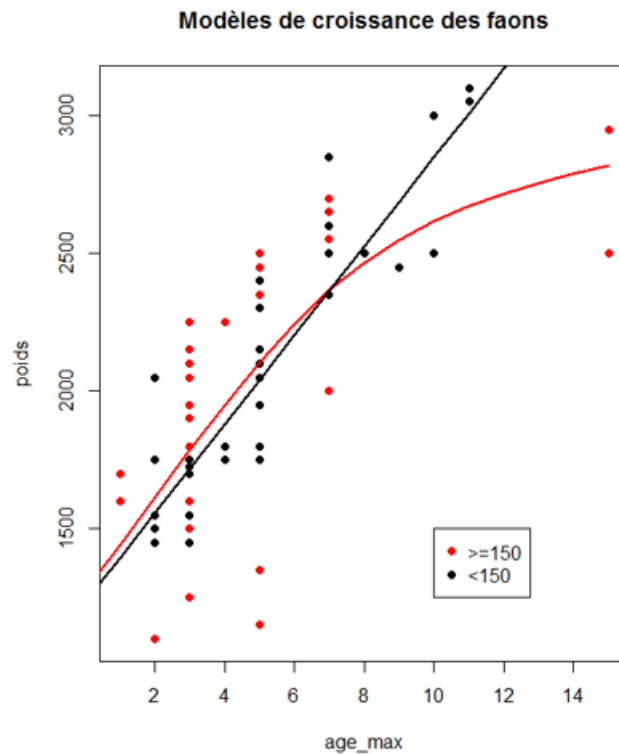
Tous les strongles ont le même cycle. Les femelles pondent leurs œufs qui se retrouvent dans les matières fécales et ainsi dans l'environnement en phase dite « libre ». La forme infestante du parasite est ingérée avec l'herbe.

- Phase externe du cycle biologique (durée = une dizaine de jours):

L'éclosion de l'œuf pour donner une larve L1 (1^{er} stade larvaire) peut être inhibée par le froid, elle dure environ une douzaine d'heures. La larve va ensuite se nourrir et accumuler des réserves pour évoluer en larve L2 qui se nourrit encore. Arrivée au stade L3, la larve ne se nourrit plus. Tout le développement de l'œuf à la larve L3 se fait dans les matières fécales qui fournissent nourriture et abri. La larve infestante effectue ensuite une migration horizontale au sol pour s'écarter des fèces et plus largement de la zone de répugnance (i.e. zone dans laquelle un animal n'ira pas se nourrir). Ensuite elle effectue une migration verticale à l'aide des perles de rosée pour atteindre le haut des brins d'herbe. Les larves L3 seront ainsi ingérées par un nouvel animal en même temps que les brins d'herbe sur lesquelles elles se trouvent.

- Phase interne du cycle biologique (durée = quelques mois à un an):

Une fois la larve ingérée, il y a une première mue dans la muqueuse de l'organe : la larve L3 passe au stade L4. Une seconde mue dans la lumière de l'organe digestif transforme la larve L4 en un strongle immature. La maturité sexuelle est atteinte environ 21 jours après ingestion de la larve L3. S'en suivent l'accouplement, la ponte puis la survie des vers adultes pendant quelques mois jusqu'à un an. Tous ces déplacements de parasites au sein de l'appareil digestif peuvent provoquer une irritation de celui-ci. De plus, les parasites rentrent en compétition avec leur hôte concernant les nutriments. On s'attend donc à un affaiblissement de l'hôte causé par son parasitisme.



Graphique1 : Représentation des deux meilleurs modèles décrivant la courbe de croissance des faons (poids des faons en fonction de leur âge (age_max)).

En noir : la courbe de croissance linéaire des faons issus de mère « peu parasitées » par les strongles digestifs.

En rouge : la courbe de croissance des faons issus de femelles « fortement parasitées » par les strongles digestifs.

4. Etude préliminaire

Une analyse préliminaire, conduite par des membres du CEFS mais qui ne sera pas développée dans le cadre de mon stage, a cherché à modéliser la croissance des faons à partir de leur âge et de leur poids à la capture et en fonction de l'infestation en strongles digestifs de leur mère mesuré en début de gestation. Cette analyse a montré que la charge parasitaire n'influence pas le poids des animaux à la naissance mais qu'il existe une interaction significative entre la croissance des faons et le statut parasitologique de leur mère. Dans cette analyse, les mères sont divisées en deux lots :

- Celles dont la charge en strongles gastro-intestinaux est inférieure à 150 œufs par grammes de fèces sont dites faiblement parasitées
- Celles dont la charge en strongles gastro-intestinaux est supérieure ou égale à 150 œufs par grammes de fèces sont dites fortement parasitées.

La croissance des faons (voir le Graphique 1 en regard de cette page) nés de mère faiblement parasitée peut être décrite par une relation linéaire du poids en fonction de l'âge (en noir sur le graphique) alors que le modèle décrivant le mieux la croissance des faons nés de mère fortement parasitée est une fonction non linéaire (en rouge sur le graphique).

Cette étude conclue que le poids à la naissance des faons de femelles fortement et faiblement parasitées n'est pas significativement différent, ce qui suggère que la présence de strongles n'influence pas de façon significative la croissance des fœtus durant la gestation. Cependant, environ 7 à 8 jours après la mise bas, la courbe de croissance des individus dont la mère est fortement parasitée s'infléchit. La prévalence en strongles digestifs de leur mère en début de gestation semble donc influencer la croissance des faons. D'autre part, Gaillard a montré que le taux de croissance des faons était positivement corrélé à leur survie. (Gaillard et al., 1997)

Je me suis alors demandé, dans le cadre de mon stage, si la charge en strongles digestifs des chevrettes, mesurée en début de gestation, pouvait avoir un effet sur la survie des faons.

II. Matériels et méthodes

A. Présentation du site d'étude

La zone d'étude se situe aux alentours de la commune d'Aurignac dans la Haute-Garonne (31). C'est un paysage agricole hétérogène et vallonné d'une surface de 10 000 hectares environ, composé de prairies, de champs cultivés, de surfaces forestières et de haies caractéristiques du milieu bocager. La densité de population de chevreuils y a été estimée à 9,3 chevreuils pour 100 hectares (Hewison et al., 2007).

B. Les captures des animaux

1. Capture des chevreuils adultes

Les captures ont lieu en janvier-février, c'est-à-dire au début de la gestation effective des chevrettes (Cf. I. B. 1. b.).

La veille de la capture, 84 filets d'une cinquantaine de mètres de longueur et de 2 mètres de hauteur sont disposés autour du site mais ces derniers ne seront mis en place que le lendemain pour éviter toute prise accidentelle pendant la nuit. Le jour de la capture, deux groupes sont formés parmi les personnes présentes : un groupe de rabatteurs, constitué d'étudiants et élèves du lycée agricole qui forment une ligne continue sur toute la longueur du site et qui avance bruyamment pour rabattre les animaux vers les filets où se trouve le deuxième groupe, constitué de personnes plus expérimentées (personnel du CEFS) et qui auront pour mission de capturer les chevreuils pris dans les filets.

Une fois capturé, l'animal doit être pris en charge par au moins 3 personnes, la contention est primordiale. Une injection de 0,3 ml d'acépromazine (Calmivet, Vétoquinol) est réalisée immédiatement par voie intramusculaire dans la cuisse pour tranquilliser l'animal et faciliter les manipulations. L'animal est ensuite placé dans un sabot, c'est-à-dire une caisse en bois, en attendant les prochaines manipulations.

2. Collecte des données sur les animaux capturés

Lorsque tous les animaux ont été capturés et placés dans les sabots, ils sont amenés sur un lieu préalablement défini. Le chevreuil est alors sorti de la caisse par les membres postérieurs et placé sur la table en décubitus latéral gauche. Là encore la contention est

importante : une personne tient les membres postérieurs, une personne tient les membres antérieurs et une dernière tient la tête. Il faut également faire attention à ce que toute la manipulation se passe dans le calme.

a) Identification de l'animal

Les animaux capturés pour la première fois sont identifiés par des boucles auriculaires portant un numéro. On note le sexe, le poids et l'état général (corpulence, blessures éventuelles, nombre de tiques) de l'animal. Enfin, l'animal est équipé d'un collier qui servira à enregistrer ses mouvements annuels et à le localiser lors de diverses expérimentations (mesures comportementales, localisation du site de mise-bas pour les femelles, estimation de la densité de population par capture-marquage-recapture).

b) Prélèvements sanguins

Le sang est prélevé à l'aide d'une aiguille de 20 Gauge (0,9 mm) associé à un porte-tube, à la veine jugulaire gauche avec compression manuelle. 4 tubes sont remplis : 2 tubes secs, 1 tube EDTA (test d'hématologie cellulaire) et 1 tube citraté (test de coagulation). Dès le retrait du corps de prélèvement, il faut homogénéiser par 8-10 retournements lents puis placer les échantillons dans une glacière. Puis, dès le retour au laboratoire, les prélèvements sont centrifugés, classés en fonction des analyses à mener et envoyés aux différents laboratoires partenaires : l'ENVT – Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – pour les analyses hématologiques et VetAgroSup à Marcy l'Etoile (69) pour les analyses biochimiques.

c) Prélèvement et analyse des fèces

Les selles sont collectées manuellement lors des captures. Les échantillons sont conservés au réfrigérateur car une congélation pourrait tuer les larves et les parasites adultes.

Le comptage des œufs de parasites est réalisé au laboratoire du CEFS à partir des fèces collectées sur le terrain. Pour cela : 3 grammes de matières fécales sont pesées puis 42mL de solution dense sont versées sur les fèces dans un verre à pied (par exemple une solution saturée de chlorure de sodium de densité 1,1 à 1,2). Le mélange est remué pour libérer les œufs des matières fécales puis filtré pour éliminer les éléments végétaux. Après une attente de quelques minutes, le temps que les œufs moins dense que le liquide remontent à la surface, on remplit une lame de Mac Master puis on compte les œufs. On obtient ainsi le nombre de parasites par gramme de fèces.

Id_faon	Capture	m/f	Naissance	Fin_suivi	Cause_fin_suivi	statut_40	Nb_strongles
f428	07/05/07	m	06/05/07	08/05/07	Mort (abandon)	1	50
f421	07/05/07	m	06/05/07	08/05/07	Mort (abandon)	1	50
f410	15/05/07	m	07/05/07	31/08/07	Mort (collision)	0	100
f77	16/05/07	m	05/05/07	15/12/08	Drop off	0	50
f80	29/05/07	m	22/05/07	01/01/09	Pb VHF	0	50
f518	13/05/08	m	09/05/08	20/05/08	Mort (abandon)	1	150
f502	14/05/08	m	07/05/08	30/11/09	NA	0	100
f512	21/05/08	f	06/05/08	05/06/08	Mort (renard)	1	300
f536	04/06/08	f	25/05/08	10/11/08	Mort (chasse)	0	50
f542	05/06/08	f	31/05/08	21/12/09	Drop off	0	400
f538	05/06/08	f	31/05/08	10/11/08	Mort (chasse)	0	300
f557	05/05/09	m	02/05/09	24/05/09	Mort (renard)	1	250
f549	08/05/09	f	03/05/09	09/05/09	Mort (abandon)	1	150
f565	18/05/09	m	15/05/09	20/06/09	Mort (brocard)	1	200
f573	04/05/10	m	24/04/10	01/02/11	Pb VHF	0	250
f556	06/05/10	f	01/05/10	09/05/10	Mort (froid)	1	200
f580	07/05/10	m	02/05/10	01/02/11	Pb VHF	0	150
f586	12/05/10	f	05/05/10	13/10/11	Drop off	0	250
f582	14/05/10	f	12/05/10	25/10/11	Drop off	0	0
f002	19/05/10	m	14/05/10	20/05/10	Mort (cachexie)	1	900
f596	26/05/10	m	21/05/10	29/05/10	Mort (inconnue)	1	150
f608	27/05/10	m	22/05/10	09/07/10	Mort (chute fossé)	0	50
f1008	05/05/11	f	03/05/11	07/05/11	Mort (abandon)	1	150
f1003	09/05/11	f	06/05/11	19/05/11	Mort (renard)	1	150
f1032	26/05/11	f	23/05/11	18/02/12	Mort (chasse)	0	400
f1034	27/05/11	m	12/05/11	01/08/12	Pb VHF	0	200
f1046	31/05/11	m	26/05/11	30/08/11	Mort (chien)	0	400
f1054	02/06/11	m	28/05/11	08/05/12	Mort (collision)	0	250
f1062	03/06/11	f	31/05/11	13/09/12	Mort (collision)	0	100
f1060	03/06/11	m	29/05/11	06/04/12	Mort (inconnue)	0	0
f1089	31/05/12	f	29/05/12	15/11/14	Pb VHF	0	0
f1099	31/05/12	f	28/05/12	21/10/12	Mort (inconnue)	0	150
f1019	24/05/12	m	21/05/12	19/12/13	GPS 2013	0	200
f1083	17/05/12	m	14/05/12	01/06/13	Mort (maladie)	0	100
f1011	03/05/12	f	30/04/12	10/02/13	Mort (chasse)	0	150
f1133	07/05/13	m	04/05/13	31/01/15	Collier au sol	0	150
f1102	22/05/13	m	19/05/13	31/05/13	Mort (cachexie)	1	200
f1173	04/06/13	m	30/05/13	11/07/13	Mort (renard)	0	0
f1106	15/05/13	m	10/05/13	20/02/16	Pb VHF	0	0
f1104	22/05/13	f	17/05/13	16/12/14	Drop off	0	0
f1135	07/05/13	m	04/05/13	12/06/13	Mort (renard)	1	400
f1148	21/05/13	m	19/05/13	16/12/14	Drop off	0	50
f1092	02/05/13	m	22/04/13	24/04/14	Mort (collision)	0	50
f1132	14/05/13	m	09/05/13	16/12/14	Drop off	0	50
f1123	28/05/13	m	21/05/13	29/05/13	Mort (blaireau)	1	200
f1171	10/06/13	f	03/06/13	28/06/13	Mort (pb digestif)	1	200
f1209	07/05/14	m	02/05/14	09/05/14	Mort (renard)	1	50
f1203	16/05/14	m	09/05/14	05/07/14	Mort (renard)	0	0
f1218	21/05/14	m	18/05/14	23/05/14	Mort (inconnue)	1	0
f1238	22/05/14	f	19/05/14	26/05/14	Mort (renard)	1	0
f1239	22/05/14	f	20/05/14	26/05/14	Mort (renard)	1	550
f1249	27/05/14	f	22/05/14	09/09/14	Mort (strongylose)	0	250
f1226	29/05/14	m	26/05/14	30/05/14	Mort (renard)	1	0
f1228	24/04/15	m	22/04/15	12/06/15	Mort (renard)	0	100
f1230	01/05/15	f	20/04/15	30/06/15	Mort (cachexie)	0	0
f1261	12/05/15	m	10/05/15	13/05/15	Mort (renard)	1	950
f1272	14/05/15	m	11/05/15	22/05/15	Mort (nécropsie)	1	650
f1265	20/05/15	f	16/05/15	12/06/15	Mort (chien)	1	0
f1283	21/05/15	m	19/05/15	28/05/15	Mort (renard)	1	200
f1303	03/06/15	m	30/05/15	NA	GPS 2016	0	100

Figure 2 : jeu de données de 2007-2015, après sélection, tiré de la base de données du CEFS

3. Capture des faons

Les faons sont capturés dans les premiers jours de leur vie, de la fin du mois d'avril au début du mois de juin.

Tout d'abord, c'est la mère qui est localisée grâce au signal VHF de son collier puis observée : on regarde la grosseur de son abdomen, auquel on attribue une note allant de 0 à 3 (0 efflanquée à 3 très ronde, proche de la mise bas).

On regarde également l'état des mamelles dont le développement caractérise l'entrée en lactation faisant suite à la mise-bas. Grâce aux deux critères précédents on peut connaître approximativement la date de la mise-bas. Aussi, les femelles sont « sifflées » à l'aide d'un brin d'herbe ou d'un appeau pour imiter le cri du faon : une femelle est « réactive », c'est-à-dire qu'elle est attirée par le bruit produit, après sa mise-bas et ce tant que le faon a besoin d'être nourri. Puis, lors d'un affut de plusieurs heures, l'observation du comportement de la femelle permet de localiser l'un de ses faons. Cette capture n'est possible que dans les 15 premiers jours du faon car passé ce délai, les faons s'enfuient à l'approche de l'homme.

Une fois capturé, le faon est pesé, sexé et toutes informations concernant son comportement, sa morphologie, son état général et sa filiation sont reportées sur une fiche qui lui est attribuée. Comme pour leur mère, il est identifié par une boucle auriculaire portant un numéro et équipé d'un collier qui permettra de suivre ses déplacements et sa survie pendant l'été. Le collier des faons est différent de celui des adultes : il s'agit de colliers de type VHF (donc la localisation se fera lors du radiopistage pendant l'été) moins lourds que ceux des adultes et extensible pouvant ainsi s'adapter à la croissance des jeunes.

Là encore, la capture doit se faire dans le calme et la contention doit être irréprochable pour éviter toute blessure qui pourrait compromettre fortement la survie des faons.

C. Radiopistage des faons et de leur mère

Les coordonnées géographiques de chaque animal sont relevées entre une et deux fois par jour pour connaître ses déplacements et vérifier que l'animal est encore en vie.

Pour ce faire, l'opérateur utilise une antenne réceptrice à 3 brins (yagi) reliée à un boîtier (Biotrack) qui traduit le signal émis par le collier par un bip sonore dont l'intensité est chiffrée sur l'écran du boîtier. Il faut trianguler, c'est-à-dire faire une direction à partir de 3 endroits éloignés les uns des autres puis recouper ces directions pour enfin déterminer l'emplacement précis de l'animal. Lorsqu'un animal est « en alarme mortalité », i.e. le collier n'a pas bougé depuis plus de 4 heures, le signal voit sa fréquence multipliée par 2. Dans ce cas, il faut retrouver l'animal pour récupérer le collier et congeler le corps dans l'attente d'une autopsie déterminant la cause de la mort.

Le radiopistage débute début juin et se poursuit jusqu'à fin août. En moyenne, une quinzaine de faons et une dizaine de mères sont suivis tout l'été. Au début de mon stage (13/06/2016), j'ai commencé par radio-pister 17 faons et 9 mères mais à la fin des 6 semaines (22/07/2016), je ne suivais déjà plus que 15 faons et 7 mères car un faon a été retrouvé mort pendant cette période et pour l'autre faon, nous avons perdu le signal à la suite d'une défaillance supposée de l'émetteur. Nous avons également arrêté le suivi de leur mère car celui-ci ne présentait plus vraiment d'intérêt : celle-ci seront surveillées, c'est-à-dire qu'on vérifiera régulièrement qu'elles sont toujours en vie, comme tous les autres animaux équipés d'un collier.

D. Traitement des données

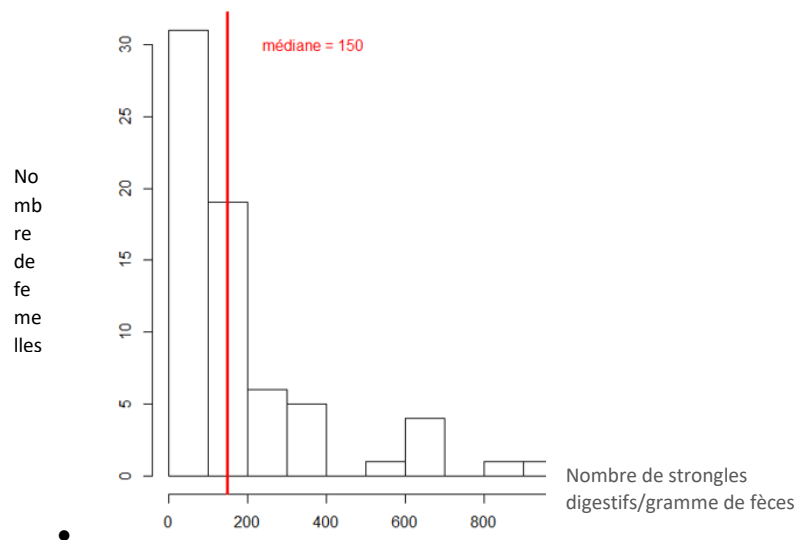
1. Tri des données

Entre 2007 et 2015, 204 faons ont été capturés et suivis par radiopistage. Sur ces 204 faons, 127 n'ont pas pu être retenus pour l'étude car le statut parasitaire de leur mère concernant les strongles gastro-intestinaux n'était pas connu. Ajouté à cela, j'ai pris la décision, de retirer 12 faons de l'étude dont la mort était survenue des suites de blessures causées par une faucheuse. En effet, j'ai considéré cette mort inévitable et n'ayant aucun rapport avec un quelconque parasitisme des individus donc pouvant fausser les résultats obtenus. Enfin j'ai retiré 5 faons parce que les données qui leur étaient associées étaient insuffisantes (manque de données sur la fin du suivi). Au final 60 faons ont été retenus pour l'étude.

2. Présentation du jeu de données

L'étude se concentre sur 60 faons (cf. Figure 2 en regard de cette page):

- 5 faons nés en 2007, 6 faons nés en 2008, 3 faons nés en 2009, 8 faons nés en 2010, 8 faons nés en 2011, 5 faons nés en 2012, 11 faons nés en 2013, 7 faons nés en 2014, 7 faons nés en 2015
- 38 mâles et 22 femelles
- 25 faons sont morts dans leurs 40 premiers jours de vie : 13 ont été tués par un autre animal, 5 sont morts car ont été abandonnés par leur mère, 4 sont morts de maladies, 1 faon est mort de froid, 2 sont morts de cause inconnue.



Graphique 2 : Distribution de la charge parasitaire chez les femelles chevreuils testées pour les strongles digestifs.

3. Etablissement de classes d'infestation par les strongles totaux pour les mères

Pour établir des groupes homogènes, j'ai visualisé les données d'infestation en réalisant un histogramme à l'aide du logiciel R (cf. Graphique 2 en regard de la page 15) Celui-ci illustre la distribution de la charge parasitaire chez les femelles testées. Ce même logiciel m'a permis de déterminer la médiane : 150 strongles gastro-intestinaux par gramme de fèces. Ainsi, on réalise deux groupes pour cette étude, comportant le même nombre d'individus :

- Un groupe de femelles dites faiblement parasitée dont le nombre de strongles gastro-intestinaux a été compté inférieur à 150 par gramme de fèces,
- Un groupe de femelles dites fortement parasitée dont le nombre de strongles gastro-intestinaux a été compté supérieur à 150 par gramme de fèces.

4. Réalisation de la courbe de survie des faons

La courbe de survie est une représentation de la fonction de survie non-paramétrique de Kaplan-Meier. A chaque instant, le model permet le calcul de la probabilité cumulée de survie des faons en fonction des données observées. C'est cette probabilité qui sera représentée en fonction du temps.

Pour calculer la fonction de survie et la représenter, j'ai utilisé le logiciel R avec le package « survival ». Celui-ci nous permet de créer des objets de survie au moyen de la fonction `Surv(time,status)` où `time` est le nombre de jours pendant lesquels le faon a survécu et `status` est le statut du faon (mort codé avec un 1 ou vivant codé avec un 0) à la fin de la période considérée. On peut ensuite estimer une fonction de survie à partir de l'objet de survie au moyen de la fonction `survfit`. L'estimateur de Kaplan-Meier de la fonction de survie à partir d'un échantillon $(T_i, D_i)_{i=1, \dots, n}$ d'observations éventuellement censurées est donné par :

$$\hat{S}_{KM}(t) = \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{I(T_i \leq t, D_i = 1)}{Y(T_i)} \right)$$

Où $Y(t)$ représente le nombre de sujets à risque (i.e. ni censurés, ni décédés) à l'instant t et où $I(A)$ représente la fonction indicatrice de l'évènement A et vaut 1 si l'évènement A est réalisé et 0 sinon. (Geffray) Ici je me suis intéressée à la différence de survie entre 0 et 40 jours. Les données sont dites censurées à droite car le faon peut mourir après 40 jours mais sa mort ne sera pas prise en compte car l'étude s'arrête.

5. Test d'une différence de survie entre deux groupes

La comparaison de la survie dans plusieurs groupes peut s'effectuer au moyen du test du log-rank ou du test de Wilcoxon (Geffray). Ici, nous n'avons pas d'a priori sur la

distribution des temps de survie : nous utiliserons donc le test du log-rank qui donne le même poids à toutes les observations. Ce test consiste à comparer le nombre d'évènements observés au nombre d'évènement attendus sous l'hypothèse nulle (H_0) d'égalité des fonctions de survie des groupes. La statistique du test suit, sous cette hypothèse, une distribution de χ^2 . L'hypothèse nulle sera acceptée ou rejetée avec un risque de 5 %.

Le test du log-rank est réalisé avec le logiciel R au moyen de la fonction `survdif` du package `survival` :

```
survdif(Surv(time,status)~treatment,data=mydata)
```

`treatment` est le traitement réalisé sur les groupes pour lesquels on souhaite comparer les probabilités de survie.

J'ai donc créé des groupes de faons à partir des données d'infestation de leurs mères (variable `treatment`).

III. Résultats

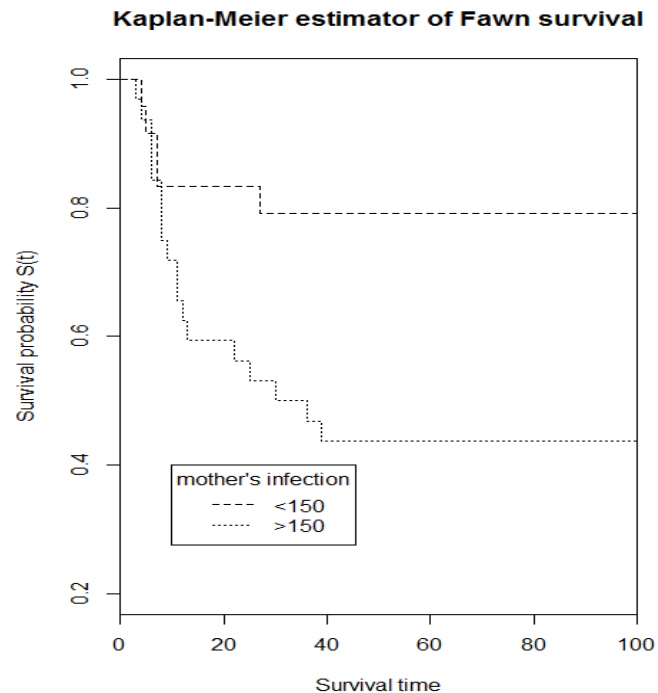
A. Les strongles digestifs chez le chevreuil : une prévalence importante

1. Quelques chiffres

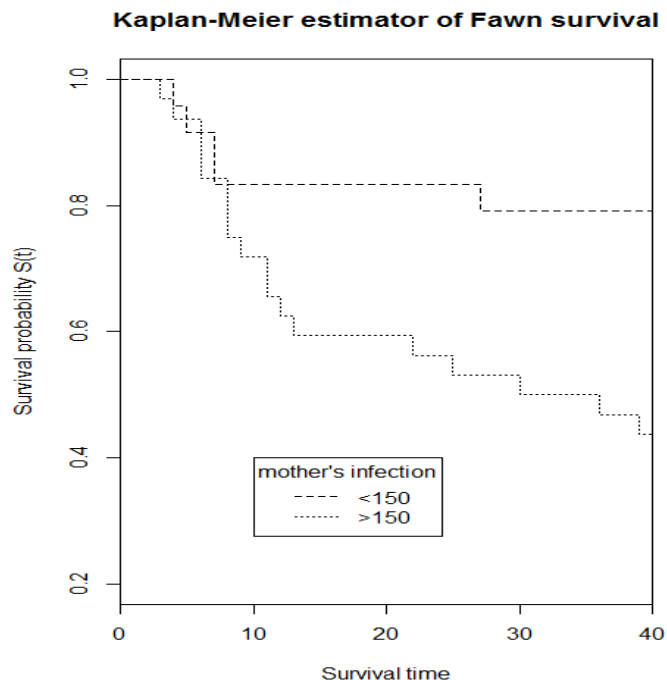
Dans la base de données du CEFS de l'INRA allant de 2007 à 2015, sur les 252 femelles de chevreuil chez lesquelles des strongles digestifs ont été recherchés, 212 (84%) se sont révélées infestées à des degrés plus ou moins importants. Ces chiffres confirment la forte prévalence de ce parasite dans les infestations parasitaires du chevreuil.

2. Une forte prévalence et une transmission horizontale efficace : un cercle vicieux

De plus, ces chiffres nous confortent dans l'idée que ce parasite se transmet aisément au sein de l'espèce. En effet en 2014, un faon a été retrouvé mort. Après autopsie, on a pu déterminer que ce faon était mort de strongylose. Ce qui est intéressant, c'est que quelques jours auparavant, un jeune mâle avait été retrouvé mort dans le même secteur, et lui aussi était très infesté de strongles. Ainsi, le mode de transmission des strongles, décrit dans le paragraphe I.B.3.b), semble efficace. Ce cycle amplificateur explique le nombre important de strongyloses retrouvées chez le chevreuil.



Graphique 3 : Courbes de survie (probabilité de survie en fonction du temps de vie après la naissance en jours) des faons sur 100 jours tracées suivant l'estimateur de Kaplan-Meier.
 Courbe en pointillés : courbe de survie des faons nés de mères dites fortement parasitées.
 Courbe en tirets : courbe de survie des faons nés de mères dites faiblement parasitées.



Graphique 4 : Courbe de survie (probabilité de survie en fonction du temps de vie après la naissance du faon en jours) des faons sur 40 jours suivant l'estimateur de Kaplan-Meier
 Courbe en pointillés : courbe de survie des faons nés de mères dites fortement parasitées.
 Courbe en tirets : courbe de survie des faons nés de mères dites faiblement parasitées.

3. Distribution de la charge parasitaire

L'histogramme (cf. Graphique 2 en regard de cette page) de la distribution de la charge parasitaire en strongles chez les chevrettes en début de gestation montre que la majorité des femelles sont peu infestées, d'où une médiane assez faible à 150 oeufs retrouvés dans 1 gramme de fèces. En dessous de cette médiane, la répartition est assez homogène. Au contraire, au-delà de cette médiane, c'est un peu plus hétérogène. Nous avons décidé de séparer les deux groupes à partir de cette médiane pour avoir deux groupes de même taille (cf. II.D.3.).

B. Survie des faons en fonction du statut parasitaire de leur mère en début de gestation

Grâce à l'estimateur de Kaplan-Meyer, nous traçons les courbes de survie des faons avec le logiciel R pour les deux groupes de faons. Les faons sont répartis entre deux groupes : les faons nés de mères dites « fortement parasitées » et les faons nés de mères dites « faiblement parasitées ».

Dans un premier temps, il a fallu déterminer une limite dans le temps pour cette étude, c'est-à-dire la date après laquelle on considère que le faon « a survécu » (données censurées à droite. On remarque (cf. Graphique 3 en regard de cette page) que les deux courbes de survie divergent fortement à partir de 7-8 jours et ce, jusqu'à 40 jours. Ainsi, on peut supposer qu'à partir de 40 jours, la survie du faon n'est plus influencée par l'infestation en strongles de sa mère. La détermination de cette limite est importante car le test du log-rank mesure la différence de probabilité de survie entre les groupes sur l'ensemble du temps de suivi. Le test perd donc en puissance si le temps retenu intègre une longue période durant laquelle l'écart entre les courbes reste constant.

1. L'influence d'un parasitisme par les strongles digestifs sur la survie d'un faon lors de sa première semaine de vie

Nous décrivons ici le graphique 4 présentés en regard de cette page :

L'ordonnée à l'origine des courbes de survie correspond à une probabilité de survie des faons égale à 1 car ce point correspond à la naissance des faons.

Jusqu'au huitième jour, les courbes ne sont pas significativement différentes, elles se recoupent même. On peut donc en conclure que, bien qu'une chevrette soit fortement parasitée, les chances de survie de son faon seront les mêmes qu'un faon ayant une mère faiblement parasitée.

La première semaine de vie se caractérise par une importante mortalité. En effet sur le graphique, nous pouvons observer que les courbes de survie décroissent avec une forte pente (la plus importante de la courbe de survie). Cette première semaine de vie semble donc déterminante dans la survie du faon, et cela pour n'importe quel faon (né d'une mère fortement parasité ou non).

2. L'influence d'un parasitisme par les strongles digestifs sur la survie d'un faon entre le 8^{ème} et le 40^{ème} jour

Graphiquement (cf. Graphique 4 en regard de la page 16), nous observons une évolution différente entre la courbe de survie des faons nés de mères dites « faiblement parasitées » et celle des faons nés de mères dites « fortement parasitées » : la seconde décroît plus rapidement que la première. De plus, les probabilités de survie des faons nés de mères dites « fortement parasitées » descendent en dessous de 0,4 (une centaine de jours après la naissance du faon : cf. Graphique 3 en regard de la page 16) alors que la probabilité de survie des faons nés de chevrettes faiblement parasitées sera toujours supérieure à 0,4.

Le test du log-rank montre que la différence entre ces deux courbes est significative ($p=0,035$), ce qui nous amène à penser que les faons nés de mères dites « faiblement parasitées » ont, entre le 8^{ème} et le 40^{ème} jour, une probabilité globalement plus importante de survie que les faons nés de mères dites « fortement parasitées ».

IV. Discussion et perspectives

A. Conclusion globale sur les résultats obtenus

Il apparait donc qu'une infestation importante en strongles digestifs des chevreuils femelles, c'est-à-dire plus de 150 œufs de strongles gastro-intestinaux comptés par gramme de fèces, ait un impact négatif sur les probabilités de survie de leurs faons entre leur 8^{ème} et le 40^{ème} jour de vie. Par contre, une telle infestation ne change rien aux probabilités de survie du faon dans sa première semaine de vie, ni après 40 jours. Les strongles digestifs n'étant pas spécifiques au chevreuil, on pourrait se demander si la même étude conduite avec une espèce différente conduirait aux mêmes résultats.

Et qu'en est-il des autres parasites ? Si on utilise le terme parasite dans son sens écologique, c'est-à-dire englobant virus, bactéries, vers, protozoaires, etc., nous pourrions émettre l'hypothèse que la conclusion soit la même pour certains virus et bactéries qui peuvent fortement affaiblir les animaux. On pense notamment à la brucellose, l'herpès virose ou encore les mycoplasmoses responsables d'une forte mortalité dans l'espèce canine (Dumon, March 2005)

B. Proposition d'hypothèses

1. L'infestation en strongles digestifs de la mère n'impacte pas la survie du faon lors de sa première semaine de vie

La première question que l'on est amené à se poser, c'est : pourquoi il n'y a aucune différence de probabilité de survie entre les faons nés de mères fortement parasitées et ceux nés de mères faiblement parasitées au cours de leur première semaine de vie ? On peut émettre plusieurs hypothèses :

- La mère, même s'il est affaiblit par son parasitisme, peut tout de même produire assez de lait pour son faon car celui-ci se nourrit, lors de sa première semaine de vie, d'une quantité assez faible,
- Ou bien la mort des faons est masquée par les autres causes de mortalité. En effet, c'est lors de la première semaine de vie que la mortalité des faons est la plus importante : ils ne peuvent pas s'enfuir et sont repérables par leurs cris quand ils appellent leur mère. Ainsi, on pourrait penser que les faons de cet âge sont similaires face aux différents dangers.

2. L'infestation en strongles digestifs de la mère impacte la survie des faons entre leur 8^{ème} et leur 40^{ème} jour

L'étude ne nous dit pas si la mortalité des faons nés de mères dites « fortement parasitées », plus importante que pour les faons nés de mères dites « faiblement parasitées », entre le 8^{ème} et le 40^{ème} jour est due à la mère ou au faon lui-même.

Plusieurs questions se posent :

- Est-ce la mère qui, à cause de son parasitisme, n'a pas pu produire assez de lait pour nourrir correctement son faon ?
- Est-ce le parasitisme de la mère qui l'affaiblit et l'empêche de s'occuper correctement de son faon ?

Après 40 jours la probabilité de survie des faons issus de chevrettes fortement infestées stagne alors que la probabilité de survie des faons issus de chevrettes faiblement parasitées baisse. On pourrait émettre l'hypothèse qu'après 40 jours, les faons commencent à s'alimenter de façon significative. Ainsi, les faons issus de chevrettes fortement parasitées pourraient alors compenser leur sous-alimentation. Par ailleurs en commençant à s'alimenter par eux même les faons des deux groupes s'infestent à leur tour. Cependant les faons issus de chevrettes fortement parasitées résistent mieux car une immunité a commencé à se mettre en place au sein de leur organisme, limitant l'infestation.

C. Prolongation de l'étude

1. Suivre le bon déroulement de la gestation

Une première façon de prolonger cette étude serait de suivre de près la gestation des femelles de manière à savoir si la présence de parasites et le degré de parasitisme pourrait influencer ou non le bon déroulement de la gestation.

L'étude préliminaire présentée au paragraphe I.B.4. a montré qu'il n'y avait pas de différence de poids à la naissance entre les faons nés de mère fortement parasitées et les faons nés de mères faiblement parasitées mais cela ne veut pas dire qu'il n'y a aucun effet sur la gestation.

On pourrait tout d'abord détecter la gestation en dosant le sulfate d'œstrone par prélèvement de plasma ou par échographie. Ensuite, il faudrait surveiller les femelles tout au long de leur gestation pour détecter les avortements ou une quelconque anomalie.

2. Suivre la parasitologie des faons

Une deuxième façon de prolonger cette étude serait de suivre la parasitologie des faons. En ce qui concerne les strongles gastro-intestinaux, il serait intéressant de compter les vers retrouvés dans les fèces des faons vivants radio-pistés ou à l'autopsie dans les voies digestives des faons retrouvés morts. Pour ce qui est des autres parasites, on pourrait proposer des analyses sanguines et coprologiques dès la première capture, puis renouveler ces analyses si ces mêmes individus sont capturés à nouveau.

3. Suivre la parasitologie des mères pendant la lactation

Un des points à améliorer sur cette étude serait le temps entre les mesures effectuées et les effets observés. En effet, 4 mois s'écoulent entre la détermination de la parasitologie de la mère en début de gestation et le suivi de survie des faons. Or nous ne pouvons pas savoir si cette parasitologie a évolué pendant ces 4 mois. Il serait alors judicieux de déterminer la parasitologie des mères au cours de leur lactation.

4. Prise en compte des effets confondants

Pour confirmer que les faons nés de mères faiblement parasitées aient de meilleures probabilités de survie que les faons nés de mères fortement parasitées entre leur 8^{ème} et leur 4^{ème} jour, il faudrait tenir compte d'un certain nombre d'effets confondants : cohorte, poids de la mère, météo, habitat, etc. Il faudrait donc poursuivre ces analyses avec des modèles de survie multivariés comme par exemple le modèle de Cox.

V. Retour sur l'expérience vécue

Ce stage au sein de la structure du CEFS-INRA m'a permis de découvrir le monde de la recherche et d'apprendre beaucoup de choses sur l'espèce du chevreuil. J'ai pu me rendre compte à la fois de la complexité de la prise des mesures sur le terrain pour lesquelles il faut être d'une précision irréprochable, surtout comme dans un cas comme celui-ci où les données sont utilisées 10 ans plus tard, mais aussi de la complexité du travail statistique qui suit celui de terrain.

Je tiens à remercier particulièrement mes maîtres de stage, Yannick et Bruno, qui m'ont beaucoup aidé pour la réalisation de ce « mini-projet » mais aussi pour toutes les connaissances qu'ils ont pu partager avec moi.

Bibliographie

- Artois et al. (2003). La faune sauvage, indicateur possible du risque de maladie émergente? *Epidémiologie et santé animale*, 21-31.
- Beckage et al. (1997). *Parasites and Pathogens : Effects on Host Hormones and Behavior*. New-York: Springer Science & Business Media.
- Combes et al. (1995). *Interactions durables : écologie et évolution du parasitisme*. Paris: Masson-Dunod.
- Dumon et al. (March 2005). Canine mortality in neonates related to specific infectious diseases: brucellosis, canine herpesvirus, mycoplasmal infection. *EMC - Vétérinaire*, 54-62.
- Gaillard et al. (1997, Novembre). Early survival in roe deer: causes and consequences of cohort variation in two contrasted populations. *Oecologia*, pp. 502-513.
- Gaillard et al. (1998, Décembre). Family effect on growth and survival of juvenile roe deer. *Ecology*.
- Gaillard et al. (2000, Novembre). Temporal Variation in Fitness Components and Population Dynamics of Large Herbivores. *Annual Review of Ecology and Systematics*, pp. 367-393.
- Gaillard et al. (2013, Janvier). How does climate change influence demographic processes of widespread species? Lessons from the comparative analysis of contrasted populations of roe deer. *Ecology Letters*.
- Gaillard et al. (1993). Roe Deer Survival Patterns : a comparative analysis of contrasting populations. *Journal of Animal Ecology*, 778-791.
- Gaillard et al. (1988). *Contribution à la dynamique des populations de grands mammifères : l'exemple du chevreuil (Capreolus capreolus)*. Thèse de doctorat, Lyon.
- Geffray. Analyse des durées de vie avec le logiciel R (PDF).
- Hewison et al. (2007). Using Radio-tracking and Direct Observation to Estimate Roe Deer *Capreolus Capreolus* Density in a Fragmented Landscape : A Pilot Study. *Wildlife Biology*, 313-320.
- INRA. *INRA - CEFS*. Récupéré sur Site web Toulouse INRA: [http://www.toulouse.inra.fr/Le-centre-Les-recherches/unites-de-recherche/CEFS/\(key\)/2](http://www.toulouse.inra.fr/Le-centre-Les-recherches/unites-de-recherche/CEFS/(key)/2)
- Monestier et al. (2015). Is a proactive mum a good mum? A mother's coping style influences early fawn survival in roe deer? *The official journal of the International Society for Behavioral Ecology (ISBE)*.
- Morand et al. (2014). *Faune sauvage, biodiversités et santé, quels défis?* Versailles: Quae.

- ONCFS. (2015). *Tableau de chasse ongulés sauvages saison 2014-2015*. Récupéré sur ONCFS:
http://www.oncfs.gouv.fr/IMG/file/mammiferes/ongules/tableau/FS308_tableaux_chasse_ongules_2014_2015.pdf
- ONCFS. *Connaitre les espèces - Le chevreuil*. Récupéré sur Site web de l'ONCFS:
<http://www.oncfs.gouv.fr/Connaitre-les-especes-ru73/Le-Chevreuil-ar977>
- Rizzoli et al. (2009, Février 2). *PLOS ONE: Forest Structure and Roe Deer Abundance Predict Tick-Borne Encephalitis Risk in Italy*. Récupéré sur PLOS ONE:
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0004336>