

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

Stage mini projet de recherche - ENVT - Unité CEFS de l'INRA de Castanet-Tolosan



Y.Chaval ©

Amélie LAMOLY, Etudiante de 2ème année à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Maître de stage : Yannick Chaval / Co-encadrant : Bruno Cargnelutti
Année 2016-2017



Table des matières

Résumé	1
Abstract.....	2
I. Contexte du stage et ressenti personnel	3
A. L'unité de recherche.....	3
B. La zone d'étude et les autres sites d'étude	3
C. Travaux préliminaires et objectifs	4
D. Ressenti personnel	5
II. Généralités sur le chevreuil	5
A. Répartition géographique	5
B. Situation démographique.....	5
C. Particularités morphologiques du chevreuil.....	5
D. Habitat et alimentation	6
1. <i>Habitat</i>	6
2. <i>Alimentation [2]</i>	6
E. Physiologie de la reproduction [2].....	6
1. Le Rut et l'œstrus chez le chevreuil.....	6
2. L'ovo-implantation différée.....	7
3. <i>La mise-bas et le nouveau-né</i>	7
F. Comportement territorial et social.....	7
G. Impact des chevreuils sur les cultures et forêts	7
III. Les strongyloses digestives et autres causes de mortalité chez le chevreuil.....	8
A. Traumatismes	8
1. <i>Chasse</i>	8
2. <i>Collisions avec un véhicule</i>	8
3. <i>Combats intra-spécifique</i>	8
4. <i>Prédation</i>	9
5. <i>Mécanisme agricole</i>	9
B. Les maladies bactériennes et virales.....	9
C. Les strongyloses digestives et autres maladies parasitaires	9
1. <i>Généralités sur le parasitisme du chevreuil</i>	9
2. <i>Les strongles gastro-intestinaux [25]</i>	9
a) Développement exogène (environ 10 jours)	10
b) Développement endogène (quelques mois à un an).....	10
3. <i>Symptomatologie des strongyloses digestives</i>	10
IV. Matériel et méthodes	11
A. Travaux préliminaires	11
1. <i>Capture des chevreuils adultes</i>	11
2. <i>Prélèvement et analyse coprologique</i>	11
3. <i>Capture des faons</i>	12
a) Localisation du faon	12
b) Collecte de données	12
4. <i>Suivi des faons et de leur mère par radiopistage</i>	12

B.	Données et traitements.....	12
1.	Tri des données.....	13
2.	Travail préliminaire : établissement de classes d'infestation par les strongles gastro-intestinaux pour les mères de 2007 à 2017... ..	13
3.	Comparaison de l'infestation en strongles gastro-intestinaux année après année des chevrettes.....	14
4.	Réalisation de la courbe de survie des faons.....	14
a)	La méthode Kaplan-Meier.....	14
b)	Courbes de survie des 2 cohortes de faons de 2007 à 2017	15
5.	Comparaison des survies des cohortes.....	15
a)	Choix du test de log-rank.....	15
b)	Comparaison des survies des 2 cohortes de faons sur la période de 2007 à 2017	15
V.	Résultats	16
A.	Une infestation en strongles gastro-intestinaux de niveau moyen sur la période 2007-2017	16
B.	Des valeurs d'infestation plus faibles dès 2012.....	16
C.	2015 une année particulière	16
D.	Survie des faons en fonction du statut parasitaire de leur mère en début de gestation..	16
a)	Les 8 premiers jours de vie : une période déterminante pour la survie du faon.....	17
b)	Influence du parasitisme sur la survie du faon entre le 8ème et 40ème jour de vie.....	17
VI.	Discussion et perspectives.....	17
A.	Conclusion globale	17
B.	Discussions	17
1.	Une médiane d'infestation en strongles totaux plus basse sur la période 2013-2017 que sur la période 2007 à 2012 et une année 2015 particulière.....	17
2.	Les 8 premiers jours de vie du faon sont déterminants dans sa survie et ne sont pas influencés par le parasitisme	18
3.	Biais concernant les niveaux d'infestation en strongles chez les mères en début de gestation.....	19
i.	Biais n°1 : les valeurs de coproscopie pourraient comporter des sous ou surestimations.....	19
ii.	Biais n° 2 : le facteur temps	19
iii.	Biais n°3 : la parasitologie du faon n'est pas prise en compte dans l'étude	19
4.	Représentativité de nos résultats de survie de nos 2 cohortes de faons selon le statut parasitologique de la mère.....	19
5.	Comparabilité avec l'étude d'Houdoul 2016, sensibilité et puissance du test log-rank utilisé	20
C.	Perspectives	20

RESUME

La mortalité en été des faons a été étudiée chez le Chevreuil européen (*Capreolus capreolus*) à Saint-André (31468) dans le sud-ouest de la France. Le chevreuil, espèce d'origine forestière, est un modèle d'écologie comportementale très intéressant de par sa remarquable capacité d'adaptation à l'ouverture des milieux.

Par ailleurs la survie juvénile est un facteur important dans la dynamique des populations. Dans cette étude, nous essayons de voir si la survie des faons au cours de leurs premiers jours de vie est influencée par le statut parasitologique de leur mère en début de gestation. Nous nous sommes intéressés tout particulièrement aux strongles gastro-intestinaux. Pour ce faire, nous avons suivi des faons de chevreuil par télémétrie de la naissance à la fin du mois de juillet afin de noter toutes les informations relatives aux individus au cours de cette période de l'année 2017.

L'infestation en strongles digestifs a été déterminée par analyse coprologique et méthode Mac Master sur des fèces prélevées lors des captures de chevreuils adultes au mois de janvier.

Cette étude utilise la base de donnée du CEFS et se déroule sur le long terme : 2007 à 2017.

Contrairement aux conclusions faites par l'étude de J. Hodoul sur la période 2007-2015, le degré de parasitisme des mères en début de gestation n'impacte pas significativement la survie de leur faon entre leur huitième et leur quarantième jour de vie et n'a pas d'effet significatif avant ou après cette période. Mais pour confirmer cette tendance, il serait intéressant de tenir compte des effets confondants tels que 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 d'éventuels effets sur la survie des faons.

Mots clés : Chevreuil – strongles gastro-intestinaux – analyse de survie - faons

ABSTRACT

This study investigates the relationship between the mortality of the European roe deer fawns- in their first 40 days of life- and the level of gastrointestinal strongyles parasitism - taken during early gestation - of their mothers in a free-living population in Saint-André (31468), south of France.

This study is a long-term survival analysis using the software R and long term time data coming from CEFS database.

The survival of roe deer fawns over time are estimated using radiotelemetry after capture-mark-recapture methods. Faecal egg counts are monitored via the McMaster method in the CEFS laboratory.

Differing for earlier findings [19] the mortality rate of roe deer fawns appears to be relatively insensitive to the level of gastrointestinal strongyles parasitism of their mothers between 2007 and 2017. In fact, during the period under review, the survival rate of prime-age adults in our two cohorts studied were similar.

This work contributes to a better understanding of the population dynamics of European roe deer regarding their gastro-intestinal parasitism. Moreover it highlights the importance of making a long term study when it comes to a better understanding of a host-parasite interaction in the current scenario of global change and with a specie with such a quick adaptability.

Key words : Roe deer – Gastro-intestinal strongyles – survival analysis – fawns

I. CONTEXTE DU STAGE ET RESENTI PERSONNEL

A. L'unité de recherche

L'unité **CEFS**, « Comportement et Ecologie de la Faune Sauvage », de l'INRA est située à Castanet-Tolosan (31).

Elle est **spécialisée dans l'étude du comportement des grands herbivores (cervidés et bovidés) et des écosystèmes dans lesquels ils sont des consommateurs de végétaux, des gibiers pour les chasseurs et proies pour les grands carnivores.**

Le CEFS conduit ses recherches à l'aide d'une approche centrée sur l'individu et le suivi à long terme (depuis 10 ans environ) d'individus marqués, de leur naissance à leur mort si possible.

La synthèse de ces connaissances permet au CEFS d'élaborer et proposer des outils de suivi et de gestion des populations d'espèces gibier (Chevreuil, Cerf élaphe, Mouflon méditerranéen, Isard) ainsi qu'à la conservation d'espèces menacées (Beira, Cerf-cochon de Bawean, Bouquetin ibérique).

La plupart des recherches se concentre sur le chevreuil (*Capreolus capreolus*), et ce depuis une quinzaine d'années.

La philosophie du laboratoire est de privilégier des études sur le long terme permettant d'enrichir la base de données et d'aboutir à des résultats plus significatifs.

Ces recherches sur le chevreuil sont fédérées à deux niveaux :

- d'une part un très ancien **groupe informel français** composé de chercheurs et techniciens de plusieurs entités telles l'ONCFS, ONF, LE CNRS...
- d'autre part au sein d'un **réseau européen de scientifiques** composé de 29 équipes de 15 pays (**EURODEER**), initié en 2010 pour encourager les échanges et la mise en commun des connaissances (actuellement le partage des données de suivi spatial (GPS, VHF), mais avec l'ambition d'inclure d'autres paramètres, comportementaux, démographiques et génétiques). [21]

B. La zone d'étude et les autres sites 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. [19]

La densité de population de chevreuils y a été estimée à 9,3 chevreuils pour 100 hectares [20]. Depuis 2007, les **populations naturelles** de chevreuils y 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). Il existe en France, deux autres sites d'études des populations naturelles de chevreuils, gérés par l'ONCFS : Chizé (Deux-Sèvres) et Trois-fontaines (Marne) mais la population suivie par le CEFS est la seule qui évolue dans un espace complètement ouvert (i.e. sans murs ni enclos) ce qui en fait un site privilégié pour l'étude des phénomènes de dispersion des individus sub adultes (yearling).

Le CEFS mène aussi des recherches sur **l'installation expérimentale de Gardouch**, lieu d'élevage d'une population de chevreuils captive et imprégnée (nourrissage au biberon et contact quotidien avec l'Homme), en conditions contrôlées. Ces travaux en milieu confiné permettent d'étalonner l'indexation de comportement à partir d'animaux non sensibles au dérangement induit par la présence des êtres humains et de pouvoir ensuite les transposer dans le milieu naturel.

C. Travaux préliminaires et objectifs

Grâce aux études faites depuis de nombreuses années sur ces différents sites, la dynamique de population et de nombreux traits physiologiques du chevreuil sont actuellement très bien connus. [16]

Ces études ont notamment montré l'importance de la phase juvénile (de la naissance à un an) pour l'avenir de l'individu [12].

Tous ses travaux ont aussi montré que la phase juvénile est sous l'influence de nombreux facteurs environnementaux interagissant entre eux : densité de chevreuils, conditions climatiques, prédatons, machinisme agricole, collisions routières, déficits alimentaires, pathologies

La survie juvénile est un paramètre important dans la performance démographique d'une population car elle **conditionne grandement le nombre de chevreuils l'année suivante mais surtout le nombre et la qualité des futurs reproducteurs** [7] : il a été montré que des chevrettes plus lourdes commencent à mettre bas à deux ans, ont une meilleure prolificité et vivent plus longtemps.

La survie juvénile est très variable en fonction des années et en fonction des sites d'étude : en moyenne la survie est de 60% mais elle peut s'étaler de 30 à 90%. C'est la phase estivale (de la naissance au sevrage complet vers 2 mois) qui conditionne en majeure partie la survie [8].

Une étude précédente de Joanna Hodoul, élève de 3^{ème} année à l'ENVT [19] avait montré qu'une infestation importante en strongles gastro-intestinaux des chevreuils femelles en début de gestation (i.e. à plus de 150 œufs de strongles gastro-intestinaux comptés par gramme de fèces) avait un impact négatif sur les probabilités de survie de leurs faons entre leur 8ème et le 40ème jour de vie.

L'objectif de mon stage était de poursuivre cette étude en lui ajoutant les données collectées durant les années 2016 et 2017 pour observer si les résultats trouvés par Hodoul 2016 se confirmaient. **J'ai ainsi poursuivi son étude en rajoutant aux années précédentes (2007-2015) le traitement des données parasitaires concernant les strongles gastro-intestinaux des mères en début de gestation 2016/2017 (provenant de la base de données du CEFS) et j'ai participé au suivi de la cohorte des faons de l'année 2017 par radiopistage sur le terrain. Ce suivi permet d'enregistrer à la fois l'occupation de l'espace et la survie des faons dans leur phase juvénile estivale.**

D. Ressenti personnel

Le stage au sein du CEFS m'a permis de mieux comprendre ce qu'est le métier de chercheur en agroécologie, d'acquérir des connaissances sur le chevreuil mais aussi sur d'autres espèces fauniques. J'ai pu notamment observer une présence de plus en plus importante d'une espèce de rapace, l'élanion blanc sur le site d'étude du chevreuil, espèce autrefois très localisée dans l'extrême sud-ouest de la France (Pyrénées atlantiques) et dont l'aire de répartition remonte aujourd'hui de plus en plus vers le nord de la France.

Malgré mon intérêt majoritaire pour la phase de terrain, mon maître de stage qui m'a encadré quotidiennement, m'a fait m'intéresser d'avantage à l'analyse statistique des résultats. J'ai par-là pu découvrir toutes la complexité mais parfois aussi l'impossibilité de maîtriser tous les facteurs à l'origine des variations des paramètres étudiés.

C'est un travail de grande ampleur tant du point de vu de la réalisation de la collecte de données sur le terrain que du point de vu de l'analyse statistique de retour aux bureaux. L'équipe dynamique et chaleureuse ainsi que le cadre de travail très agréable me donne un ressenti plus que satisfaisant de mon stage.

II. GENERALITES SUR LE CHEVREUIL

Le chevreuil est un artiodactyle ruminant appartenant à la famille des cervidés, d'une espérance de vie allant de 10 à 15 ans [2].

A. Répartition géographique

Le chevreuil est actuellement très présent en France [Fig.1] sur l'ensemble du territoire sauf sur les très hauts massifs alpins et pyrénéens (> 2000 mètres) et de la Corse. Il est de même fortement répandu dans la quasi-totalité de l'Europe Ceci résulte de ses grandes facultés d'adaptations aux différents habitats. [2]

B. Situation démographique

La croissance démographique des populations de chevreuils a toujours été sous grande influence des autorisations et interdictions de chasse [27].

Ces plans de chasse ont le but d'assurer un bon équilibre de la population en adéquation avec le milieu.

Il est impossible de connaître avec précision les effectifs des populations de chevreuils en France néanmoins les variations des tableaux de chasse d'une année sur l'autre reflètent l'évolution des effectifs de Chevreuil. L'effectif de chevreuils au niveau national est actuellement de l'ordre de 1.500.000 têtes [24].

C. Particularités morphologiques du chevreuil

Les individus sont désignés par des noms différents selon l'âge et le sexe : le mâle s'appelle le **brocard**, la femelle la **chevrette** [Fig. 2], le jeune jusqu'à 6 mois le **faon** puis de 6 à 12 mois le **chevrillard**. [2] On observe par ailleurs un léger **dimorphisme sexuel**, le mâle ou brocard étant légèrement plus imposant que la femelle appelée chevrette et est le seul à posséder

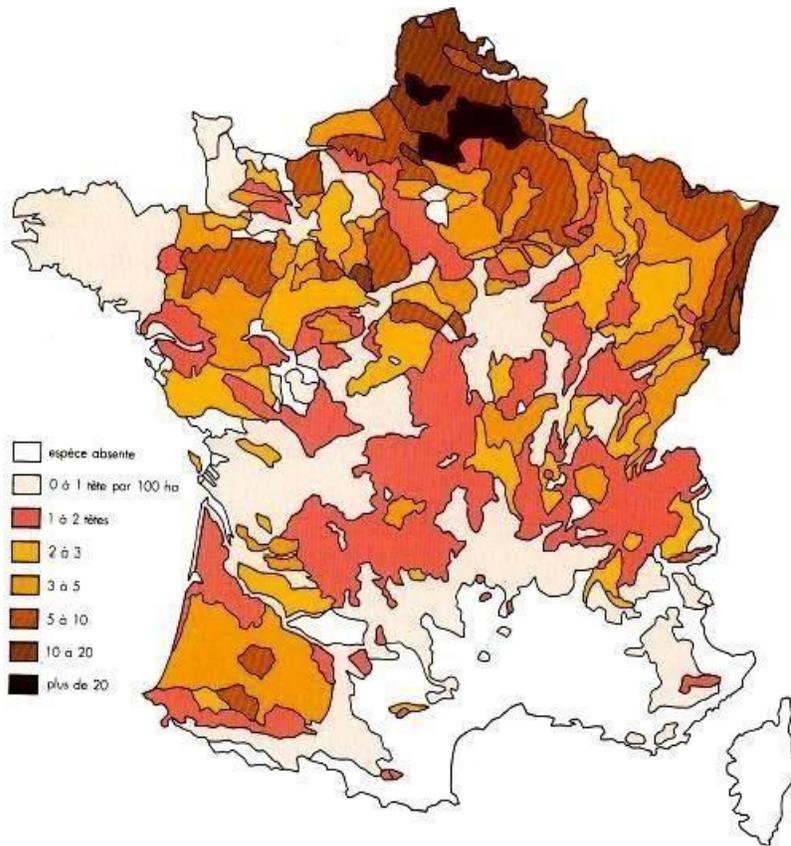


Fig.1 : Répartition du chevreuil en France. Estimation du nombre d'animaux adultes aux 100 ha boisés. Source : ONCF, 1981) [2]

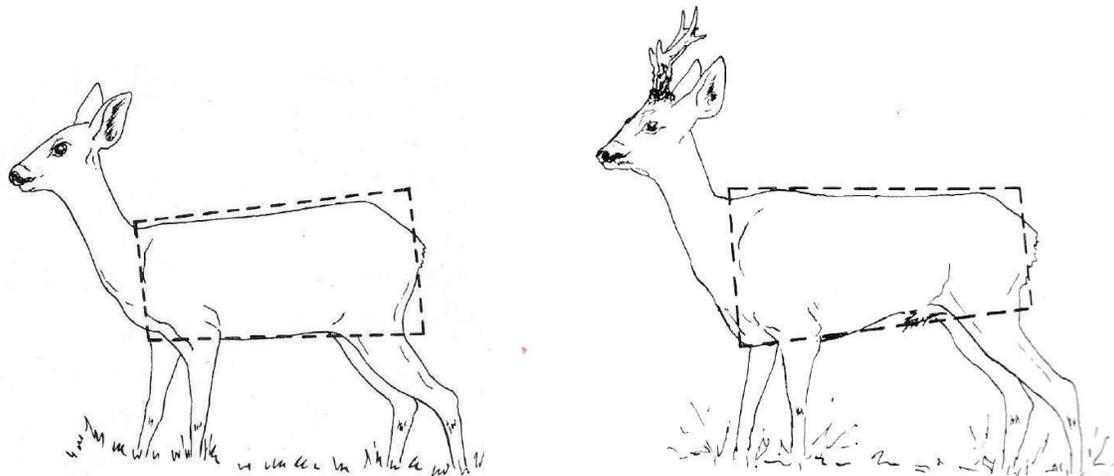


Fig.2 : Reconnaissance des sexes par la forme du corps. La chevrette a un corps trapézoïdal à l'inverse du brocard. [2]

des bois. Ces bois ramifiés portés sur le crâne tombent et repoussent chaque année et ont un renouvellement qui peut être associé à l'âge de l'animal.

A sa naissance le faon pèse entre 1.5 et 2 kg. Sa croissance est rapide et l'amène à peser à 6 mois environ 60% de son poids adulte (**20-25 kg**).

D'une hauteur au garrot de 60 à 80 cm et d'une longueur totale de 1 m à 1.25m, le chevreuil est le plus petit représentant des cervidés européens. [2]

C'est donc un modèle d'étude intéressant chez les ongulés, les captures et les manipulations étant plus facilement réalisables.

D. Habitat et alimentation

1. Habitat

Historiquement forestier et de lisières, le chevreuil très plastique, a su coloniser depuis les années 80 environ, les milieux ouverts tels que les plaines et bocages agricoles où ils trouvent refuge dans les bosquets, haies et champs cultivés. [2] Son principal facteur limitant est essentiellement l'Homme.

2. Alimentation [2]

Le chevreuil est un **polygastrique** (Rumen, Réticulum, Omasum, Abomasum). Son appareil digestif dégrade la cellulose et la lignine. Son alimentation est très diversifiée allant de bourgeons de semi-ligneux type ronces à des fruits (myrtilles, baies d'aubépines ...) pour les chevreuils forestiers, d'espèces herbacées pour ceux habitant en milieu ouvert.

La panse (4 à 6 litres) du chevreuil est petite par rapport à son poids (6%).

Il ne fait pas de réserve de graisse et a besoin pour l'élevage des jeunes (breeder), d'un apport d'énergie continue : on le qualifie donc « d'income breeder ». [2] C'est donc une **espèce « très dépendante » de la disponibilité immédiate de ses ressources alimentaires** qui est obligée de multiplier ses prises alimentaires et d'utiliser préférentiellement des végétaux à forte valeur nutritive. Les années où le climat est peu clément, et les ressources peu présentes, le nombre de naissances ainsi que la survie des jeunes sont largement diminués [13]. Il fait partie des espèces dites « sélectives » à l'inverse du cerf et des bovins.

Le chevreuil consacre 6 à 12 périodes à la prise alimentaire par jour.

Ces périodes d'alimentation sont suivies de phases de rumination qui représentent 7 à 8 heures du cycle journalier [Fig. 3] dont 2 particulièrement marquées au lever du jour et à la tombée de la nuit.

E. Physiologie de la reproduction [2]

La maturité sexuelle est atteinte dans les 2 sexes dès l'âge d'un an.

1. Le Rut et l'œstrus chez le chevreuil

La phase de rut qui se déroule de la mi-juillet à la mi-août est caractérisée par une activité et une agressivité du mâle à leurs maximums. Le chevreuil est **oligogame** i.e. un mâle pour quelques femelles.

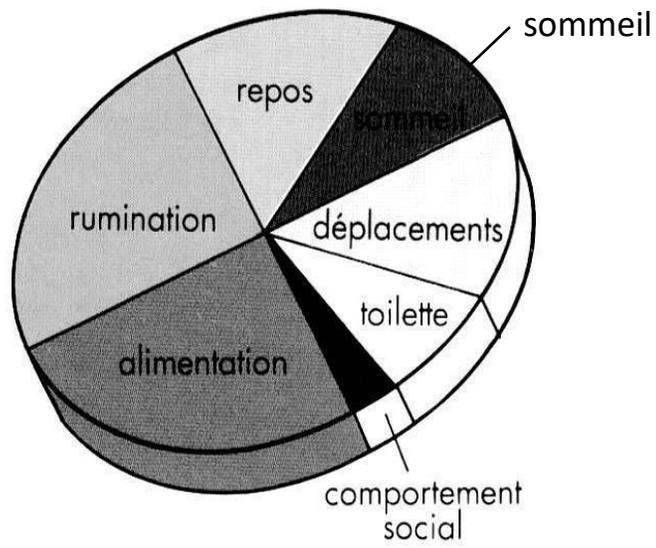


Fig.3 : Cycle annuel de l'activité de lisière (Garreau, 1981) [2].

L'œstrus chez la femelle dure 2 jours et si elle n'est pas fécondée durant cette période, elle devra attendre les prochaines chaleurs un an plus tard pour l'être. Elles se reproduisent toute leur vie.

2. L'ovo-implantation différée

La gestation dure environ 300 jours mais la phase effective de gestation n'est que de 130 jours car la nidification de l'œuf dans la paroi utérine ne se réalise qu'entre **début décembre et début janvier**.

On parle d'**ovo-implantation différée ou diapause embryonnaire**. [Fig.4]

3. La mise-bas et le nouveau-né

La période des mises bas s'étale de mai à juin. La taille de la portée est généralement de deux mais celle-ci peut aller jusqu'à 3 faons. [Fig.4]

Ce nombre dépend de la condition corporelle de la femelle, des ressources alimentaires ainsi que de la densité de la population [11].

Les léchages durant les premières heures de vie sont très nombreux, les contacts sont permanents.

La femelle cache ses faons dans des lieux différents l'un de l'autre, sous un couvert végétal dense et vient les nourrir régulièrement : c'est un comportement de type « hider ».

[Annexe 1] [24]

Ils commencent à suivre leurs mères dès l'âge de 8 jours et la têtent jusqu'à l'automne mais commence à consommer des végétaux dès 15 jours d'âge [2].

F. Comportement territorial et social

Les groupes familiaux sont constitués généralement d'une chevrette et de ses faons de l'année qui la suivent tout du long de leur période juvénile, période couvrant la première année de vie depuis la naissance jusqu'à l'âge d'un an [8].

L'éclatement du lien mère-jeune se produit au moment des nouvelles mises-bas entre avril et juin.

C'est le facteur à l'origine de la **dispersion** de l'espèce qui permet le brassage génétique des populations et **la colonisation de nouveaux espaces**.

Le mâle est **territorial** ce qui signifie qu'il défend une zone géographique plus ou moins étendue aux frontières de laquelle il s'oppose à l'entrée d'autres individus en particulier de la même espèce [2].

G. Impact des chevreuils sur les cultures et forêts

On retrouve **de plus en plus de chevreuils en milieu ouvert, dans les cultures agricoles**.

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. Ils frottent leur bois sur les jeunes troncs d'arbre afin de se débarrasser de leurs velours [Annexe 2] (on dit qu'ils frayent). L'écorce est alors abîmée et l'avenir de l'arbre peut être compromis.

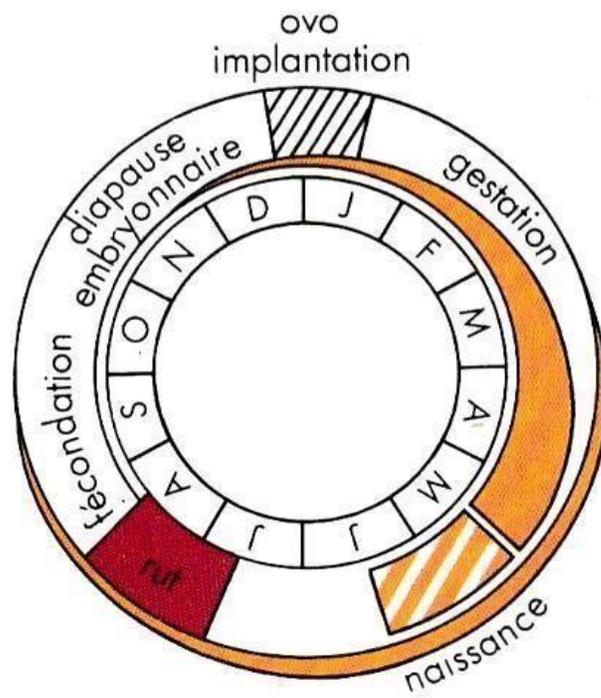


Fig.4: Cycle de la reproduction chez la chevrete (Source ONCFS) [2]

De même les brocards (les mâles) marquent leur territoire en frottant leur bois frayés (i.e. bois durs débarrassés des velours qui les recouvrent durant leur croissance) sur les rameaux (il y a des glandes à leur base). Le même type de dégâts est produit [5].

III. LES STRONGYLOSES DIGESTIVES ET AUTRES CAUSES DE MORTALITE CHEZ LE CHEVREUIL

Les principales causes de mortalité des chevreuils sont par ordre d'importance : les traumatismes (28%), les bactéries (16.5%), les parasites (10%) [Fig.5]. Il faut noter le grand pourcentage de causes indéterminées (26.5%) qui fait sous-estimer les pourcentages des différentes causes. [3]

A. Traumatismes

1. Chasse

La chasse représente 49% de la mortalité [Fig.6] Ces 49% représentent sans doute uniquement les blessures par la chasse et donc les animaux tués à la chasse ne sont pas comptés. La chasse à elle seule représente 30% de la mortalité.

On tue 550 000 à 600 000 chevreuils/an en France pour une pop de 1,5 million d'individus. [24] Les 6000 attributions au plan de chasse 2015/2016 montrent que le chevreuil est le grand gibier le plus chassé de la Haute-Garonne. [24][Fig.7]

C'est un animal relativement fragile donc toute blessure non mortelle pourra évoluer en septicémie et gêner l'animal dans ses déplacements l'exposant ainsi à de nombreux dangers (prédations, collisions ...) ou dans son alimentation l'entraînant à mourir au bout de quelques jours par inanition.

2. Collisions avec un véhicule

Les collisions représentent 17% des traumatismes [Fig. 6]. Depuis plusieurs années le réseau routier et le nombre de véhicules en circulation se développent constamment. De plus le chevreuil se rapproche des aires urbanisées. Ainsi les collisions entre véhicules et chevreuils deviennent de plus en plus probables. C'est donc actuellement un enjeu de sécurité routière à coût croissant pour la collectivité.

3. Combats intra-spécifique

Ces affrontements sont le monopole des mâles adultes qui marque ainsi leur territoire et leur domination sur les autres mâles.

Les mortalités des juvéniles peuvent être dus à des agressions par des mâles adultes. La mort peut être liée directement au traumatisme ou être secondaire (infection des structures suite au traumatisme).

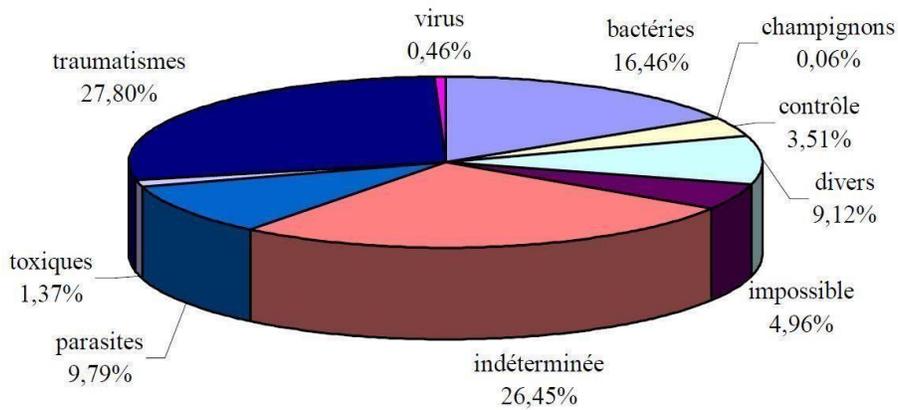


Fig. 5 : Principales causes de mortalité du chevreuil (Données SAGIR 1986)

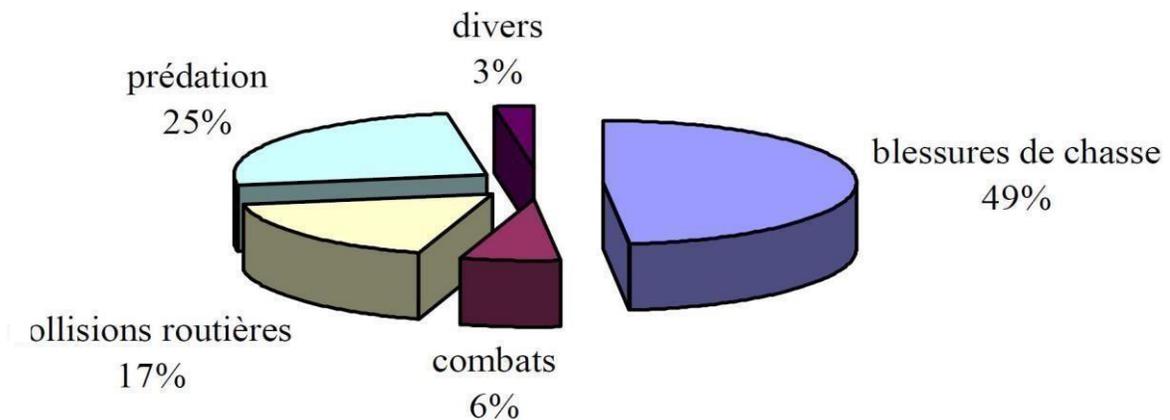


Fig. 6 : Principaux traumatismes responsables de mortalité chez le chevreuil (Données SAGIR de 1986 à 2003, n=1351) [3]

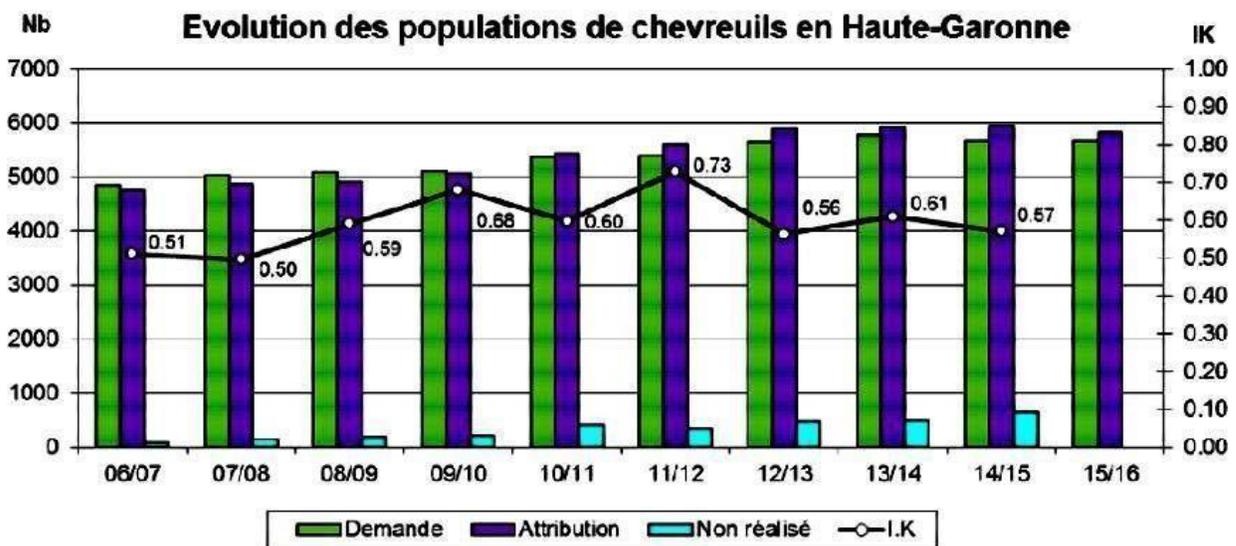


Fig. 7 : Evolution des populations de chevreuils en Haute-Garonne de 2006 à 2016 à partir des tableaux de chasse [25]

4. Prédation

La prédation présente 25% des morts par traumatismes [Fig. 6]. Durant les premières semaines de vie les faons misent sur leur mimétisme et l'absence quasi complète d'odeurs corporelles. Ils sont ainsi relativement protégés de la prédation. C'est durant la période juvénile (après quelques semaines de vie jusqu'à un an) que la prédation représente une cause majoritaire de mortalité.

Parmi les prédateurs, on récite les renards, les blaireaux mais aussi parfois les sangliers et les chiens de chasse ou errants.

Cependant la prédation peut cacher d'autres causes. Elle peut être une conséquence de l'abandon par la mère ou du manque de nourriture apporté par celle-ci. En effet un faon qui n'est pas assez nourri va appeler (via des vocalises) sa mère et à ce moment il sera plus facilement repéré par un prédateur.

5. Mécanisme agricole

Il a été montré que le machinisme agricole a un impact notable sur la mortalité des faons [9]. En effet, la fauche des prairies ou l'entretien des parcelles se déroulent durant la phase cryptique des jeunes faons [4].

B. Les maladies bactériennes et virales

Les principales natures pathologiques des maladies bactériennes sont : **les entérotoxémies les septicémies, les pathologies pulmonaires les pathologies nerveuses de type encéphalites et les colibacilloses** [Fig. 8].

Les virus ont très rarement été identifiés comme agents pathogènes responsables de la mort de Chevreuils (moins de 1% [Fig. 5]) des cas de mortalité identifiée. **Le virus de la rage et le virus du BVD** (Bovine Virale Diarrhoea ou Diarrhée Virale Bovine) ont été identifiés. [3]

C. Les strongyloses digestives et autres maladies parasitaires

1. Généralités sur le parasitisme du chevreuil

Le polyparasitisme ainsi que les parasitismes digestif et pulmonaire sont les principales causes de mort par parasitisme chez le chevreuil. Ils apparaissent souvent dans des situations de déséquilibres entre la population et son habitat. [3][6] On observe depuis 2003 une augmentation de la mortalité des chevreuils due au parasitisme. [27]

Les parasites entraînant la mort sont majoritairement les **nématodes digestifs et pulmonaires de type strongles** [Fig. 9]. On parle alors de strongyloses.

Les autres groupes de parasites sont soit peu pathogènes pour le chevreuil (exemple des cestodes, petite douve) soit des parasites rares (exemple de la grande douve). [3]

2. Les strongles gastro-intestinaux [25]

Les strongles sont des vers cylindriques, non segmentés, de dimensions variables, appartenant au groupe des Helminthes. Leur cycle évolutif est partagé en deux temps [Fig. 10]:

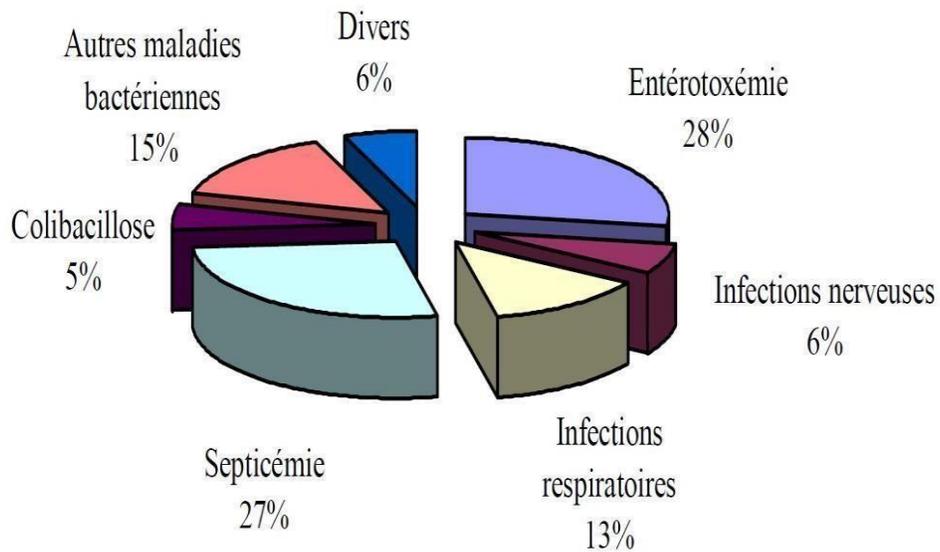


Fig. 8 : Principales maladies bactériennes chez le chevreuil
(Données SAGIR de 1986 à 2003, n=1350) [3]

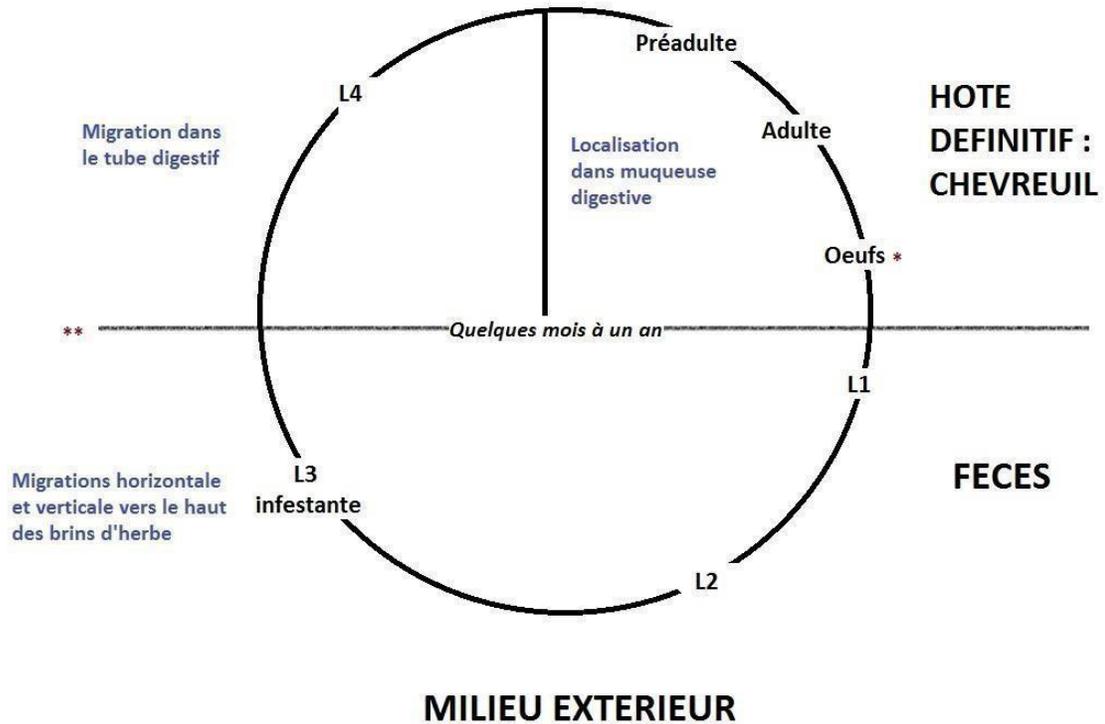


Fig. 9: Schéma personnel général du cycle évolutif des nématodes gastro-intestinaux des chevreuils

* Emission dans les fèces quand conditions favorables

** Contamination par ingestion

- **Un développement endogène dans l'hôte définitif (le chevreuil)**
- **Un développement exogène dans le milieu extérieur**

a) Développement exogène (environ 10 jours)

L'**accouplement** mâle-femelle a lieu dans le tube digestif de l'hôte définitif. La femelle y **pond** des œufs qui seront émis dans le milieu extérieur via les matières fécales.

Lorsque les conditions extérieures sont favorables les œufs éclosent pour donner une **larve L1 qui devient L2 puis L3** en restant dans les matières fécales qui fournissent nourriture et abri. Ce sont des phases libres qui aiment l'humidité.

La pluviométrie idéale correspond à 50 mm par mois au minimum. La température optimale est d'environ 22-25°C, et permet un développement de l'œuf en larve infestante en 5 à 7 jours [25].

Le stade L3 ne se nourrit plus et effectue une **migration horizontale** pour s'éloigner de la zone de répugnance (zone où l'animal n'ira pas se nourrir) puis une **migration verticale** pour atteindre les hauts des brins d'herbe. C'est **la forme infestante**.

L'humidité assure la survie des larves et conditionne la migration des larves depuis les bouses vers l'herbe ingérée. En cas de sécheresse estivale, les larves présentes dans l'herbe meurent et la migration est stoppée. Les larves dans les bouses peuvent y survivre et pourront poursuivre le cycle aux pluies suivantes.

b) Développement endogène (quelques mois à un an)

L3 devient L4 dans la muqueuse du tube digestif du chevreuil, puis adulte immature dans la lumière de l'organe digestif. En 21 jours environ après ingestion de L3 l'adulte immature devient mature.

Chez les jeunes animaux infestés par L3, lorsque les températures environnementales sont basses (en deçà de 10°C [25]) en hiver, la larve entre en hypobiose (arrêt du développement larvaire après la mue L3-L4). Il y a enkystement des larves L4 dans les muqueuses du tube digestif pendant 4 voire 5 mois.

3. Symptomatologie des strongyloses digestives

Les strongles digestifs ont une action spoliatrice et toxique qui provoque des diarrhées abondantes qui affaiblissent l'animal.

On observe donc un état général dégradé : amaigrissement, poil terne et piqué, apathie. Ils ont un effet négatif sur la croissance des jeunes (taille, poids).

Ainsi la gestion des populations de chevreuil ont un intérêt tant sylvicole, que sécuritaire et sanitaire. [1]

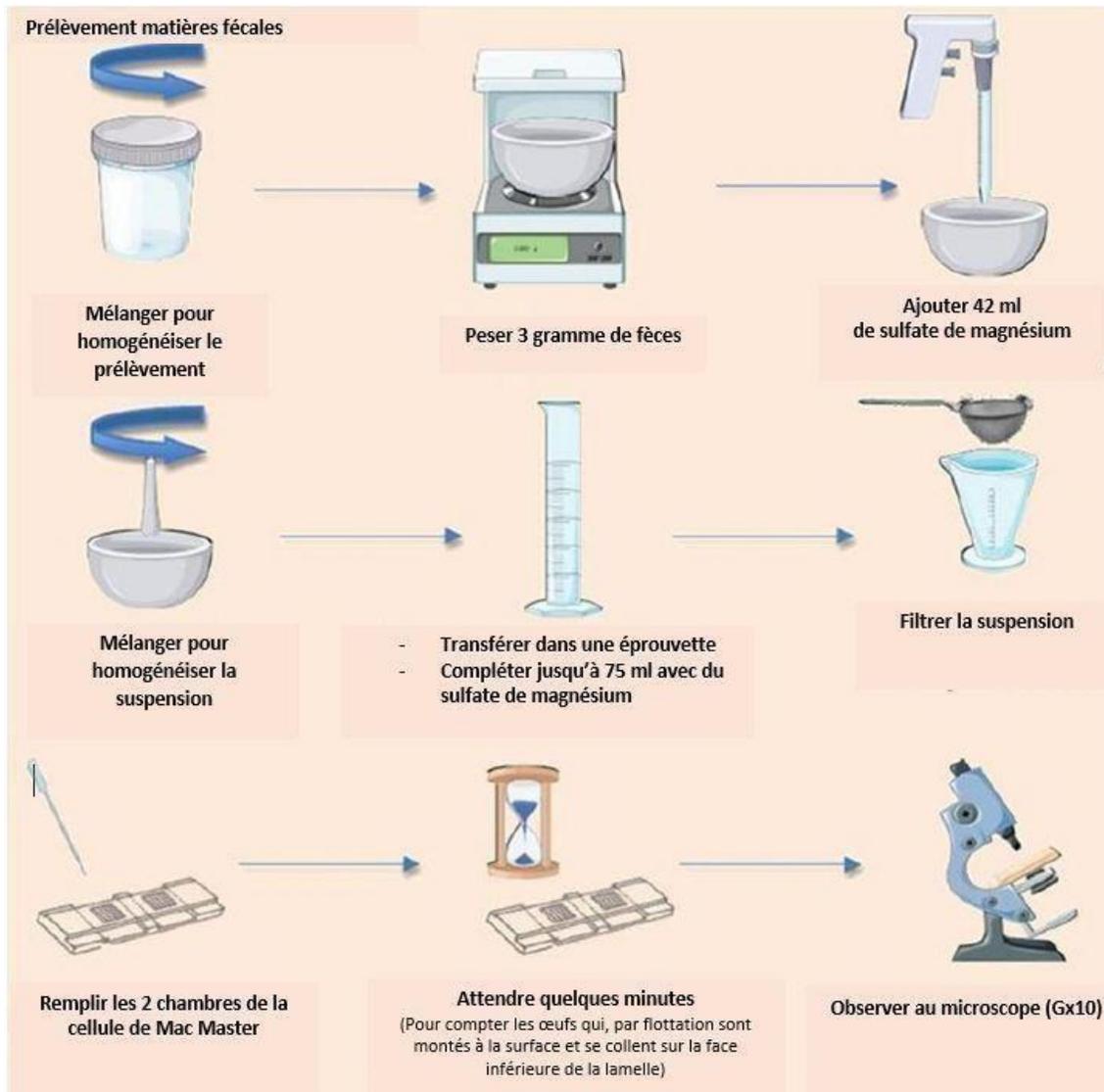


Fig.10 : Technique coproscopique de Mac Master [21]

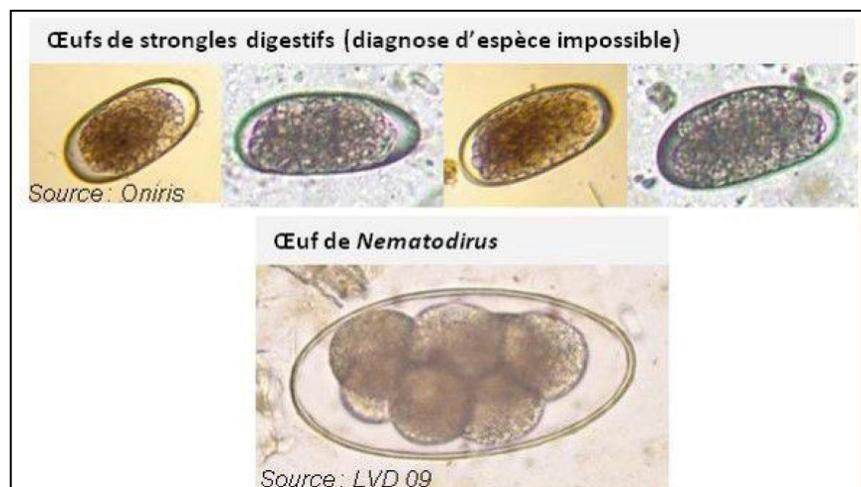


Fig.11 : Œufs de strongles gastro-intestinaux (microscope optique Gx10) [3]

IV. MATERIEL ET METHODES

A. Travaux préliminaires

1. Capture des chevreuils adultes

Les captures des adultes ont lieu en janvier-février. A cette occasion 6 battues sont organisées sur la zone d'étude. Chacune d'elle met en œuvre 5,5 km de filets spécialement dédiés à la capture de chevreuils. Une centaine de rabatteurs et de capteurs poussent et capturent alors les chevreuils présents dans la zone dans ces filets.

Lors des captures la contention est primordiale : une personne tient les membres postérieurs, une autre 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. Une injection de 0,3 ml d'**acépromazine** (Calmivet, Vétoquinol) est réalisée par voie intramusculaire dans la cuisse pour tranquilliser l'animal et faciliter les manipulations.

Après identification des animaux capturés pour la première fois via des boucles auriculaires numérotées et la pose d'un transpondeur qui permet une identification ultérieure de l'animal en cas de perte des boucles auriculaires, les membres de CEFS procèdent au sexage, à la pesée et notent l'état général de l'animal. Il est ensuite 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). Enfin des **échantillons de sang, de fèces et de poils** pour obtenir des données sur la santé, l'alimentation et la génétique des individus sont récoltés.

2. Prélèvement et analyse coprologique

Les selles sont collectées par voie transrectale 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 selon la méthode Mac Master. [Fig. 10]

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 denses que le liquide remontent à la surface, on remplit une **lame de Mac Master** puis on compte les œufs [Fig. 11].

On obtient ainsi le nombre de parasites par gramme de fèces.

Dans ce mini projet nous nous intéresserons aux quantités de **strongles gastro-intestinaux**.



Fig. 12 : Photographie personnelle de l'antenne Yagi et du boîtier Biotrack

3. Capture des faons

La capture des faons a lieu du mois de mai à début juin et dans les 15 premiers jours après la naissance car passé ce délai les faons s'enfuient à l'approche de l'Homme.

Leur suivi se fera entre mi-juin et début septembre.

a) Localisation du faon

On localise la mère grâce au signal de son collier puis on l'observe :

1) 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 dite « **réactive** » si elle réagit au son produit et ceux dès sa mise bas et tant que le faon a besoin d'être nourri.

2) On regarde **l'évolution du ventre**, auquel on attribue une note allant de 1 à 3 (1 efflanquée à 3 très ronde, proche de la mise bas).

3) Dans le même temps On surveille également **le développement des mamelles** dont l'apparition témoigne d'une mise bas imminente.

Ceci permettent de connaître approximativement la date de mise base.

C'est lors d'affuts de plusieurs heures, que l'observation du comportement de la femelle permet de localiser l'un de ses faons. [Communication personnelle]

b) Collecte de données

Une fois capturé, le faon **est pesé, sexé, évalué (comportement, morphologie, état général), équipé de boucle auriculaires et d'un collier VHF** moins lourds que ceux des adultes (50 g) [Communication personnelle] et extensible pour s'adapter à la croissance des jeunes.

Lorsqu'un animal est mort, le signal voit sa fréquence multipliée par 2.

Il faut alors retrouver l'animal pour récupérer le collier puis congeler le corps en vue de l'autopsier pour déterminer les causes de la mort.

4. Suivi des faons et de leur mère par radiopistage

Le radiopistage débute début le plus tôt possible après la capture et se poursuit jusqu'à fin août.

Une antenne réceptrice à 3 brins (Yagi) reliée à un récepteur (Biotrack) est utilisée [Fig.12]. Ce dispositif traduit le signal émis par le collier en un bip sonore dont l'intensité est chiffrée sur l'écran du boîtier.

Une **triangularisation** est nécessaire c'est-à-dire faire trois directions sécantes à partir de 3 endroits éloignés les uns des autres puis recouper ces directions pour enfin déterminer l'emplacement précis de l'animal.

B. Données et traitements

Le traitement des données a été effectué avec le logiciel statistique R.

Label	an	sexe	datenaiss_min	cause_f_suivi	obs	fin_suivi	Surv(as.numeric(time_event_min), statut_40_min)								
F0428	2007	m	2007-05-06	mort	abandon	2007-05-08	2	F1106	2013	m	2013-05-10	pb vhf	disp 2015	2016-02-20	1014+
F0421	2007	m	2007-05-06	mort	abandon	2007-05-08	2	F1104	2013	f	2013-05-17	drop off	gps 2014	2014-12-16	576+
F0410	2007	m	2007-05-07	mort	collision	2007-08-31	114+	F1135	2013	m	2013-05-04	mort	renard	2013-06-12	38
F0077	2007	m	2007-05-05	drop off	gps	2008-12-15	588+	F1148	2013	m	2013-05-19	drop off	gps 2014	2014-12-16	575+
F0080	2007	m	2007-05-22	pb vhf		2009-01-01	588+	F1092	2013	m	2013-04-22	mort	disp/collision/24 kg	2014-04-24	364+
F0518	2008	m	2008-05-09	mort	abandon	2008-05-20	10	F1132	2013	m	2013-05-09	drop off	gps 2014	2014-12-16	584+
F0502	2008	m	2008-05-07		non disp	2009-11-30	570+	F1123	2013	m	2013-05-21	mort	blaireau	2013-05-29	6
F0512	2008	f	2008-05-06	mort	renard	2008-06-05	25	F1171	2013	f	2013-06-03	mort	pb digestif	2013-06-28	23
F0536	2008	f	2008-05-25	mort	chasse	2008-11-10	164+	F1209	2014	m	2014-05-02	mort	renard	2014-05-09	5
F0542	2008	f	2008-05-31	drop off	gps	2009-12-21	567+	F1220	2014	m	2014-05-09	pb gsm	gsm 2015	2017-08-23	1200+
F0538	2008	f	2008-05-31	mort	chasse	2008-11-10	161+	F1203	2014	m	2014-05-09	mort	renard	2014-07-05	55+
F0557	2009	m	2009-05-02	mort	renard	2009-05-24	21	F1239	2014	f	2014-05-12	mort	renard	2014-05-26	11
F0549	2009	f	2009-05-03	malveillance		2009-05-09	4	F1249	2014	f	2014-05-17	mort	strongylose	2014-09-09	112+
F0573	2010	m	2010-04-24	pb vhf	obs VI 2011	2011-02-01	280+	F1226	2014	m	2014-05-25	mort	renard	2014-05-30	4
F0556	2010	f	2010-05-01	mort	froid	2010-05-09	6	F1228	2015	m	2014-05-18	mort	renard	2015-06-12	389+
F0580	2010	m	2010-05-02	pb vhf		2011-02-01	273+	F1230	2015	f	2015-04-27	mort	cachexie/necro	2015-06-30	64+
F0586	2010	f	2010-05-05	drop off	gps 2011	2011-10-13	524+	F1261	2015	m	2015-05-09	mort	renard	2015-05-13	4
F0582	2010	f	2010-05-12	drop off	gps 2011	2011-10-25	530+	F1270	2015	f	2015-05-10	pb vhf		2016-05-15	371+
F0002	2010	m	2010-05-14	mort	cachexie	2010-05-20	2	F1272	2015	m	2015-05-10	mort	cachexie	2015-05-25	15
F0596	2010	m	2010-05-21	mort	inconnue	2010-05-29	5	F1265	2015	f	2015-05-11	mort	chien	2015-06-12	32
F0608	2010	m	2010-05-22	mort	chute fosse	2010-07-09	46+	F1283	2015	m	2015-05-16	mort	renard	2015-05-28	12
F1008	2011	f	2011-05-03	mort	abandon	2011-05-07	3	F1303	2015	m	2015-05-29	drop off	gsm 2016	2016-11-21	542+
F1003	2011	f	2011-05-06	mort	renard	2011-05-19	12	F1322	2016	m	2016-05-01		gsm 2017	2017-08-23	479+
F1032	2011	f	2011-05-23	mort	chasse	2012-02-18	270+	F1328	2016	f	2016-04-28			2017-08-23	482+
F1034	2011	m	2011-05-12	pb vhf	disp	2012-08-01	442+	F1309	2016	f	2016-04-29	mort	cachexie	2016-05-17	18
F1046	2011	m	2011-05-26	mort	chien	2011-08-30	94+	F1330	2016	f	2016-05-08	mort	collision	2016-11-17	193+
F1054	2011	m	2011-05-28	mort	collision	2012-05-08	344+	F1332	2016	m	2016-05-08	mort	chien	2016-08-07	91+
F1062	2011	f	2011-05-31	mort	collision	2012-09-13	470+	F1351	2016	f	2016-05-11	mort	predation	2016-05-23	12
F1060	2011	m	2011-05-29	mort	inconnue	2012-04-06	311+	F1353	2016	m	2016-05-15	mort	emphys?me ou	2016-05-30	15
F1089	2012	f	2012-05-29	pb vhf		2014-11-15	899+	F1376	2016	m	2016-05-11		gps 2017	2017-08-23	469+
F1099	2012	f	2012-05-28	mort	inconnue	2012-10-21	145+	F1374	2017	m	2017-04-29			2017-08-23	116+
F1019	2012	m	2012-05-21	disp	gps 2013	2013-12-19	576+	F1428	2017	f	2017-05-18			2017-08-23	97+
F1083	2012	m	2012-05-14	mort	pathologie	2013-06-01	382+	F1420	2017	f	2017-05-24	mort	collision	2017-06-30	37
F1011	2012	f	2012-04-30	mort	chasse	2013-02-10	285+	F1434	2017	f	2017-05-23	mort	necropsie	2017-06-09	17
F1133	2013	m	2013-05-04	collier au sol	collier au sol	2015-01-31	636+	F1436	2017	f	2017-06-04			2017-08-23	80+
F1102	2013	m	2013-05-19	mort	cachexie	2013-05-31	11	F1438	2017	m	2017-06-01			2017-08-23	83+
F1173	2013	m	2013-05-30	mort	renard	2013-07-11	40+	F1410	2017	m	2017-06-05			2017-08-23	79+

Fig. 13 : Tableau du jeu de données 2007-2017 extraites de la base de données du CEFS (voir annexe logiciel R)

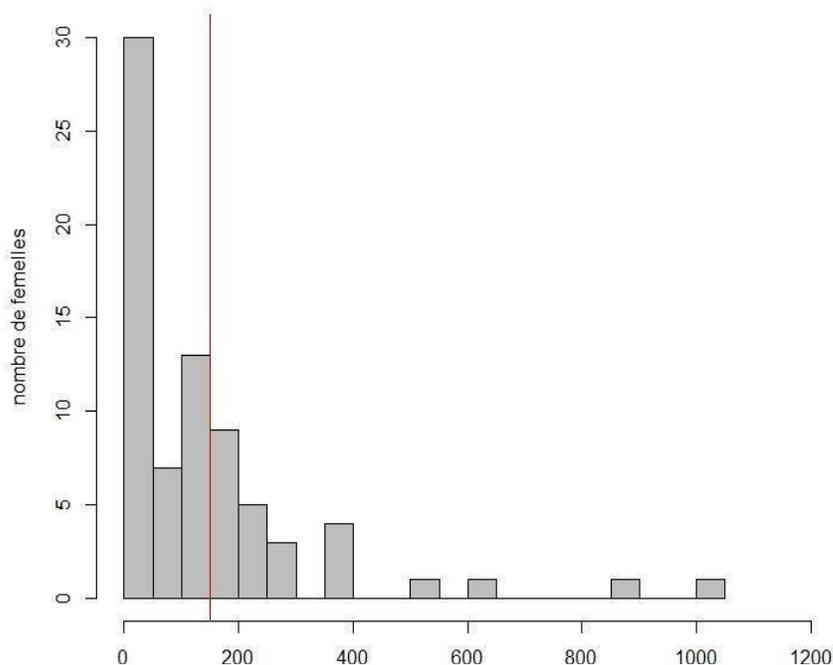


Fig. 14 : Histogramme représentant la distribution de la charge parasitaire en strongles gastro-intestinaux des femelles en début de gestation. La médiane est indiquée en rouge (Données CEFS de 2007 à 2017).

1. Tri des données

Entre 2007 et 2016, **265** faons ont été capturés et suivis par radiopistage.

Sur ces 265 faons, 21 ont été enlevés car **morts par fauchage, cause de mortalité indépendante du parasitisme de la mère.**

Sur ces 244 faons restants, 160 ont été enlevés par **manque de données sur le parasitisme des mères en début de gestation.**

Puis 4 faons ont été enlevés sur les 84 faons restants car morts par **agression d'un mâle.** En effet le mâle, territorial, agresse tous les animaux qu'il rencontre sans sélectivité. Cette cause est donc aussi indépendante du parasitisme de la femelle.

Un faon est enlevé sur les 80 faons restants car nous ne connaissons pas sa date de naissance et que donc nous ne pouvons estimer son temps de survie.

Enfin 5 faons sont retirés des données car ils n'ont pas été suivis après la pose du collier (problème technique des colliers). Ils sont censurés à droite car sortis involontairement de l'étude.

Notre traitement de données s'intéressera aux 40 premiers jours des faons pour pouvoir comparer les résultats avec l'étude d'Hodoul [19].

En effet au vu des courbes de survie de ses cohortes, 40 jours était la durée à partir de laquelle la survie des faons n'était plus influencée par le statut parasitaire de la mère. [19] Sur la [Figure 14](#) en regard de cette page, les données suivies d'un « + » sont les données censurées à droite. Les faons censurés à droite sont ceux qui ne sont pas mort avant la date de la fin d'étude (17/07/2017) ou ceux qui ont quitté l'étude (perdus de vue) mais dont la cause du départ est indépendante du risque de mortalité.

Ainsi nous traiterons les données de 74 faons sur la période de 2007 à 2017

Nous aurons donc 44 mâles et 30 femelles parmi lesquels 27 faons sont morts durant leurs 40 premiers jours de vie (abandon, prédation, maladie ...).

2. Travail préliminaire : établissement de classes d'infestation par les strongles gastro-intestinaux pour les mères de 2007 à 2017

J'ai visualisé les données d'infestation en réalisant un histogramme [Fig.14] qui 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 parasitées** 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.

niveau d'infestation en strongles totaux de 522 individus entre 2007 et 2017

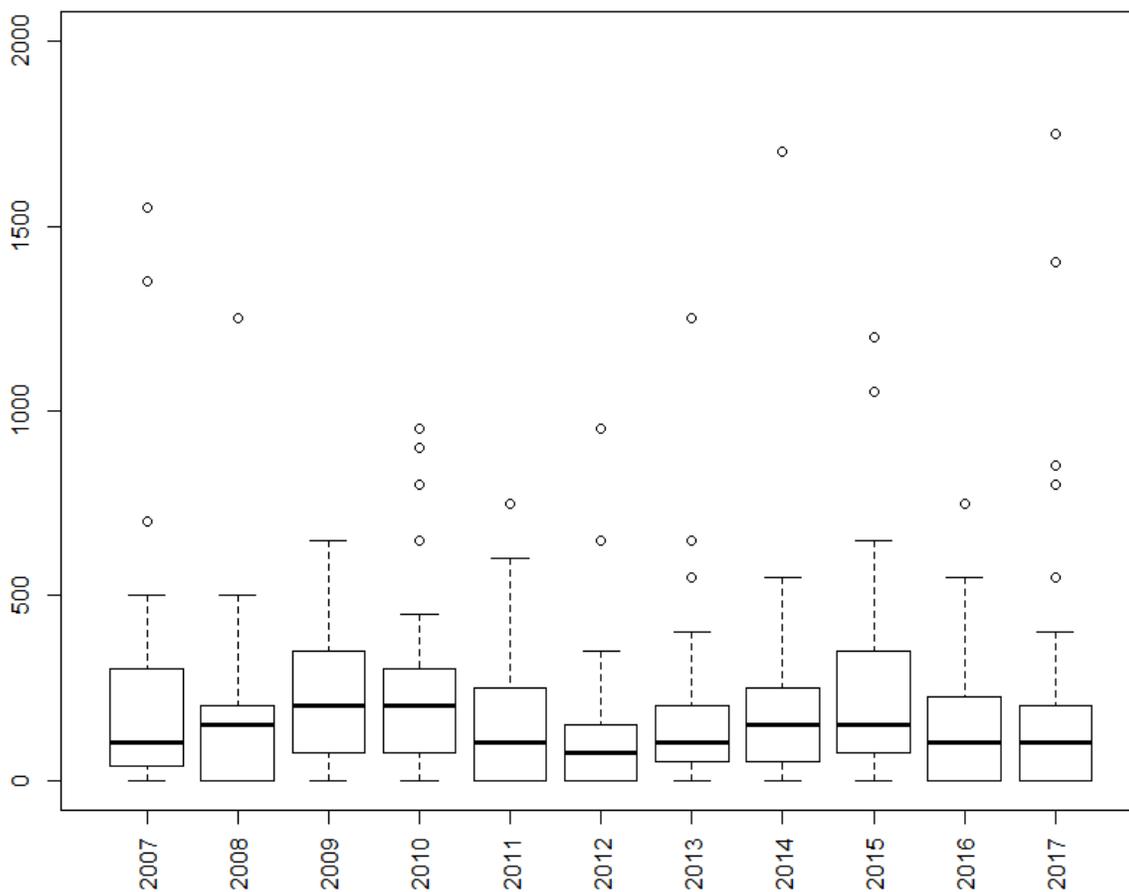


Fig.15 : Boîte à moustache représentant la distribution des niveaux d'infestation en strongles des femelles en début de gestation année après année de 2007 à 2017. (Base de données du CEFS, n=522).

3. Comparaison de l'infestation en strongles gastro-intestinaux année après année des chevrettes

Nous souhaitons comparer les années 2007 à 2017 entre elle concernant l'infestation en strongles gastro-intestinaux des populations de chevette en début de gestation en sachant que ces populations sont de tailles différentes. Nous souhaitons avoir une tendance générale donc nous prenons le jeu de données le plus large possible. Nous prenons pour cela toutes les femelles ayant eu une coprologie de faite sur la période 2007 à 2017 (**522 individus**) et non pas seulement celles ayant des faons suivis pour avoir plus de significativité dans nos résultats et traçons un diagramme en boîte à moustache [Fig.15].

Pour chaque année d'étude nous obtenons :

- 1) Un rectangle allant du premier quartile au troisième quartile des données en strongles gastro-intestinaux de l'année et coupé par la médiane de l'année.
- 2) Des segments aux extrémités montrent les valeurs extrêmes de l'année.

4. Réalisation de la courbe de survie des faons

a) La méthode Kaplan-Meier

Une étude de survie nécessite la connaissance du nombre de sujets qui entrent dans l'étude (quel que soit le moment de leur entrée), le nombre de sujets qui décèdent pendant la durée de l'étude, le nombre de sujets qui disparaissent de l'étude parce qu'ils sont perdus de vue, ou parce qu'ils sont morts d'une autre cause que celle qui rentre dans le cadre de la pathologie étudiée.

Certains sujets sont "**Censurés à droite**". Ceci concerne :

- **Ceux qui sont toujours vivants à la fin de l'étude**
- **Les perdus de vu** i.e. ceux qui partent inopinément de l'étude avant la date de fin. La raison de leur départ est indépendante du risque de mortalité et ils étaient encore vivants au moment où ils ont quitté l'étude. [10][15]

Pour chaque individu, il faut donc connaître :

- 3) ses dates d'entrée et de sortie
- 4) la raison qui justifie sa sortie de l'étude (mort ou censure) ou s'il est toujours en vie à la fin de l'étude.

A chaque instant, le modèle 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.

Les courbes de survie de Kaplan-Meier s'expriment par un graphique en marche d'escalier où la hauteur d'une marche est proportionnelle à la survenue d'un ou plusieurs événements de mortalité [17] [18].

On peut observer des écarts dans les courbes dans les directions horizontale ou verticale.

Un écart vertical signifie qu'en ce point spécifique, un groupe a une plus grande quantité de sujets ayant survécus que l'autre groupe.

Niveau d'excrétion évalué par coproscopie quantitative (opg)	Interprétation sur l'infestation
opg < 50	Faible
50 < opg < 500	Moyenne
500 < opg < 2500	Elevée
opg > 2500	Très élevée

Fig.16 : Intensité des infestations en strongles gastro-intestinaux bovins/ovins et caprins [3]

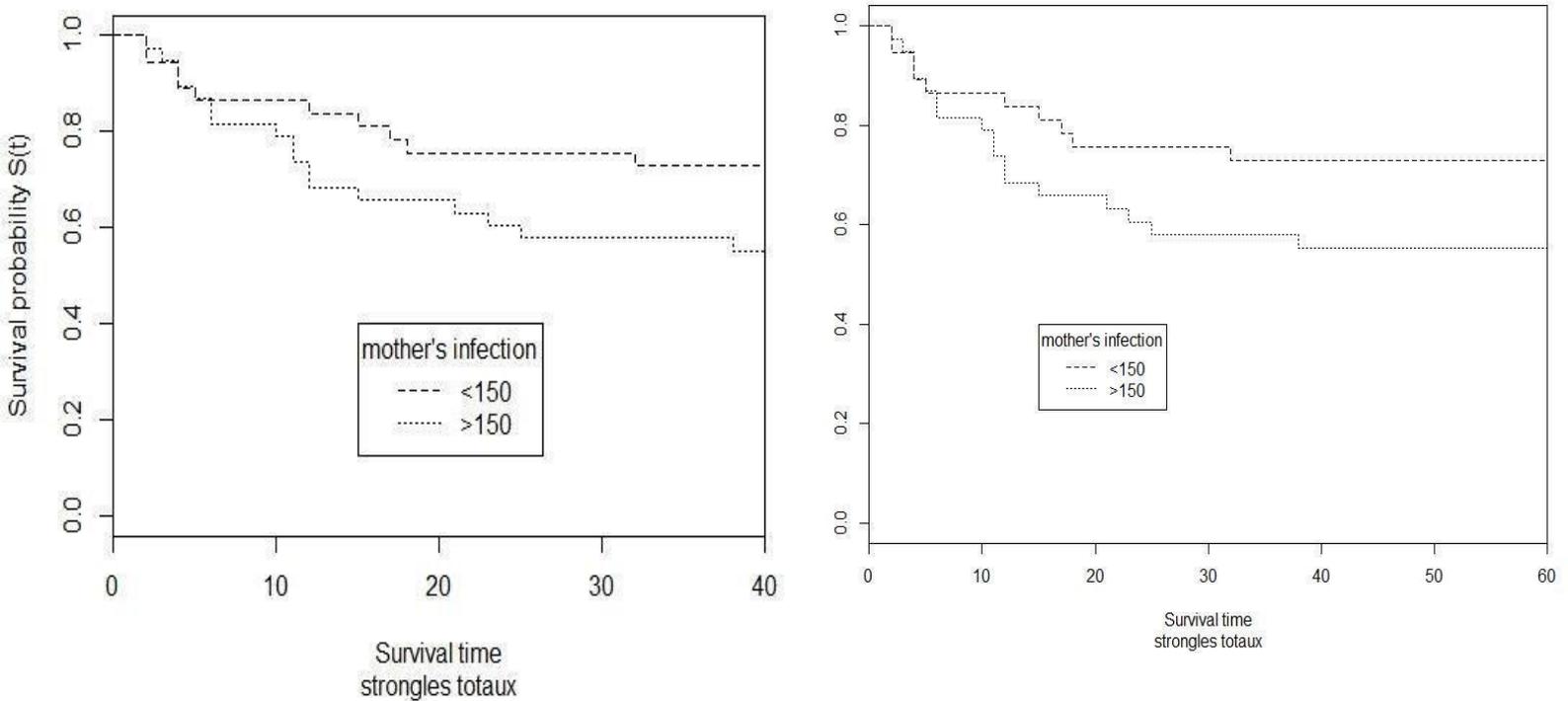


Fig. 17 : Courbes de survie des 2 cohortes de faons de l'étude (à gauche sur 40 jours et à droite sur 60 jours) (Données CEFS de 2007 à 2017, logiciel R).

```
> survdiff(Surv(as.numeric(time_event_min), statut_40_min)~ as.factor(strclass), rho=0)# rho=0 Mantel-Haenszel i.e. log-rank
Call:
survdiff(formula = Surv(as.numeric(time_event_min), statut_40_min) ~
  as.factor(strclass), rho = 0)

      N Observed Expected (O-E)^2/E (O-E)^2/V
as.factor(strclass)=<150 36      10      13.9      1.12      2.35
as.factor(strclass)=>150 38      17      13.1      1.19      2.35
```

Chisq= 2.3 on 1 degrees of freedom, p= 0.125

Fig. 18 : Résultat du test log-rank pour les 40 premiers jours de vie des faons de l'étude (Données CEFS de 2007 à 2017, logiciel R).

Un écart horizontal signifie qu'un groupe prend plus de temps que l'autre pour avoir une certaine quantité de morts. [11]

b) Courbes de survie des 2 cohortes de faons de 2007 à 2017

Pour calculer la fonction de survie de chacun des 2 groupes énoncés ci-dessus en IV.B.2. et les représenter, j'ai utilisé 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**. [Voir Annexe 3]

L'intérêt de tracer des courbes de survie est de pouvoir les comparer pour porter un jugement sur l'espérance de survie d'une population de faons nés de mères faiblement parasitées par rapport à des faons nés de mères fortement parasitées. Les deux courbes de survies de mes 2 groupes (ou cohortes) sont-elles significativement différentes ? On procède alors à un test de comparaison de survie.

5. Comparaison des survies des cohortes

a) Choix du test de log-rank

Du fait de la censure, les tests classiques de comparaison de la survie dans plusieurs groupes tels que le test de Wilcoxon ou le t-test ne peuvent s'effectuer [17].

On utilisera le test du log-rank.

On cherche à quantifier les différences observées entre les 2 courbes de survie des deux groupes avec la théorie sous l'hypothèse nulle (H0) suivante : « H0 = les deux courbes de survie ont des profils identiques, le risque de « décès » à un moment donné est donc le même dans les deux groupes ».

La statistique du test suit, sous cette hypothèse, une distribution de Chi².

L'hypothèse nulle sera acceptée ou rejetée avec un risque de 5 %.

Il faudra bien vérifier que la durée de 40 jours est applicable à notre étude de 2007-2017 i.e. que l'écart entre les courbes de survie entre nos deux cohortes n'est pas constant durant cette période car dans ce cas le test effectué log-rank perdrait en puissance.

b) Comparaison des survies des 2 cohortes de faons sur la période de 2007 à 2017

Les deux cohortes de faons à partir des données d'infestation de leurs mères (**variable treatment**) ont été préalablement créés (faons à mères fortement parasitées : ≥ 150 strongles par g de fèces, faons à mère faiblement parasitées : <150 strongles par gramme de fèces).

Le test du log-rank est réalisé au moyen de la fonction **survdiff** du package survival : `survdiff(Surv(time,status)~treatment,data=mydata)`.

Treatment est le traitement réalisé sur les groupes pour lesquels on souhaite comparer les probabilités de survie. [Voir Annexe 3]

Modèles de croissance des faons

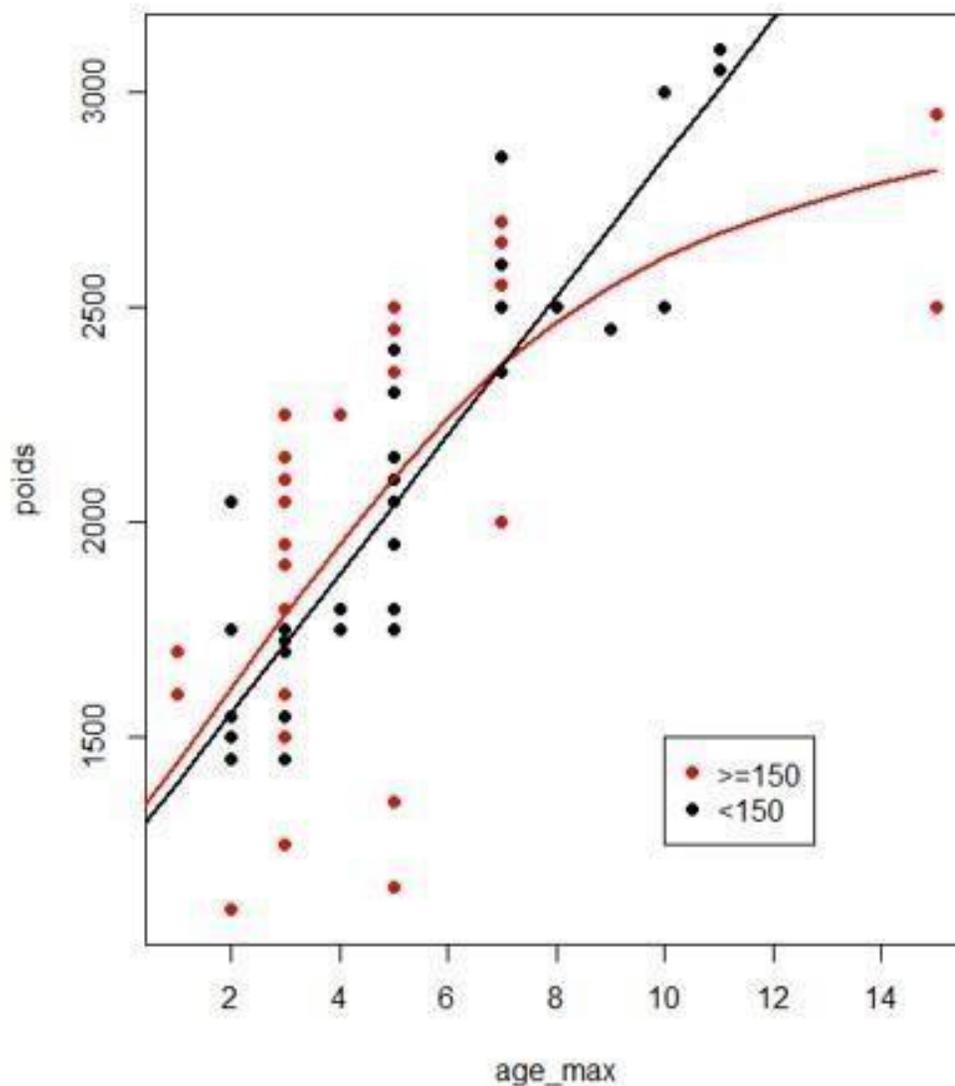


Fig.19 : Représentation des deux meilleurs modèles décrivant la courbe de croissance des faons (poids des faons en fonction de leur âge (age_max)). [19]

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.

V. RESULTATS

A. Une infestation en strongles gastro-intestinaux de niveau moyen sur la période 2007-2017

Dans la base de données du CEFS de l'INRA allant de 2007 à 2017, sur les 157 chevrettes dont les faons ont été suivis et chez lesquelles des strongles digestifs ont été recherchés, 75 individus soit 48% de ces femelles se sont révélées infestées à des degrés plus ou moins importants (de 0 à 1050 œufs de strongles par grammes de fèces).

La médiane globale du niveau d'infestation sur cette période s'élève à 150 œufs de strongles gastro-intestinaux par gramme de fèces.

Ainsi, globalement, sur la période 2007-2017, 48% des chevrettes étudiées sont moyennement infestés par les strongles gastro-intestinaux. [Fig.16].

B. Des valeurs d'infestation plus faibles dès 2012

La représentation de la variance du taux d'infestation en strongles totaux au fil des années au moyen d'un graphique en boîte à moustache nous permet d'obtenir des informations visuelles sur la tendance d'infestation des chevrettes étudiées [Fig.17].

Les calculs de médiane nous montrent que pour la plupart des sous-groupes après 2012, la médiane prend des valeurs plus faibles que pour les groupes avant 2012. La médiane est la même pour les années 2013, 2014, 2016 et 2017 (150 strongles gastro-intestinaux par gramme de fèces).

Les boîtes à moustache ne sont pas symétriques autour de la médiane, cela signifie que la distribution des données autour de la médiane est différente i.e. que la variance au sein du groupe des femelles fortement infestées est différente de la variance au sein du groupe de femelles faiblement infestées.

Ainsi le graphique montre que l'infestation en strongles gastro-intestinaux est constante sur les années 2013-2017 (exceptée 2015) et que les chevrettes de 2007 à 2012 étaient plus infestées en strongles totaux que celles de 2013 à 2017.

C. 2015 une année particulière

Sur la boîte à moustache [Fig.17], nous observons que 2015 est l'année, durant la période étudiée, pour laquelle la variance du taux d'infestation en strongles totaux des chevrettes est la plus grande : de 0 à 1050 œufs de strongles par gramme de fèces.

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

L'observation des courbes de survie de nos cohortes qui divergent entre 8 et 40 jours puis deviennent parallèles [Fig.18], nous montre qu'à partir de 40 jours la survie des faons n'est plus influencée par le statut parasitaire de la mère.

a) Les 8 premiers jours de vie : une période déterminante pour la survie du faon

Au début de l'étude donc à l'origine de l'axe des abscisses [Fig.18], les faons naissent donc leur probabilité de survie est égale à 1.

Jusqu'à 8 jours les courbes de survie ne sont pas significativement différentes entre les faons issus de mère fortement parasités et les faons issus de mères faiblement parasitées.

Néanmoins on peut aussi observer qu'entre 0 et 8 jours, la pente des 2 courbes sur le graphique sont les plus fortes, suggérant une importante mortalité des faons des deux lots durant cette période.

Ainsi qu'elle que soit le statut parasitaire concernant les strongles totaux de la mère, les chances de survie des faons sont les mêmes et on peut noter que les premiers 8 jours de vie sont les plus déterminant dans la survie des faons.

b) Influence du parasitisme sur la survie du faon entre le 8^{ème} et 40^{ème} jour de vie

Graphiquement, la courbe de survie des faons nés de mères fortement parasitées décroît plus rapidement que celle des faons nés de mères faiblement parasitées [Fig.18].

Mais le test du log-rank montre que cette différence n'est pas significative (khi-deux = 2.3, ddl = 1, $p= 0.125$) [Fig.19].

Ceci nous amène à dire que le statut parasitaire de la mère n'influence pas de façon significative la survie du faon sur la période 2007-2017 contrairement à ce qui avait été trouvé sur la période 2007-2015 [19].

VI. DISCUSSION ET PERSPECTIVES

A. Conclusion globale

Il apparait dans notre étude allant de 2007 à 2017 sur le milieu ouvert de la commune de Saint-André et au sein d'une population de chevreuils sauvages que **l'infestation en strongles digestifs des chevreuils femelles, n'ait pas un impact significatif sur les probabilités de survie de leurs faons entre leur 8^{ème} et le 40^{ème} jour de vie.** Il en est de même avant et après cette période.

B. Discussions

- 1) Une médiane d'infestation en strongles totaux plus basse sur la période 2013-2017 que sur la période 2007 à 2012 et une année 2015 particulière

-Comment expliquer:

- ces hauts niveaux d'infestation en strongles en 2015 ?

- cette différence de niveaux d'infestation entre 2013-2017 et 2007-2012 ?

Hypothèse : Les fortes valeurs seraient vraisemblablement explicables par l'apparition de conditions climatiques favorable au cycle des strongles.

En effet la température et l'humidité ont un effet fort **sur le niveau de contamination des parcelles par les larves infestantes de strongles digestifs** car :

- L'humidité assure la survie des larves et conditionne la migration des larves depuis les bouses vers l'herbe ingérée.
 - La température règle la vitesse de développement de l'œuf à la larve infestante
- En cas de sécheresse estivale, les larves présentes dans l'herbe meurent et la migration est stoppée (les larves restent dans les bouses qui constituent un milieu humide « refuge » pendant la sécheresse).
- Cette migration pourra être cependant très importante au retour des pluies pour les larves restées dans les bouses pendant la sécheresse. D'où les augmentations des niveaux d'infestation.

Néanmoins les températures et précipitations mensuelles sur la région ont été comparables entre 2007 et 2017. Ces deux seuls paramètres ne semblent donc pas expliquer les différences de niveau parasitaire de notre étude.

2) Les 8 premiers jours de vie du faon sont déterminants dans sa survie et ne sont pas influencés par le parasitisme

- **Pourquoi n'observe-t-on pas de différence de survie entre nos 2 cohortes à savoir les faons issus de mères très parasitées et les faons issus de mères peu parasitées lors des 8 premiers jours de vie et pourquoi?**

Durant les 8 premiers jours de vie les faons misent sur leur **mimétisme et l'absence quasi complète d'odeurs corporelles**. Ils sont ainsi relativement protégés de la prédation et ce quel que soit le statut parasitologique de leur mère. Néanmoins durant les 8 premiers jours de vie ils sont cachés dans les champs cultivés et ceci coïncide avec la période des fauches. Ainsi le **machinisme** cause leur mort durant cette période et pourrait masquer une éventuelle mortalité plus tardive par parasitisme de la mère...

- **Pourquoi s'attendait-on à une différence commençant à 8 jours et s'arrêtant à 40 jours ?**

Le faon pèse environ 1 kg à la naissance et son poids croît en moyenne de 148 grammes/jour. On peut estimer que durant la première semaine de leur vie les faons ne sont pas affectés par le parasitisme de leur mère car à cette période leur besoin en lait est relativement modéré. Ainsi même si la mère est parasitée et que ce détournement du métabolisme par des parasites intestinaux peut entraîner un manque de lait, elle pourra assurer une production de lait correspondant aux besoins du faon. Par la suite ça ne sera plus le cas, les quantités et besoins en lait du faon augmentant avec l'âge [2]. Néanmoins il se met aussi à brouter et ce dès 15 jours donc ses besoins métaboliques seraient équilibrés par son alimentation végétale.

3) Biais concernant les niveaux d'infestation en strongles chez les mères en début de gestation

- i) **Biais n°1 : les valeurs de coproscopie pourraient comporter des sous ou surestimations.**

Hypothèse : Il peut ne pas y avoir de corrélation entre le niveau d'excrétion évalué par la coproscopie et la charge parasitaire de la mère en début de gestation [25]

- **Des résultats coproscopiques bas ne sont pas forcément synonymes d'une faible charge parasitaire.** En effet en automne-hiver, la majorité des parasites étant sous forme de larves en hypobiose qui ne pondent pas donc les niveaux d'excrétion pourront être faibles même si les parasites sont nombreux.
- **Des résultats coproscopiques plus élevés ne reflètent pas forcément des charges parasitaires plus importantes.** En effet les parasites issus des larves qui ont survécu à l'hiver ont une très forte prolificité donc les coproscopies pourront donc être élevées en début d'année alors que l'infestation reste encore limitée à cette période.
- **Les niveaux d'excrétion des animaux adultes immuns sont généralement extrêmement faibles, et les résultats coproscopiques souvent négatifs,** alors que tous les adultes ayant accès au pâturage sont infestés par les strongles digestifs. Le statut immunitaire de l'hôte influe sur la ponte entraînant une diminution de la fécondité des vers femelle, et induisant un arrêt du développement au stade larvaire L4 (qui ne pond pas) avec enkystement dans la muqueuse digestive.

- ii) **Biais n° 2 : le facteur temps**

Le temps qui sépare l'estimation de l'infestation des mères (janvier/février) et le phénomène observé (mai/juin) n'est pas négligeable. Durant cette période la charge en strongles totaux chez la mère peut varier considérablement. A titre d'exemple nous avons pu observer chez un individu qui a été testé 2 fois en 2012 à 14 jours d'intervalle une variation d'un facteur 2 de sa charge parasitaire (respectivement de 300 et de 650 œufs par grammes de fèces).

- iii) **Biais n°3: la parasitologie du faon n'est pas prise en compte dans l'étude ...**

Or celui-ci peut commencer à brouter dès 15 jours de vie donc il pourrait y avoir un effet de son propre parasitisme sur sa survie dans notre délai d'étude de 40 jours. Réaliser des coprologies chez le faon pourrait permettre de pallier à ce biais.

4) Représentativité de nos résultats de survie de nos 2 cohortes de faons selon le statut parasitologique de la mère

- **L'échantillonnage par année reste faible [Fig.14]** (75 individus en 2017) concernant le nombre de mères testées par année et ayant leur faon de suivi. Cette faiblesse de l'échantillonnage annuel est peut être **la cause des variations de significativité** - en appliquant le test du log rank - que nous avons observé suivant le choix qui est fait de garder ou enlever un individu.

- **Le test du log rank** nous amène à dire qu'il n'y a pas de différence **SIGNIFICATIVE** entre les survies de nos deux cohortes sur notre période d'étude. **Néanmoins cela ne signifie pas qu'il n'y a pas de différence.** En effet l'effet du niveau parasitaire en strongles gastro-intestinaux de la mère sur la survie de son faon peut quand même exister mais être trop faible pour être détecté par le test (puissance du test faible à cause de la très petite taille de l'échantillon). C'est ce que laisse supposer les courbes de survie dès 8 jours de vie chez le faon [Fig.18] car à partir de cette date les deux courbes de survie divergent et celle des faons à mères fortement parasitées décroît plus rapidement

5) Comparabilité avec l'étude d'Houdoul 2016, sensibilité et puissance du test log-rank utilisé

La durée de 40 jours est applicable à notre étude de 2007-2017 car l'écart entre les courbes de survie entre nos deux cohortes n'est pas constant durant cette période. Ainsi notre étude peut bien être comparée à celle d'Hodoul 2016 et le **test effectué log-rank ne perd pas en puissance.**

Lorsque l'étude est à nouveau lancée avec le **test de Gehan-Wilcoxon** ($\rho = 1$) on obtient : $\text{Chisq} = 2.8$, $\text{ddl} = 1$, $p = 0.0934$. La différence de survie entre nos deux cohortes est encore moins significative qu'avec le test du logrank.

C. Perspectives

A travers notre étude nous avons pu prendre bien conscience de l'importance des études sur le long terme pour étudier la dynamique pathogène-hôte et ce au vu du contexte actuel de changement climatique très rapide.

- 1) **Coproscopie des faons à ajouter aux données** (voir VI.B.3.iii)
- 2) **Des coprocultures et des autopsies** seraient les méthodes à utiliser pour estimer au plus près la charge parasitaire des animaux mais cela compromettrait leur suivi ...
- 3) **Suivre la gestation des femelles** via des échographies de manière à savoir si la présence de parasites et le degré de parasitisme pourrait influencer ou non le bon déroulement de la gestation.

En effet une étude préliminaire réalisée par les membres du CEFS [Fig.17] 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. Néanmoins cela ne veut pas dire qu'il n'y a aucun effet sur la gestation.

- 4) **Suivre la parasitologie des mères durant la lactation. En effet ces données seraient plus significatives pour notre sujet d'étude que d'utiliser les données collectées durant la gestation.** Qu'en est-il pour les autres parasites ?

Dans son sens écologique, le terme parasite englobe virus, bactéries, vers, protozoaires... Chevreuils et bovins peuvent pâturer sur les mêmes surfaces et donc si on pense notamment à la brucellose qui touche aussi le chevreuil et qui est responsable d'une forte mortalité dans l'espèce bovine une meilleure compréhension de la transmission intra spécifique (chevreuil à chevreuil notamment) et interspécifique (chevreuil à bovin) a actuellement de grand enjeu économique.

BIBLIOGRAPHIE

La base de données du CEFS a été faite par Y. Chaval (CEFS).

- [1] **Artois** et al. (2003). La faune sauvage, indicateur possible du risque de maladie émergente? *Epidémiologie et santé animale*, 21-31.
- [2] **Boutin** JM. Boisaubert B. (1988) Le chevreuil, 236 : 1-180
- [3] **Cacard** B. (2012). La mortalité du chevreuil (*Capreolus capreolus*) en France
- [4] **Cargnelutti** B. (2007) Influence de l'hétérogénéité du paysage sur l'occupation de l'espace de chevreuil vivant en milieu fragmenté. Mémoire de l'école pratique des hautes études. 66p.
- [5] **Charlez** A. (2008). Plan de chasse et dégâts à la forêt : l'évolution. Faune sauvage n°281, p 58-63. 20
- [6] **Combes** et al. (1995). *Interactions durables : écologie et évolution du parasitisme*. Paris: Masson-Dunod.
- [7] **Delorme** D., Gaillard JM., Jullien JM. (1988). Intérêt de l'étude de la période juvénile pour le suivi de l'évolution d'une population de chevreuils (*Capreolus capreolus*). *Gibier faune sauvage*, 5 : 15 -26.
- [8] **Delorme** D., Laere GV., Gaillard JM., Klein F. (2007). La phase juvénile chez le chevreuil, un élément déterminant pour orienter la gestion de l'espèce. *Faune sauvage*, 8 :15-22.
- [9] **Delorme** D., Frene G. (1991). Impact du machinisme agricole sur la mortalité des faons de chevreuil. *B.M. O.N.C.* 4 : 19-22.
- [10] **Fovea**. L'analyse de survie. 4p.
- [11] **Gaillard** et al.(1997, Novembre). Early survival in roe deer: causes and consequences of cohort variation in two contrasted populations. *Oecologia*, pp. 502-513.
- [12] **Gaillard** et al. (1998, Décembre). Family effect on growth and survival of juvenile roe deer. *Ecology*.
- [13] **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.
- [14] **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*.
- [15] **Gaillard** et al. (1993). Roe Deer Survival Patterns : a comparative analysis of contrasting populations. *Journal of Animal Ecology*, 778-791.
- [16] **Gaillard** et al. (1988). *Contribution à la dynamique des populations de grands mammifères : l'exemple du chevreuil (Capreolus)*. Thèse de doctorat, Lyon.
- [17] **Geffray**. Analyse des durées de vie avec le logiciel R (PDF).
- [18] **Golmard** JL., Mallet A., Morice V.(2009) Analyse des durées de survie ou analyse des délais de survenue d'un évènement. Polycopié de biostatistiques de la faculté de médecine Pierre et Marie Curie, 10 :161-170
- [19] **Hodoul** J. (2016). Etude de la survie des faons de chevreuil (*Capreolus capreolus*) en fonction du statut parasitaire de leur mère en début de gestation 28p.
- [20] **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.
- [21] **INRA unité CEFS** (site internet)
- [22] **Morand** et al. (2014). *Faune sauvage, biodiversités et santé, quels défis?* Versailles: Quae. 27
- [23] **Nordström** (2010). Temporal and Spatial Variation in Predation on Roe Deer Fawns. 51p
- [24] **ONCFS**. *Connaitre les espèces - Le chevreuil*. Récupéré sur le site internet de l'ONCFS: <http://www.oncfs.gouv.fr/Connaitre-les-especes-ru73/Le-Chevreuil-ar977>
- [25] **Ravinet N.** – Oniris - projet CASDAR n°1127« Développement et évaluation de stratégies et d'outils pour optimiser l'usage des anthelminthiques dans la maîtrise des strongyloses gastro-intestinales en élevages de ruminants»

[26] Roucher F. (2008). Chevreuil d'hier et d'aujourd'hui, 280 : 27-33

[27] SAGIR (site internet)

ANNEXES



Annexe 1 : Photographie d'un faon marqué lors d'une capture dans une orge (B. Lourtet ©)



Annexe 2 : Photographie d'un brocard à bois de velours (à gauche) et d'une chevrette (B. Lourtet©)

```

1 library(lubridate)
2 library(survival)
3
4 setwd("C:/Users/ame11/Desktop/stage_AZ/LAMOLY_Ame11e/DonneesTravaillees")####selectionner le dossier ou lire les donnees
5 dat<-read.csv2("data_Ame11e_04072017.csv", header =TRUE)####
6 dat<-dat[,c("Label","an","sexe","annee_pesee_f","datenaiiss_min","datenaiiss_max","cause_f_suivi","obs","fin_suivi","id_mere","strongles_tot_secermentea")]
7 #, "date_capt2","poids_2"
8 dat<-dat[which(as.character(dat$obs) == "fauche"),]##individus fauchés enlevés
9 dat<-dat[which(as.character(dat$obs) == "agress_male"),]
10 names(dat)[11]<- "strongles_totaux"
11 dat<-dat[which(is.na(dat$strongles_totaux)),]
12 #dat<-dat[which(dat$an != 2017 ),]
13 #dat<-dat[which(dat$an != 2016 ),]
14 dat<-dat[which(as.character(dat[, "datenaiiss_min"]) == ""),]
15 #dat<-dat[which(dat[,1] != 'F1220'),] #& dat[,1] != 'F1270'
16
17
18 dat<-dat[which(as.character(dat$fin_suivi) == "non suivi"),]##individus non suivis enlevés
19 dat$fin_suivi<-as.character(dat$fin_suivi)
20 dat$fin_suivi[which(dat$fin_suivi == "")]<-as.character(format(Sys.time(), "%d/%m/%Y"))
21
22 dat$fin_suivi<-dmy(dat$fin_suivi)
23 dat$datenaiiss_min<-dmy(dat$datenaiiss_min)
24 dat$datenaiiss_max<-dmy(dat$datenaiiss_max)
25
26 #time_event_max<-dat$fin_suivi~dat$datenaiiss_min
27 time_event_min<-dat$fin_suivi~dat$datenaiiss_max
28
29 #statut_40_max<-rep(NA, length(time_event_max))
30 #statut_40_max[which(time_event_max >= 40)]<- 0
31 #statut_40_max[which(time_event_max < 40)]<- 1
32
33 statut_40_min<-rep(NA, length(time_event_min))
34 statut_40_min[which(time_event_min >= 40)]<- 0
35 statut_40_min[which(time_event_min < 40)]<- 1
36
37 statut_105_min<-rep(NA, length(time_event_min))
38 statut_105_min[which(time_event_min >= 105)]<- 0
39 statut_105_min[which(time_event_min < 105)]<- 1
40
41 statut_40_min[which(dat$datenaiiss_min > '2017-01-01' & dat$obs == "")]<- 0
42 view(cbind(dat[,c("Label","an","sexe","datenaiiss_min","cause_f_suivi","obs","fin_suivi")],Surv(as.numeric(time_event_min), statut_40_min)))
43 #time_event_min
44
45 #distribution des strongles totaux par année
46 boxplot(as.numeric(dat$strongles_totaux)~as.factor(dat$an), las=3)
47 #####ajout de la mediane globale
48 abline(h=median(as.numeric(dat$strongles_totaux),col="red"))
49 #####nombre de femelles par classe d'infraction et par année
50 table(dat$an,dat$strongles_totaux)
51
52
53 hist(dat$strongles_totaux, breaks = 18, col = "grey", main = "distribution des strongles totaux", ylab = "nombre de strongles digestifs par gramme de fecès", xlim = c(0,1200), ylim = c(0,30))
54 abline(v=median(dat$strongles_totaux), col="red")
55 #####titre des classes d'infestation
56 strClass<-
57 strClass[which(dat$strongles_totaux < median(dat$strongles_totaux))]<- paste("","median(dat$strongles_totaux),sep="")
58 strClass[which(dat$strongles_totaux >= median(dat$strongles_totaux))]<- paste(">","median(dat$strongles_totaux),sep="")
59 dat<-cbind(dat,strClass)
60
61
62 survdiff(Surv(as.numeric(time_event_min), statut_40_min)~ as.factor(strClass), rho=0)# rho=0 Mantel-Haenszel i.e. log-rank
63 #survdiff(Surv(as.numeric(time_event_max), statut_40_max)~ as.factor(strClass), rho=0)# rho=0 Mantel-Haenszel i.e. log-rank
64 #survdiff(Surv(as.numeric(time_event_min), statut_105_min)~ as.factor(strClass), rho=0)# rho=0 Mantel-Haenszel i.e. log-rank
65 #survdiff(Surv(as.numeric(time_event_max), statut_105_max)~ as.factor(strClass), rho=0)# rho=0 Mantel-Haenszel i.e. log-rank
66 #survdiff(Surv(as.numeric(time_event_min), statut_40_min)~ as.factor(strClass))
67 #survdiff(Surv(as.numeric(time_event_min), statut_40_min)~ as.factor(strClass))
68 #survdiff(Surv(as.numeric(time_event_min), statut_40_min)~ as.factor(strClass))
69 #survdiff(Surv(as.numeric(time_event_min), statut_40_min)~ as.factor(strClass))
70- #####Kaplan-Meier estimator of Fawn survival according to mother's parasitologic statut
71 fti1<-survfit(Surv(as.numeric(time_event_min), statut_40_min)~as.factor(strClass))
72 #####on trace le graph
73
74 seui1<- 40
75 strates<-sapply(strsplit(names(fti1$strata), "="), "[[", 2) #####ici je récupère les valeurs des strates
76 plot(fti1, lty = 2:(length(strates)-1), xlim=c(0,seui1),main="Kaplan-Meier estimator of Fawn survival", sub = "strongles totaux", xlab = "Survival time", ylab="Survival probability S(t)")
77 legend(15, 0.4, strates, lty = 2:(length(strates)-1), title = "mother's infraction")
78
79 fti1<-survfit(Surv(as.numeric(time_event_min), statut_40_min)~as.factor(strClass))
80
81

```

Annexe 3 : Script R traitement des données du mini projet de recherche A. Lamoly