

ETUDE DE LA CORRELATION ENTRE LA DENSITE DE LA TIQUE *IXODES RICINUS* ET LA DENSITE DES CHEVREUILS EN REGION TOULOUSAINNE

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

Justine DUTRAIVE
Née, le 16 aout 1993 à Lyon (69)

Directeur de thèse : Mr Philippe JACQUIET

JURY

PRESIDENT :

Mr Christophe PASQUIER

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

Mr Philippe JACQUIET

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Mr Guillaume LE LOC'H

Maitre de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRES INVITES :

Mme Hélène VERHEYDEN

Directrice adjointe et chargée de recherche à l'INRA

Mme Karine CHALVET-MONFRAY

Directrice adjointe de l'Unité Modélisation Dynamique à VetAgroSup

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

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootechne*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*

PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

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

MAÎTRES DE CONFÉRENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*

- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
 M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
 M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
 M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
 M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
 Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
 Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
 M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

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

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS

- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*
 M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*
 Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophthalmologie*
 Mme **ROMANOS Lola**, *Pathologie des ruminants*
 M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

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

Remerciements

A Monsieur le Professeur Christophe Pasquier

Doyen de la Faculté – Université Paul Sabatier
Faculté des Sciences Pharmaceutiques

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.
Qu'il trouve ici l'expression de mes hommages respectueux.

A Monsieur le Professeur Philippe Jacquet

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Parasitologie et Maladies Parasitaires

Qui a accepté d'encadrer notre travail. Pour son aide et ses conseils,
Qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect et mes sincères remerciements.

A Monsieur le Docteur Guillaume Le Loc'h

Maître de conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Nouveaux Animaux de Compagnie et Faune sauvage

Qui nous a fait l'honneur d'accepter de juger ce travail.
Qu'il trouve ici l'expression de mes sincères remerciements.

A Madame Hélène Verheyden

Directrice adjointe et chargée de recherche
Laboratoire Comportement et Ecologie de la Faune Sauvage (CEFS) à l'INRA de Toulouse

Qui a accepté de nous accompagner tout au long de ce travail. Pour son implication,
sa patience et sa bienveillance,
Qu'elle trouve ici l'expression de mes chaleureux remerciements.

A Madame la Professeur Karine Chalvet-Monfray

Directrice Adjointe de l'Unité Modélisation dynamique,
UMR Épidémiologie des maladies animales et zoonotiques, VetAgroSup Lyon

Qui a accepté de nous accompagner tout au long de ce travail. Pour ses conseils, son aide et sa disponibilité,
Qu'elle trouve ici l'expression de mes chaleureux remerciements.

A l'équipe du CEFS de l'INRA, et plus particulièrement Bruno Lourtet, Marie-Line Maublanc, Nicolas Cèbe, Bruno Cargnelutti et Benoit Coracin

Qui ont participé à l'élaboration de ce travail. Pour leur accueil, leur aide et leurs conseils,
Qu'ils trouvent ici l'expression de mes remerciements les plus sincères.

Table des matières

<i>Table des matières</i>	7
<i>Table des annexes</i>	9
<i>Table des figures</i>	9
<i>Table des tableaux</i>	11
<i>Introduction</i>	13
PARTIE 1 : Étude bibliographique	15
I- Généralités sur les tiques dures et méthodes d'estimation des densités	17
A- Taxonomie et morphologie	17
B- Aire de distribution des tiques en Europe et en France	19
C- Cycle biologique.....	20
D- Espèces hôtes.....	22
E- Comportement des tiques à la recherche d'un hôte.....	23
F- Méthodes de suivi de densité des tiques.....	24
II- Généralités sur les chevreuils et méthodes d'estimation des densités	27
A- Taxonomie et morphologie	27
B- Expansion géographique du chevreuil en Europe.....	28
C- Comportement social	29
D- Comportement alimentaire	29
E- Utilisation de l'espace par le chevreuil.....	31
F- Méthodes d'estimation des densités de chevreuil	32
III- Importance de l'effet du chevreuil sur les tiques	36
A- Rôle de la faune et du chevreuil dans le cycle de vie de la tique <i>Ixodes ricinus</i>	36
B- Projet Climatick.....	38
C- Objectif de la thèse : recherche d'une corrélation entre la densité des tiques <i>Ixodes ricinus</i> et le chevreuil <i>Capreolus capreolus</i>	39

PARTIE 2 : Etude expérimentale – Recherche d’une corrélation entre la densité des chevreuils et la densité des tiques I. ricinus à plusieurs échelles en région toulousaine

.....	41
I- Matériels et méthodes	43
A- Zones d’étude	43
B- Protocole de mesure de densité des tiques.....	48
C- Moyens utilisés pour l’estimation des densités de chevreuils.....	50
D- Analyse des données.....	53
II- Résultats.....	57
A- Échelle régionale.....	57
B- Échelle locale.....	63
III- Discussion.....	67
Conclusion	75
<i>Bibliographie.....</i>	79
<i>Annexes.....</i>	91

Table des annexes

Annexe 1 : Graphique représentant les données météorologiques, la fréquentation des transects par les chevreuils et la densité des nymphes à Gardouch intérieur de 2014 à 2018.....	91
Annexe 2 : Détails de la procédure lors de la collecte des tiques (Source : document interne du CEFS Castanet-Tolosan).....	92
Annexe 3 : Fiche de collecte utilisée sur l'ensemble des sites	95
Annexe 4 : Graphique représentant l'ensemble des espèces capturées avec les pièges photos	96
Annexe 5 : Comparaison des densités de nymphes sur les sites Gardouch intérieur et Gardouch extérieur.....	97
Annexe 6 : Abondance mensuelle de nymphes sur certains sites de collecte du projet Climatick	96
Annexe 7 : Chronologie des densités de nymphes et de localisations des chevreuils à Gardouch intérieur	97
Annexe 8 : Chronologie des densités de larves et de localisations des chevreuils à Gardouch intérieur	98
Annexe 9 : Script R des graphiques et analyses réalisés	101

Table des figures

Figure 1 : Représentation schématique de la morphologie d'une tique ixodidé (d'après Boulanger, McCoy, 2017).....	18
Figure 2 : Carte de distribution des tiques <i>Ixodes ricinus</i> en Europe mise à jour en janvier 2019 (ECDC, EFSA, 2019)	20
Figure 3 : Cycle de vie simplifié de la tique <i>Ixodes ricinus</i>	21
Figure 4 : Profil d'activité d' <i>Ixodes ricinus</i> durant une année-type (d'après Kurtenbach et al., 2006)	22

Figure 5 : Chasse à l'affût d'une tique femelle adulte <i>Ixodes ricinus</i> (crédit : Tiphaine Ouisse)	24
Figure 6 : Densité de population de chevreuils en Europe en 1984 (gauche) et 2005 (droite) (Burbaité, Csányi, 2009).....	28
Figure 7 : Contenus stomacaux issus de 7 chevreuils capturés le même jour en forêt de Haye en novembre 1983 (Maublanc et al., 1991).....	30
Figure 8 : Organisation du projet Climatick (d'après INRA, 2018).....	39
Figure 9 : Site de Gardouch Intérieur noté S6 (Source : INRA)	43
Figure 10 : Carte de la couche OSM-Landscape avec les différents sites d'étude (uMap)	44
Figure 11 : Carte de la couche Image aérienne de l'IGN correspondant aux sites de Gardouch intérieur et Gardouch extérieur (uMap).....	45
Figure 12 : Carte de la couche Image aérienne de l'IGN à proximité du site Bois Communal (uMap).....	46
Figure 13 : Carte de la couche Image aérienne de l'IGN du site de la Ramée (uMap) .	47
Figure 14 : Carte de la couche Image aérienne de l'IGN du site de l'ENVT.....	47
Figure 15 : Collecte de tiques par la méthode du drap (crédit : Olivier Plantard).....	49
Figure 16 : Photo d'un chevreuil capturé par le piège photo situé à Gardouch intérieur	59
Figure 17 : Echelle qualitative des densités de chevreuils des sites étudiés.....	60
Figure 18 : Histogramme de distribution des nymphes	61
Figure 19 : Représentation graphique de la distribution des nymphes en fonction des sites et des périodes de collecte	61
Figure 20 : Échelles des densités de nymphes et des densités de chevreuils	62
Figure 21 : Chronologie des densités de nymphes et localisations de chevreuils sur le site Gardouch intérieur	63
Figure 22 : Corrélogramme des localisations de chevreuils et des densités de nymphes	64
Figure 23 : Chronologie des densités des larves et des localisations de chevreuils à Gardouch intérieur	65
Figure 24 : Corrélogramme des localisations de chevreuils et des densités de larves...	66

Table des tableaux

Tableau 1 : Différences morphologiques en fonction des stases (d'après Guetard, 2001)	19
Tableau 2 : Dates de collecte sur les différents sites.....	50
Tableau 3 : Classe d'abondance des larves.....	54
Tableau 4 : Données obtenues lors des sessions de CMR en 2018 (Froustey, 2018)....	57
Tableau 5 : Données obtenues avec les plans de chasse.....	58
Tableau 6 : Description des données obtenues grâce aux pièges photos.....	59

Introduction

A l'échelle mondiale, les tiques, acariens hématophages, sont les premiers vecteurs de maladies chez l'animal et le deuxième vecteur chez l'être humain. Elles sont à l'origine de la transmission de pathogènes issus de la faune sauvage vers les animaux domestiques (de compagnie et d'élevage) et l'être humain (INRA, 2018).

Les tiques, chez les animaux, ont tout d'abord une action pathogène directe avec une spoliation sanguine, une inflammation locale favorisant les surinfections, voire même une action toxique (paralysies à tiques). Ensuite, elles ont une action indirecte en tant que vecteurs de pathogènes, à l'origine de nombreuses maladies : des protozooses (babésioses, theilérioses, hépatozoonose), des viroses (encéphalites à tiques, fièvres hémorragiques, ...), des rickettsioses (ehrlichioses, anaplasmoses, fièvre Q, ...), et des borrélioses (borréliose de Lyme) (Boulanger, McCoy, 2017).

Parmi les affections transmissibles à l'être humain, la borréliose de Lyme est la plus connue du fait de sa médiatisation récente. Il s'agit d'une infection par des spirochètes (bactérie spiralée), *Borrelia burgdorferi*, et transmise par la tique *Ixodes ricinus*, espèce de tique la plus représentée en France métropolitaine (HCSP, 2014). D'après Santé Publique France, le nombre de nouveaux cas est estimé à 30 000 par an. Le diagnostic de la maladie reste par ailleurs difficile à établir avec des tests sérologiques controversés dans le monde médical et des co-infections compliquant la lecture des tests (HCSP, 2014).

La démarche « One Health », développée dans les années 2000, a pour objectif une approche globale de la santé des animaux, des hommes, et la protection de l'environnement. Elle s'applique bien aux maladies transmises par les tiques, pour lesquelles faune sauvage et animaux domestiques sont des réservoirs de bactéries pathogènes pour l'Homme (OIE, 2019).

Améliorer les connaissances sur les facteurs influençant la distribution des tiques dans l'environnement est essentielle pour pouvoir mettre en place des mesures de prévention adéquates. La faune sauvage, parmi lesquels les Rongeurs, les Oiseaux et les Cervidés, a un rôle déterminant en tant qu'hôte dans le cycle de vie de la tique et dans les maladies transmises par les tiques. Les Cervidés sont à mentionner tout particulièrement, un seul individu pouvant héberger jusqu'à plusieurs centaines d'adultes, de nymphes et de larves. De par leur grande taille, les Cervidés sont des hôtes de choix pour les tiques adultes, contrairement aux Rongeurs et Oiseaux. Cette observation suggère qu'il existe un lien vital entre les tiques et les chevreuils, principal représentant des Cervidés en Europe (INRA, 2017b). Alors qu'une tique adulte pond en moyenne 2500 œufs, elle pourra donner naissance à une centaine de larves, à l'origine d'une douzaine de nymphes et d'environ 2-3 tiques adultes (Randolph, 2004), avec des variations liées aux conditions du milieu plus ou moins favorables à leur développement. Plusieurs études montrent à ce sujet que l'abondance des nymphes peut être corrélée à l'abondance des chevreuils (Tagliapietra et al., 2011 ; Li et al., 2014 ; Van Buskirk, Ostfeld, 1995). Cette thèse a pour objectif d'étudier s'il existe une corrélation entre l'abondance des tiques et l'abondance des chevreuils.

Nous verrons, dans une première partie de cette thèse, des aspects généraux sur la tique *Ixodes ricinus*, sur le chevreuil *Capreolus capreolus*, avec notamment les méthodes d'estimation de leur abondance respective. Le rôle des Ongulés dans le cycle de vie de la tique sera ensuite abordé.

Dans une deuxième partie, les travaux expérimentaux sur la corrélation entre abondance de chevreuils et abondance de tiques seront présentés. Les résultats obtenus grâce à des comptages de tiques sur le terrain et leurs analyses statistiques seront discutés.

PARTIE 1 : Étude bibliographique

I- Généralités sur les tiques dures et méthodes d'estimation des densités

A- Taxonomie et morphologie

Les tiques appartiennent aux acariens ectoparasites hématophages stricts parmi lesquels on distingue trois familles : les Argasidés (ou tiques molles), les Ixodidés (ou tiques dures) et les Nuttaliellidés comprenant une seule espèce intermédiaire entre tiques molles et tiques dures.

Présentes sur presque l'ensemble du globe, certains genres tels que *Ixodes* ou *Dermacentor* sont plus communs dans des régions froides à tempérées, tandis que d'autres comme *Hyalomma* ou *Amblyomma* sont plus fréquemment rencontrés dans des zones chaudes ou intertropicales (Boulanger, McCoy, 2017).

L'identification des espèces de tiques sur le terrain se base sur des critères morphologiques. Nous nous intéresserons plus particulièrement aux Ixodidés et à l'espèce *Ixodes ricinus* dans la suite de cette étude.

Le cycle de vie d'une tique, qui sera détaillé en suivant, comprend trois stases actives : la larve, la nymphe, et l'adulte. Quelle que soit la stase considérée, le corps d'une tique peut être divisé en trois parties : le capitulum (ou gnathosome ou rostre), l'idiosome et les pattes.

Le capitulum, à l'avant de la tique, comprend une base, appelée basis capituli, une paire de palpes de part et d'autre (organe sensoriel), l'hypostome situé ventralement (point d'ancrage de la tique sur l'hôte) et les chélicères situées dorsalement (elles servent à couper la peau de l'hôte). Les différentes parties du capitulum sont ainsi toutes utiles lors de la fixation sur l'hôte.

L'idiosome correspond à la partie sacculaire de la tique. On retrouve, dans sa portion antérieure, le lieu d'attache des pattes et le pore génital, et dans sa partie postérieure des stigmates et l'orifice anal.

Les tiques possèdent quatre paires de pattes, sauf les larves qui n'en possèdent que trois. Chaque patte se compose de six articles, et se termine par une paire de griffes et une ventouse. La première paire de pattes possède un organe particulier, appelé organe de Haller. Essentiellement sensoriel, il sert à localiser les hôtes et analyser leurs odeurs, mais aussi à détecter diverses phéromones. Parmi ces médiateurs chimiques de comportement, les tiques peuvent produire des phéromones de rassemblement, permettant de réunir les individus dans des sites favorables (conditions de stress limitées, rencontre avec l'hôte facilitée).

Caractéristique des arthropodes, le tégument de la tique est composé d'un épiderme à couche unique de cellules, recouvert d'une cuticule. Le degré de sclérification varie sur la cuticule et est à l'origine de zones plus dures comme les coxae, les cornes sur le basis capituli, ou le scutum. Ces éléments sont notamment utiles pour la diagnose des espèces (Mullen, 2009).

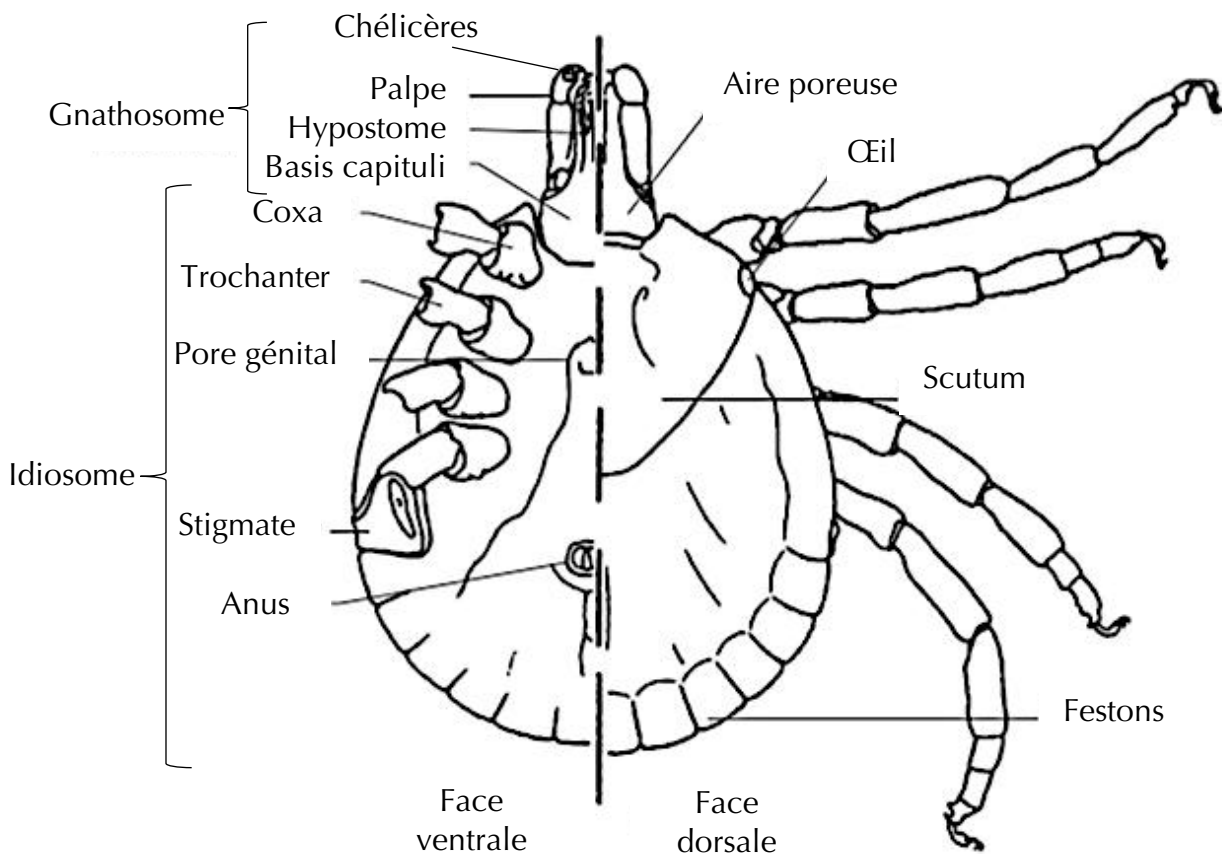


Figure 1 : Représentation schématique de la morphologie d'une tique ixodidée (d'après Boulanger, McCoy, 2017)

L'espèce *Ixodes ricinus* possède un corps globuleux, gris clair à noir (à la différence des autres espèces de tiques des animaux domestiques souvent brunâtres). Elle est longirostre, c'est-à-dire que le rostre est nettement plus long que large. Le scutum, plaque chitinisée présente sur la face dorsale, recouvre l'ensemble du corps chez le mâle et représente seulement un écusson chez la femelle.

La taille et la morphologie peuvent varier en fonction de la stase considérée et du degré de réplétion du repas sanguin. Ainsi, une femelle à jeun est ovale, plate et mesure environ 3-4 mm de long alors qu'une femelle gorgée est sphérique, noire et rouge, et peut présenter un diamètre de plus de 10 mm (Guetard, 2001).



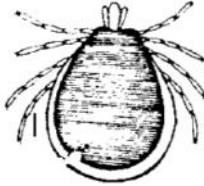
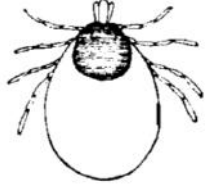
	Larve	Nymphe	Adulte mâle	Adulte femelle
Aspect				
Taille	< 1 mm	< 2 mm	3-4 mm	3-4 mm
Couleur	claire	foncée	noire	noire et rouge
Nombre de paires de pattes	3	4		

Tableau 1 : Différences morphologiques en fonction des stases (d'après Guetard, 2001)

B- Aire de distribution des tiques en Europe et en France

Ixodes ricinus est la tique la plus fréquemment rencontrée en Europe (Boulanger, McCoy, 2017). Cette espèce est peu thermophile et très hygrophile. Elle est largement présente en Europe dans les zones climatiques fraîche ou froide, bien qu'en zone méditerranéenne plus chaude, elle soit aussi présente sous forme de petites populations, dans des secteurs plus frais (ex : Pays Basque espagnol, biotopes d'altitude) (Pérez-Eid, 2007). Sa densité de population varie entre autres en fonction du climat, de l'altitude et de la végétation (Boulanger, McCoy, 2017), elle est en pleine expansion sur le territoire européen, en lien avec le changement climatique et l'augmentation d'ongulés sauvages (Maillard et al., 2010 ; Gill, 1992). En une trentaine

d'années, par exemple, l'apparition d'*Ixodes ricinus* dans certaines régions du Nord de la Suède a pu être observée (Jaenson et al., 2012).

En France, elle est présente sur presque l'ensemble du territoire, l'altitude maximale où elle est retrouvée étant autour de 1500-1700 m.

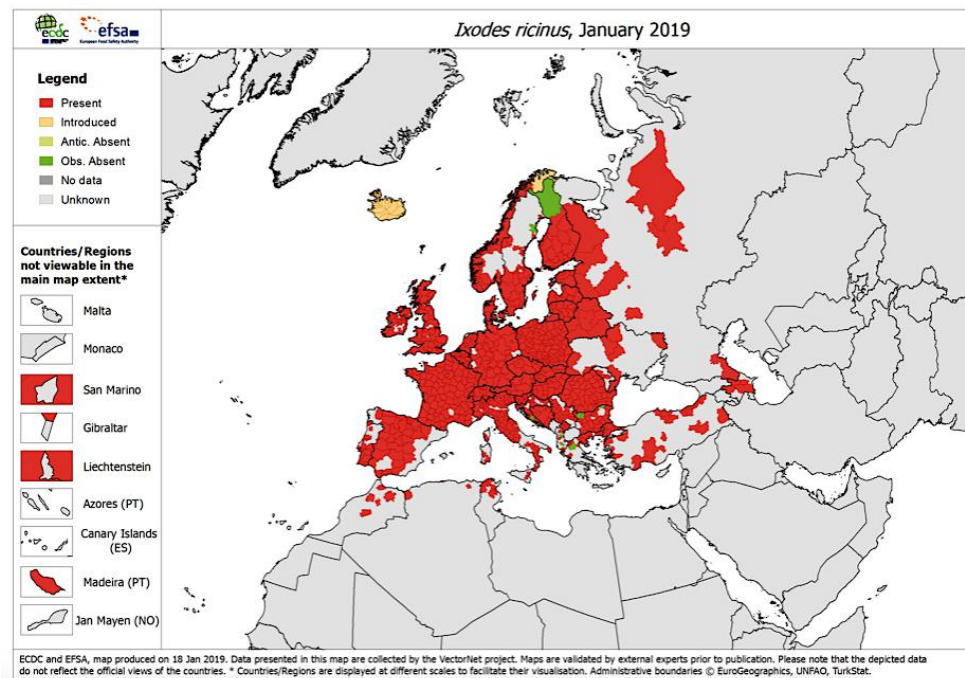


Figure 2 : Carte de distribution des tiques *Ixodes ricinus* en Europe mise à jour en janvier 2019 (ECDC, EFSA, 2019)

C- Cycle biologique

Le cycle biologique des tiques se caractérise par une alternance de phases de vie « libres » (durant lesquelles se déroulent les métamorphoses entre les différentes stases, la ponte et l'incubation des œufs) et de phases de vie parasites (où les tiques se nourrissent de sang d'un hôte vertébré).

Les tiques peuvent présenter des cycles monophasiques (ils ont lieu en totalité sur un seul individu hôte sans passage au sol de la larve à jeun à l'adulte gorgé), des cycles diphasiques (ils ont lieu sur deux individus-hôtes, un premier pour la larve et la nymphe et un second pour l'adulte), ou des cycles triphasiques (ils se déroulent alors

sur trois individus-hôtes distincts pour chaque stase avec un retour au sol après chaque repas sanguin).

Le cycle triphasique est le plus fréquemment rencontré chez les espèces d'importance vétérinaire et médicale, c'est le cas notamment d'*Ixodes ricinus*. Les larves, situées à proximité du lieu où les œufs ont été pondus par la femelle gorgée, trouvent un hôte pour se nourrir pendant 3 à 5 jours. Elles se décrochent, tombent au sol et se métamorphosent en nymphes. Celles-ci cherchent un nouvel hôte pour se gorger en 3 à 5 jours. De nouveau au sol, elles se métamorphosent en adultes, mâle ou femelle. Vient ensuite une phase de fécondation au sol ou sur un hôte. Alors que le mâle meurt, la femelle se gorge une nouvelle fois sur un hôte de grande taille puis tombe au sol et cherche un lieu favorable pour pondre entre 2000 et 3000 œufs puis meurt (Boulanger, McCoy, 2017).

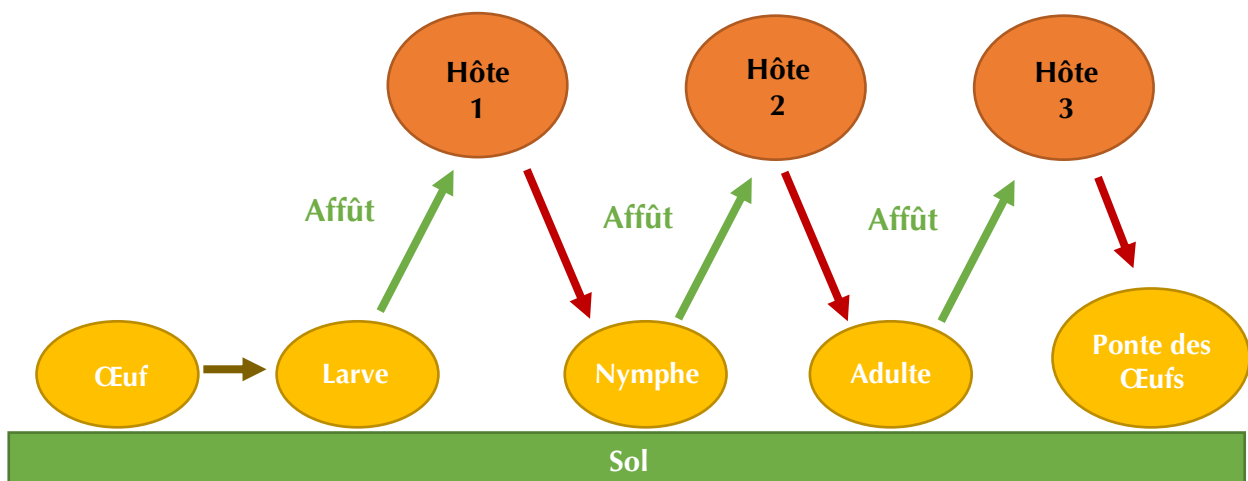


Figure 3 : Cycle de vie simplifié de la tique *Ixodes ricinus*

Alors que les tiques molles vivent dans des habitats abrités (nids, terriers), les tiques dures, telles que les Ixodidés, sont exophiles, c'est-à-dire qu'on les retrouve dans des habitats divers, le plus souvent des forêts ou des prairies (Boulanger, McCoy, 2017). Étant la majeure partie de leur vie au sol dans la végétation, les tiques sont sensibles aux modifications de l'environnement (météorologie, durée du jour, végétation, ...).

La durée des cycles de vie des tiques est variable mais elle est le plus souvent longue, entre 1,5 et 4,5 ans (Macleod, 1936). En effet, d'une part les phases de recherche d'hôte sont plus ou moins longues, d'autre part, chaque stase de tique peut

avoir de longues phases de diapause au cours des périodes libres, ce qui influence alors la durée totale du cycle de vie. Il existe deux types de diapause : une diapause morphogénétique correspondant au temps nécessaire aux métamorphoses en nymphes et adultes, à l'ovogénèse et l'embryogénèse, et une diapause comportementale associée à une absence d'activité de recherche d'hôte si les conditions sont défavorables. Des paramètres comme la température, l'humidité ou la photopériode peuvent ainsi influencer la durée du cycle (Boulanger, McCoy, 2017). En termes de saisonnalité, les tiques présentent classiquement un pic d'activité au printemps, puis celle-ci diminue en été. Un second pic peut être observé en automne. L'activité des tiques est décrite comme très faible voire nulle en hiver (Fig. 4).

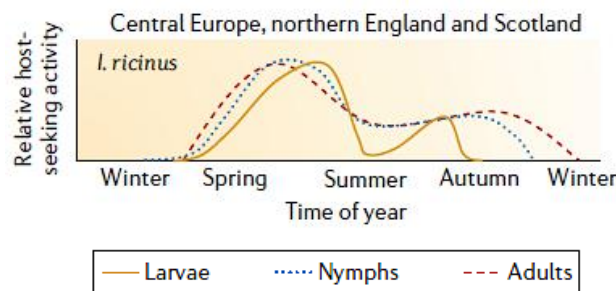


Figure 4 : Profil d'activité d'*Ixodes ricinus* durant une année-type (d'après Kurtenbach et al., 2006)

D- Espèces hôtes

L'ubiquité correspond à l'aptitude des tiques à infester toutes les espèces de vertébrés du biotope (avec une préférence pour certains ordres ou classes). La seule espèce de tique ubiquitaire en France est *Ixodes ricinus*. Cette ubiquité ne s'observe que pour les stases de larves et de nymphes, les adultes se nourrissant exclusivement sur des grands mammifères. (Pérez-Eid, 2007).

Le spectre d'hôtes sur lequel se gorgent les Ixodidés est très large. La nature des hôtes dépend aussi de leur disponibilité dans le milieu (Boulanger, McCoy, 2017).

Parmi ses hôtes, on retrouve des mammifères de la faune sauvage, avec une prédominance des micromammifères et des grands ongulés, ainsi que des oiseaux et des lézards (Cat, 2017). Les larves et les nymphes sont principalement hébergées par

les micromammifères parmi lesquels le campagnol des champs (*Microtus arvalis*), le campagnol roussâtre (*Myodes glareolus*), et le mulot sylvestre (*Apodemus sylvaticus*). Les adultes se retrouvent quant à eux sur des grands ongulés, dont le principal représentant est le chevreuil (*Capreolus capreolus*) (Mihalca et al., 2012 ; Kiffner et al., 2010 ; Vor et al., 2010).

E- Comportement des tiques à la recherche d'un hôte

La recherche d'hôte par les tiques peut se faire selon deux modalités distinctes :

- Une stratégie active : la tique sort de son refuge situé dans le sol ou le sable quand elle perçoit la présence d'un hôte (notamment par l'odorat), elle se déplace alors rapidement sur le sol pour rejoindre l'hôte potentiel et se fixer dessus comme dans le cas de *Hyalomma marginatum*.
- La chasse à l'affût : la tique grimpe sur un brin d'herbe, un buisson ou un feuillu et attend le passage d'un hôte. Quand la tique perçoit là aussi la présence d'un hôte, elle étend sa première paire de pattes vers l'avant dans le but de s'attacher aux poils, plumes ou vêtements de l'hôte qui passe (Mullen, 2009). C'est la méthode choisie par *Ixodes ricinus* pour atteindre un hôte. L'air ambiant a par ailleurs un fort effet déshydratant sur les tiques. La phase de recherche d'hôte étant à l'origine d'une perte d'une grande quantité d'eau, elles doivent retourner régulièrement dans les zones basses de végétation pour se réhydrater à partir de la vapeur d'eau produite par les plantes environnantes. Les tiques vont s'établir préférentiellement dans des secteurs où l'humidité relative est assez élevée (>80% dans le cas d'*I. ricinus*), mais en évitant les habitats trop humides qui pourraient être inondés pendant l'hiver (Boulanger, McCoy, 2017).

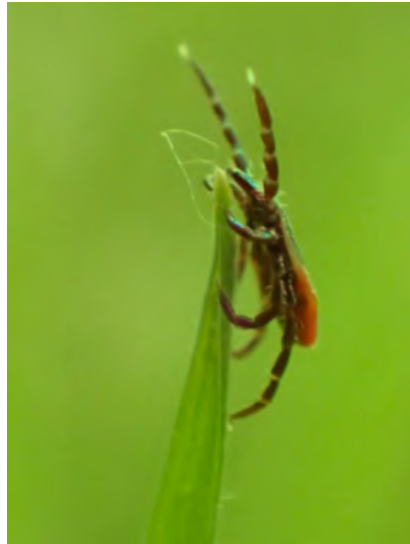


Figure 5 : Chasse à l'affût d'une tique femelle adulte *Ixodes ricinus* (crédit : Tiphaine Ouisse)

F- Méthodes de suivi de densité des tiques

Encart 1 : A propos de la densité d'une population

La densité se définit comme étant le nombre d'individus d'une même espèce par unité de surface ou de volume à un temps donné. Pour une même espèce, cette densité peut varier en fonction de l'environnement, même à très petite échelle dans un habitat similaire (variation locale). La saison et l'année (avec les fluctuations de température et d'humidité relative) peuvent aussi être sources de variation. Enfin, d'autres facteurs peuvent avoir une influence sur l'évolution de la population tels que la prédation, les maladies ou la compétition (Raven et al., 2009).

Encart 2 : à propos de l'indice d'abondance

La densité exacte d'une population est difficile voire impossible à mesurer chez de nombreuses espèces car il n'est pas possible de voir et de compter tous les individus d'un endroit donné. Des indices d'abondance sont alors utilisés pour comparer des valeurs successives et refléter l'évolution de la densité de la population. L'hypothèse sous-jacente est que quand un indice d'abondance varie au cours d'une période, la taille de la population étudiée varie dans les mêmes proportions au cours de cette période. Les indices

d'abondance ont l'avantage d'être peu coûteux. Mais ils doivent être calibrés à partir d'une méthode de référence (Marchandeaude et al., 2004) afin de vérifier l'hypothèse sous-jacente.

1) Indicateurs d'abondance des tiques sur la végétation

La méthode du drap (ou dragging method) consiste à estimer l'abondance des tiques à l'affût en comptant le nombre de tiques accrochées à un drap qui simule le passage d'un hôte (leurre mécanique). Il s'agit d'une pièce de tissu, en éponge, flanelle ou molleton de couleur claire (facilitant l'accroche et la visualisation des tiques), qui mesure en général un mètre carré (1m × 1m). Le drap est traîné à vitesse lente sur une distance de dix mètres, puis les tiques sont comptées par le préleveur à la fin du passage. En général, on compte sur 10 fois 10 mètres espacés de 20 mètres, chaque passage de drap peut être répété 3 fois à la suite pour bien accrocher le maximum de tiques à l'affût.

Cette méthode a l'avantage d'être facile et rapide à mettre en œuvre, et ce avec peu de matériel. Elle est adaptée aux espèces de tiques dont la recherche de l'hôte se fait par une quête à l'affût (comme c'est le cas pour *Ixodes ricinus*) et pour des végétations uniformes assez basses comme les prairies. En revanche, elle ne permet pas de détecter les tiques à l'affût sur les zones proches du sol (comme les larves) quand la végétation est haute (Boulanger, McCoy, 2017).

Le taux d'échantillonnage est le plus souvent inférieur à 10% de la population totale de la zone échantillonnée selon l'espèce considérée (Kautzmann, 2018). Ce taux peut varier car la proportion de tiques réellement à l'affût dépend des conditions d'échantillonnage (météorologie, saison, type de végétation, etc.).

En effet, cette méthode n'est pas efficace si la végétation est mouillée (pluie ou rosée matinale), et son efficacité est modifiée selon le type de végétation (une végétation haute ou ligneuse par exemple n'est pas favorable).

Une variante du drap est l'échantillonnage en marchant : il s'agit du même principe que pour la méthode du drap mais le tissu est cette fois fixé autour des jambes du préleveur, ce qui permet d'atteindre les tiques sur toute la hauteur de la végétation.

Cette méthode permet de représenter réellement le risque auquel un individu est exposé mais présente l'inconvénient de pouvoir être biaisé par un effet « préleveur » (qui attire plus ou moins les tiques), ainsi qu'une variabilité de contact avec la végétation.

Une autre technique fait appel à un leurre chimique, le piège à CO₂ qui simule la présence d'un hôte par émission de CO₂. Composé d'une boîte contenant de la neige carbonique, elle est posée au sol et du ruban adhésif est fixé autour du support. Cette méthode est d'efficacité variable selon les espèces. Pour *Ixodes ricinus*, elle semble plus efficace que la méthode du drap, notamment pour les stases adultes. En revanche, son domaine d'efficacité est limité (environ 3,5 mètres pour *I. ricinus*). Enfin, d'autres techniques peuvent être citées, telles que le comptage « à vue » (peu efficace pour les nymphes et larves étant donné leur petite taille) et l'échantillonnage d'humus (lourde à mettre en œuvre, elle ne permet pas de distinguer tiques à l'affût et tiques en cours de réhydratation) (Boulanger, McCoy, 2017).

2) Indicateurs d'abondance des tiques présents sur des hôtes

La méthode la plus utilisée consiste à compter le nombre de tiques accrochées sur un animal. Il s'agit le plus fréquemment d'animaux sauvages capturés et examinés lors de saison de piégeage (micromammifères, chevreuils, ...) ou tués lors de la saison de chasse (chevreuil, sanglier), d'animaux domestiques (chiens) ou d'élevage (bovins) inspectés. L'observation et le comptage doivent être réalisés sur place rapidement après la capture ou la mort de l'animal, avant que les tiques aient terminé leur repas sanguin (Boulanger, McCoy, 2017), ou bien au laboratoire si l'animal mort est transporté dans un sac plastique. Selon la taille des animaux et les zones de fixation privilégiées des tiques, le comptage des tiques peut parfois se limiter au niveau de la tête ou du cou (Vor et al., 2010), ou au niveau des onglons et tarsi/carpes (Gilot et al., 1994).

II- Généralités sur les chevreuils et méthodes d'estimation des densités

A- Taxonomie et morphologie

Le chevreuil appartient à la Classe des Mammifères, à l'Ordre des Artiodactyles, et à la famille des Cervidés. L'espèce *Capreolus capreolus* a été définie par Linné en 1758 (Muséum National d'Histoire Naturelle).

L'espèce peut être, selon les auteurs, divisée en deux espèces ou sous-espèces : *Capreolus (capreolus) pygargus*, dont l'aire de répartition se situe de l'Oural à la Chine et *Capreolus (capreolus) capreolus* qui est présent en Europe (Linnell, Zachos, 2011).

Il s'agit du plus petit représentant des Cervidés européens. Le poids des adultes varie entre 20 et 25 kg. La hauteur au garrot est de 60 à 80 cm, pour une longueur de 1 à 1,25 m. A la naissance le faon pèse entre 1 et 2 kg (Vallance, 2010).

La couleur de son pelage varie au cours de l'année : il est brun-gris en automne-hiver et roux en printemps-été. L'appendice caudal est vestigial et la croupe présente à ce niveau des poils blancs en hiver, jaunâtres en été, en forme de haricot chez le mâle (ou brocard) et en forme de cœur chez la femelle (ou chevrette). Il s'agit d'un très bon critère de reconnaissance des sexes, surtout en hiver.

Seul le mâle porte des bois. Ils tombent chaque année en automne puis repoussent immédiatement. Ils sont recouverts de « velours », une peau très vascularisée, qui dessèche et tombe au début du printemps (Maublanc et al., 1991). L'estimation de l'âge des chevreuils peut se faire principalement via un examen de la dentition du chevreuil (Hewison et al., 1999).

B- Expansion géographique du chevreuil en Europe

Le chevreuil est le Cervidé le plus abondant en Europe. Il est présent dans 40 pays européens, mais est absent de certains territoires (Irlande, Corse, Sardaigne, Chypre, Sicile). Le nombre de chevreuils n'a fait qu'augmenter sur 20 ans passant de 6,2 millions d'individus en 1984 à 9,5 millions en 2004 en Europe (Burbaité, Csányi, 2009). Il a été estimé à 15 millions d'individus en 2015 (Lovari S. et al., 2015).

En ce qui concerne la densité de population, elle a aussi augmenté au cours de cette période passant en moyenne de 1,55 à 2,22 animaux par km². Le chevreuil est particulièrement présent en Europe centrale et Europe de l'Ouest. La densité de population de chevreuils a, par exemple, plus que doublé en France, en Italie et en Lettonie (Burbaité, Csányi, 2009).

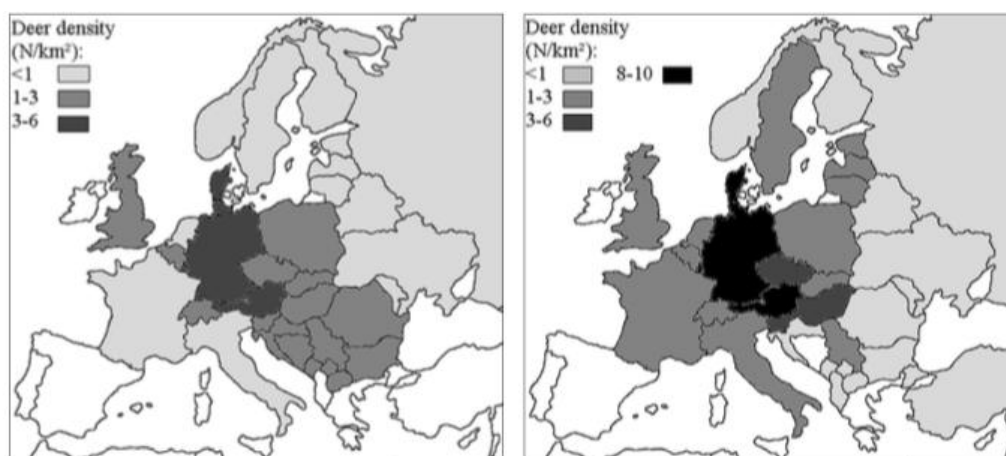


Figure 6 : Densité de population de chevreuils en Europe en 1984 (gauche) et 2005 (droite) (Burbaité, Csányi, 2009)

Une première enquête a été réalisée en 1981 sur l'ensemble du territoire français. Elle a montré que le chevreuil est présent partout en France métropolitaine, sauf sur le pourtour méditerranéen et la Corse. Dans l'Hérault, une étude a montré que le chevreuil était présent dans des secteurs restreints probablement en lien avec des lâchers réalisés par l'Office National des Forêts (Maublanc et al., 1991). Le chevreuil est une espèce de lisière, mais il présente une forte plasticité écologique, ce qui lui permet d'occuper tous les milieux. La forêt reste malgré tout un habitat privilégié (ONCFS).

C- Comportement social

Le chevreuil présente une grande plasticité dans son comportement. Longtemps considérée comme une espèce solitaire, des groupes de plusieurs dizaines d'individus peuvent être observés dans les plaines agricoles en hiver. La taille des groupes hivernaux comprend en général moins de 5 individus dans les milieux boisés contre plus de 50 individus dans les milieux ouverts. (Jepsen, Topping, 2004)

Ces groupes de taille plus élevée semblent être une adaptation au potentiel danger de prédation (Hewison et al., 2001). Au printemps et en été, le comportement grégaire du chevreuil disparaît en raison de la forte territorialité des mâles. Pendant ces saisons, où les femelles mettent bas, elles restent solitaires et très sédentaires (Maublanc et al., 2018). Le jeune chevreuil reste avec sa mère pendant sa première année de vie, puis il s'en éloigne progressivement et quitte le domaine vital de la mère au printemps (dispersion natale) (Debeffe, 2013).

D- Comportement alimentaire

De nombreuses études se sont intéressées au régime alimentaire du Chevreuil. Celui-ci varie en fonction du type d'habitat et de la saison, bien que le type d'habitat ait une influence plus importante que la saison (Cornelis et al., 1999). Dans les plaines agricoles, les chevreuils sont amenés à consommer des fruits et des graines, des herbacées, ainsi que des ligneux au printemps et en automne. Dans les forêts de conifères, les résineux et la bruyère sont des aliments de choix en hiver, remplacés par des herbacées et ligneux au printemps. Enfin, dans les forêts feuillues, les ronces et les ligneux sont privilégiés quels que soit la saison, associés à du lierre en hiver et des glands en automne (Tixier & Duncan, 1996). Le chevreuil se caractérise avant tout comme une espèce présentant une grande plasticité alimentaire, lui permettant de s'adapter aux changements environnementaux (Serrano Ferron et al., 2012).

Cette grande diversité dans le régime alimentaire peut être observée lors d'analyse de contenus stomacaux, comme c'est le cas sur la figure 7.

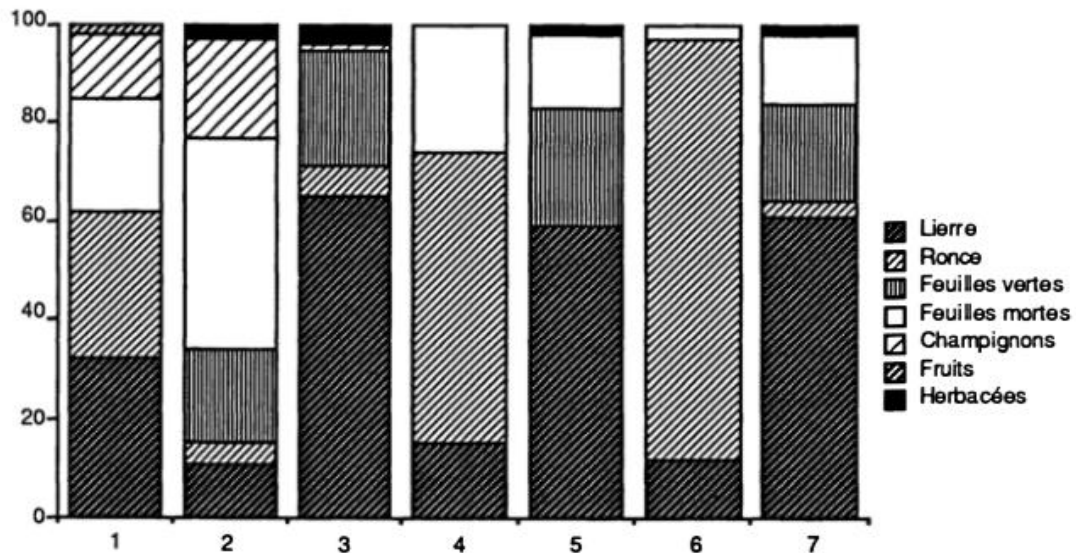


Figure 7 : Contenus stomacaux issus de 7 chevreuils capturés le même jour en forêt de Haye en novembre 1983 (Maublanc et al., 1991)

Dans le cas d'un paysage fragmenté, l'accès aux champs cultivés est facilité, ce qui est une ressource non négligeable en cas de diminution des plantes habituellement consommées dans le milieu forestier. Cette ressource peut être à l'origine d'une amélioration des performances démographiques des chevreuils vivant dans ce type de milieu (Abbas et al., 2011). De plus, dans ce type de paysage ouvert, le chevreuil peut être amené à consommer aussi des graminées cultivées, surtout en fin d'hiver (et de manière moindre au printemps). Lorsque c'est possible, il sélectionne des aliments de haute qualité tels que les graines et les glands (Abbas et al., 2013), notamment des graines de céréales cultivées et du maïs, pour lesquels la digestion est plus facile. L'énergie allouée à la rumination est ainsi réduite (Serrano Ferron et al., 2012).

Le chevreuil présente avant tout un comportement opportuniste. Dans une étude de réintroduction en Israël, il a été montré que le chevreuil pouvait consommer plus de 85% des espèces de plantes présentes, avec des préférences pour certaines parties des plantes ou certaines espèces (Wallach et al., 2010).

En ce qui concerne la durée de la prise alimentaire, elle apparaît plus élevée par temps froid et humide, que lorsqu'il fait chaud (Wallach et al., 2010). En cas de prédation ou de perturbation humaine, cette durée peut être réduite, et la sélection des sites les mieux adaptés à leur prise alimentaire peut être altérée (Abbas et al., 2013).

E- Utilisation de l'espace par le chevreuil

La superficie sur laquelle se déplace le chevreuil dépend :

- Du type d'habitat considéré : elle s'étend en moyenne de 21,6 hectares en hiver en forêt ouverte contre 105 hectares à la même saison en agrosystème.
- De la saison : chez les femelles, elle est maximale pendant l'hiver et minimale au printemps (Morellet et al., 2013)
- De la densité de population : une augmentation de densité de population est associée à une diminution de superficie des domaines, avec un effet plus marqué chez les mâles (Maublanc et al., 1991).

Le mode d'occupation est assez similaire chez tous les animaux : il est très hétérogène avec des zones fréquentées de manière préférentielle au sein de leur domaine vital (Couriot et al 2018).

En hiver par exemple, les brocards utilisent une surface restreinte à l'intérieur de leur domaine. Au printemps et pendant le rut, ils réalisent de nombreux déplacements sur une petite surface, souvent en périphérie de leur domaine, en lien avec l'apparition d'un comportement de défense de leur territoire. Les femelles, quant à elles, réduisent leurs déplacements car il s'agit de la période de mise-bas. Les faons présentent aussi une mobilité restreinte (Maublanc et al., 1991).

D'autres facteurs tels que les conditions météorologiques ou le climat peuvent modifier la taille du domaine vital : ainsi, sa taille diminue quand l'abondance des fourrages (qui dépend de la météo locale et de la durée des jours notamment) augmente, sa taille augmente si la température ou la latitude augmente ou en cas de sol recouvert de neige (Morellet et al., 2013).

Les bois sont utilisés de manière préférentielle, mais les haies sont aussi facilement utilisées en cas de diminution de l'espace boisé et permettent aux chevreuils d'accéder à des ressources intéressantes (Morellet et al., 2011). Ces milieux « permanents » (bois, friches et haies) sont souvent privilégiés, surtout au printemps et en été. Quant aux cultures, elles peuvent être utilisées soit principalement lors de l'activité alimentaire, soit pour l'ensemble des activités, y compris le repos (Maublanc et al., 1991).

A propos de la stabilité géographique du domaine vital, les chevreuils ont longtemps été considérés comme des animaux sédentaires, quel que soit le milieu fréquenté (Maublanc et al., 1991). Il semble que les individus à l'échelle de la saison utilisent plutôt entre 2 et 9 sous-domaines fonctionnels, selon la répartition des ressources et la taille des domaines fonctionnels (leur nombre diminue si leur taille augmente) (Couriot et al., 2018). Les jeunes, très instables, s'installent sur leur domaine selon trois modalités : un glissement rapide en périphérie du domaine maternel, une installation en périphérie du domaine maternel après une phase de grande instabilité géographique ou un déplacement vers un secteur éloigné du domaine maternel (Maublanc et al., 1991).

Par ailleurs, leur utilisation de l'espace est aussi limitée par les activités humaines et varie en fonction de leur sensibilité individuelle au stress. Certains individus, plus sensibles, seront moins actifs, moins explorateurs, cherchant à limiter leur exposition au risque. Ils auront donc un domaine d'activité plus restreint (Bonnot et al., 2015) et comportant plus d'espace boisés qui servent de refuge.

De plus, l'augmentation de la taille d'un groupe de chevreuils diminue la capacité d'exploration du groupe, dans les zones où la ressource alimentaire est abondante. La capacité individuelle de migrer vers des zones plus abondantes en ressources alimentaires diminue aussi si la taille du groupe augmente (Pays et al., 2012).

F- Méthodes d'estimation des densités de chevreuil

L'estimation des densités d'une population avec précision et exactitude apparaît comme une tâche difficile, tout particulièrement sur des grandes étendues de territoire, nécessitant un lourd investissement en termes de temps, de main d'œuvre, et d'argent (Morellet et al., 2007). Les méthodes de « recensement » du chevreuil sont le plus souvent des méthodes directes de dénombrement d'individus. Elles ne permettent pas d'estimer directement l'effectif d'une population ni d'accéder à des données telles que la structure en âge et en sexe de la population, la proportion de reproducteurs, le taux de survie, ou le taux de recrutement des individus présents. Elles ont tendance à sous-

estimer l'effectif des populations de chevreuils, sans estimation possible des erreurs produites.

Certaines méthodes se basent sur un échantillonnage. Elles peuvent permettre d'estimer une densité dans le cas où différentes études préliminaires sont réalisées pour valider la méthode. Parmi celles-ci, les dénombrements sur une ligne (« line transect ») sont probablement les plus adaptés aux grands mammifères, dont la densité, les facultés de dissimulation et la mobilité sont souvent faibles (Maublanc et al., 1991). Ce type de méthode, aussi fréquemment utilisé chez le chevreuil, consiste à positionner une grille de lignes sur une zone d'étude. L'observateur parcourt alors chaque ligne. Quand un animal est observé, sa distance à l'observateur et l'angle formé par la ligne de parcours de l'observateur et la ligne entre l'observateur et l'animal sont notés, ce qui permet d'estimer la distance de l'animal avec la ligne de parcours. Tous les individus présents ne peuvent pas être recensés, mais les distances obtenues permettent de modéliser une probabilité de détection et ensuite d'estimer l'abondance de la population. Cette méthode est valable si trois points sont respectés (sinon, il y a apparition de biais) : les animaux sur la ligne sont détectés avec certitude, les mesures sont exactes, les animaux sont détectés à leur position initiale. Pour tendre à cela, des méthodes à double observateur (utilisation du principe de marquage recapture), des modèles pour corriger les erreurs de mesure, la réalisation d'analyses comparables sur les lignes perpendiculaires sont recommandés (Glennie et al., 2015).

Dans le cas de populations très étudiées, la technique de capture-marquage-recapture peut être appliquée. Il s'agit d'une méthode de référence, décrite comme mieux adaptée aux populations de chevreuils quand au moins les deux tiers d'entre eux sont marqués individuellement (Gaillard et al., 1986). Le marquage peut être visuel (collier coloré ou numéroté, caractéristiques physiques) ou grâce à un émetteur radio VHF (Pellerin, 2005) fixé sur le collier des animaux. Cette méthode permet, à partir du nombre d'individus recapturés (physiquement ou observés ou photographiés) marqués et non marqués sur une zone fixée, et connaissant le nombre d'individus marqués réellement présents sur cette zone, de calculer le nombre d'animaux total (marqués ou non) effectivement présents sur la zone. Ce type de méthode est à privilégier dans un contexte de recherche mais n'est pas adapté à l'étude d'une population dans le cadre

de sa gestion étant donné la lourdeur des opérations de marquage qui nécessitent de capturer les animaux (Hewison et al., 2007).

Des indicateurs de densité plus simples à mesurer peuvent également être obtenus par d'autres méthodes telles que le comptage au phare, l'indice kilométrique d'abondance, si celles-ci sont standardisées. Ces méthodes n'estiment pas de densité vraie (nombre d'individu/km²) mais permettent de faire des statistiques sur les évolutions d'abondance (nombre d'animaux comptés) sur un même site d'une année sur l'autre, toutes choses étant égales par ailleurs (Morellet et al., 2007)

Enfin, il existe d'autres méthodes indirectes basées sur le comptage d'indices de présence (fèces, empreintes, frottis ou grattis) ou d'animaux sans identification individuelle. Elles se révèlent peu rigoureuse car non validées et très difficiles à interpréter (Maublanc et al., 1991) et pourraient renseigner l'évolution de la densité de la population dans le cas où le milieu n'est pas modifié. A défaut de pouvoir utiliser ces méthodes qui nécessitent toutes la mise en place d'un protocole et du travail sur le terrain, les données de la chasse sont couramment utilisées pour comparer entre eux des secteurs de chasse et des années à dire d'expert.

Nous allons nous intéresser plus particulièrement aux méthodes de Capture-Marquage-Recapture et de piège photos (« camera trap » en anglais), ainsi qu'à l'utilisation des données cynégétiques que nous avons utilisées dans le cadre de notre travail.

- Capture-Marquage-Recapture : Couramment utilisée pour étudier les abondances, cette méthode consiste à capturer un échantillon aléatoire d'individus de taille n_1 parmi une population. Les individus capturés sont marqués et relâchés. Un deuxième échantillonnage de taille n_2 est réalisé au sein de la même population. Le nombre d'individus capturés marqués est noté m_2 . L'estimation N de la taille de la population est : $(n_1 \times n_2) / m_2$. Il est supposé que le marquage soit permanent, et que le comportement des individus marqués ou non marqués soit similaire. Cette méthode est par ailleurs coûteuse en terme de main d'œuvre (Bord, 2014).

- Pièges photos : Il s'agit d'appareils photographiques fixés dans l'environnement comprenant des capteurs infrarouges et déclenchés au passage des animaux. Cette méthode quantitative et non invasive nécessite un faible investissement en termes de main d'œuvre comparé aux autres méthodes. Elle permet aussi d'obtenir des informations sur plusieurs espèces sauvages, souvent difficilement observables de manière directe, aussi bien de jour que de nuit (Rowcliffe et al., 2008). La technique peut s'apparenter à la technique de marquage-capture-recapture mais la capture est photographique et le marquage se fait par des particularités morphologiques individuelles. Le nombre de photos prises des individus connus comparé aux photos prises avec tous les individus de l'espèce permet d'obtenir des données sur la densité de l'espèce (Foster, Harmsen, 2012). Plusieurs pièges photos sont en général utilisés pour couvrir l'ensemble de l'aire d'étude et des appâts sont parfois utilisés pour faciliter la capture photographique des individus (Maffei et al., 2011). Il faut donc qu'une bonne proportion des individus soit reconnaissable.
- Plan de chasse : D'après l'article L425-6 du Code de l'Environnement, le plan de chasse détermine le nombre minimum et maximum d'animaux à prélever sur les territoires de chasse. L'objectif est d'assurer un développement durable des populations de gibier et de préserver leurs habitats, tout en conciliant les intérêts agricoles, sylvicoles et cynégétiques. Pour le grand gibier, il est fixé après consultation des représentants des intérêts agricoles et forestiers pour une période qui peut être de trois ans et révisable annuellement, il est fixé pour une année dans le cas du petit gibier. Le plan de chasse est appliqué sur tout le territoire national pour certaines espèces de gibier, telles que le cerf, le chevreuil, le mouflon, le daim, le chamois et l'isard, pour lesquelles il est obligatoire (Ministère de l'Environnement ; ONCFS). La gestion des espèces est départementale avec un nombre d'attributions (c'est-à-dire d'animaux autorisés à être chassés) fixé pour chaque association de chasse. Le nombre d'animaux réellement chassés au cours de la période de chasse correspond aux réalisations. La détermination des attributions se base en principe sur des indicateurs de l'abondance de la population tels que l'index kilométrique (nombre de chevreuils observés par kilomètre de transect échantillonné à pied, à l'aube et

au crépuscule) ou de la qualité et de la performance des individus de la population telles que la masse corporelle des faons (masse des carcasses des faons pendant l'hiver, lors de la période de chasse) (Morellet et al., 2007). L'utilisation des plans de chasse n'est pas une méthode validée mais plutôt un « dire d'expert ». L'idée sous-jacente est que le plan de chasse (nombre d'animaux autorisés à être abattus) et la réalisation du plan de chasse (nombre d'animaux effectivement abattus) seraient corrélés à la densité réelle. Par ailleurs, il faut aussi préciser que plus il y a de chevreuils, plus il y a de chasse. Finalement, bien que cette méthode soit peu rigoureuse, c'est souvent la seule donnée disponible en France pour apprécier l'abondance de la population de chevreuil.

III- Importance de l'effet du chevreuil sur les tiques

A- Rôle de la faune et du chevreuil dans le cycle de vie de la tique

Ixodes ricinus

Les tiques *Ixodes ricinus* se fixent et se nourrissent sur des hôtes très variés : cela comprend des Vertébrés à sang froid (lézards) et d'autres à sang chaud de taille très variable (des petits rongeurs, passereaux mais aussi des hérissons, lièvres, écureuils, sangliers, chevreuils, cerf élaphe ou bétail). Les larves et les nymphes peuvent être rencontrées sur des hôtes de toute taille. En revanche, les stases adultes ne sont présentes que sur les hôtes de grand format tels que le chevreuil ou les bovins : ces hôtes sont donc essentiels pour la réalisation du cycle de vie et le maintien des populations de tiques. De nombreux autres facteurs peuvent affecter l'effectif d'une population de tiques : la région géographique, le type d'habitat, la composition de la faune locale et son abondance, la saisonnalité de la chasse à l'affût dont certains affectent aussi les populations de chevreuils (région géographique, type d'habitat) (Medlock et al., 2013 ; 2008 ; Gilot et al., 1994).

Les hôtes n'ont pas seulement un rôle nourricier pour les tiques. Ils participent chacun à des degrés différents au déplacement des tiques dans leur environnement.

Les petits mammifères, tels que les campagnols ou les mulots, permettent la dissémination des tiques sur des espaces restreints. Ils semblent permettre notamment le passage des tiques du milieu forestier vers les pâtures (Boyard et al., 2008).

La présence du chevreuil dans un environnement donné influence positivement la présence des tiques. Cela a pu être mis en évidence dans plusieurs expérimentations utilisant des exclos (espace entouré d'une clôture, pour empêcher l'accès d'une ou plusieurs espèces animales). Le principe est de comparer l'abondance des tiques dans les exclos (bloquant l'accès au chevreuil) et à l'extérieur : l'abondance des tiques s'avère plus faible à l'intérieur des exclos (Ginsberg et al., 2004 ; Gilbert et al., 2012). Le chevreuil peut être à l'origine de migrations de tiques d'un environnement à un autre lors de grands déplacements (Ruiz-Fons, Gilbert, 2010), notamment lors des déplacements de dispersion (établissement du domaine vital des jeunes), de migration (notamment en montagne quand les ressources manquent en hiver) ou lors d'excursion de reproduction (Cagnacci et al., 2011 ; Debeffe et al., 2012). C'est aussi le cas à l'échelle du paysage et de la saison où les hôtes tels que le chevreuil, par leurs mouvements quotidiens des bois vers les prairies, pourraient maintenir la présence de tiques dans les prairies (Hoch et al., 2010)

Le chevreuil peut être considéré comme un marqueur de présence d'*I. ricinus*, c'est-à-dire que le nombre d' *I. ricinus* qu'il héberge peut être représentatif de l'abondance d' *I. ricinus* dans l'environnement. En effet, non seulement le chevreuil est un hôte de choix pour les tiques, mais leur spectre écologique est en grande partie identique (affinité forte pour des forêts de feuillus divers, clairsemés, à l'enneigement réduit). Le chevreuil est de plus facilement disponible sur le terrain, étant donné les prélèvements réalisés dans le cadre de la gestion cynégétique de l'espèce (Gilot et al., 1994).

De nombreuses études de terrain soutiennent aussi l'idée que l'expansion géographique du chevreuil participe grandement à l'expansion d'*I. ricinus* : c'est le cas notamment au Royaume-Uni (Scharlemann et al., 2008), ou au Danemark (Jensen,

Jespersen, 2005) où des études basées sur des questionnaires et des observations de terrains ont été réalisées.

B- Projet Climatick

L'INRA (Institut National de Recherche Agronomique) s'intéresse à la menace que représente les tiques en santé animale, tout particulièrement avec le changement climatique. Il développe différents programmes de recherche sur les tiques dont le projet Climatick. Ce projet a pour objectif de modéliser l'activité future des tiques présentes sur le territoire (comme *Ixodes ricinus*) ou exotiques mais potentiellement invasives (*Hyalomma marginatum*, retrouvée dans le Sud de la France), sous différents scénarios climatiques. La création de modèles dynamiques (WP3) va permettre d'étudier l'activité des tiques en fonction de la météo, des hôtes, de la répartition des forêts, le but étant de développer des stratégies de surveillance et de prévention des risques associés aux maladies transmises par les tiques (WP4). Ces modèles se basent à la fois sur des observations terrains et des expériences en laboratoire (WP1 et WP2), portant sur les tiques (distribution, écologie, épidémiologie) et sur leurs hôtes. En effet, l'abondance des hôtes (Mammifères, Oiseaux, Reptiles) n'avait pas été prise en compte précédemment dans le projet CC-EID (climate change and the risk of emergence of wildlife-borne infectious diseases in agricultural and forest landscapes), antérieur au projet Climatick. Le changement climatique est parallèle à l'extension de la distribution des hôtes, notamment le chevreuil qui s'étend vers le Nord de l'Europe, de la même manière que les tiques (Jaenson et al., 2012). Il est important dans ce contexte de comprendre puis de modéliser les relations qui lient les tiques avec leurs hôtes, afin de pouvoir prendre des mesures de prévention adaptées.

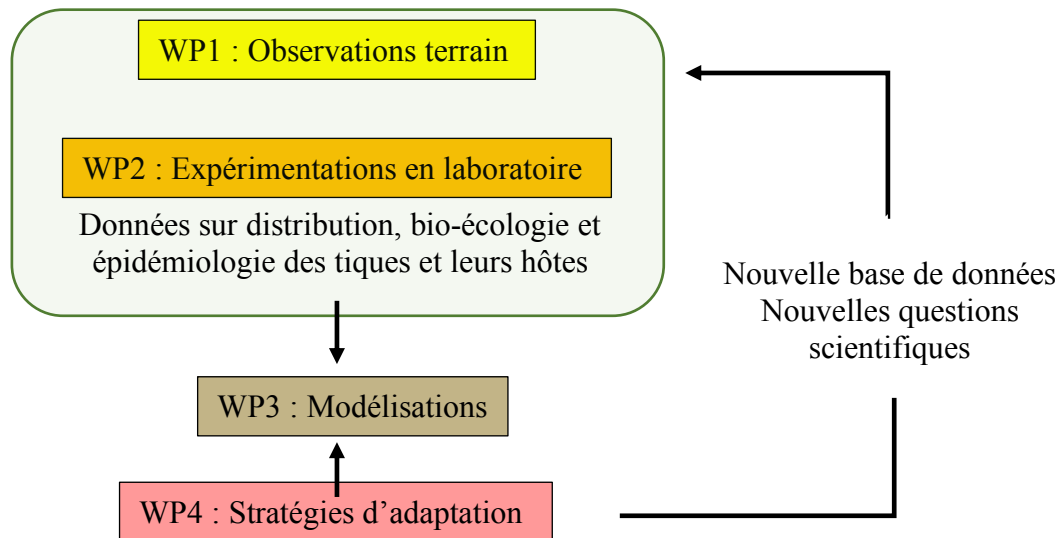


Figure 8 : Organisation du projet Climatick (d'après INRA, 2018)

C- Objectif de la thèse : recherche d'une corrélation entre la densité des tiques *Ixodes ricinus* et le chevreuil *Capreolus capreolus*

Alors que de nombreuses études s'intéressent actuellement aux tiques et à leur lien privilégié avec les chevreuils, ce travail de thèse a pour objectif d'étudier la corrélation entre la densité des chevreuils et la densité des tiques, à la fois dans des paysages variés de Haute-Garonne et de manière très locale, sur un même site. Pour cela, deux échelles ont été utilisées :

- L'échelle régionale, où on s'est intéressé aux variations de densités de tiques et de chevreuils sur différents sites de Haute-Garonne, avec un degré d'urbanisation et un paysage variés. On a cherché à savoir si la présence plus ou moins importante des chevreuils sur les sites avait un effet sur l'abondance de tiques.
- L'échelle locale, où, sur un même site, l'enclos intérieur de l'élevage de chevreuils INRA de Gardouch, on a cherché à déterminer si la fréquentation plus ou moins élevée des différentes zones du bois par les chevreuils pouvait avoir un effet sur la densité locale de tiques.

Par ailleurs, la présence d'hôtes n'est pas le seul facteur de variation de l'abondance des tiques puisque des facteurs tels que la température ou l'humidité jouent également un rôle important dans la survie et l'activité des tiques. Lors de ce travail, les variables météorologiques permettant d'expliquer les variations de l'activité des tiques n'ont pas été étudiés. Cette question fait l'objet d'une autre étude menée en parallèle par Cécile Coiffait (2019). A titre d'information, en annexe 1 se trouve un graphique représentant les données météorologiques (température et humidité) pour le site de Gardouch des années 2014 à 2018.

PARTIE 2 : Etude expérimentale – Recherche d’une corrélation entre la densité des chevreuils et la densité des tiques *I. ricinus* à plusieurs échelles en région toulousaine

I- Matériels et méthodes

A- Zones d'étude

Les lieux d'étude ont été choisis à partir de plusieurs critères : 1) un couvert végétal boisé propice pour les tiques, 2) des sites déjà connus et étudiés pour les chevreuils ou les tiques pour obtenir plus facilement des informations fiables, 3) un accès au site autorisé et facile.

1) Site de Gardouch Intérieur pour l'échelle locale

Le site appelé « Gardouch intérieur » dans la suite de cette étude fait partie de l'installation expérimentale du CEFS (Comportement et Écologie de la Faune Sauvage) de l'INRA. Située sur la commune de Gardouch (31) à une altitude d'environ 200 m, il s'agit d'un élevage expérimental de chevreuils, unique en Europe. Le grand enclos où est basé le suivi des tiques et des chevreuils a une superficie de 12 ha, il est composé d'un bois et de deux prairies. Le bois est composé de feuillus (principalement des espèces de chêne *Quercus spp*). La végétation au sol comprend des ronces, des feuilles mortes et des graminées. Le bois est parcouru de layons (chemin forestier). L'abondance des tiques est mesurée sur ces layons où des transects de 10 m² (longueur de 10 m et largeur de 1 m) sont suivis tous les mois (Figure 9). L'occupation de l'espace

par les chevreuils vivants dans cet enclos est précisément connue grâce au suivi GPS des animaux équipés de colliers. Le nombre de chevreuils présents dans l'enclos est connu exactement.



Figure 9 : Site de Gardouch Intérieur noté S6 (Source : INRA)

Légende : les points verts correspondent aux débuts et fins des transects

2) Autres sites étudiés à l'échelle régionale

Dans le cas de l'échelle régionale, cinq autres sites ont été étudiés : Gardouch extérieur, Téoules, Bois Communal, la base de loisirs de la Ramée et le site de l'ENVT (Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).

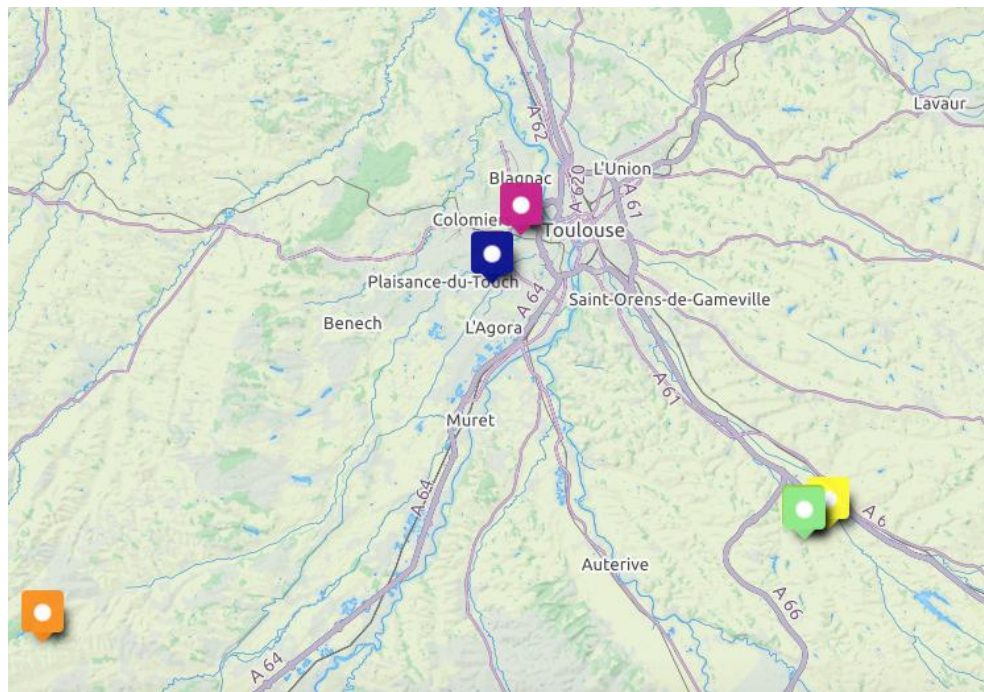


Figure 10 : Carte de la couche OSM-Landscape avec les différents sites d'étude (uMap)

Légende : en rose : ENVT ; en bleu : Ramée ; en vert : Gardouch ; en jaune : Téoules ; en orange : Bois Communal

Le site appelé « Gardouch extérieur » est un bois privé situé en limite de propriété du site de Gardouch intérieur du CEFS. Il est régulièrement suivi pour les tiques, mais pas pour les chevreuils, par le CEFS, qui a donc une autorisation d'accès. Des collectes de tiques y sont réalisées chaque mois sur 10 transects depuis 2014, comme pour Gardouch intérieur. En termes de couvert végétal, il est identique à celui de Gardouch intérieur, à savoir un bois de feuillus (chêne) et une végétation au sol composée de ronces et de feuilles. Les layons étant moins bien définis, les graminées sont moins présentes en comparaison sur ce site.

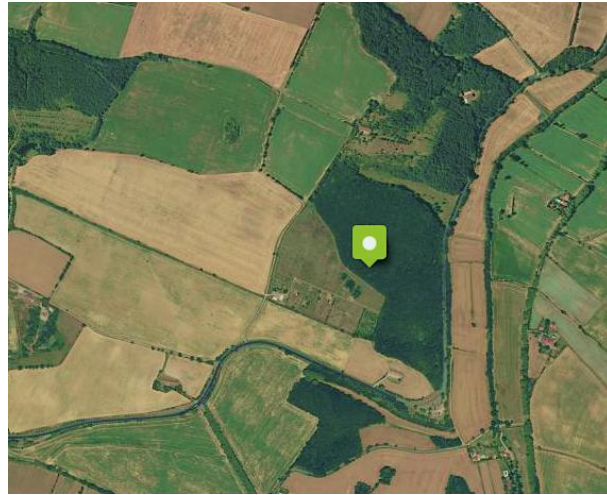


Figure 11 : Carte de la couche Image aérienne de l'IGN correspondant aux sites de Gardouch intérieur et Gardouch extérieur (uMap)

Légende : en vert : Gardouch Intérieur

Le bois de Téoules est un bois étudié pour les chevreuils par le CEFS. Il est situé à proximité des sites de Gardouch, à environ 1 km. Les transects utilisés pour mesurer l'abondance des tiques sont placés sur un layon large constitué principalement de graminées, situé au milieu du bois, aux essences et à la végétation au sol assez similaires à celles de Gardouch. Il est exploité par des forestiers.

Le site appelé « Bois Communal » est situé sur un secteur du canton d'Aurignac, dans la région du Comminges. Il fait partie d'une zone « Atelier d'observation à long terme des dynamiques écologiques en relation avec le paysage anthropique » (ZA Pyrénées Garonne) (INRA, 2017a). Il s'agit d'un secteur vallonné, de faible altitude (380 m au maximum) avec un paysage fragmenté, composé d'une forêt centrale de 800 ha, de bois dispersés et de cultures variées (blé, maïs, sorgho, tournesol...). Le site « Bois Communal » correspond à l'un de ces bois, situé en haut d'un vallon, sur la commune de Fabas (31). Les essences sont variées mais dominées par des espèces de chêne *Quercus spp.* Ce site est intéressant car les densités de chevreuils y sont régulièrement étudiées par radiopistage et capture-marquage-recapture par le CEFS (Hewison et al., 2007). Les transects utilisés pour mesurer l'abondance des tiques sont placés le long d'un chemin en sous-bois.



Figure 12 : Carte de la couche Image aérienne de l'IGN à proximité du site Bois Communal (uMap)

Deux autres zones d'étude présentent la particularité d'être en milieu urbain : il s'agit des zones de la Ramée et de l'ENVT.

La Ramée est une base de sport et de loisirs d'environ 250 ha. Entourée par une urbanisation intense, elle est située sur la commune de Tournefeuille (31), à proximité directe de Toulouse. L'altitude moyenne est de 160 m. Elle est composée principalement d'un lac et d'un bois de 47 ha. Plusieurs petits rus traversent les boisements et inondent les dépressions, ils sont à l'origine d'une humidité élevée dans certains secteurs du bois. La végétation est principalement composée d'arbres caducifoliés, avec au sol de l'humus et des herbacées à proximité des chemins piétons (Belhacène, 2018). Les transects de mesure de l'abondance des tiques sont placés à proximité du point bleu sur la figure 13, sur un secteur moins fréquenté par les visiteurs, plus précisément à environ cinq mètres d'un chemin piéton en terre battue. Comme sur les autres sites, les transects sont espacés chacun de 20 m.

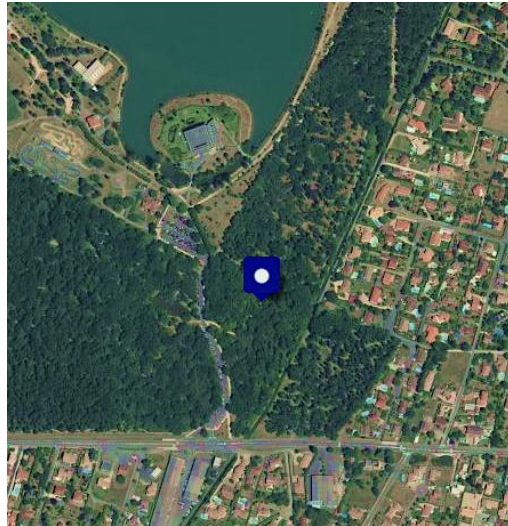


Figure 13 : Carte de la couche Image aérienne de l'IGN du site de la Ramée (uMap)

Le site désigné en suivant par « ENVT » est situé dans l'enceinte de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse, sur la commune de Toulouse (31). Il s'agit d'un bois d'environ 10 000 m², à proximité du Touch, affluent de la Garonne. La végétation y est variée et composée d'arbres caducifoliés et d'herbacées courtes au sol. Deux volières principales exploitées par le centre de Faune Sauvage sont aussi présentes sur ce site. Les transects où sont mesurés l'abondance des tiques sont placés sur l'ensemble du bois, autour du point rose sur la figure 14. Situés au niveau de chemins recouverts d'herbe, les transects sont également espacés de 20 m chacun.



Figure 14 : Carte de la couche Image aérienne de l'IGN du site de l'ENVT

B- Protocole de mesure de densité des tiques

1) Méthode commune

La mesure de densité des tiques a été faite en réalisant un comptage avec un drap tiré au sol et sur lequel s'accrochent les tiques en recherche d'hôtes. Le protocole est commun à d'autres études réalisées dans le cadre du projet Climatick par l'INRA.

L'emplacement des sites de collecte a été choisi en utilisant plusieurs critères :

- en sous-bois, à au moins 20 m d'un chemin carrossable ou d'une route goudronnée
- sur un terrain ni trop accidenté ni trop en pente, accessible facilement à pied
- avec une végétation basse (herbe basse < 40 cm ou feuilles mortes) et homogène entre les transects
- en évitant la boue, les flaques et les ronces (car si le drap est mouillé, les tiques ne s'accrochent pas, et s'il est sale, les tiques sont difficiles à voir).
- avec suffisamment d'espace pour disposer les différents transects espacés d'environ 20 m les uns des autres.

Le matériel nécessaire pour la collecte comprend principalement un drap de 1 m² en molleton sec avec deux baguettes de 1 m et une fiche de collecte. Le détail des préparatifs de la collecte et de l'entretien du matériel est précisé en annexe 2. Une fiche de collecte utilisée pour tous les sites est disponible en annexe 3.

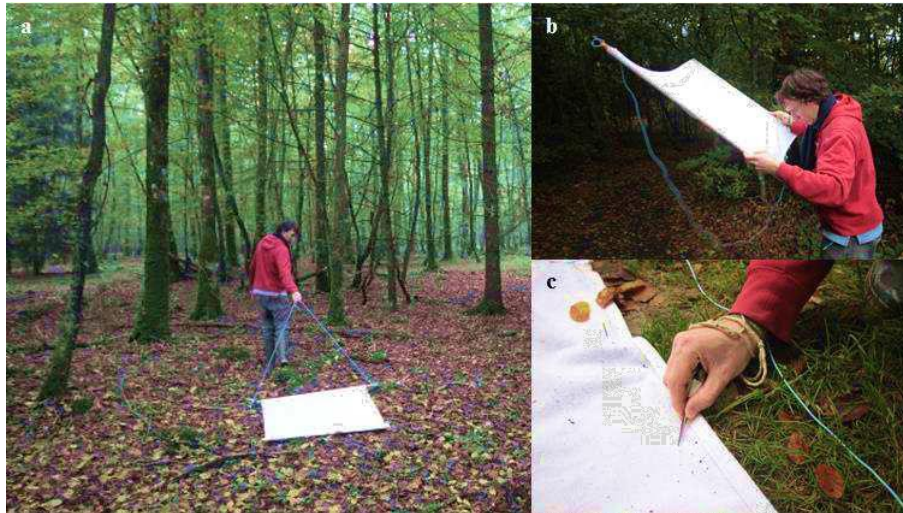


Figure 15 : Collecte de tiques par la méthode du drap (crédit : Olivier Plantard)

Légende : en (a) : la collecte se fait avec le drap contre le sol, en (b) et (c) : les tiques sont comptées et récoltées sur les deux faces du drap

Sur chaque site, les collectes ont été réalisées sur 100 m². En effet, chaque site comprend 10 transects de 10 m de long et 1 m de large (la largeur du drap) séparés chacun de 20 m. Les transects étaient identifiés avec des piquets ou par des traits de bombes colorées sur la végétation afin de collecter toujours sur les mêmes transects. Trois passages consécutifs du drap sur chaque transect ont été réalisés afin de gagner en précision sur l'échantillonnage (Kautzmann, 2018). A chaque passage, les tiques ont été retirées et placées dans un pot de collecte. Elles ont été comptées selon les stases (adulte mâle, adulte femelle, nymphe). L'identification de l'espèce ne peut être réalisée que sur les stases adultes. Une estimation semi-quantitative des larves a été effectuée avec un système de notation (0 : pas de larve ; 1+ : moins de 10 larves ; 2+ : entre 10 et 50 larves ; 3+ : plus de 50 larves) et elles ont été retirées du drap avec un ruban adhésif.

Sur la fiche de collecte, des éléments qualitatifs de la météo ont été consignés (vent, température et humidité ressenties, pluie récente).

2) Périodes de mesure aux échelles régionale et locale

Pour l'échelle locale, des données antérieures de collecte des tiques ont été utilisées : en effet, des collectes mensuelles sont réalisées par le CEFS à Gardouch intérieur et Gardouch extérieur depuis avril 2014. Les collectes sont réalisées en général à la fin de chaque mois. Par ailleurs, des collectes sont manquantes pour certains mois.

Pour l'échelle régionale, la collecte des tiques s'est faite sur des sites jamais étudiés à ce sujet par le CEFS (Téoules, Bois Communal, Ramée, ENVT). Les collectes ont été réalisées sur chaque site à 4 périodes différentes, autour du pic d'activité des tiques en se basant sur les données obtenues à Gardouch les années précédentes. Les collectes ont été réalisées autant que possible groupées sur le moins de journées possibles et aux mêmes heures de la journée.

	Gardouch intérieur	Gardouch extérieur	Téoules	Bois Communal	Ramée	ENVT
Période 1	20/03/18	20/03/18	20/03/18	21/03/18	22/03/18	22/03/18
Période 2	18/04/18	18/04/18	18/04/18	20/03/18	21/03/18	19/04/18
Période 3	11/05/18	11/05/18	11/05/18	12/05/18	11/05/18	12/05/18
Période 4	14/06/18	14/06/18	14/06/18	19/06/18	15/06/18	15/06/18

Tableau 2 : Dates de collecte sur les différents sites

C- Moyens utilisés pour l'estimation des densités de chevreuils

Cinq types de données ont été utilisées pour estimer les densités de chevreuils sur les sites : la localisation GPS des chevreuils pour Gardouch intérieur, les pièges photos pour tous les sites (sauf la Ramée), les plans de chasse, la méthode Capture-Marquage-Recapture pour Bois Communal et enfin les dires d'expert pour l'ENVT (témoignages du personnel, enseignants de l'ENVT, du service de faune sauvage, régulièrement présent sur ce site).

1) Localisation GPS des chevreuils sur le site de Gardouch intérieur

Le cas de l'enclos intérieur de Gardouch est particulier car le nombre de chevreuils présent dans l'enclos est parfaitement connu. Une partie d'entre eux (proportion variable au cours du temps) est équipé de colliers GPS. Les colliers sont posés sur les chevreuils lors de captures au filet en fin d'hiver, ils sont récupérés au bout d'un an lors de la capture suivante. Les données sont téléchargées, la batterie est remplacée et les colliers sont replacés sur les mêmes animaux qui sont relâchés dans leur enclos.

Ces colliers permettent de connaître la localisation GPS des chevreuils équipés à des intervalles de temps programmés. La programmation utilisée était une localisation toutes les 4 heures mais certains jours, elle était d'une localisation toutes les 2 heures, voire toutes les heures. Enfin une fois par mois, la programmation était d'une localisation toutes les 15 minutes sur 24 heures. De plus, le GPS a 3 minutes pour se localiser donc pour les localisations à 4h par exemple, les localisations comprises entre 3h58 et 4h02 ont été conservées.

Durant notre étude, entre 2014 et 2018, entre six et sept chevrettes portaient un collier GPS, de marque Lotek 3300. Le nombre de localisations de chevreuils aux emplacements des relevés tiques a été analysé.

2) Utilisation de pièges photos

Des pièges photos ont été posés avec l'aide du CEFS afin de pouvoir vérifier la présence des chevreuils et plus généralement connaître la grande faune sauvage présente sur les différents sites. Seul le site de la Ramée n'a pas reçu ce dispositif en raison de sa forte fréquentation et du risque de vol du matériel.

L'appareil utilisé est de marque Reconyx, HyperFire Covert Camera.

Le piège photo est composé d'un boîtier fermé fixé sur un support (dans notre cas, il s'agissait d'un arbre), et protégé avec un cadenas souple entourant l'arbre. Dans le boîtier, on retrouve un dispositif composé d'un détecteur infrarouge, d'un appareil photo et d'une carte mémoire SD 32go.

Lors du passage d'un animal dans le champ de détection du piège photo (environ 10-15 m² selon son orientation), trois photos d'affilée sont prises, espacées chacune d'une seconde.

Les pièges photos ont été fixés sur un arbre à environ 1 m 50 du sol. Ils ont été placés de préférence dans une zone de passage d'animaux identifiable (coulée = trace laissée sur la végétation basse qui est couchée sur une ligne). Le piège photo a été orienté de telle sorte qu'il couvre le plus de surface possible. Le bon fonctionnement des pièges photos a été vérifié après son installation. Le nombre de photos de chevreuils a été relevé.

3) Plans de chasse

La fédération de chasse de Haute Garonne, ainsi que les présidents des ACCA (Association Communale de Chasse Agréée) de Gardouch, Renneville, Fabas et Tournefeuille ont été contactés afin d'obtenir des données en ce qui concerne la superficie de l'ACCA ainsi que les attributions, nombre de chevreuils autorisés au tir, et réalisations, nombre de chevreuils effectivement chassés. Pour l'analyse des données, les attributions ont été utilisées plutôt que les réalisations, car les attributions sont basées sur un suivi de la population par les chasseurs alors que les réalisations sont plus dépendantes de l'effort et du succès de chasse.

4) Densité estimée par Capture Marquage Recapture

Trois sessions de Capture Marquage Recapture Visuelle (CMR) ont été réalisées au printemps 2018 comme chaque année sur le site de Bois Communal. Elles ont permis d'obtenir un nombre de chevreuils estimés présents, dont la moyenne a été faite. Cette méthode se base sur le comptage du nombre de chevreuils (porteur d'un collier ou non) observés en parcourant le site, rapporté au nombre de chevreuils enregistrés comme présents sur le site grâce à leur collier émetteur, permettant de définir une probabilité d'observation. Un modèle d'estimation de la densité de chevreuil (N_i) est utilisé en calculant un indice de Petersen-Lincoln, dont la valeur est modifiée selon les probabilités d'observations : $N_i = ((P_s * 100) * O_t) / S$ où P_s est la moyenne des probabilités

d'observation des individus marqués présents sur la zone, O_t est le nombre d'individus observés lors d'une recapture (marqués et non marqués) et S la surface de la zone prospectée (Froustey, 2018).

D- Analyse des données

1) Échelle régionale

En ce qui concerne la densité des chevreuils, les données obtenues ont été variables selon les sites (CMR, piège photo, données des ACCA, dires d'expert). Elles n'ont pas permis d'obtenir des valeurs chiffrées précises concernant les densités de chevreuils sur chaque site. Il a donc été choisi d'établir une échelle qualitative en établissant des rangs de densité croissante à partir de toutes ces données.

Pour ce qui est des tiques, le nombre de tiques adultes collecté (toutes identifiées comme étant de l'espèce *I. ricinus* sauf une) a été insuffisant pour comparer les sites en utilisant cette stase. Le comptage des larves étant moins précis (pas de valeur numérique mais seulement une échelle semi-quantitative), il a été choisi de s'intéresser seulement à la densité de nymphes.

La densité de nymphes par site et par période de collecte a été obtenue en faisant la somme des nymphes collectées lors des 3 passages sur les 10 transects (soit pour 100 m²).

Un histogramme de distribution de la variable nombre de nymphes a été fait afin de vérifier qu'elle suivait une loi de Poisson, ce qui nous a permis de calculer une incertitude autour des valeurs du graphique.

L'ensemble des graphiques ont été réalisés à l'aide du logiciel R version 3.5.0 (Wickham., 2016 ; Aragon, 2017 ; Neuwirth, 2014).

2) Échelle locale

Des collectes mensuelles de tiques entre avril 2014 et mars 2019 ont été utilisées pour estimer l'abondance des tiques. Là encore, étant donné le faible nombre de tiques adultes collectées, les données pour cette stase n'ont pas été étudiées. On s'est donc intéressé principalement aux nymphes et aux larves.

Pour les nymphes, des données sont manquantes pour les mois de décembre 2014 et février 2018, par manque de main d'œuvre disponible à la période de collecte habituelle.

L'utilisation d'une échelle semi-quantitative en ce qui concerne les larves a commencé en janvier 2015, c'est pourquoi les données exploitées pour les larves sont comprises entre janvier 2015 et mars 2019. On retrouve des données manquantes pour les mêmes mois que ceux pour les nymphes, ainsi que pour le mois de mai 2018, probablement lié à un oubli de notation par les opérateurs.

Des chronologies portant sur l'abondance de nymphes et de larves ont été réalisées. Les variables utilisées concernent une stase (nymphe ou larve) et un mois de collecte. Pour les nymphes, l'abondance est calculée chaque mois comme la somme des nymphes collectées lors des 3 passages par transect et sur les 10 transects (soit une somme de 30 nombres). Dans le cas des larves, pour chaque transect au bout du 3^{ème} passage, la quantité de larves est évaluée de manière semi-quantitative avec des classes d'abondance, on prendra alors la médiane de la classe comme estimation de l'abondance par transect de larve (tableau 3).

Notation sur la fiche de collecte	Signification	Médiane de l'abondance utilisée pour l'analyse
0	Pas de larve	0
+	Moins de 10 larves	5
++	Entre 10 et 50 larves	30 larves
+++	Plus de 50 larves	100 larves

Tableau 3 : Classe d'abondance des larves

L'abondance de larve est la somme des abondances pour les 10 transects (elle est comprise entre 0 et 1000).

En ce qui concerne l'abondance locale des chevreuils, elle est mesurée par leur fréquentation des différents transects tiques en utilisant les localisations GPS enregistrées par leur collier. Ces localisations GPS brutes sont nombreuses (entre 30 et 530 par chevreuil et par an). Les données ont été traitées par Bruno Lourtet, technicien en système d'informations géographiques (SIG) à l'INRA. Les coordonnées GPS des transects ont permis de les situer sur le logiciel de SIG. Des zones de 7 mètres autour des transects ont été définies et seules les localisations GPS de chevreuils placées dans ces zones ont été conservées. Afin d'obtenir un jeu de données équilibré pour l'ensemble des mois, les enregistrements de position effectués toutes les 15 minutes, ou toutes les 1 et 2 heures ont été supprimés du jeu de données puis le fichier obtenu a été contrôlé afin de retirer des doublons (localisations GPS identiques du même chevreuil à la même heure). De plus, le nombre de chevreuils portant un collier GPS a varié entre 6 et 7 chevreuils au cours de l'étude mais le nombre de chevreuils présents dans l'enclos a été compris entre 6 et 13 chevreuils. Il a été choisi d'estimer que les chevreuils portant des colliers GPS (au nombre de n) se comportaient comme des chevreuils moyens en termes de fréquentation des transects. Une correction a donc été faite pour calculer la fréquentation des transects en termes de nombre de localisations (LocaChevreuil) en rapportant le nombre de localisations obtenues (x) à la proportion de chevreuils équipés d'un collier GPS :

$LocaChevreuil = (x*N)/n$, où n est le nombre de chevreuils équipés d'un collier et N le nombre de chevreuils présents dans l'enclos.

De plus, lors des naissances de faon, en juin, il a été considéré qu'il commençait à se déplacer en août deux fois moins que les adultes (comptés alors comme 0,5 chevreuil) jusqu'en octobre puis ils étaient comptés après comme des adultes.

Les données ont été analysées tous transects cumulés (pour voir des variations au cours du temps) puis transect par transect (pour les variations spatiales). La variable utilisée est la somme des localisations de chevreuils dans une zone de 7 mètres de part et d'autre d'un transect chaque mois entre avril 2014 et février 2018.

Pour ce qui est de l'analyse statistique, le logiciel R version 3.5.0 a été utilisé (Aragon, 2017 ; Wickham., 2016 ; Neuwirth, 2014 ; Auguie, 2017 ; Wilke, 2019).

L'objectif est de comparer deux séries chronologiques portant sur des densités de nymphes/larves et des localisations de chevreuils. Un décalage chronologique est attendu entre les deux variables en raison du cycle de la tique : les larves donnent des nymphes qui donnent des adultes (dont les hôtes sont les Ongulés) qui donnent des œufs). Pour tenir compte de ce décalage chronologique, il a été choisi de réaliser des corrélations croisées (« cross correlation function » ou CCF) avec la réalisation d'un corrélogramme. L'utilisation des corrélations croisées est adaptée aux modèles de prévision ainsi que dans l'analyse de plusieurs séries spatiales ou temporelles pour savoir comment celles-ci sont liées. Le principe est d'estimer la corrélation de deux séries x et y . La série « x » est comparée à la série « y » en décalant la série « x » de n « lag » (il s'agit de mois dans le cadre de notre étude). Le degré de corrélation entre les deux séries est donné par la valeur du CCF : plus il augmente, plus la corrélation est élevée. Un test de significativité est associé, matérialisé par un trait bleu sur les figures de corrélogramme. Il indique le seuil au-delà duquel la corrélation croisée est significative. Si le signe du CCF est positif, les deux séries de valeurs se dirigent dans la même direction (si une augmente, l'autre augmente). Si le signe du CCF est négatif, alors les deux séries de valeur évoluent de manière opposée (si une augmente, l'autre diminue). Enfin, le signe du décalage (« lag ») donne le sens du décalage de x par rapport à y (antérieur ou postérieur) (Shumway, Stoffer, 2011).

II- Résultats

L'analyse des résultats traitera d'abord de l'échelle régionale : les différentes données collectées ont permis de réaliser un classement qualitatif des densités de chevreuils dont les résultats seront présentés, suivis de ceux sur les densités de nymphes dans les différents sites. Dans une deuxième partie, les résultats portant sur l'échelle locale seront analysés. Ils s'intéressent aux variations de densités locales de nymphes et de larves en fonction de la fréquentation des transects par les chevreuils.

A- Échelle régionale

1) Étude qualitative des densités de chevreuils

Les différentes données collectées ont permis d'établir un classement des sites. L'enclos intérieur de Gardouch, avec une superficie de 12 ha, pour un nombre moyen de 6,5 individus sur la période de collecte, comprend donc 54 chevreuils par 100 ha et peut être considéré comme le site à la densité de chevreuils la plus élevée.

Dans le cas du site de Bois Communal, dont la superficie est de 215 ha, les opérations de Capture Marquage Recapture ont permis d'obtenir des densités estimées de chevreuils lors de 3 sessions en 2018, dont les résultats sont les suivants :

	Densité estimée / 100 ha	Densité moyenne	IC 95%
Session 1	14,1	10,4	[4,97 – 15,91]
Session 2	10,0		
Session 3	7,2		

Tableau 4 : Données obtenues lors des sessions de CMR en 2018 (Froustey, 2018)

Entre 2005 et 2018, pour le même site, une densité moyenne de 6,99 chevreuils par 100 ha a été estimée (IC 95% : [2,75 – 11,23]), ce qui est environ 8 fois moins élevée que pour le site de Gardouch intérieur (Froustey, 2018).

Les données issues des plans de chasse sont les suivantes :

Site	Nombre moyen d'attributions de chevreuils	Superficie domaine de chasse (ha)	Nombre de chevreuils attribué par 100 ha
Gardouch extérieur	16	2360	0,68
Téoules	8	842	0,96
Bois Communal	53	2700	1,96
Ramée	2	30 ha (mais commune de 1817 ha)	0,11
ENVT	0	0	0

Tableau 5 : Données obtenues avec les plans de chasse

Pour ce qui est du site de la Ramée, la surface du domaine de chasse de Tournefeuille diminue d'année en année avec l'urbanisation croissante et atteint actuellement 30 ha. Il a été choisi de considérer la superficie de la commune entière. En effet, les chevreuils sont à la fois concentrés par l'urbanisation sur une surface plus faible, mais ils peuvent malgré tout accéder à des sites exempts de chasse comme celui de la Ramée.

Les informations sur les chevreuils fournies par l'analyse des clichés des pièges photos sont situées dans le tableau 6. On peut constater que le nombre de photos prises par 100 heures est plus élevé à Gardouch extérieur et Téoules comparé à Gardouch intérieur, et Bois Communal pour lequel aucun chevreuil a été capturé. Pourtant d'après la méthode CMR, la densité est estimée à 7 chevreuils par 100 ha à Bois Communal. La correspondance entre densité et nombre de prises par 100h n'est donc pas évidente. Par ailleurs, d'autres espèces ont pu être mises en évidence lors de cette étude, l'annexe 4 contient un graphique présentant les espèces rencontrées.

Site	Nombre de prises photo de chevreuils	Durée de fonctionnement (h)	Nombre de prises par 100 h
Gardouch intérieur	4	480	0,83
Gardouch extérieur	12	406,7	2,95
Téoules	10	403	2,48
Bois Communal	0	399,5	0
ENVT	0	298	0

Tableau 6 : Description des données obtenues grâce aux pièges photos

Voici un exemple de photos obtenues grâce au piège photo sur le site de Gardouch intérieur :



Figure 16 : Photo d'un chevreuil capturé par le piège photo situé à Gardouch intérieur

Dans le cas du site de l'ENVT, le piège photo n'a pas permis de mettre en évidence la présence de chevreuils. De plus, à dire d'expert, aucun chevreuil n'a été observé sur ce site. Ces informations permettent de conclure que ce site peut être considéré comme un site témoin négatif, comprenant la densité de chevreuils la plus faible (voire nulle).

A propos de Gardouch extérieur, dont le bois jouxte celui de Gardouch intérieur, il a été choisi de le placer juste après Gardouch intérieur car la présence proche des chevreuils en densité élevée peut avoir une influence directe sur ce site.

Étant donné une correspondance difficile entre densité connue et nombre de photos prises par 100h, il a été choisi d'établir le classement des sites en se basant principalement sur le plan de chasse.

Voici l'échelle qualitative permettant de classer les sites en fonction de leurs densités de chevreuils respectives :

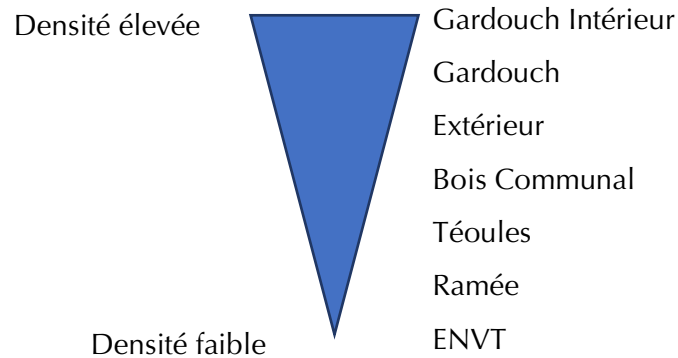


Figure 17 : Echelle qualitative des densités de chevreuils des sites étudiés

2) Corrélation entre les densités de nymphes et de chevreuils

Pour étudier les densités de nymphes, 240 comptages ont été réalisés (6 sites comprenant 10 transects, sur 4 périodes). Un histogramme de distribution des nymphes a été établi (Figure 18). Les classes en abscisses correspondent au nombre de nymphes collectées par 100 m², c'est-à-dire pour un site (soit 10 transects) et par période de collecte. On observe que la majorité des sites à chaque période de collecte comportait entre 0 et 20 nymphes. L'histogramme suit une distribution de Poisson, les incertitudes sur l'abondance de nymphe sont donc calculées suivant une loi de Poisson.

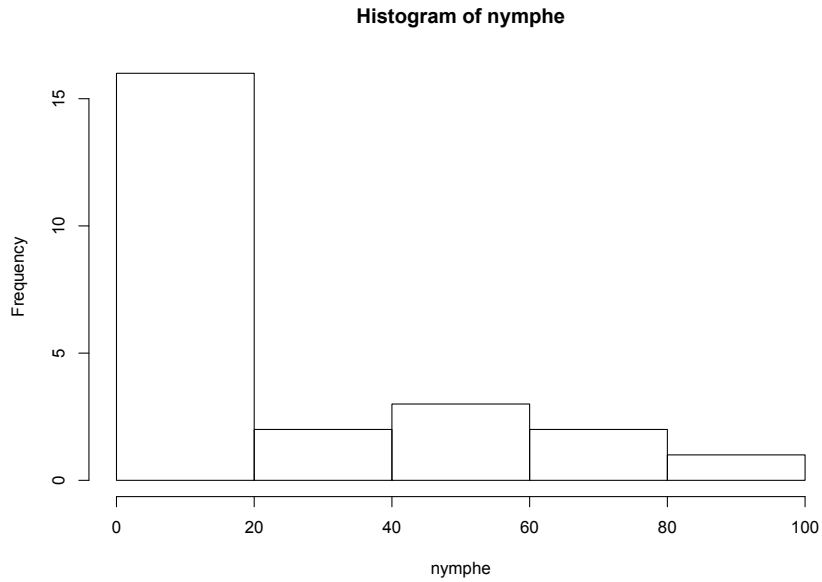


Figure 18 : Histogramme de distribution des nymphes

Le graphique suivant (Figure 19) représente une chronologie des nymphes collectées sur les 6 sites lors des 4 périodes de collecte :

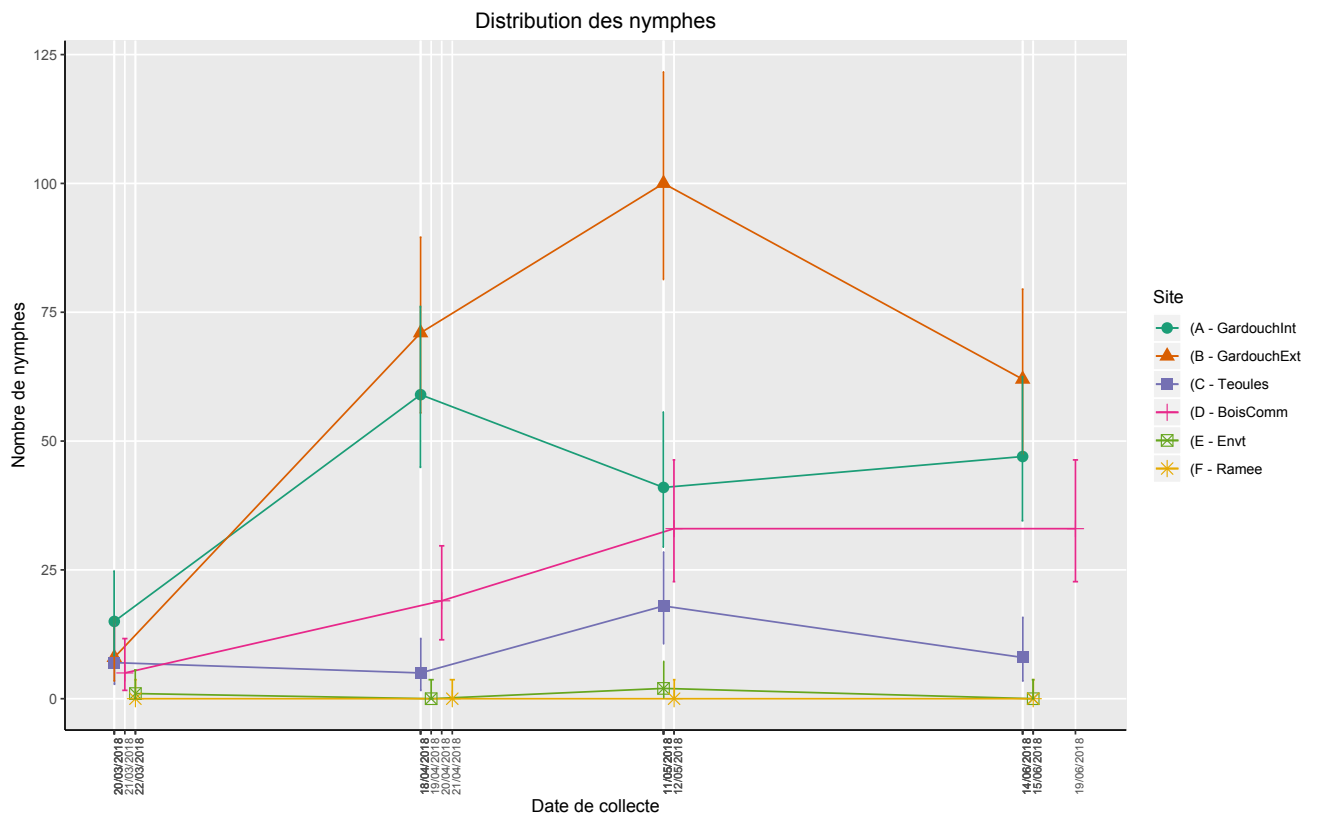


Figure 19 : Représentation graphique de la distribution des nymphes en fonction des sites et des périodes de collecte

Légende : Les barres d'erreur associées à chaque point représentent l'incertitude de la mesure d'abondance des nymphes

On peut observer que deux sites présentent les plus fortes densités de nymphes, il s'agit de Gardouch intérieur et Gardouch extérieur. Il n'y a pas de différence significative entre les deux sites (recoupement des intervalles de confiance), sauf pour une période de collecte en mai. Sur deux autres sites, la densité de tiques est très faible voire nulle : il s'agit des sites de la Ramée et de l'ENVT. Les sites de Téoules et Bois Communal présentent des valeurs de densités de nymphes assez similaires, avec des valeurs un peu plus élevées pour Bois Communal.

Par rapport à l'échelle qualitative de densités de chevreuils, on retrouve un ordre comparable pour les densités de nymphes :

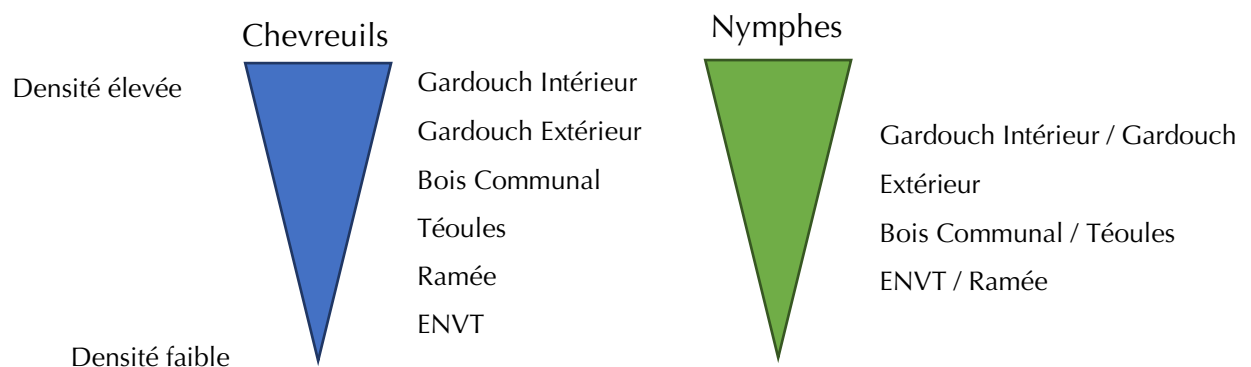


Figure 20 : Échelles des densités de nymphes et des densités de chevreuils

Ces résultats sont donc en faveur de l'existence d'une corrélation positive entre les densités de nymphes et les densités de chevreuils à l'échelle du paysage. Nous allons maintenant regarder si, à très petite échelle, la fréquentation locale des transects par les chevreuils est corrélée avec les densités de nymphes et de larves.

B- Échelle locale

1) Corrélation entre les densités de nymphes et de chevreuils

Une chronologie de l'abondance des tiques et de la fréquentation par les chevreuils chaque mois sur les transects du site de Gardouch intérieur entre avril 2014 et mars 2019 a été réalisée :

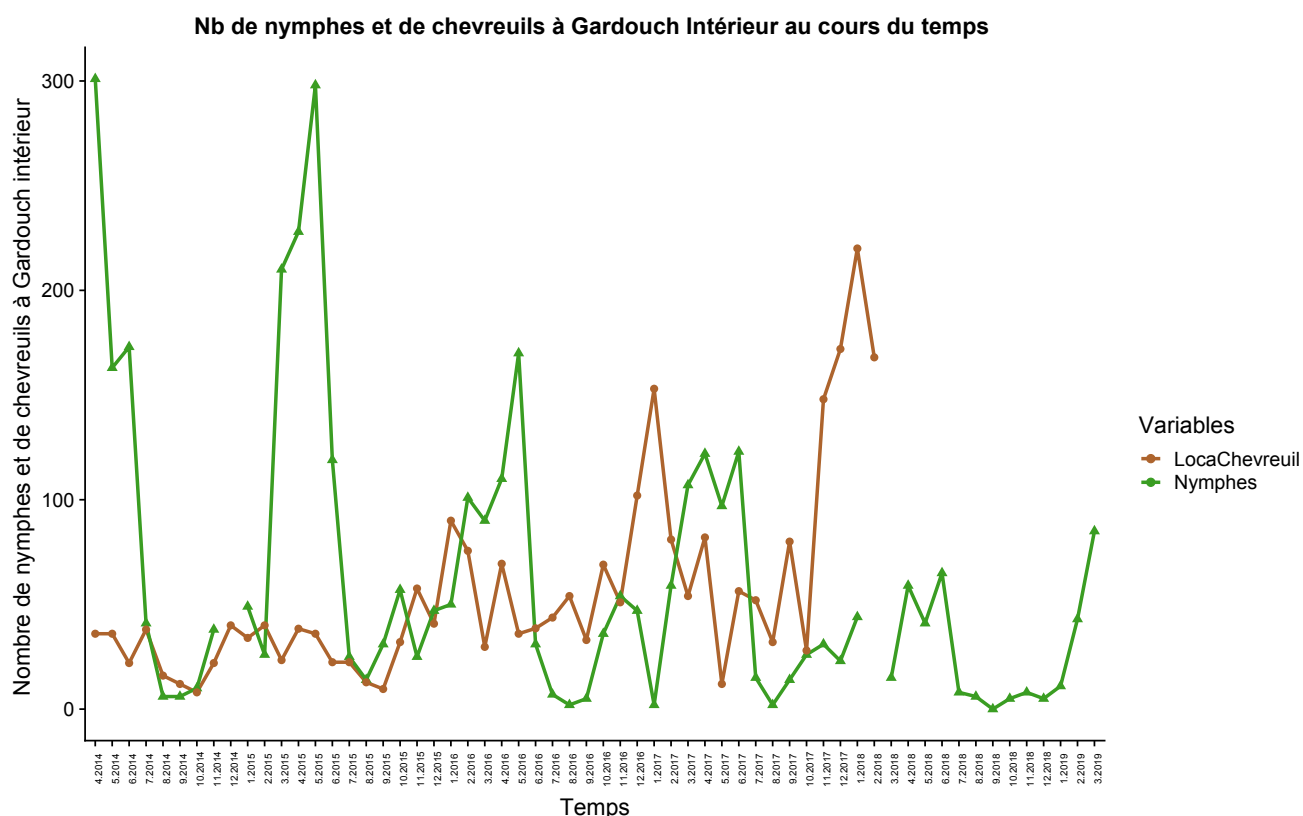


Figure 21 : Chronologie des densités de nymphes et localisations de chevreuils sur le site Gardouch intérieur

Légende : Les localisations mensuelles de chevreuils sur les transects (LocaChevreuil) ont été multipliées par 2 afin d'améliorer la lisibilité du graphique ; Nymphes représente l'abondance mensuelle de nymphes

On observe pour les nymphes, un pic régulier autour des mois d'avril-mai. En revanche, il y a une diminution progressive du nombre des nymphes au pic. Cela pourrait montrer un épuisement des tiques au fur et à mesure des collectes. Mais c'est peu probable car une comparaison a été faite avec les sites de Gardouch extérieur en annexe 5 et d'autres sites de collecte du projet Climatick en annexe 6. On ne retrouve

pas pour ces sites cette diminution bien que la fréquence des collectes soit identique. En ce qui concerne les localisations de chevreuils, on observe deux pics principaux aux mois de janvier 2017 et 2018, et un léger pic au mois de janvier 2016, qui correspondent à une fréquentation plus élevée des transects par les chevreuils ces mois-ci. Le même graphique avec les barres d'erreur est en annexe 7. Une analyse de la corrélation entre les deux courbes a été réalisée à l'aide d'un corrélogramme.

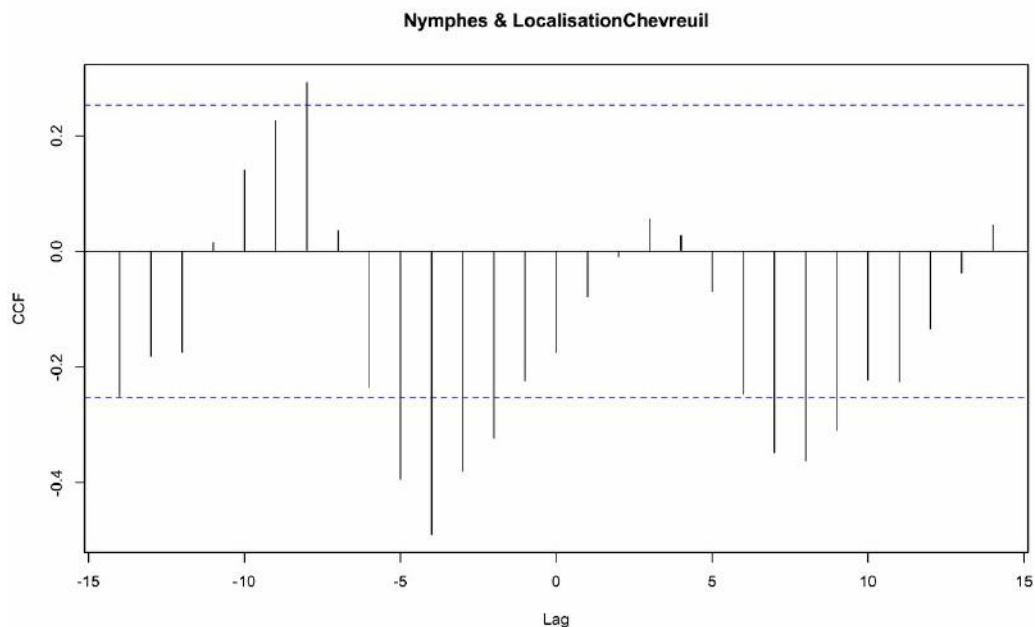


Figure 22 : Corrélogramme des localisations de chevreuils et des densités de nymphes

Sur le corrélogramme, on obtient un pic positif supérieur au seuil de significativité (trait bleu) situé à un intervalle de 8 mois (lag= -8). Ainsi, ce résultat signifie qu'il existe une corrélation positive entre l'augmentation de la densité des nymphes et l'augmentation de la fréquentation des transects par les chevreuils 8 mois auparavant.

Il existe de plus une corrélation négative entre la densité des nymphes et la fréquentation des chevreuils sur les transects 4 mois auparavant. Enfin, le dernier pic observé à un intervalle de 8 mois (lag= +8) et un CCF négatif signifie qu'il existe une corrélation négative entre la densité des nymphes et la fréquentation des transects par les chevreuils 8 mois plus tard. Ces deux derniers résultats s'expliquent probablement par l'activité saisonnière des tiques *I. ricinus* et des chevreuils.

2) Corrélation entre les densités de larves et de chevreuils

Sur le même principe que les nymphes, une chronologie sur l'abondance des larves, estimée de manière semi-quantitative, et la fréquentation des transects par les chevreuils sur le site de Gardouch intérieur, entre janvier 2015 et mars 2019 a été réalisée.

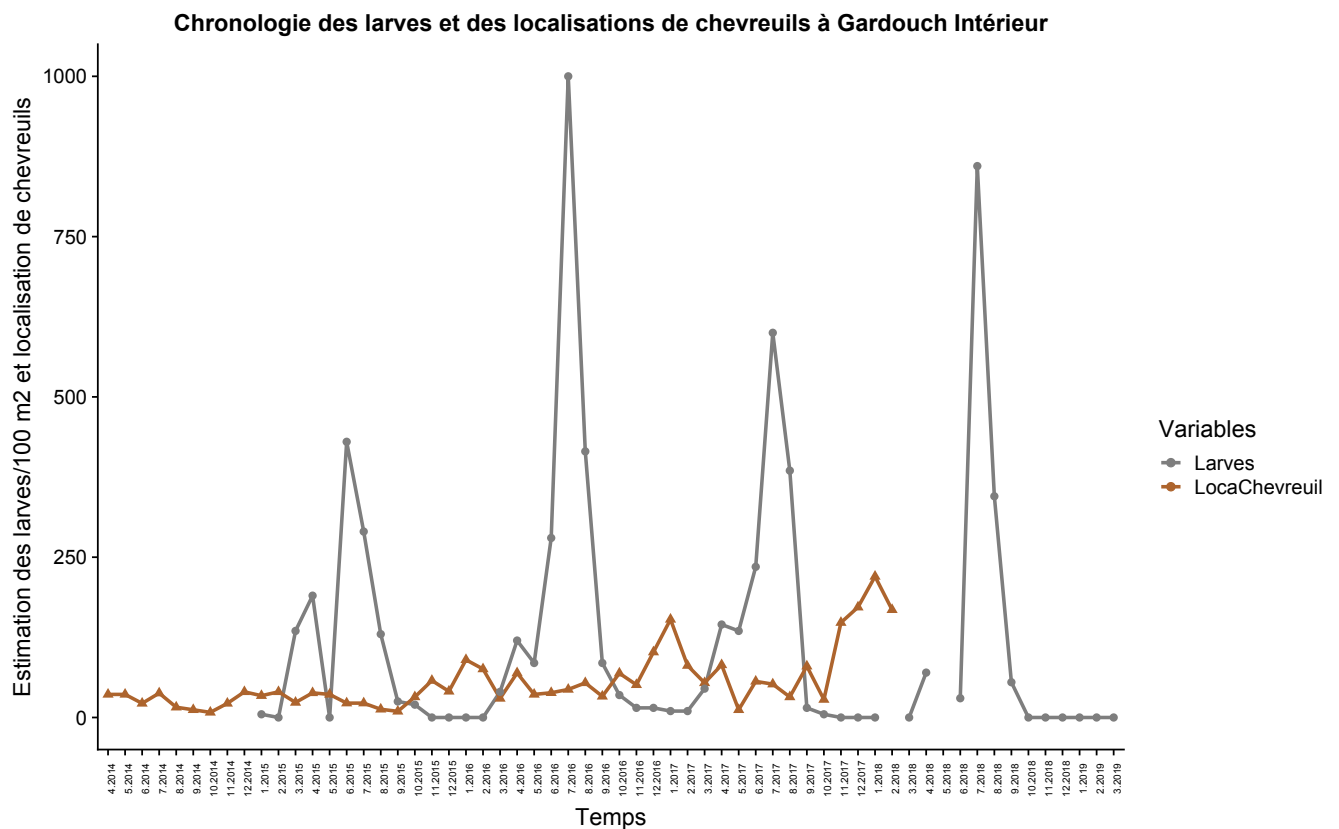


Figure 23 : Chronologie des densités des larves et des localisations de chevreuils à Gardouch intérieur

Légende : Larves représente l'abondance mensuelle de larves ; les localisations mensuelles de chevreuils sur les transects (LocaChevreuil) ont été multipliées par 2 afin d'améliorer la lisibilité du graphique

On observe pour les larves, un pic régulier au mois de juillet. On ne retrouve pas une diminution progressive au cours du temps du nombre de larves comme c'était le cas pour les nymphes. En ce qui concerne les localisations de chevreuils, les données étant identiques au graphique précédent, on retrouve des pics aux mois de janvier 2017, 2018, et aussi de manière moins marquée en janvier 2016. En annexe 8,

le même graphique est présenté avec des barres d'erreur. Une analyse de la corrélation entre les deux courbes a été réalisée en utilisant un corrélogramme.

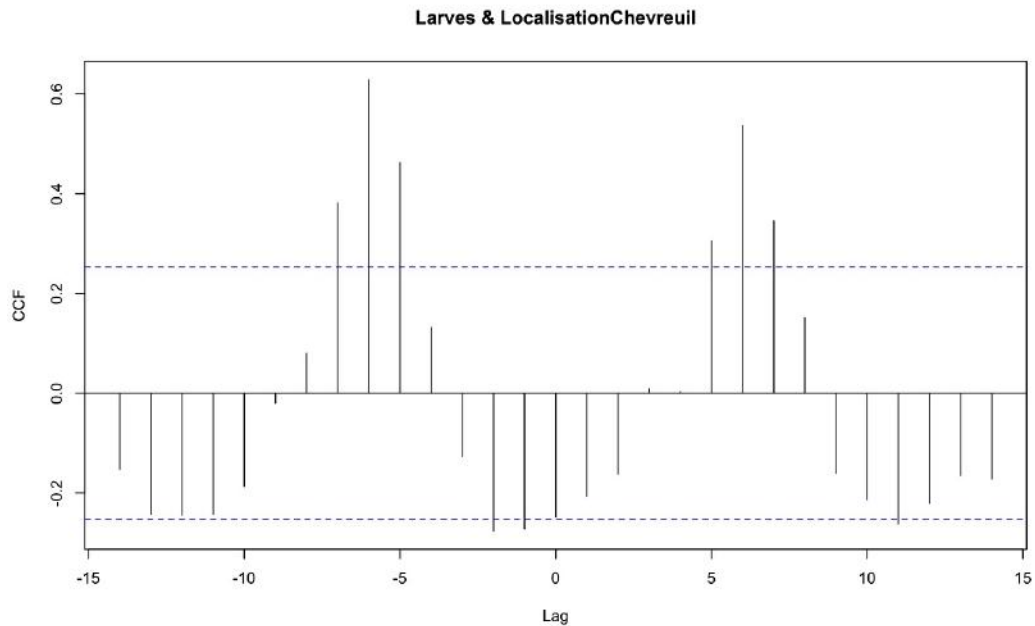


Figure 24 : Corrélogramme des localisations de chevreuils et des densités de larves

Sur le corrélogramme, on observe cette fois-ci plusieurs pics supérieurs au seuil de significativité (trait bleu). Ils se situent à un intervalle entre 5 et 7 mois, avec un pic à 6 mois. Ce résultat renseigne sur l'existence d'une corrélation positive entre la densité des larves et la fréquentation des transects par les chevreuils 6 mois auparavant. On peut interpréter ce résultat en disant qu'il existe un décalage d'environ 6 mois entre l'augmentation de la fréquentation des transects par les chevreuils et une augmentation locale de la densité des larves.

III- Discussion

Après les avoir présentés, nous allons maintenant interpréter les principaux résultats obtenus, en prenant en compte les limitations et les difficultés rencontrées au cours de cette étude. Ces résultats seront discutés à la lumière d'autres résultats issus de la littérature scientifique et des perspectives seront proposées pour améliorer les connaissances sur cette relation entre abondance des tiques et abondance des chevreuils.

A l'échelle régionale, nos résultats sont en faveur de l'existence d'une corrélation positive entre les densités de nymphes et les densités de chevreuils à l'échelle du paysage. Nos résultats sont en accord avec d'autres études qui ont montré une association positive entre l'abondance des chevreuils et l'abondance des nymphes (James et al., 2013 ; Gilbert et al., 2012)

Par ailleurs, une étude a montré que l'abondance des tiques n'était pas forcément liée à l'abondance des chevreuils mais plus simplement à sa présence, (Hofmeester et al., 2017). Ce résultat pourrait expliquer que sur les différents sites étudiés, les variations de densités de nymphes ne sont pas forcément proportionnelles aux variations de densités de chevreuils. De plus, la corrélation en statistique se définit comme la liaison entre deux variables mais ce n'est pas forcément un lien de causalité.

Les données utilisées pour réaliser l'échelle qualitative de densités de chevreuils sont de nature variable, toutes les données ne sont pas toujours disponibles pour tous les sites (piège photo à la Ramée par exemple), et leur analyse statistique n'a pas été possible. Les échelles sont aussi différentes entre un piège photo qui s'intéresse à la fréquentation d'une dizaine de m² de terrain et des plans de chasse qui concernent une surface de plusieurs centaines d'hectares. C'est pourquoi il a été choisi de s'intéresser surtout aux plans de chasse comme indicateur des densités de chevreuils. De plus, un nombre bien plus élevé de photos a été pris à Gardouch extérieur et à Téoules par rapport à Gardouch intérieur, alors que l'on sait que ce site présente la plus forte densité en chevreuils. Cela suggère que, selon l'emplacement du piège photo, si celui-

ci est placé sur une trajectoire fréquemment empruntée par un chevreuil résident sur le site, le nombre de photos prises du même chevreuil peut augmenter artificiellement la fréquentation du site par les chevreuils et entraîner une erreur sur la densité des chevreuils. Seul le site de Gardouch intérieur où les chevreuils portent des colliers de couleur permet de différencier individuellement les chevreuils. L'estimation de l'abondance d'une espèce peut se faire en utilisant le principe de capture-recapture avec les pièges photos, mais cela suppose une identification individuelle des animaux, d'autant plus difficile si la densité de population est élevée. Dans ce cas, une alternative à l'identification individuelle est le taux de capture (nombre de photos par unité de temps), ce qui permet d'avoir un index de densité mais son utilisation suppose aussi d'avoir fait un calibrage entre le taux de capture et la densité, ces deux facteurs pouvant varier indépendamment (Foster, Harmsen, 2012).

Les sites se distinguaient non seulement par leurs densités variables de chevreuils mais aussi plus généralement en termes de fréquentation humaine, canine, ainsi que par la diversité de la faune sauvage (blaireau, fouine, renard, sanglier, lapin ...). Le site de l'ENVT semble assez riche en faune sauvage avec quatre espèces photographiées, mais une surestimation de la fréquentation est fort probable avec des individus très régulièrement de passage sur le site (blaireau, renard) ou vivant à proximité du piège photo (lapin) et donc fréquemment photographié.

A propos des autres espèces d'hôtes, une augmentation de la population des rongeurs, hôte de choix des larves, peut être à l'origine d'une augmentation de l'abondance des tiques (Li et al., 2014). Il serait intéressant d'étudier en plus sur les différents sites leur richesse en micromammifères en réalisant par exemple des captures et en échantillonnant les larves sur les micromammifères.

Par rapport aux comptages de tiques, il serait intéressant de renouveler les collectes sur plusieurs années autour du pic d'activité des tiques pour augmenter le nombre de données obtenues et vérifier si les résultats obtenus à l'échelle régionale en 2018 sont bien reproductibles sur d'autres années. De plus, les collectes n'ont pas pu être réalisées les mêmes jours ou aux mêmes horaires, ce qui peut créer des variations au niveau des conditions météorologiques locales. La température et l'humidité relative

sont deux facteurs abiotiques déterminants dans le comportement d'affût et le pattern d'activité saisonnière des tiques (Tagliapietra et al., 2011), en raison de leur sensibilité au froid et à la dessiccation (Ehrmann et al., 2017). De plus, le microclimat et le type d'habitat sont aussi essentiels à la survie des tiques (Ehrmann et al., 2017 ; Rand et al., 2003)

La végétation au sol était aussi différente avec un taux d'enherbement parfois plus élevé sur certains sites (Gardouch intérieur, Bois Communal, Téoules par rapport à Gardouch extérieur, la Ramée ou l'ENVT) et des essences d'arbres variables malgré une dominance des chênes. La végétation peut avoir une influence sur l'abondance des tiques, plus élevée dans les forêts de chênes que dans celles de pins. Des études sur d'autres espèces comme *Ixodes scapularis* montrent aussi des densités de nymphes plus élevées dans des bois feuillus plutôt que des bois de conifères (Ginsberg et al., 2004). Une augmentation du couvert végétal est aussi favorable à l'abondance des tiques (Tack et al., 2012). Cela peut s'expliquer probablement par un milieu adapté aux chevreuils, avec des fourrages de bonne qualité et des abris favorables à leur implantation. De plus, ce type de milieu crée un microclimat favorable aux tiques, avec entre autres un maintien de l'humidité au sol, la présence d'abris pour les tiques en cas de conditions climatiques extrêmes (notamment l'exposition au soleil en été) (Medlock et al., 2008). A l'échelle du paysage, la taille de la lisière de la forêt a un effet positif sur l'abondance des tiques, montrant que cet espace à la frontière de deux milieux, particulièrement fréquenté par les hôtes des tiques, présente des conditions favorables de développement des tiques (Tack et al., 2012).

A l'échelle locale, d'une part, nos résultats montrent l'existence d'une corrélation entre la fréquentation des transects par les chevreuils et une augmentation locale de la densité des nymphes avec un décalage de 8 mois. Des études ont comparé l'abondance des chevreuils et l'abondance des tiques en réalisant des collectes au drap, ils ont montré aussi une corrélation positive significative entre les abondances respectives des nymphes et des chevreuils (Gilbert, 2010). D'après Wilson et al., 1990, à l'échelle de dizaines de mètres, la distribution spatiale de cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus*) l'année d'avant était responsable de la distribution locale

observée des nymphes, résultat assez proche des 8 mois que nous obtenons dans notre étude.

Par ailleurs, cette corrélation bien que significative n'est pas très forte (CCF de 0,2). La corrélation attendue entre nymphes et chevreuils n'est donc pas forcément directe avec la présence d'autres hôtes influençant la survie des stases immatures. En effet, si l'on reprend le cycle biologique de la tique, les larves réalisent un repas sanguin puis une métamorphose pour devenir des nymphes. Ce repas sanguin peut se faire sur le chevreuil mais il a lieu plus fréquemment sur des micromammifères. Ce type d'hôte semble donc avoir une influence sur la population de nymphes. Dans l'étude de Paul et al., 2016, une diminution brutale du nombre de chevreuils durant l'hiver 2010-2011 et des rongeurs en 2009 ont été associées à une diminution (non significative) de l'abondance des nymphes en 2010, puis significative en 2012. Ceci est probablement lié à la baisse d'abondance des rongeurs et des chevreuils réduisant la survie des adultes en 2011 et donc le nombre de nymphes en 2012 (Wilson et al., 1985). De plus, la distribution des nymphes dépend aussi des mouvements des hôtes des larves, à savoir des micromammifères et des oiseaux, ce qui explique le fait que l'abondance des nymphes soit moins bien corrélée à celle des chevreuils (Wilson et al., 1985).

En ce qui concerne l'évolution des densités de nymphes entre 2014 et 2018, une diminution a été observée d'année en année. Un épuisement de la présence de tiques avec les collectes répétées chaque mois sur les mêmes transects a été suspecté sur le site de Gardouch intérieur. Une chronologie pour le site de Gardouch extérieur a été réalisée et une comparaison a été faite aussi avec les autres sites participant au projet Climatick (en annexes 5 et 6). Sur l'ensemble de ces sites, la diminution de densité de nymphes n'est pas observée. Cette situation limitée à Gardouch intérieur n'est pas liée à une diminution de la densité de chevreuils entre 2014 et 2018. Elle s'explique peut-être par une baisse de fréquentation des transects par les micromammifères ou les chevreuils. Un changement dans la localisation de certains transects à Gardouch intérieur pourrait aussi être envisagé, en les plaçant dans les zones les plus souvent fréquentées par les chevreuils ou au contraire rarement utilisées afin de comparer l'abondance des différentes stases de tiques sur ces transects. Par contre, ces zones

risqueraient d'être moins accessibles et les nouveaux transects ne seraient pas comparables aux données obtenues depuis 2014.

D'autre part, nous avons pu mettre en évidence que la fréquentation des transects par les chevreuils et la densité locale des larves sont corrélées avec un décalage d'environ 6 mois. Une autre étude a montré une corrélation positive significative entre l'abondance des larves et l'abondance des chevreuils (Gilbert, 2010)

Dans le cas des larves, la corrélation est meilleure (CCF de 0,6) que pour les nymphes (CCF de 0.2). En effet, les larves sont issues d'œufs pondus par une femelle adulte gorgée. Cette femelle se gorge le plus fréquemment sur des ongulés sauvages comme le chevreuil et une fois gorgée, elle tombe au sol mais ne se déplace pas ou peu, et de même pour les larves (Ruiz-Fons, Gilbert, 2010 ; Wilson et al., 1985). Ainsi, il paraît logique que plus des sites sont fréquentés par les chevreuils, plus la probabilité que des femelles gorgées tombent sur ce même site est grande, à l'origine d'une densité locale de larves plus élevée. Un pic de développement des larves 6 mois après l'augmentation du détachement d'adultes gorgés sur le chevreuil est un résultat assez cohérent, même si dans certaines études, le pic des adultes est observé en fin d'automne, celui des larves en milieu d'été soit environ 9 mois après (Kurtenbach et al., 2006 ; Gray, 2008). Ces études sont réalisées dans le Nord-Ouest de l'Europe. Un raccourcissement du cycle biologique des tiques pourrait être observé à Gardouch en raison des hivers doux et des printemps souvent précoces en région toulousaine, climat plus favorable à l'activité des tiques (Gilbert et al., 2014 ; Tomkins et al., 2014).

Par ailleurs, à propos de l'interprétation du corrélogramme, les décalages observés de 6 mois pour les larves et 8 mois pour les nymphes peuvent aussi correspondre à des décalages plus longs de (6 +12) mois et (8+12) mois, sans que cela puisse être contrôlé.

La fréquentation des transects par les chevreuils apparaît plus élevée en hiver avec un pic au mois de janvier. Au printemps et en été, les chevrettes sont très sédentaires lors des naissances ou se dispersent en diminuant leur zone d'activité (Maublanc et al., 2018 ; Qviller et al., 2016), ce qui pourrait expliquer cette fréquentation des transects moindre à ces saisons. La saisonnalité des comportements

locomoteurs du chevreuil semble jouer un rôle dans sa présence plus fréquente sur les transects. A propos de l'abondance locale des chevreuils, une étude de Qviller et al., 2016 a montré que la distribution locale de cerfs élaphe (*Cervus elaphus*) estimée en utilisant des colliers GPS était corrélée avec la distribution locale des tiques. Pour cela, un modèle mathématique a été réalisé pour déterminer la contribution de la distribution des cerfs à celle des tiques en prenant en compte des facteurs environnementaux tels que le climat ou la végétation. Dans notre étude, il serait intéressant dans un second temps de réaliser une étude similaire avec les données obtenues à Gardouch en se basant sur le modèle de prédiction des densités de nymphes par les données météorologiques réalisé dans le cadre du projet Climatick par Cat, 2017. Nous pourrions ainsi voir si ce modèle est amélioré par l'ajout du facteur « densité locale de chevreuils ».

En ce qui concerne la localisation GPS des chevreuils sur le site de Gardouch intérieur, les données obtenues correspondent à un instant t, elles ne permettent pas de savoir si le chevreuil reste longtemps sur le même emplacement ou bien s'il ne fait que se déplacer rapidement. Il serait envisageable d'obtenir des localisations GPS toutes les 4 heures, puis 1 ou 2 minutes plus tard, et de comparer les deux localisations afin de voir si le chevreuil est en mouvement, assez fixe ou couché. Cela permettrait de mieux interpréter les données obtenues. Une autre méthode pour estimer l'abondance locale des chevreuils et son influence sur l'abondance des tiques à l'échelle du transect serait de réaliser un comptage mensuel de fèces autour des transects à l'année N puis de comparer ses résultats avec les comptages mensuels de tiques (larve, nymphe, et adulte) réalisés aux années N, N+1 et N+2 (Rand et al., 2003). Une alternative plus coûteuse serait aussi de placer des pièges photos directement au niveau des transects.

L'effet de la saisonnalité des tiques pourrait aussi expliquer le pic de larves observé en juillet (Gray, 2008 ; Kurtenbach et al., 2006). Ce pic autour du mois de juillet est aussi retrouvé dans l'analyse de Randolph et al., 2002 où des comptages ont été réalisés au Royaume-Uni entre 1995 et 2000. Il serait intéressant de vérifier l'hypothèse que c'est bien le pic de fréquentation des chevreuils sur les transects en janvier qui est à l'origine du pic de larves en juillet. Pour cela, une partie du terrain de

Gardouch Intérieur pourrait être clôturée de telle sorte que les chevreuils n'y aient plus accès en hiver. Il faudrait alors voir s'il y a autant de larves en juillet.

Une limite dans ce travail est le comptage semi-quantitatif des larves. Il serait intéressant d'établir un protocole de comptage mieux adapté aux larves. La méthode du drap est peu adaptée aux larves car elles sont à l'affût dans les parties les plus basses de la végétation (Mejlon, Jaenson, 1997 ; Gilbert, 2010). Dans un premier temps, il pourrait être proposé de compter de manière précise le nombre de larves présentes sur le drap, au moins sur quelques transects, le comptage des larves pouvant être long étant donné leur très petite taille. Plus simplement, il peut être proposé de toujours noter le nombre de larves de manière semi-quantitative mais de manière plus précise (par exemple : 0 ; 0-5 ; 5-10 ; 10-25 ; 25-50 ; 50-75 ; 75-100 ; 100-150 ; 150-200 ; >200).

Conclusion

Ixodes ricinus est une espèce de tique très présente partout en France, plus particulièrement dans les milieux couverts de type forêt. Porteuses de nombreux pathogènes (virus, bactéries...), elle fait l'objet de programmes de recherche visant à comprendre la dynamique de ses populations et les maladies qui lui sont associées. Sa présence dépend de nombreux facteurs tels que les conditions climatiques et la présence d'hôtes dans le milieu : micromammifères, lagomorphes, grands mammifères. Le chevreuil (*Capreolus capreolus*), est un hôte important pour la tique *Ixodes ricinus* et le déroulement de son cycle biologique. L'expansion numérique et géographique des populations de chevreuil au cours des dernières décennies en Europe s'est d'ailleurs accompagnée d'une expansion de la distribution et de l'abondance des tiques. La relation entre densité de tiques et densité de chevreuils, encore en discussion, a été l'objet de cette étude.

A l'échelle de la région toulousaine, six bois, a priori favorables aux tiques, mais présentant des densités contrastées de chevreuil ont été comparés en réalisant des comptages de tiques autour du pic d'activité en 2018. Une corrélation positive entre la densité de nymphes et la densité estimée de chevreuils a été mise en évidence.

A l'échelle du bois de l'installation expérimentale de Gardouch abritant une forte densité de chevreuils, la fréquentation des chevreuils autour des transects de relevés de tiques entre 2014 et 2018 a été comparée à l'abondance des tiques présentes sur ces transects. Une corrélation positive a été observée entre la fréquentation des transects par les chevreuils et la densité des larves avec un décalage de 6 mois.

Ces résultats, à la fois à l'échelle du paysage et à l'échelle très locale (quelques dizaines de mètres carrés), sont donc bien en faveur de l'existence d'une corrélation entre densité des tiques et des chevreuils. Une analyse statistique basée sur un modèle mathématique permettant d'inclure différents facteurs tels que le climat pourrait prolonger cette étude.

Appréhender la relation entre les populations de tiques et les populations de chevreuils permet de définir des périodes et des zones à risques. A partir d'informations collectées sur l'environnement (végétation, hôtes, température, humidité), des messages

ciblés sur les zones à risques à destination des usagers (forestiers, randonneurs, habitants ...) peuvent être délivrés. Des unités de recherche telles que l'UMR Inra-VetAgroSup EPIA (Unité Mixte de Recherche Epidémiologique des maladies animales et zoonotiques) travaillent déjà sur ces questions, en travaillant sur des projets de cartographie de présence de tiques en fonction des conditions environnementales.

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

Je soussigné, Philippe JACQUIET, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **Justine DUTRAIVE** intitulée « Etude de la corrélation entre la densité de la tique *Ixodes ricinus* et la densité des chevreuils en région toulousaine » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.


Fait à Toulouse, le 05/11/2019
Professeur Philippe JACQUIET
Enseignant-chercheur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu :
Le Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Pierre SANS



Vu :
Le Président du jury :
Professeur Christophe PASQUIER



Pr. Christophe PASQUIER
Virologie - Plateau Technique d'Infectiologie
Institut Fédératif de Biologie
330 av. de Grande Bretagne
F 31059 TOULOUSE Cedex 9

Vu et autorisation de l'impression :
Présidente de l'Université Paul Sabatier
Madame Régine ANDRE-OBRECHT

La Présidente de l'Université Paul Sabatier,
par délégation,
Le Vice-Président de la CFVU



Richard GUILLET

Mme Justine DUTRAIVE
a été admis(e) sur concours en : 2014
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 06/09/2018
a validé son année d'approfondissement le : 05/09/2019
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

Bibliographie

ABBAS, Frial, MORELLET, Nicolas, HEWISON, A. J. Mark, MERLET, Joël, CARGNELUTTI, Bruno, LOURTET, Bruno, ANGIBAUT, Jean-Marc, DAUFRESNE, Tanguy, AULAGNIER, Stéphane et VERHEYDEN, Hélène, 2011. Landscape fragmentation generates spatial variation of diet composition and quality in a generalist herbivore. In : *Oecologia*. octobre 2011. Vol. 167, n° 2, p. 401-411. DOI 10.1007/s00442-011-1994-0.

ABBAS, Frial, PICOT, Denis, MERLET, Joël, CARGNELUTTI, Bruno, LOURTET, Bruno, ANGIBAUT, Jean-Marc, DAUFRESNE, Tanguy, AULAGNIER, Stéphane et VERHEYDEN, Hélène, 2013. A typical browser, the roe deer, may consume substantial quantities of grasses in open landscapes. In : *European Journal of Wildlife Research*. février 2013. Vol. 59, n° 1, p. 69-75. DOI 10.1007/s10344-012-0648-9.

ARAGON, Tomas J., 2017. *epitools: Epidemiology Tools. R package version 0.5-10*. [en ligne]. S.l. : s.n. Disponible à l'adresse : <https://CRAN.R-project.org/package=epitools>.

AUGUIE, Baptiste, 2017. *gridExtra: Miscellaneous Functions for « Grid » Graphics. R package version 2.3*. [en ligne]. S.l. : s.n. Disponible à l'adresse : <https://CRAN.R-project.org/package=gridExtra>.

BELHACÈNE, Lionel (ISATIS), 2018. *730010247, Bois de La Ramée*. [en ligne]. 2018. S.l. : INPN, SPN-MNHN Paris, 8P. [Consulté le 9 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/730010247.pdf>.

BONNOT, N., VERHEYDEN, H., BLANCHARD, P., COTE, J., DEBEFFE, L., CARGNELUTTI, B., KLEIN, F., HEWISON, A. J. M. et MORELLET, N., 2015. Interindividual variability in habitat use: evidence for a risk management syndrome in roe deer? In : *Behavioral Ecology*. 1 janvier 2015. Vol. 26, n° 1, p. 105-114. DOI 10.1093/beheco/aru169.

BORD, Severine, 2014. *Estimation Bayésienne de l'abondance par "removal sampling" en présence de variabilité du taux d'échantillonnage: application aux tiques Ixodes ricinus en quête d'hôtes*. PhD Thesis. S.l. : Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II.

BOULANGER, Nathalie et MCCOY, Karen D. (éd.), 2017. *Tiques et maladies à tiques : Biologie, écologie évolutive, épidémiologie* [en ligne]. Marseille : IRD Éditions. Didactiques. ISBN 978-2-7099-2101-5. Disponible à l'adresse : <http://books.openedition.org/irdeditions/9001>.

BOYARD, Chloé, VOURC'H, Gwenaél et BARNOUIN, Jacques, 2008. The relationships between *Ixodes ricinus* and small mammal species at the woodland-pasture interface. In : *Experimental and Applied Acarology*. janvier 2008. Vol. 44, n° 1, p. 61-76. DOI 10.1007/s10493-008-9132-3.

BURBAITË, L et CSÁNYI, S, 2009. Roe deer population and harvest changes in Europe. In : *Estonian Journal of Ecology*. 2009. Vol. 58, n° 3, p. 169. DOI 10.3176/eco.2009.3.02.

CAGNACCI, Francesca, FOCARDI, Stefano, HEURICH, Marco, STACHE, Anja, HEWISON, A. J. Mark, MORELLET, Nicolas, KJELLANDER, Petter, LINNELL, John D. C., MYSTERUD, Atle, NETELER, Markus, DELUCCHI, Luca, OSSI, Federico et URBANO, Ferdinando, 2011. Partial migration in roe deer: migratory and resident tactics are end points of a behavioural gradient determined by ecological factors. In : *Oikos*. décembre 2011. Vol. 120, n° 12, p. 1790-1802. DOI 10.1111/j.1600-0706.2011.19441.x.

CAT, Julie, 2017. Intégrer les effets de la météorologie dans la modélisation de l'activité et de la survie des populations de tiques *Ixodes ricinus* dans le contexte du changement climatique. In : [en ligne]. 28 février 2017. [Consulté le 23 juin 2019]. Disponible à l'adresse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01708980>.

CORNELIS, Johnny, CASAER, Jim et HERMY, Martin, 1999. Impact of season, habitat and research techniques on diet composition of roe deer (*Capreolus capreolus*): a review. In : *Journal of Zoology*. juin 1999. Vol. 248, n° 2, p. 195-207. DOI 10.1111/j.1469-7998.1999.tb01196.x.

COURIOT, Ophélie, HEWISON, A. J. Mark, SAÏD, Sonia, CAGNACCI, Francesca, CHAMAILLÉ-JAMMES, Simon, LINNELL, John D. C., MYSTERUD, Atle, PETERS, Wibke, URBANO, Ferdinando, HEURICH, Marco, KJELLANDER, Petter, NICOLOSO, Sandro, BERGER, Anne, SUSTR, Pavel, KROESCHEL, Max, SOENNICHSEN, Leif, SANDFORT, Robin, GEHR, Benedikt et MORELLET, Nicolas, 2018. Truly sedentary? The multi-range tactic as a response to resource heterogeneity and unpredictability in a large herbivore. In : *Oecologia*. mai 2018. Vol. 187, n° 1, p. 47-60. DOI 10.1007/s00442-018-4131-5.

DEBEFFE, Lucie, 2013. *La dispersion chez le Chevreuil européen dans un paysage hétérogène* [en ligne]. S.l. : Université Toulouse 3 Paul Sabatier. [Consulté le 11 septembre 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/295850010_La_dispersion_chez_le_Chevreuil_europeen_Capreolus_capreolus_dans_un_paysage_heterogene_PhD_thesis_Defended_on_February_2013.

DEBEFFE, Lucie, MORELLET, Nicolas, CARGNELUTTI, Bruno, LOURTET, Bruno, BON, Richard, GAILLARD, Jean-Michel et MARK HEWISON, A. J., 2012. Condition-dependent natal dispersal in a large herbivore: heavier animals show a greater propensity to disperse and travel further. In : FRYXELL, John (éd.), *Journal of Animal Ecology*. novembre 2012. Vol. 81, n° 6, p. 1327-1327. DOI 10.1111/j.1365-2656.2012.02014.x.

ECDC, EFSA, 2019. *Ixodes ricinus* - current known distribution: January 2019. In : *European Centre for Disease Prevention and Control* [en ligne]. 31 janvier 2019. [Consulté le 16 juillet 2019]. Disponible à l'adresse :

<http://ecdc.europa.eu/en/publications-data/ixodes-ricinus-current-known-distribution-january-2019>.

EHRMANN, Steffen, LIIRA, Jaan, GÄRTNER, Stefanie, HANSEN, Karin, BRUNET, Jörg, COUSINS, Sara A. O., DECONCHAT, Marc, DECOCQ, Guillaume, DE FRENNE, Pieter, DE SMEDT, Pallieter, DIEKMANN, Martin, GALLET-MORON, Emilie, KOLB, Annette, LENOIR, Jonathan, LINDGREN, Jessica, NAAF, Tobias, PAAL, Taavi, VALDÉS, Alicia, VERHEYEN, Kris, WULF, Monika et SCHERER-LORENZEN, Michael, 2017. Environmental drivers of *Ixodes ricinus* abundance in forest fragments of rural European landscapes. In : *BMC Ecology*. décembre 2017. Vol. 17, n° 1, p. 31. DOI 10.1186/s12898-017-0141-0.

FOSTER, Rebecca J. et HARMSSEN, Bart J., 2012. A critique of density estimation from camera-trap data. In : *The Journal of Wildlife Management*. février 2012. Vol. 76, n° 2, p. 224-236. DOI 10.1002/jwmg.275.

FROUSTEY, Nicolas, 2018. DYNAMIQUE DES POPULATIONS DE CHEVREUILS VIVANT EN MILIEU FRAGMENTÉ. Université de Toulouse-Paul Sabatier, 2018. p. 35. Disponible à l'adresse : https://www6.toulouse.inra.fr/cefs/content/download/3676/36492/version/2/file/Rapport_de_stage_M1_écologie_Froustey_Nicolas_23082018.pdf

GAILLARD, J. M., BOISAUBERT, B., BOUTIN, J. M. et CLOBERT, J., 1986. L'estimation d'effectifs à partir de capture-marquage-recapture: application au chevreuil *Capreolus capreolus*. *Gibier faune sauvage* 3: 143-158. In : *Gibier Faune Sauvage*. 1986. Vol. 3, p. 143-158.

GILBERT, L., MAFFEY, G. L., RAMSAY, S. L. et HESTER, A. J., 2012. The effect of deer management on the abundance of *Ixodes ricinus* in Scotland. In : *Ecological Applications*. 2012. Vol. 22, n° 2, p. 658-667. DOI 10.1890/11-0458.1.

GILBERT, Lucy, 2010. Altitudinal patterns of tick and host abundance: a potential role for climate change in regulating tick-borne diseases? In : *Oecologia*. janvier 2010. Vol. 162, n° 1, p. 217-225. DOI 10.1007/s00442-009-1430-x.

GILBERT, Lucy, AUNGIER, Jennifer et TOMKINS, Joseph L, 2014. Climate of origin affects tick (*Ixodes ricinus*) host-seeking behavior in response to temperature: implications for resilience to climate change? In : *Ecology and Evolution*. avril 2014. Vol. 4, n° 7, p. 1186-1198. DOI 10.1002/ece3.1014.

GILL, R. M. A., 1992. A Review of Damage by Mammals in North Temperate Forests: 1. Deer. In : *Forestry*. 1992. Vol. 65, n° 2, p. 145-169. DOI 10.1093/forestry/65.2.145.

GILOT, B., BONNEFILLE, M., DEGEILH, B., BEAUCOURNU, J.-C., PICHOT, J. et GUIGUEN, C., 1994. La colonisation des massifs forestiers par *Ixodes ricinus* (linné, 1758) en France: utilisation du chevreuil, *Capreolus capreolus* (l. 1758) comme marqueur biologique. In : *Parasite*. 1 mars 1994. Vol. 1, n° 1, p. 81-86. DOI 10.1051/parasite/1994011081.

GINSBERG, Howard S., ZHIOUA, Elyes, MITRA, Shaibal, FISCHER, James, BUCKLEY, P. A., VERRET, Frank, UNDERWOOD, H. Brian et BUCKLEY, Francine G., 2004. Woodland Type and Spatial Distribution of Nymphal *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae). In : *Environmental Entomology*. 1 octobre 2004. Vol. 33, n° 5, p. 1266-1273. DOI 10.1603/0046-225X-33.5.1266.

GLENNIE, Richard, BUCKLAND, Stephen T. et THOMAS, Len, 2015. The Effect of Animal Movement on Line Transect Estimates of Abundance. In : FESTA-BIANCHET, Marco (éd.), *PLOS ONE*. 23 mars 2015. Vol. 10, n° 3, p. e0121333. DOI 10.1371/journal.pone.0121333.

GRAY, Jeremy S., 2008. *Ixodes ricinus* seasonal activity: Implications of global warming indicated by revisiting tick and weather data. In : *International Journal of Medical Microbiology*. septembre 2008. Vol. 298, p. 19-24. DOI 10.1016/j.ijmm.2007.09.005.

GUETARD, Maud, 2001. *Ixodes ricinus : morphologie, biologie, élevage, données bibliographiques* [en ligne]. other. S.l. : s.n. [Consulté le 1 août 2016]. Disponible à l'adresse : <http://oatao.univ-toulouse.fr/175/>.

HCSP, 2014. 322 : *La borréliose de Lyme* [en ligne]. S.l. Haut Conseil de la Santé Publique. [Consulté le 16 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/hcspr20140328_borrelioselyme.pdf.

HEWISON, A. J. Mark, ANGIBAULT, Jean-Marc, CARGNELUTTI, Bruno, COULON, Aurélie, RAMES, Jean-Luc, SERRANO, Emmanuel, VERHEYDEN, Hélène et MORELLET, Nicolas, 2007. Using Radio-tracking and Direct Observation to Estimate Roe Deer *Capreolus Capreolus* Density in a Fragmented Landscape: A Pilot Study. In : *Wildlife Biology*. septembre 2007. Vol. 13, n° 3, p. 313-320. DOI 10.2981/0909-6396(2007)13[313:URADOT]2.0.CO;2.

HEWISON, A Jm, VINCENT, J P, JOACHIM, J, ANGIBAULT, J M, CARGNELUTTI, B et CIBIEN, C, 2001. The effects of woodland fragmentation and human activity on roe deer distribution in agricultural landscapes. In : *Canadian Journal of Zoology*. avril 2001. Vol. 79, n° 4, p. 679-689. DOI 10.1139/z01-032.

HEWISON, Ajm, VINCENT, J P, ANGIBAULT, J M, DELORME, D, LAERE, G Van et GAILLARD, J M, 1999. Tests of estimation of age from tooth wear on roe deer of known age: variation within and among populations. In : *Canadian Journal of Zoology*. juillet 1999. Vol. 77, n° 1, p. 58-67. DOI 10.1139/z98-183.

HOCH, T., MONNET, Y. et AGOULON, A., 2010. Influence of host migration between woodland and pasture on the population dynamics of the tick *Ixodes ricinus*: A modelling approach. In : *Ecological Modelling*. juillet 2010. Vol. 221, n° 15, p. 1798-1806. DOI 10.1016/j.ecolmodel.2010.04.008.

HOFMEESTER, Tim R., SPRONG, Hein, JANSEN, Patrick A., PRINS, Herbert H. T. et

VAN WIEREN, Sipke E., 2017. Deer presence rather than abundance determines the population density of the sheep tick, *Ixodes ricinus*, in Dutch forests. In : *Parasites & Vectors*. décembre 2017. Vol. 10, n° 1, p. 433. DOI 10.1186/s13071-017-2370-7.

INRA, 2017a. Labellisation de la Zone Atelier Pyrénées-Garonne (ZA PYGAR). In : [en ligne]. 9 novembre 2017. [Consulté le 24 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.toulouse.inra.fr/%2FToutes-les-actualites%2FPYGAR>.

INRA, 2017b. Portrait d'une tique. In : [en ligne]. 5 mai 2017. [Consulté le 16 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.inra.fr/%2FGrand-public%2FAlimentation-et-sante%2FTous-les-dossiers%2FMaladie-de-Lyme-et-infections-a-tiques%2FABC-de-la-tique%2F%28key%29%2F0>.

INRA, 2018. Tiques, santé, agriculture et environnement. In : [en ligne]. 6 novembre 2018. [Consulté le 16 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <http://institut.inra.fr/%2FREperes%2FDocuments%2FScience-et-elus%2FTiques-sante-agriculture-et-environnement>.

JAENSON, Thomas GT, JAENSON, David GE, EISEN, Lars, PETERSSON, Erik et LINDGREN, Elisabet, 2012. Changes in the geographical distribution and abundance of the tick *Ixodes ricinus* during the past 30 years in Sweden. In : *Parasites & Vectors*. 10 janvier 2012. Vol. 5, n° 1, p. 8. DOI 10.1186/1756-3305-5-8.

JAMES, M. C., BOWMAN, A. S., FORBES, K. J., LEWIS, F., MCLEOD, J. E. et GILBERT, L., 2013. Environmental determinants of *Ixodes ricinus* ticks and the incidence of *Borrelia burgdorferi sensu lato*, the agent of Lyme borreliosis, in Scotland. In : *Parasitology*. février 2013. Vol. 140, n° 2, p. 237-246. DOI 10.1017/S003118201200145X.

JENSEN, P. M. et JESPERSEN, J. B., 2005. Five decades of tick–man interaction in Denmark – an analysis. In : *Experimental and Applied Acarology*. février 2005. Vol. 35, n° 1-2, p. 131-146. DOI 10.1007/s10493-004-1991-7.

JEPSEN, J U et TOPPING, C J, 2004. Modelling roe deer (*Capreolus capreolus*) in a gradient of forest fragmentation: behavioural plasticity and choice of cover. In : *Canadian Journal of Zoology*. septembre 2004. Vol. 82, n° 9, p. 1528-1541. DOI 10.1139/z04-131.

KAUTZMANN, Louise, 2018. *Estimation bayésienne du taux d'échantillonnage et de la population à l'affût lors de collecte au drap d'Ixodes ricinus*. PhD Thesis. S.l. : l'Université de Lyon.

KIFFNER, Christian, LÖDIGE, Christina, ALINGS, Matthias, VOR, Torsten et RÜHE, Ferdinand, 2010. Abundance estimation of *Ixodes* ticks (Acari: Ixodidae) on roe deer (*Capreolus capreolus*). In : *Experimental and Applied Acarology*. septembre 2010. Vol. 52, n° 1, p. 73-84. DOI 10.1007/s10493-010-9341-4.

KURTENBACH, Klaus, HANINCOVÁ, Klára, TSAO, Jean I., MARGOS, Gabriele, FISH,

Durland et OGDEN, Nicholas H., 2006. Fundamental processes in the evolutionary ecology of Lyme borreliosis. In : *Nature Reviews Microbiology*. septembre 2006. Vol. 4, n° 9, p. 660-669. DOI 10.1038/nrmicro1475.

LI, Sen, VANWAMBEKE, Sophie O., LICOPPE, Alain M. et SPEYBROECK, Niko, 2014. Impacts of deer management practices on the spatial dynamics of the tick *Ixodes ricinus*: A scenario analysis. In : *Ecological Modelling*. mars 2014. Vol. 276, p. 1-13. DOI 10.1016/j.ecolmodel.2013.12.023.

LINNELL, John D.C. et ZACHOS, Frank E., 2011. Status and distribution patterns of European ungulates: genetics, population history and conservation. In : PUTMAN, Rory, APOLLONIO, Marco et ANDERSEN, Reidar (éd.), *Ungulate Management in Europe* [en ligne]. Cambridge : Cambridge University Press. p. 12-53. [Consulté le 18 juillet 2019]. ISBN 978-0-511-97413-7. Disponible à l'adresse : https://www.cambridge.org/core/product/identifier/CBO9780511974137A010/type/book_part.

LOVARI S., AMBARLI H., LORENZINI, R. et GIANNATOS G., 2015. *Capreolus capreolus*: *The IUCN Red List of Threatened Species 2016*: e.T42395A22161386 [en ligne]. 19 juillet 2015. S.l. : International Union for Conservation of Nature. [Consulté le 14 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.iucnredlist.org/details/42395/0>.

MACLEOD, John, 1936. *Ixodes ricinus* in Relation to its Physical Environment: IV. An Analysis of the Ecological Complexes Controlling Distribution and Activities. In : *Parasitology*. juillet 1936. Vol. 28, n° 3, p. 295-319. DOI 10.1017/S0031182000022502.

MAFFEI, Leonardo, NOSS, Andrew J., SILVER, Scott C. et KELLY, Marcella J., 2011. Abundance/Density Case Study: Jaguars in the Americas. In : O'CONNELL, Allan F., NICHOLS, James D. et KARANTH, K. Ullas (éd.), *Camera Traps in Animal Ecology* [en ligne]. Tokyo : Springer Japan. p. 119-144. [Consulté le 18 juillet 2019]. ISBN 978-4-431-99494-7. Disponible à l'adresse : http://link.springer.com/10.1007/978-4-431-99495-4_8.

MAILLARD, DANIEL, GAILLARD, JEAN-MICHEL, HEWISON, M., BALLON, P., DUNCAN, PATRICK, LOISON, ANNE, TOÏGO, C., BAUBET, E., BONENFANT, C. et GAREL, M., 2010. Ungulates and their management in France. In : *European ungulates and their management in the 21st century*. 2010. p. 441–474. ISBN 9780521760614

MARCHANDEAU, Stéphane, AUBINEAU, Jacky, BERGER, Francis, GAUDIN, Jean-Charles, ROOBROUCK, Alain, CORDA, Eve et REITZ, François, [sans date]. L'utilisation d'indices d'abondance pour le suivi de populations animales le cas du lapin de garenne. In : ONCFS, Rapport scientifique 2004. Disponible à l'adresse : http://formation.oncfs.gouv.fr/IMG/file/mammiferes/lagomorphes/marchandeau_rs04.pdf

MAUBLANC, M. L., CIBIEN, C., GAILLARD, J. M., MAIZERET, C., BIDEAU, E. et

VINCENT, J. P., 1991. Le chevreuil. In : *Revue d'écologie* [en ligne]. 1991. [Consulté le 13 avril 2019]. Disponible à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/54668>.

MAUBLANC, Marie-Line, DAUBORD, Lucie, BIDEAU, Éric et GERARD, Jean-François, 2018. Experimental evidence of socio-spatial intolerance between female roe deer. In : *Ethology Ecology & Evolution*. 3 septembre 2018. Vol. 30, n° 5, p. 461-476. DOI 10.1080/03949370.2017.1423116.

MEDLOCK, J. M., PIETZSCH, M. E., RICE, N. V. P., JONES, L., KERROD, E., AVENELL, D., LOS, S., RATCLIFFE, N., LEACH, S. et BUTT, T., 2008. Investigation of Ecological and Environmental Determinants for the Presence of Questing *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) on Gower, South Wales. In : *Journal of Medical Entomology*. 1 mars 2008. Vol. 45, n° 2, p. 314-325. DOI 10.1603/0022-2585(2008)45[314:IOEAED]2.0.CO;2.

MEDLOCK, Jolyon M, HANSFORD, Kayleigh M, BORMANE, Antra, DERDAKOVA, Marketa, ESTRADA-PEÑA, Agustín, GEORGE, Jean-Claude, GOLOVLJOVA, Irina, JAENSON, Thomas GT, JENSEN, Jens-Kjeld, JENSEN, Per M, KAZIMIROVA, Maria, OTEO, José A, PAPA, Anna, PFISTER, Kurt, PLANTARD, Olivier, RANDOLPH, Sarah E, RIZZOLI, Annapaola, SANTOS-SILVA, Maria Margarida, SPRONG, Hein, VIAL, Laurence, HENDRICKX, Guy, ZELLER, Herve et VAN BORTEL, Wim, 2013. Driving forces for changes in geographical distribution of *Ixodes ricinus* ticks in Europe. In : *Parasites & Vectors*. 2013. Vol. 6, n° 1, p. 1. DOI 10.1186/1756-3305-6-1.

MEJLON, H.A. et JAENSON, T.G.T., 1997. Questing behaviour of *Ixodes ricinus* ticks (Acari: Ixodidae). In : *Experimental and Applied Acarology*. 1997. Vol. 21, n° 12, p. 747-754. DOI 10.1023/A:1018421105231.

MIHALCA, Andrei D, DUMITRACHE, Mirabela O, SÁNDOR, Attila D, MAGDAȘ, Cristian, OLTEAN, Miruna, GYÖRKE, Adriana, MATEI, Ioana A, IONICĂ, Angela, D'AMICO, Gianluca, COZMA, Vasile et GHERMAN, Călin M, 2012. Tick parasites of rodents in Romania: host preferences, community structure and geographical distribution. In : *Parasites & Vectors*. 2012. Vol. 5, n° 1, p. 266. DOI 10.1186/1756-3305-5-266.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Code de l'environnement - Article L425-6*. S.l. : s.n.

MORELLET, Nicolas, BONENFANT, Christophe, BÖRGER, Luca, OSSI, Federico, CAGNACCI, Francesca, HEURICH, Marco, KJELLANDER, Petter, LINNELL, John D. C., NICOLOSO, Sandro, SUSTR, Pavel, URBANO, Ferdinando et MYSTERUD, Atle, 2013. Seasonality, weather and climate affect home range size in roe deer across a wide latitudinal gradient within Europe. In : COULSON, Tim (éd.), *Journal of Animal Ecology*. novembre 2013. Vol. 82, n° 6, p. 1326-1339. DOI 10.1111/1365-2656.12105.

MORELLET, Nicolas, GAILLARD, Jean-Michel, HEWISON, A. J. Mark, BALLON, Philippe, BOSCARDIN, Yves, DUNCAN, Patrick, KLEIN, François et MAILLARD,

Daniel, 2007. Indicators of ecological change: new tools for managing populations of large herbivores: Ecological indicators for large herbivore management. In : *Journal of Applied Ecology*. 13 avril 2007. Vol. 44, n° 3, p. 634-643. DOI 10.1111/j.1365-2664.2007.01307.x.

MORELLET, Nicolas, VAN MOORTER, Bram, CARGNELUTTI, Bruno, ANGIBAULT, Jean-Marc, LOURTET, Bruno, MERLET, Joël, LADET, Sylvie et HEWISON, A. J. Mark, 2011. Landscape composition influences roe deer habitat selection at both home range and landscape scales. In : *Landscape Ecology*. août 2011. Vol. 26, n° 7, p. 999-1010. DOI 10.1007/s10980-011-9624-0.

MULLEN, Gary R. (éd.), 2009. *Medical and veterinary entomology*. 2. ed. Amsterdam : Elsevier. ISBN 978-0-12-372500-4.

MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE. *Capreolus capreolus* (Linnaeus, 1758) - Chevreuil européen, Chevreuil, Brocard (mâle), Chevette (femelle). In : *Inventaire National du Patrimoine Naturel* [en ligne]. [Consulté le 17 juin 2019]. Disponible à l'adresse : https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/61057.

NEUWIRTH, Erich, 2014. *RColorBrewer: ColorBrewer Palettes*. R package version 1.1-2. [en ligne]. S.l. : s.n. Disponible à l'adresse : <https://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer>.

OIE, 2019. Une seule santé: OIE - World Organisation for Animal Health. In : [en ligne]. 2019. [Consulté le 16 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.oie.int/fr/pour-les-medias/une-seule-sante/>.

ONCFS - Le Chevreuil. In : [en ligne]. [Consulté le 21 juillet 2019 a]. Disponible à l'adresse : <http://www.oncfs.gouv.fr/Connaitre-les-especes-ru73/Le-Chevreuil-ar977#ecologie>.

ONCFS - Le plan de chasse. In : [en ligne]. [Consulté le 17 juillet 2019 b]. Disponible à l'adresse : <http://www.oncfs.gouv.fr/Modes-de-gestion-de-la-chasse-ru280/Le-plan-de-chasse-ar544>.

PAUL, Richard E. L., COTE, Martine, LE NAOUR, Evelyne et BONNET, Sarah I., 2016. Environmental factors influencing tick densities over seven years in a French suburban forest. In : *Parasites & Vectors*. décembre 2016. Vol. 9, n° 1, p. 309. DOI 10.1186/s13071-016-1591-5.

PAYS, Olivier, FORTIN, Daniel, GASSANI, Jean et DUCHESNE, Jean, 2012. Group Dynamics and Landscape Features Constrain the Exploration of Herds in Fusion-Fission Societies: The Case of European Roe Deer. In : RANDS, Sean A. (éd.), *PLoS ONE*. 30 mars 2012. Vol. 7, n° 3, p. e34678. DOI 10.1371/journal.pone.0034678.

PELLERIN, Maryline, 2005. *Utilisation et sélection de l'habitat chez le chevreuil à différentes échelles spatio-temporelles* [en ligne]. thesis. S.l. : Poitiers. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse :

<http://www.theses.fr/2005POIT2301>.

PÉREZ-EID, Claudine, 2007. *Les tiques: identification, biologie, importance médicale et vétérinaire*. Paris : Lavoisier. ISBN 978-2-7430-0974-8.

QVILLER, Lars, VILJUGREIN, Hildegunn, LOE, Leif Egil, MEISINGSET, Erling L. et MYSTERUD, Atle, 2016. The influence of red deer space use on the distribution of *Ixodes ricinus* ticks in the landscape. In : *Parasites & Vectors*. 13 octobre 2016. Vol. 9, n° 1, p. 545. DOI 10.1186/s13071-016-1825-6.

RAND, Peter W., LUBELCZYK, Charles, LAVIGNE, Gerald R., ELIAS, Susan, HOLMAN, Mary S., LACOMBE, Eleanor H. et SMITH, Robert P., 2003. Deer Density and the Abundance of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae). In : *Journal of Medical Entomology*. 1 mars 2003. Vol. 40, n° 2, p. 179-184. DOI 10.1603/0022-2585-40.2.179.

RANDOLPH, S. E., 2004. Tick ecology: processes and patterns behind the epidemiological risk posed by ixodid ticks as vectors. In : *Parasitology*. octobre 2004. Vol. 129, n° S1, p. S37-S65. DOI 10.1017/S0031182004004925.

RANDOLPH, S. E, GREEN, R. M, HOODLESS, A. N et PEACEY, M. F, 2002. An empirical quantitative framework for the seasonal population dynamics of the tick *Ixodes ricinus*. In : *International Journal for Parasitology*. 1 juillet 2002. Vol. 32, n° 8, p. 979-989. DOI 10.1016/S0020-7519(02)00030-9.

RAVEN, Peter H, BERG, Linda R et HASSENZAHN, David M, 2009. *Environnement*. Bruxelles : De Boeck. ISBN 978-2-8041-5891-0.

ROWCLIFFE, J. Marcus, FIELD, Juliet, TURVEY, Samuel T. et CARBONE, Chris, 2008. Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. In : *Journal of Applied Ecology*. août 2008. Vol. 45, n° 4, p. 1228-1236. DOI 10.1111/j.1365-2664.2008.01473.x.

RUIZ-FONS, Francisco et GILBERT, Lucy, 2010. The role of deer as vehicles to move ticks, *Ixodes ricinus*, between contrasting habitats. In : *International Journal for Parasitology*. 1 août 2010. Vol. 40, n° 9, p. 1013-1020. DOI 10.1016/j.ijpara.2010.02.006.

SCHARLEMANN, J. P. W., JOHNSON, P. J., SMITH, A. A., MACDONALD, D. W. et RANDOLPH, S. E., 2008. Trends in ixodid tick abundance and distribution in Great Britain. In : *Medical and Veterinary Entomology*. 2008. Vol. 22, n° 3, p. 238-247. DOI 10.1111/j.1365-2915.2008.00734.x.

SERRANO FERRON, Emmanuel, VERHEYDEN, Hélène, HUMMEL, Jürgen, CARGNELUTTI, Bruno, LOURTET, Bruno, MERLET, Joel, GONZÁLEZ-CANDELA, Mónica, ANGIBAULT, Jean Marc, HEWISON, Aidan Jonathan Mark et CLAUSS, Marcus, 2012. Digestive plasticity as a response to woodland fragmentation in roe deer. In : *Ecological Research*. janvier 2012. Vol. 27, n° 1, p. 77-82. DOI 10.1007/s11284-011-0872-x.

SHUMWAY, Robert H. et STOFFER, David S., 2011. *Time series analysis and its applications: with R examples*. 3rd ed. New York : Springer. Springer texts in statistics. ISBN 978-1-4419-7864-6. QA280 .S585 2011

TACK, Wesley, MADDER, Maxime, BAETEN, Lander, VANHELLEMONT, Margot, GRUWEZ, Robert et VERHEYEN, Kris, 2012. Local habitat and landscape affect Ixodes ricinus tick abundances in forests on poor, sandy soils. In : *Forest Ecology and Management*. février 2012. Vol. 265, p. 30-36. DOI 10.1016/j.foreco.2011.10.028.

TAGLIAPIETRA, V., ROSÀ, R., ARNOLDI, D., CAGNACCI, F., CAPELLI, G., MONTARSI, F., HAUFFE, H. C. et RIZZOLI, A., 2011. Saturation deficit and deer density affect questing activity and local abundance of Ixodes ricinus (Acari, Ixodidae) in Italy. In : *Veterinary Parasitology*. 29 décembre 2011. Vol. 183, n° 1-2, p. 114-124. DOI 10.1016/j.vetpar.2011.07.022.

TIXIER, Hélène et DUNCAN, Patrick, 1996. Are European roe deer browsers? A review of variations in the composition of their diets. In : *Revue D'écologie*. 1996.

TOMKINS, Joseph L., AUNGIER, Jennifer, HAZEL, Wade et GILBERT, Lucy, 2014. Towards an Evolutionary Understanding of Questing Behaviour in the Tick Ixodes ricinus. In : *PLOS ONE*. 15 octobre 2014. Vol. 9, n° 10, p. e110028. DOI 10.1371/journal.pone.0110028.

UMAP. Carte IGN - uMap. In : [en ligne]. [Consulté le 21 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://umap.openstreetmap.fr/fr/map/carte-sans-nom_338177#12/43.5643/1.3499.

VALLANCE, Michel, 2010. *Faune sauvage de France: biologie, habitats et gestion*. Aix-en-Provence : Gerfaut. ISBN 978-2-35191-030-6.

VAN BUSKIRK, Josh et OSTFELD, Richard S., 1995. Controlling Lyme Disease by Modifying the Density and Species Composition of Tick Hosts. In : *Ecological Applications*. novembre 1995. Vol. 5, n° 4, p. 1133-1140. DOI 10.2307/2269360.

VOR, Torsten, KIFFNER, Christian, HAGEDORN, Peter, NIEDRIG, Matthias et RÜHE, Ferdinand, 2010. Tick burden on European roe deer (*Capreolus capreolus*). In : *Experimental and Applied Acarology*. août 2010. Vol. 51, n° 4, p. 405-417. DOI 10.1007/s10493-010-9337-0.

WALLACH, Arian D., SHANAS, Uri et INBAR, Moshe, 2010. Feeding activity and dietary composition of roe deer at the southern edge of their range. In : *European Journal of Wildlife Research*. février 2010. Vol. 56, n° 1, p. 1-9. DOI 10.1007/s10344-009-0281-4.

WICKHAM., H., 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. S.l. : s.n. Springer-Verlag New York.

WILKE, Claus O., 2019. *cowplot: Streamlined Plot Theme and Plot. Annotations for « ggplot2 »*. R package version 0.9.4. [en ligne]. S.l. : s.n. Disponible à l'adresse : <https://CRAN.R-project.org/package=cowplot>.

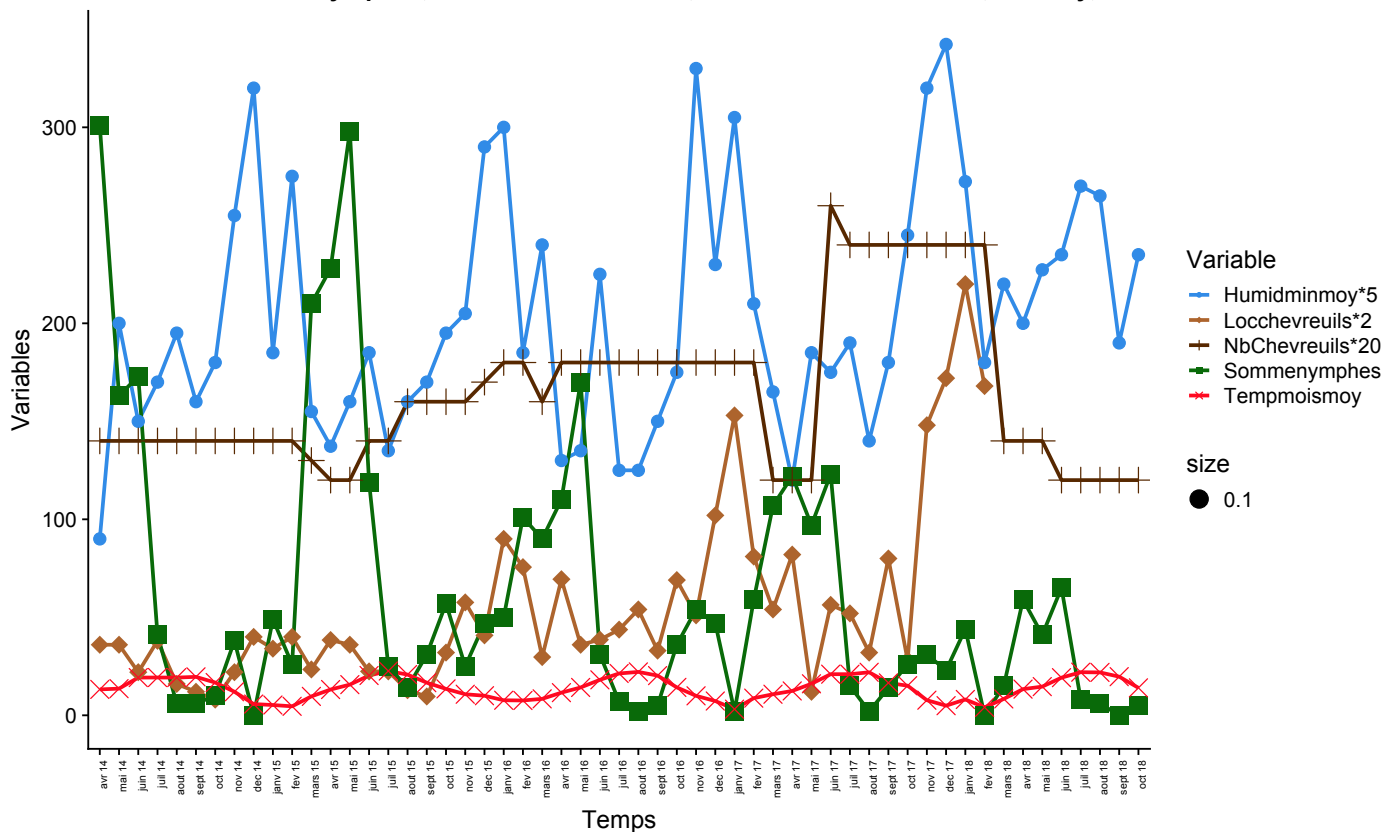
WILSON, Mark L., ADLER, Gregory H. et SPIELMAN, Andrew, 1985. Correlation between Abundance of Deer and That of the Deer Tick, *Ixodes dammini* (Acari: Ixodidae). In : *Annals of the Entomological Society of America*. 1 mars 1985. Vol. 78, n° 2, p. 172-176. DOI 10.1093/aesa/78.2.172.

WILSON, Mark L., DUCEY, Anne M., LITWIN, Thomas S., GAVIN, Thomas A. et SPIELMAN, Andrew, 1990. Microgeographic distribution of immature *Ixodes dammini* ticks correlated with that of deer. In : *Medical and Veterinary Entomology*. avril 1990. Vol. 4, n° 2, p. 151-159. DOI 10.1111/j.1365-2915.1990.tb00273.x.

Annexes

Annexe 1 : Graphique représentant les données météorologiques, la fréquentation des transects par les chevreuils et la densité des nymphes à Gardouch intérieur de 2014 à 2018

Relation entre nb de nymphes, les loca de chevreuils, le nombre de chevreuils, et Tmoy, Hmin



Légende : Les différentes variables représentées sont :

- En bleu : l'humidité minimum sous forme d'une moyenne mensuelle (multipliée par 5 pour améliorer la lisibilité du graphique)
- En rouge : la température moyenne sous forme d'une moyenne mensuelle
- En marron clair : fréquentation mensuelle des 10 transects par les chevreuils (multipliée par 2)
- En marron foncé : le nombre total de chevreuils dans l'enclos (multiplié par 20)
- En vert : abondance mensuelle de nymphes sur les 10 transects

Annexe 2 : Détails de la procédure lors de la collecte des tiques (Source : document interne du CEFS Castanet-Tolosan)

Avant la collecte

Liste du matériel

- 1 fiche de collecte
- (- 1 GPS)
- 20 galets de couleur claire ou piquets de couleur vive pour marquer l'emplacement des transects
- règle ou ficelle mesurant 10 mètres
- 2 baguettes (arceaux de tente) par drap
- 4 draps en tout : 3 montés sur les baguettes + 1 drap de rechange, dans un sac plastique
- 1 morceau de corde blanche de 4 mètres par drap
- au moins 1 pot par site et par collecte (flacons de 120 ml)
- tubes eppendorfs 0,5 ml
- 1 pince d'horloger
- boulettes de coton hydrophile
- scotch pour enlever les larves
- 1 sac poubelle pour mettre les draps sales
- des crayons à papier, stylos
- étiquettes à coller sur les pots ou marqueur

Préparation des pots :

On utilise des pots de prélèvement à bouchon vissé. Pour empêcher les tiques de sortir du pot, on ajoute sur le bouchon un embout spécial. Il s'agit d'un tube eppendorf 0.5 ml percé au fond.

Le bouchon est aussi troué pour oxygéner les tiques. Pour cela, une aiguille chauffée avec une flamme de bougie est utilisée.

Un coton imbibé d'eau et quelques brins d'herbe sont ajoutés dans le pot.

Le pot est étiqueté afin d'avoir la localisation des tiques.

Préparation des draps :

Deux baguettes sont mises à chaque extrémité du drap. Sur l'une d'entre elle, une corde est ajoutée à ses extrémités afin de pouvoir trainer le drap à environ 2 m du collecteur.

Sur le terrain

Avant de démarrer la collecte, la position des transects est contrôlée. Les galets ou piquets déplacés sont repositionnés.

Un premier passage est réalisé à une vitesse d'environ 0,5 m/s soit 20 s par transect, tout en surveillant le drap (il faut que toute sa surface soit au contact du sol).

Après avoir parcouru les 10 m, le drap est minutieusement inspecté sur les 2 faces. Les tiques sont mises dans un pot et leur nombre est recensé sur la fiche. Les larves sont estimées semi-quantitativement puis retirées du drap avec un scotch.

Quand toutes les tiques sont enlevées du drap, un 2ème et un 3ème passage sont réalisés sur le même transect, selon le même principe.

Le drap peut être changé durant la collecte si celui-ci est trop sale.

Après la collecte

Les draps sont lavés à maximum 40°C pour éviter qu'ils ne rétrécissent, avec une lessive sans parfum ni adoucissant. Une fois sec, ils sont repassés et étirés dans le sens de la longueur.

Sécurité et protection vis-à-vis des tiques

Afin de se protéger des tiques, il est conseillé :

- De mettre des vêtements de couleur claire, avec des manches longues
- De glisser les bas de pantalons dans les chaussettes puis dans des bottes
- De prendre une douche le soir même et s'inspecter minutieusement (la nymphe présente un aspect et une taille de grain de beauté).

En cas de piqûre:

- Estimer le nombre de jours de fixation de la tique, en sachant que la transmission de l'agent de la maladie de Lyme peut avoir lieu au bout de 24h de fixation (le plus souvent après 48h)
- Contacter son médecin traitant en cas de présence d'un état grippal ou d'une rougeur cutanée

Annexe 3 : Fiche de collecte utilisée sur l'ensemble des sites

Elle sert à renseigner les collecteurs, la date, l'heure, le site, les conditions météo ainsi que le nombre de tiques, leurs stases et l'identification de l'espèce si possible pour chaque passage du drapeau, sur tous les transects.

FICHE DE COLLECTE

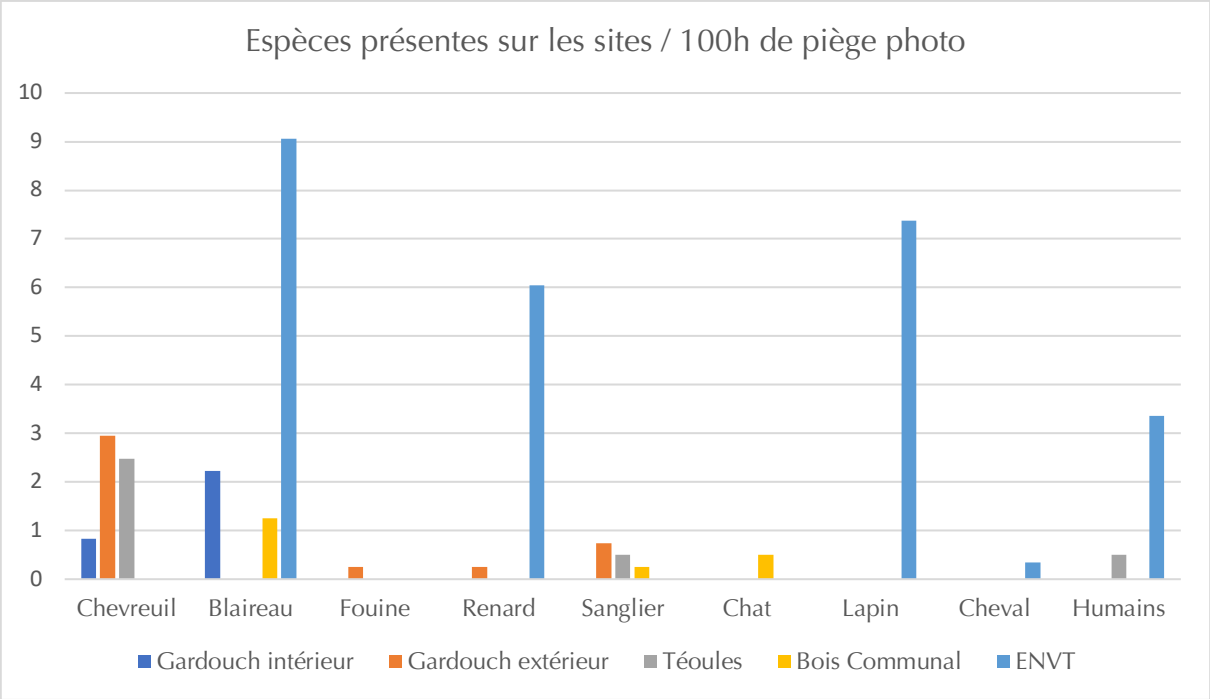
Code site :
 Nom et prénom du collecteur :
 Date : JJ/MM/AAAA
 Initiales du collecteur :

Renseigner le nombre d'individus par passage dans le tableau ci-dessous

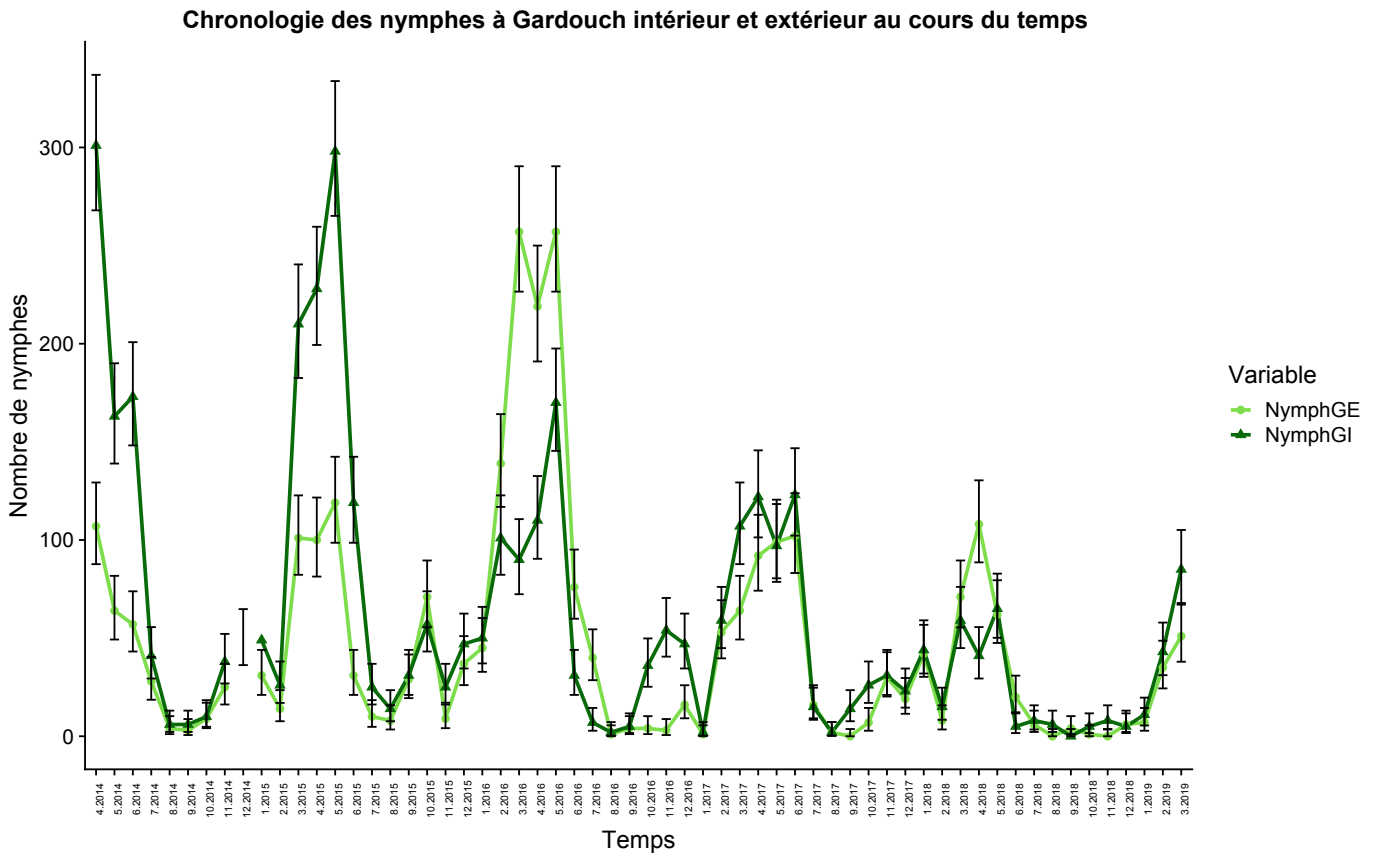
Transects	T01			T02			T03			T04			T05			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Passages																
Genre <i>Ixodes</i>																
Adultes mâles																
Adultes femelles																
Nymphe																
Autres genres ou doute																
Présence de larves <i>remplir O / N</i>																

Transects	T06			T07			T08			T09			T10			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Passages																
Genre <i>Ixodes</i>																
Adultes mâles																
Adultes femelles																
Nymphe																
Autres genres ou doute																
Présence de larves <i>remplir O / N</i>																

Annexe 4 : Graphique représentant l'ensemble des espèces capturées avec les pièges photos



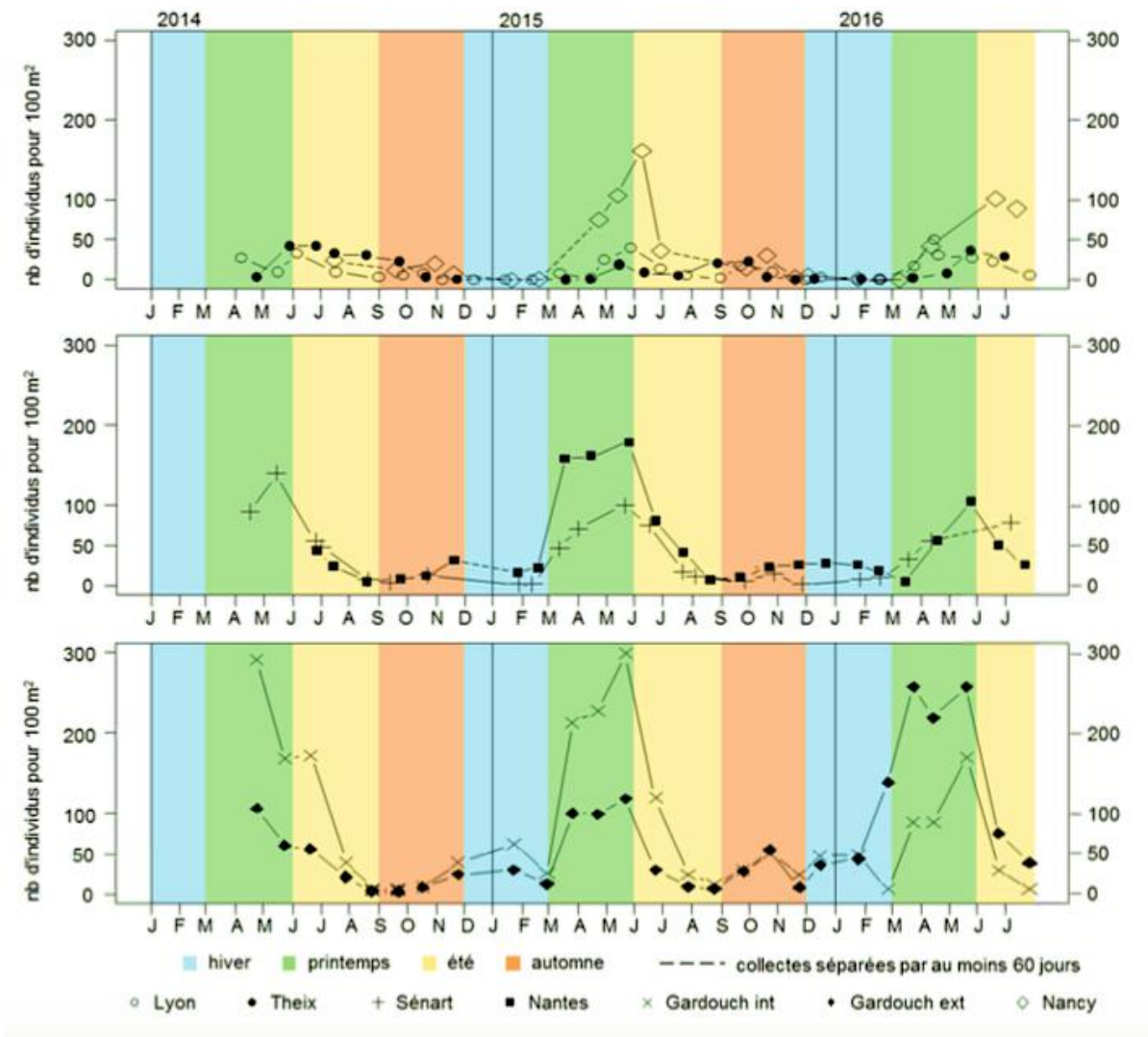
Annexe 5 : Comparaison des densités de nymphes sur les sites Gardouch intérieur et Gardouch extérieur



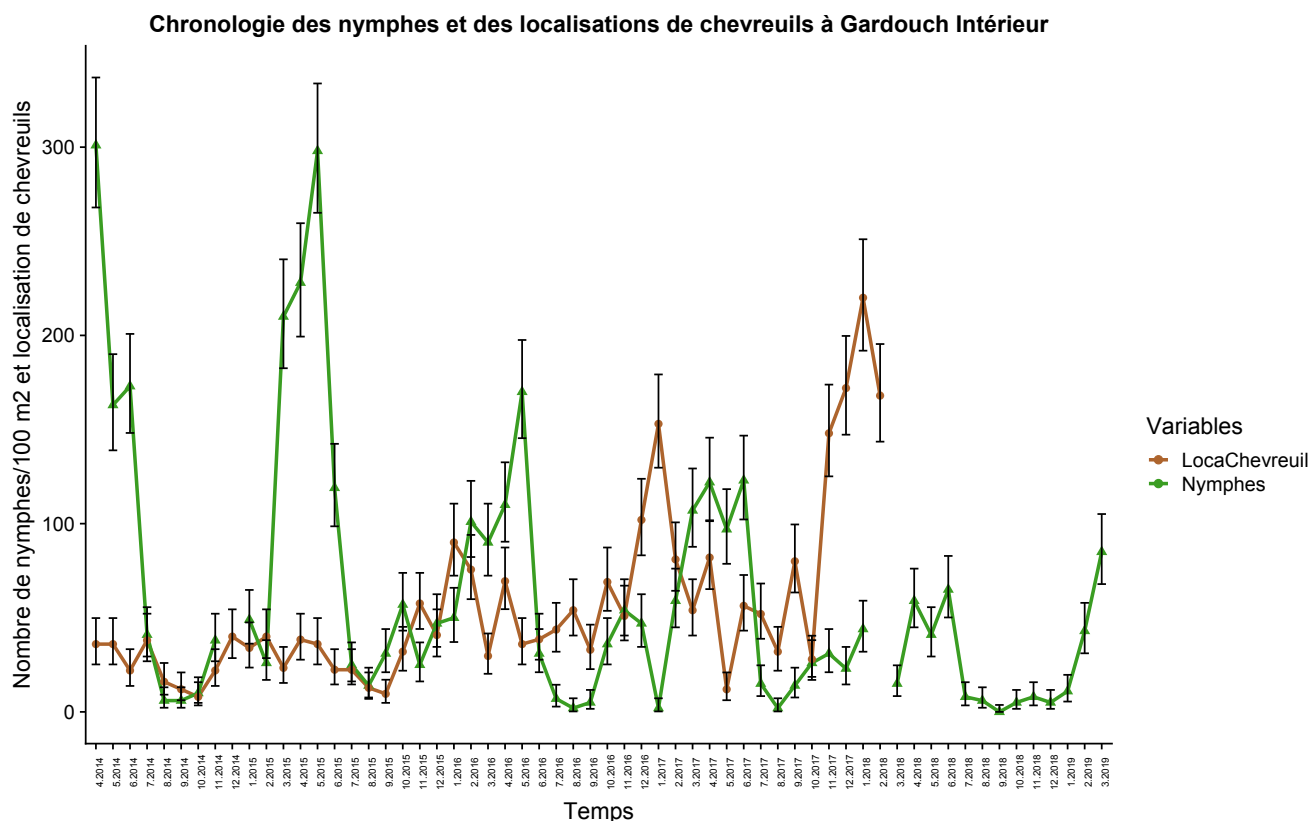
Légende :

- *En vert clair : abondance mensuelle de nymphes à Gardouch extérieur*
- *En vert foncé : abondance mensuelle de nymphes à Gardouch intérieur*

Annexe 6 : Abondance mensuelle de nymphes sur certains sites de collecte du projet Climatick



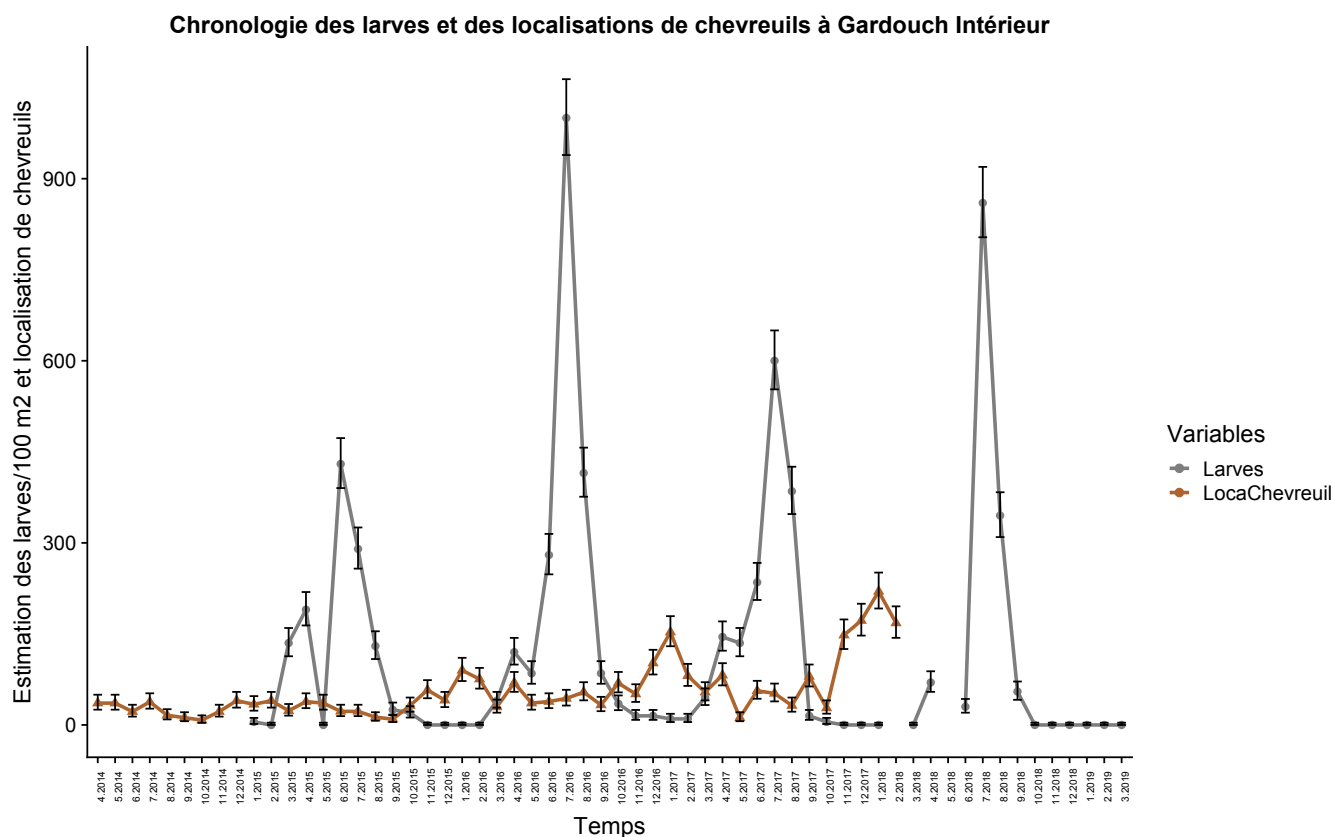
Annexe 7 : Chronologie des densités de nymphes et de localisations des chevreuils à Gardouch intérieur



Légende :

- *Nymphes représente l'abondance mensuelle des nymphes sur les 10 transects*
- *Les localisations mensuelles de chevreuils sur les transects (LocaChevreuil) ont été multipliées par 2 afin d'améliorer la lisibilité du graphique*
- *Les barres d'erreur associées à chaque point représentent l'incertitude de la mesure d'abondance des nymphes et des chevreuils*

Annexe 8 : Chronologie des densités de larves et de localisations des chevreuils à Gardouch intérieur



Légende :

- Larves représente l'abondance mensuelle des larves sur les 10 transects
- Les localisations mensuelles de chevreuils sur les transects (LocaChevreuil) ont été multipliées par 2 afin d'améliorer la lisibilité du graphique
- Les barres d'erreur associées à chaque point représentent l'incertitude de la mesure d'abondance des larves et des chevreuils

Annexe 9 : Script R des graphiques et analyses réalisés

```
## Echelle régionale ##

##histogramme nymphes##
matrice <- read.delim("tickreg.csv", header=TRUE, sep=";")
nymphes <- matrice[49:72,3]
hist(nymphes)

##stripchart nymphes##
library("ggplot2")
library("RColorBrewer")
library("epitools")
matrice <- read.delim("tickreg.csv", header=TRUE, sep=";")
nymphes <- matrice[49:72,3]
nymphes <- pois.exact(nymphes, pt=1, conf.level=0.95)
Lower<-nymphes[,4]
Upper <-nymphes[,5]
nymphes2 <- matrice[49:72,2:4]
C <- as.Date( c("20/03/2018", "20/03/2018", "20/03/2018", "21/03/2018", "22/03/2018", "22/03/2018",
"18/04/2018", "18/04/2018", "18/04/2018", "20/04/2018", "19/04/2018", "21/04/2018", "11/05/2018",
"11/05/2018", "11/05/2018", "12/05/2018", "11/05/2018", "12/05/2018", "14/06/2018", "14/06/2018",
"14/06/2018", "19/06/2018", "15/06/2018", "15/06/2018"), format="%d/%m/%Y")
p<-ggplot(data=nymphes2, aes(x=C, y=Y, colour=Site, shape=Site, group=Site)) + geom_line(size=0.5) +
geom_point(size=3) + geom_errorbar(aes(ymin=Lower, ymax=Upper), width = 0.5,
position=position_dodge(0.05)) + theme(panel.border = element_blank(), panel.grid.minor =
element_blank(), axis.line = element_line(size = 0.5, linetype = "solid", colour = "black"))
p <- p + scale_x_date(breaks=C, labels=c("20/03/2018", "20/03/2018", "20/03/2018", "21/03/2018",
"22/03/2018", "22/03/2018", "18/04/2018", "18/04/2018", "18/04/2018", "20/04/2018", "19/04/2018",
"21/04/2018", "11/05/2018", "11/05/2018", "11/05/2018", "11/05/2018", "12/05/2018", "11/05/2018", "12/05/2018",
"14/06/2018", "14/06/2018", "14/06/2018", "19/06/2018", "15/06/2018", "15/06/2018"))
p<- p + ggtitle("Distribution des nymphes") + theme(plot.title = element_text(hjust=0.5))
p<- p + xlab("Date de collecte") + theme(axis.text.x = element_text(angle=90, hjust=1, size=7))
p<- p + ylab("Nombre de nymphes")
p<- p + scale_color_brewer(palette="Dark2")
print(p)

## Echelle locale ##

## echelle locale : tiques et météo : nb nymphes, loc sommées de chevreuils, T min moy , H min moy
et précipitations au cours du temps

#sans barre d'erreur
library("ggplot2")
library("RColorBrewer")
library("gridExtra")
library("cowplot")
library("epitools")
meteo <- read.delim("meteo6.csv", header=TRUE, sep=";", dec=",")
meteo <- meteo[1:275,1:4]
p <- ggplot(data=meteo, aes(x=interaction(Mois,Year),y=Y,colour=Variable, group=Variable))
p <- p + geom_line(size=1) +
scale_color_manual(values=c("#318CE7", "#AE642D", "#582900", "#096A09", "#FF0921"))
p <- p + geom_point(data=meteo, aes(x=interaction(Mois,Year),y=Y, size=0.1, group=Variable,
shape=Variable)) + scale_shape_manual(values=c(20, 18, 3, 15, 4))
p <- p + theme(axis.text.x= element_text(angle=90, hjust=1, size=6))
p <- p + scale_x_discrete(labels=c("avr 14", "mai 14", "juin 14", "juil 14", "aout 14", "sept 14", "oct
14", "nov 14", "dec 14", "janv 15", "fev 15", "mars 15", "avr 15", "mai 15", "juin 15", "juil 15", "aout
15", "sept 15", "oct 15", "nov 15", "dec 15", "janv 16", "fev 16", "mars 16", "avr 16", "mai 16", "juin
16", "juil 16", "aout 16", "sept 16", "oct 16", "nov 16", "dec 16", "janv 17", "fev 17", "mars 17", "avr
17", "mai 17", "juin 17", "juil 17", "aout 17", "sept 17", "oct 17", "nov 17", "dec 17", "janv 18", "fev
18", "mars 18", "avr 18", "mai 18", "juin 18", "juil 18", "aout 18", "sept 18", "oct 18"))
```

```

p <- p + ggtitle("Relation entre nb de nymphes, les loca de chevreuils, le nombre de chevreuils, et
Tmoy, Hmin") + theme(plot.title = element_text(hjust=0.5))
p <- p + ylab("Variables") + xlab("Temps")
print(p)

## Chronologie Chevreuils, locdeer, nymphe, et larves tous transects ##

##Nymphe et chevreuils
#avec barre d'erreur
library("ggplot2")
library("RColorBrewer")
library("gridExtra")
library("cowplot")
Doc <- read.delim("test.csv", header=TRUE, sep=";", dec=",")
Doc <- Doc[1:120,21:24]
P <- c(Doc[1:8,1],Doc[10:46,1],Doc[48:107,1])
P <- pois.exact(P)
Ymin <- c(P[1:8,4],NA,P[9:45,4],NA,P[46:105,4],NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA)
Ymax <- c(P[1:8,5],NA,P[9:45,5],NA,P[46:105,5],NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA)
p<- ggplot(data=Doc) + geom_line(aes(x=interaction(Mo,An),y=Y3, colour=Variable3, group=Variable3),
size=1) + geom_point(aes(x=interaction(Mo,An),y=Y3, shape=Variable3, colour=Variable3,
group=Variable3), size=2)
p <- p + geom_errorbar(aes(x=interaction(Mo,An), ymin=Ymin, ymax=Ymax), width = 0.5,
position=position_dodge(0.05))
p <- p + scale_color_manual(values=c("#AE642D", "#3A9D23"))
p <- p + ggtitle("Nb de nymphes et de chevreuils à Gardouch Intérieur au cours du temps ") +
theme(plot.title = element_text(hjust=0.5))
p <- p + xlab("Temps") + theme(axis.text.x = element_text(angle=90, size=6))
p <- p + ylab("Nombre de nymphes et de chevreuils à Gardouch intérieur ")
print(p)

#sans barre d'erreur
library("ggplot2")
library("RColorBrewer")
library("gridExtra")
library("cowplot")
Doc <- read.delim("test.csv", header=TRUE, sep=";", dec=",")
Doc <- Doc[1:120,21:24]
p<- ggplot(data=Doc) + geom_line(aes(x=interaction(Mo,An),y=Y3, colour=Variable3, group=Variable3),
size=1) + geom_point(aes(x=interaction(Mo,An),y=Y3, shape=Variable3, colour=Variable3,
group=Variable3), size=2)
p <- p + scale_color_manual(values=c("#AE642D", "#3A9D23"))
p <- p + ggtitle("Nb de nymphes et de chevreuils à Gardouch Intérieur au cours du temps ") +
theme(plot.title = element_text(hjust=0.5))
p <- p + xlab("Temps") + theme(axis.text.x = element_text(angle=90, size=6))
p <- p + ylab("Nombre de nymphes et de chevreuils à Gardouch intérieur ")
print(p)

##Larve et chevreuils
##avec barres d'erreur
library("ggplot2")
library("RColorBrewer")
library("gridExtra")
library("cowplot")
Doc <- read.delim("test.csv", header=TRUE, sep=";", dec=",")
Doc1 <- Doc[61:180,21:24]
Doc <- Doc[1:240,21:24]
P <-c(Doc[61:107,1],Doc[130:166,1],Doc[168:169,1],Doc[171:180,1])
P <- pois.exact(P)
Ymin <-
c(P[1:47,4],NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,P[48:84,4],NA,P[85:86
,4],NA,P[87:96,4])
Ymax <-
c(P[1:47,5],NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,P[48:84,5],NA,P[85:86
,5],NA,P[87:96,5])
p<- ggplot(data=Doc1) + geom_line(aes(x=interaction(Mo,An),y=Y3, colour=Variable3, group=Variable3),
size=1) + geom_point(aes(x=interaction(Mo,An),y=Y3, shape=Variable3, colour=Variable3,
group=Variable3), size=2)

```

```

p <- p + geom_errorbar(aes(x=interaction(Mo,An), ymin=Ymin, ymax=Ymax), width = 0.5,
  position=position_dodge(0.05))
p <- p + scale_color_manual(values=c("#7F7F7F", "#AE642D"))
p <- p + ggtitle("Nb de larves et de chevreuils à Gardouch Intérieur au cours du temps ") +
  theme(plot.title = element_text(hjust=0.5))
p <- p + xlab("Temps") + theme(axis.text.x = element_text(angle=90, size=6))
p <- p + ylab("Nombre de larves et de chevreuils")
print(p)

## sans barres d'erreur
library("ggplot2")
library("RColorBrewer")
library("gridExtra")
library("cowplot")
Doc <- read.delim("test.csv", header=TRUE, sep=";", dec=",")
Doc1 <- Doc[61:180,21:24]
p<- ggplot(data=Doc1) + geom_line(aes(x=interaction(Mo,An),y=Y3, colour=Variable3, group=Variable3),
  size=1) + geom_point(aes(x=interaction(Mo,An),y=Y3, shape=Variable3, colour=Variable3,
  group=Variable3), size=2)
p <- p + scale_color_manual(values=c("#7F7F7F", "#AE642D"))
p <- p + ggtitle("Nb de larves et de chevreuils à Gardouch Intérieur au cours du temps ") +
  theme(plot.title = element_text(hjust=0.5))
p <- p + xlab("Temps") + theme(axis.text.x = element_text(angle=90, size=6))
p <- p + ylab("Nombre de larves et de chevreuils")
print(p)

## Chronologie comparaison des nymphes Gardouch int et ext ##
# avec barre d'erreur
library("ggplot2")
library("RColorBrewer")
library("gridExtra")
library("cowplot")
library("epitools")
Doc <- read.delim("Nymphe GardouchIntExt.csv", header=TRUE, sep=";", dec=",")
Doc <- Doc[1:120,1:4]
P <- c(Doc[1:8,3],Doc[10:68,3],Doc[70:120,3])
P <- pois.exact(P)
Ymin <- c(P[1:8,4],NA,P[9:68,4],NA,P[69:118,4])
Ymax <- c(P[1:8,5],NA,P[9:68,5],NA,P[69:118,5])
p<- ggplot(data=Doc) + geom_line(aes(x=interaction(Month,Year),y=Y, colour=Variable,
  group=Variable), size=1) + geom_point(aes(x=interaction(Month,Year),y=Y, shape=Variable,
  colour=Variable, group=Variable), size=2)
p <- p + geom_errorbar(aes(x=interaction(Month,Year), ymin=Ymin, ymax=Ymax), width = 0.5,
  position=position_dodge(0.05))
p <- p + scale_color_manual(values=c("#7FDD4C", "#096A09"))
p <- p + ggtitle("Chronologie des nymphes à Gardouch intérieur et extérieur au cours du temps ") +
  theme(plot.title = element_text(hjust=0.5))
p <- p + xlab("Temps") + theme(axis.text.x = element_text(angle=90, size=6))
p <- p + ylab("Nombre de nymphes")
print(p)

# auto corrélation larves et chevreuils tous transect

Doc <- read.delim("test.csv", header=TRUE, sep=";", dec=",")
LocalisationChevreuil <- Doc[61:120,21]
Larves <- Doc[121:180,21]
LocalisationChevreuil <- ts(LocalisationChevreuil)
Larves <- ts(Larves)
toto <- ccf(Larves, LocalisationChevreuil, lag.max=NULL,na.action=na.pass, ylab="CCF")

# auto corrélation nymphes et chevreuils tous transect

Doc <- read.delim("test.csv", header=TRUE, sep=";", dec=",")
Nymphes <- Doc[1:60,21]
LocalisationChevreuil <- Doc[61:120,21]
LocalisationChevreuil <- ts(LocalisationChevreuil)
Nymphes <- ts(Nymphes)
toto <- ccf(Nymphes, LocalisationChevreuil, lag.max=NULL,na.action=na.pass, ylab="CCF")

```

Résumé

Nom : Dutraive Justine

Titre : Étude de la corrélation entre la densité de la tique *Ixodes ricinus* et la densité des chevreuils en région toulousaine

Mots-clés : Tiques ; *Ixodes ricinus* ; Faune sauvage ; Chevreuil ; *Capreolus capreolus* ; Densité ; Distribution ; Abondance ; Changement climatique

L'abondance des tiques *Ixodes ricinus*, vecteur d'agents pathogènes en France, dépend de facteurs tels que la météorologie ou la présence d'hôtes, comme le chevreuil (*Capreolus capreolus*), hôte de choix pour les tiques adultes. Son expansion au cours des dernières décennies en Europe s'est accompagnée d'une expansion de la distribution et de l'abondance des tiques, sans preuve de relation entre les deux espèces. L'objet de cette étude a été de déterminer si la densité des tiques est corrélée à la densité des chevreuils en utilisant deux échelles spatiales. A l'échelle de la région toulousaine, six bois aux densités variables de chevreuils, a priori favorables aux tiques, ont été comparés. Les résultats suggèrent une corrélation positive entre les densités de chevreuil et les densités de nymphes. A l'échelle du bois, sur le site expérimental de Gardouch avec une forte densité de chevreuil, la fréquentation par les chevreuils autour des zones de relevé des tiques a été comparée à l'abondance des tiques sur ces zones. Une corrélation positive entre densité des chevreuils et densité des larves a pu être observée avec un décalage de 6 mois.

Title : Study of the correlation between the tick *Ixodes Ricinus* density and the roe deer density in the Toulouse area

Key words : Ticks ; *Ixodes Ricinus* ; Wildlife ; Roe deer ; *Capreolus capreolus* ; Density ; Distribution ; Abundance ; Climate change

Tick *Ixodes ricinus* abundance, vector for pathogens in France, depends on factors such as weather or presence of hosts, like roe deer (*Capreolus capreolus*), a major host for adult ticks. The roe deer's expansion in Europe over the last decades has gone hand in hand with the range and abundance expansion of ticks, without evidence of relationship between the two species. The purpose of the study was to determine if tick density is correlated to roe deer density by using two different space levels. Six woodlands in the Toulouse region presumed to be favourable for ticks were compared. Results suggest a positive correlation between roe deer density and nymph density. At the woodland level, in the experimental site of Gardouch (with high roe deer density), the visitation by roe deer around tick survey places was compared to tick abundance on this places. A positive correlation can be found between roe deer density and larva density with a lag of 6 months.