



HAL
open science

Tiques vectrices des parasites responsables de piroplasmose chez le cheval : enquête dans des élevages de chevaux de trait en région Auvergne-Rhône-Alpes

Claire Chanet

► To cite this version:

Claire Chanet. Tiques vectrices des parasites responsables de piroplasmose chez le cheval : enquête dans des élevages de chevaux de trait en région Auvergne-Rhône-Alpes. Médecine vétérinaire et santé animale. 2022. dumas-03975693

HAL Id: dumas-03975693

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03975693v1>

Submitted on 6 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année 2022

**TIQUES VECTRICES DES PARASITES RESPONSABLES DE
PIROPLASMOSE CHEZ LE CHEVAL : ENQUÊTE DANS DES
ÉLEVAGES DE CHEVAUX DE TRAIT EN RÉGION
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES**

THÈSE

pour obtenir le diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC)

le 3 octobre 2022

par

Claire Marie Annick CHANET

sous la direction de

Jacques GUILLOT

JURY

Président du jury :	M. Radu BLAGA	Professeur à l'EnvA
Directeur de thèse :	M. Jacques GUILLOT	Professeur à ONIRIS
Examinatrice :	Mme Anne-Claire LAGREE	Maître de Conférences à l'EnvA

Liste des enseignants intervenant dans l'encadrement des thèses de Doctorat vétérinaire



Version du 8 février 2022

Liste des Professeurs et Maîtres de conférences titulaires de l'HDR

M	Adjou	Karim	Professeur	DPASP
M	Audigié	Fabrice	Professeur	DEPEC
M	Bellier	Sylvain	Professeur	DSBP
M	Blaga	Radu	Maître de conférences HDR	DPASP
M	Blot	Stephane	Professeur	DEPEC
M	Boulouis	Henri-Jean	Professeur émérite	DSBP
Mme	Chahory	Sabine	Professeur	DEPEC
M	Chateau	Henry	Professeur	DSBP
Mme	Chetboul	Valerie	Professeur	DEPEC
Mme	Crevier-Denoix	Nathalie	Professeur	DSBP
M	Degueurce	Christophe	Professeur	DSBP
M	Denoix	Jean-Marie	Professeur	DEPEC
M	Desquilbet	Loïc	Professeur	DSBP
Mme	Dufour	Barbara	Professeur émérite	DPASP
M	Eloit	Marc	Professeur	DSBP
M	Fayolle	Pascal	Professeur émérite	DEPEC
M	Fédérighi	Michel	Professeur	DPASP
M	Fontbonne	Alain	Professeur	DEPEC
Mme	Gilbert	Caroline	Professeur	DSBP
M	Grandjean	Dominique	Professeur	DEPEC
Mme	Grimard-Ballif	Bénédicte	Professeur	DPASP
Mme	Haddad-Hoang Xuan	Nadia	Professeur	DPASP
M	Jouvion	Gregory	Professeur	DSBP
M	Kohlhauer	Matthias	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Le Poder	Sophie	Professeur	DSBP
M	Manassero	Mathieu	Professeur	DEPEC
Mme	Maurey-Guénec	Christelle	Maître de conférences HDR	DEPEC
M	Millemann	Yves	Professeur	DPASP
M	Perrot	Sébastien	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Pilot-Storck	Fanny	Professeur	DSBP
M	Ponter	Andrew	Professeur	DPASP
Mme	Rivière	Julie	Maître de conférences HDR	DPASP
Mme	Robert	Céline	Professeur	DSBP
M	Tiret	Laurent	Professeur	DSBP
M	Tissier	Renaud	Professeur	DSBP
M	Verwaerde	Patrick	Professeur	DEPEC
Mme	Viateau	Véronique	Professeur	DEPEC

Liste des Maîtres de conférences et Ingénieurs de recherche DMV

M	Arné	Pascal	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barassin	Isabelle	Maître de conférences	DPASP
Mme	Benchekroun	Ghita	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Bertoni	Lelia	Maître de conférences	DEPEC
M	Bolnot	Francois	Maître de conférences	DPASP
Mme	Canonne-Guibert	Morgane	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Chevallier	Lucie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Cochet-Faivre	Noëlle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Constant	Fabienne	Maître de conférences	DPASP
Mme	Cordonnier-Lefort	Nathalie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Crepeaux	Guillemette	Maître de conférences	DSBP
Mme	De Paula Reis	Alline	Maître de conférences	DPASP
Mme	Decambroun	Adeline	Maître de conférences	DEPEC
M	Delsart	Maxime	Maître de conférences associé	DPASP
M	Desbois	Christophe	Maître de conférences	DEPEC
M	Deshuillers	Pierre	Maître de conférences	DSBP
M	Gauthier	Michel	Maître de conférences associé	DPASP
Mme	Guétin-Poirier	Valentine	Maître de conférences	DPASP
Mme	Jacquet	Sandrine	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Lagrée	Anne-Claire	Maître de conférences	DSBP
Mme	Le Roux	Delphine	Maître de conférences	DSBP
Mme	Legrand	Chantal	Maître de conférences associé	DSBP
Mme	Marignac	Genevieve	Maître de conférences	DSBP
M	Mauffré	Vincent	Maître de conférences	DPASP
Mme	Mtimet	Narjès	Maître de conférences	DPASP
Mme	Mespouilhès-Rivière	Céline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Mortier	Jérémy	Maître de conférences associé	DEPEC
M	Nudelmann	Nicolas	Maître de conférences	DEPEC
M	Pignon	Charly	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Polack	Bruno	Maître de conférences	DSBP
Mme	Ravary-Plumioën	Bérandère	Maître de conférences	DPASP
M	Reyes-Gomez	Edouard	Maître de conférences	DSBP
Mme	Risco-Castillo	Véronica	Maître de conférences	DSBP
Mme	Rose	Hélène	Maître de conférences associé	DSBP

Remerciements

A M. Radu Blaga, Président du Jury de cette thèse, Professeur à l'EnvA,

Pour avoir accepté la présidence du jury de cette thèse,
Sincères remerciements et hommage respectueux.

A M. Jacques Guillot, Professeur à ONIRIS,

Pour avoir encadré ce sujet de thèse. Sincères remerciements pour vos conseils et corrections bienveillantes.

A Mme Anne-Claire Lagrée, Maître de conférences à l'EnvA,

Pour avoir aimablement accepté d'examiner ma thèse,
Sincères remerciements.

A Mme Sarah Bonnet, Directrice de recherche à l'INRAE et à l'Institut Pasteur,

Pour avoir réalisé la relecture attentive de la partie bibliographique de ce manuscrit, votre réactivité et vos conseils.
Sincères remerciements.

A Mme Maud Marsot, Chargée de projets de recherche à l'ANSES,

Pour votre aide, vos conseils sur la méthode de travail et votre travail sur l'analyse statistique des résultats.
Sincères remerciements.

A Mme Nadal Clémence, Docteur vétérinaire et doctorante à l'ANSES,

Pour votre aide indispensable à la récolte des tiques et au traitement des échantillons. Tous mes remerciements pour vos réponses à toutes mes questions.

A Mme Delaunay Claire, Étudiante vétérinaire,

Pour ton aide sur le terrain et ton humour.

A ma famille et mes amis,

Pour votre présence et votre soutien.
Toute mon affection.

Table des matières

Liste des figures.....	5
Liste des tableaux.....	9
Liste des abréviations.....	11
Introduction.....	13
Première partie : étude bibliographique.....	15
1. Généralités sur les tiques.....	15
1.1 Tiques parasites des animaux.....	15
1.1.1 <i>Position systématique et éléments de classification</i>	15
1.1.2 <i>Morphologie</i>	17
1.1.3 <i>Anatomie</i>	22
1.1.4 <i>Cycle évolutif</i>	25
1.1.5 <i>Nutrition et recherche de l'hôte</i>	27
1.1.6 <i>Habitat et saisonnalité</i>	29
1.1.7 <i>Rôle pathogène direct</i>	31
1.2 Tiques parasites des chevaux.....	32
1.2.1 <i>Espèces de tiques affectant les chevaux dans le monde</i>	32
1.2.2 <i>Principales espèces de tiques affectant les chevaux en France métropolitaine</i>	32
1.2.3 <i>Répartition des espèces de tiques affectant les chevaux en France métropolitaine</i>	39
2. Méthodes de lutte contre les tiques.....	43
2.1 Mesures offensives.....	43
2.1.1 <i>Lutte mécanique</i>	43
2.1.2 <i>Lutte chimique</i>	43
2.1.3 <i>Lutte biologique</i>	45
2.1.4 <i>Lutte écologique et agronomique</i>	46
2.2 Mesures défensives.....	46
2.2.1 <i>Végétaux</i>	46
2.2.2 <i>Moyens génétiques</i>	47
2.2.3 <i>Vaccination</i>	47
3. Rôle pathogène indirect des tiques.....	50
3.1 Transmission d'agents pathogènes aux animaux.....	50
3.1.1 <i>Définitions</i>	50
3.1.2 <i>Rôle pathogène indirect des tiques</i>	50
3.1.2.1 <i>Etapas de la transmission des agents pathogènes</i>	50
3.1.2.2 <i>Agents pathogènes transmis par les tiques</i>	52
3.2 Cas particulier de la transmission des piroplasmes chez les chevaux.....	52
3.2.1 <i>Espèces sensibles et réservoirs de piroplasmes</i>	53
3.2.2 <i>Espèces de tiques vectrices</i>	53
3.2.3 <i>Mode de transmission</i>	53
3.2.4 <i>Prévalence des agents pathogènes <i>B. caballi</i> et <i>T. equi</i> au sein des tiques en France</i> 55	
3.2.5 <i>Prévalence de la piroplasmose équine en France</i>	55
Deuxième partie : étude expérimentale.....	57
1 Contexte et objectifs de l'étude.....	57
2 Matériels et méthodes.....	58
2.1 Critères d'inclusion.....	58
2.1.1 <i>Choix des races de chevaux</i>	58

2.1.2	Choix des zones d'étude	58
2.1.3	Choix des élevages.....	61
2.1.4	Choix des chevaux au sein des élevages.....	61
2.1.5	Choix des zones de collecte des tiques sur les chevaux	61
2.1.6	Choix des pâtures	62
2.1.7	Choix de la période de l'étude	62
2.2	Recueil des données	62
2.2.1	Questionnaire rempli par l'éleveur	62
2.2.2	Relevé des informations.....	63
2.3	Collecte de tiques	65
2.3.1	Sur les chevaux.....	65
2.3.2	Sur la pâture	67
2.4	Identification des tiques collectées.....	68
2.4.1	Identification morphologique.....	68
2.4.2	Confirmation par PCR (Polymerase Chain Reaction)	68
2.5	Analyse statistique.....	68
2.5.1	Population cible.....	69
2.5.2	Choix du modèle	70
2.5.3	Modèle multivarié : binomial négatif	70
2.5.3.1	Description	70
2.5.3.2	Qualité du modèle binomial négatif.....	71
3	Résultats.....	71
3.1	Etude descriptive	71
3.1.1	Caractéristique des chevaux de l'étude	72
3.1.2	Caractéristiques des pâtures de l'étude	75
3.1.3	Caractéristiques des tiques et répartition des tiques	75
La biologie moléculaire a permis de confirmer les espèces identifiées sous loupe binoculaire..		75
3.1.3.1	Sur les chevaux.....	75
3.1.3.1.1	Identification des espèces de tiques collectées.....	75
3.1.3.1.2	Répartition des tiques fixées sur les chevaux	76
3.1.3.1.3	Répartition des espèces et du stade des tiques en fonction de l'âge, de la race, de la robe et de la couleur des crins	76
3.1.3.2	Sur les pâtures	77
3.1.3.2.1	Identification des espèces de tiques collectées.....	77
3.1.3.2.2	Densité et répartition des tiques selon la température, l'hygrométrie, les zones boisées, la hauteur de l'herbe et l'humidité du sol.....	78
3.2	Analyse statistique.....	80
3.2.1	Vérification de la qualité du modèle binomial négatif.....	81
3.2.2	Taux d'infestation	81
3.2.3	Caractéristiques individuelles.....	82
3.2.3.1	Âge.....	82
3.2.3.2	Sexe des chevaux	85
3.2.3.3	Race des chevaux	85
3.2.3.4	Robe.....	86
3.2.4	Pratiques d'élevage.....	87
3.2.4.1	Usage d'un antiparasitaire externe	88
3.2.4.2	Ivermectine.....	89
3.2.4.3	Moxidectine	89

3.2.4.4	Vaccin à jour.....	90
3.2.5	<i>Variables environnementales</i>	90
3.2.5.1	Tiques dans les pâtures.....	91
3.2.5.2	Zone boisée.....	92
3.2.5.3	Cours d'eau	93
3.2.6	<i>Résultats du modèle binomial négatif</i>	94
3.3	Discussion	97
3.3.1	<i>Matériels et méthodes</i>	97
3.3.2	<i>Analyse statistique</i>	100
3.3.3	<i>Résultats</i>	100
	Conclusion	105
	Liste des références bibliographiques	107
	Annexe 1 : Temps d'attachement nécessaire pour transmettre des agents pathogènes chez différentes espèces de tiques (Richards <i>et al.</i>, 2017)	117
	Annexe 2 : Questionnaire Sphinx sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait pour l'étude des facteurs de risque de la piroplasmose équine	119
	Annexe 3 : Fiche cheval	125
	Annexe 4 : Fiche pâture	127
	Annexe 5 : Deux exemples de feuille pâture remplies	131
	Annexe 6 : Protocoles d'extraction d'ADN et RT-PCR pour les tiques	135
	Annexe 7 : Moyenne du nombre de tiques par cheval en fonction des différentes expositions d'intérêts dans la zone 1 et la zone 2	139

Liste des figures

Figure 1 : Éléments de classification des acariens (Bussiéras et Chermette, 1991)	15
Figure 2 : Classification systématique des espèces de tiques (Camicas <i>et al.</i> , 1998)	16
Figure 3 : Classification des tiques (Guglielmone <i>et al.</i> , 2010)	17
Figure 4 : Parties du corps d'un acarien (Bussiéras et Chermette, 1991)	18
Figure 5 : Schéma d'un rostre d'acarien (Bussiéras et Chermette, 1991)	18
Figure 6 : Morphologie des tiques molles adulte (Pérez-Eid, 2007)	19
Figure 7 : Morphologie générale schématique d'une tique ixodid� (Rodhain et Pérez-Eid, 1985)..	20
Figure 8 : Les différents types de capitulum des tiques dures (Pérez-Eid, 2007)	20
Figure 9 : Morphologie générale des tiques dures (Gondard, 2017)	21
Figure 10 : Différences morphologiques entre les tiques dures et les tiques molles femelles (Bonnet, 2019).....	22
Figure 11 : Représentation schématique de la structure interne en coupe frontale d'une femelle de tique molle (� gauche) et de tique dure (� droite) (Balashov, 1972)	23
Figure 12 : Représentation schématique d'une tique dure femelle en cours de gorgement (Melhorn et Armstrong, 2001)	23
Figure 13 : Trois stades évolutifs d' <i>Ixodes ricinus</i> (Biomnis, 2017)	25
Figure 14 : Schéma des différents types de fixation des tiques dures sur la peau (Pérez-Eid, 2007)	28
Figure 15 : Schéma d'une tique (mâle) du genre <i>Dermacentor</i> (Plantard, 2018)	33
Figure 16 : Images de <i>D. reticulatus</i> (� gauche) et de <i>D. marginatus</i> (� droite) (University of Bristol, 2022a).....	33
Figure 17 : Schéma d'une tique du genre <i>Rhipicephalus</i> (René-Martellet, 2018).....	35
Figure 18 : Schéma d'une tique du genre <i>Hyalomma</i> (Vial, 2018)	35
Figure 19 : Schéma de la femelle (� gauche) et du mâle (� droite) d' <i>Ixodes ricinus</i> (Estrada-Pena <i>et al.</i> , 2004)	36
Figure 20 : Schéma d'une tique du genre <i>Ixodes</i> (McCoy et Vourc'h, 2018) et image d' <i>I. ricinus</i> (Bristol University Tick ID , s. d.).....	36
Figure 21 : Tique <i>Haemaphysalis punctata</i> femelle vue ventrale (� gauche) et dorsale (� droite) (« Bristol University Tick ID », s. d.).....	38

Figure 22 : Tique <i>Haemaphysalis concinna</i> femelle vue dorsale (à gauche) et ventrale (à droite) (Bristol University Tick ID , s. d.).....	38
Figure 23 : Carte de la répartition de <i>Dermacentor reticulatus</i> en Europe (ECDC et EFSA, 2020a)	39
Figure 24 : Carte de répartition de <i>Dermacentor marginatus</i> (Rubel <i>et al.</i> , 2016)	40
Figure 25 : Carte de la répartition de <i>Rhipicephalus bursa</i> en Europe (ECDC et EFSA, 2019).....	40
Figure 26 : Carte de la répartition de <i>Hyalomma marginatum</i> en Europe (ECDC et EFSA, 2020b).....	41
Figure 27 : Carte de répartition géographique d' <i>Ixodes ricinus</i> en Europe (ECDC et EFSA, 2020c)	42
Figure 28 : Carte de répartition géographique de <i>Haemaphysalis punctata</i> (Estrada-Pena <i>et al.</i> , 2004).....	42
Figure 29 : Mode d'action d'un vaccin dirigé contre des protéines salivaires de tiques (Bonnet et Richardson, 2018).....	49
Figure 30 : Schéma de l'acquisition et de transmission d'agent pathogène par la tique (Šimo <i>et al.</i> , 2017).....	51
Figure 31 : Cycle de développement de <i>Theileria equi</i> (à gauche) et <i>Babesia caballi</i> (à droite) (Scoles et Ueti, 2015).....	53
Figure 32 : Répartition géographique de <i>Babesia caballi</i> et <i>Theileria equi</i> en France (données entre 1997 et 2003) (Nadal <i>et al.</i> , 2022)	56
Figure 33 : Nombre de chevaux de trait immatriculés en France en 2019 (IFCE, 2020)	59
Figure 34 : Distribution spatiale des chevaux lourds et de trait en France (Andreu, 2019).....	59
Figure 35 : Carte des types de végétation en Auvergne-Rhône-Alpes (Clémence Nadal)	60
Figure 36 : Carte des altitudes en Auvergne-Rhône-Alpes © Région Auvergne-Rhône-Alpes (Latitude-Cartagène, 2016)	60
Figure 37 : Zones de collecte sur le cheval.....	62
Figure 38 : Pâturage avec herbe rase	65
Figure 39 : Pâturage avec herbe haute	65
Figure 40 : Prélèvement d'une tique à l'aide d'un « Tire-tic »	66
Figure 41 : Tique sur cheval avant prélèvement	66
Figure 42 : Tiques immergées dans l'alcool.....	67
Figure 43 : Drap (1 m ²).....	67
Figure 44 : Vues de deux transects	67

Figure 45 : Répartition géographique des éleveurs (zone 1: en bleu, zone 2: en rouge) (Conseil départemental du Cantal, 2019)	72
Figure 46 : Répartition de l'âge des chevaux de l'étude.....	73
Figure 47 : Couleurs de robe des chevaux	74
Figure 48 : Localisation des trois espèces de tique sur les chevaux	76
Figure 49 : Nombre de tiques en fonction de la hauteur de l'herbe et de l'humidité du sol	80
Figure 50 : Rootogram modèle binomial négatif 2	81
Figure 51 : Nombre de tiques par cheval dans les zones 1 et 2.....	82
Figure 52 : Taux d'infestation par cheval par classe d'âge dans les deux zones	83
Figure 53 : Nombre de tiques par cheval selon le sexe (m : mâle, F : femelle), la race (C : Comtois, CC : croisés, A : Ardennais, TB : Trait breton,) et la robe (A : alezan, AB : alezan brulé, Ba : Bai, BI : Gris, R : Rouan) dans la zone 1 et la zone 2 et dans les deux zones confondues	84
Figure 54 : Nombre de tiques selon la couleur	87
Figure 55 : Nombre de tiques par cheval selon l'utilisation (1) ou l'absence d'utilisation (0) d'antiparasitaire externe, l'utilisation (1) ou l'absence d'utilisation (0) d'ivermectine, l'utilisation (1) ou l'absence d'utilisation (0) de moxidectine, vaccin à jour (1) ou non à jour (0) ou absence de données (NA) dans la zone 1 et 2 et dans les deux zones confondues.....	88
Figure 56 : Nombre de tiques par cheval en fonction de la présence (1)/absence (0) de tique dans la pâture, de la présence (1 : <25% de zone boisée, 2 : 25-50% de zone boisée, 4 : proportion boisée indéterminée)/absence (0) de forêt et la présence (1)/absence (0) d'un point d'eau sur la pâture dans la zone 1 et la zone 2 et dans les deux zones confondues	91
Figure 57 : Carte de distribution des signalements de piqûres de tique (2017-2019) (Durand, 2021)	97
Figure 58 : Nombre de chevaux exportés selon la race et l'âge (IFCE, 2020)	98
Figure 59 : Site d'attache des tiques (Sundstrom <i>et al.</i> , 2021)	101

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition (nombre de tiques) des espèces, stade et sexe en fonction de la race et de la robe	77
Tableau 2 : Répartition (nombre de tiques) des espèces, stade et sexe des tiques collectées en fonction de la température, l'hygrométrie, la zone boisée, la hauteur de l'herbe (sans distinction sexe) et l'humidité du sol (sans distinction sexe).....	79
Tableau 3 : Odds ratio et intervalles de confiance associés aux variables étudiées dans le modèle multivarié 1	94
Tableau 4 : Odds ratio et intervalles de confiance associés aux variables étudiées dans le modèle multivarié 2.....	95
Tableau 5 : Odds ratio et intervalles de confiance associés aux variables étudiées dans le modèle multivarié (sans les chevaux croisés)	96
Tableau 6: Amorces (F : Forward, R : Reverse)	136
Tableau 7 : Programme thermocycleur.....	137

Liste des abréviations

PCR : Polymerase Chain Reaction

Introduction

La piroplasmose équine est une maladie parasitaire due à l'infection par *Babesia caballi* ou *Theileria equi*. Elle a un impact économique non négligeable puisque d'une part la forme chronique de la maladie peut engendrer une perte de poids et d'autre part l'exportation des chevaux destinés à la filière bouchère dépend de leur statut sérologique vis-à-vis des agents pathogènes. En effet, une sérologie négative pour *B. caballi* et *T. equi* est nécessaire pour l'exportation au Japon ou aux Etats-Unis par exemple.

En France, une étude portant sur 173 chevaux entre 2011 et 2013, a montré que l'ADN de piroplasmes était détectable chez 51% des chevaux. Parmi les animaux positifs, 81% l'étaient pour *T. equi*, 11% pour *B. caballi* et 8% pour les deux piroplasmes (Benamou-Smith *et al.*, 2015). Une autre étude a révélé que le taux de séroprévalence pour *T. equi* était de 58% et de 12,9% pour *B. caballi* (Guidi *et al.*, 2014).

La piroplasmose équine se caractérise sous sa forme aiguë par de la fièvre, de l'anémie, de l'œdème des membres et par un ictère franc. Beaucoup d'équidés peuvent être des porteurs asymptomatiques et ainsi servir de réservoirs. La piroplasmose peut être fatale lors de la phase aiguë ou les signes cliniques peuvent être frustrés lors de la forme chronique. Cette maladie a donc un impact médical majeur.

La piroplasmose étant une maladie vectorisée par les tiques, il est essentiel d'identifier les espèces de tiques impliquées et de connaître leur biologie et leur écologie. Les genres de tiques porteurs d'ADN de *B. caballi* et *T. equi* dans le monde sont *Dermacentor*, *Rhipicephalus*, *Hyalomma*, *Ixodes* et *Haemaphysalis* (Scoles et Ueti, 2015). En Europe, les tiques identifiées comme impliquées dans la circulation de ces deux agents pathogènes appartiennent aux genres *Dermacentor*, *Rhipicephalus*, *Hyalomma*, *Ixodes* et *Haemaphysalis* (Nadal *et al.*, 2021). Les variations climatiques provoquent un changement de répartition des tiques en France et l'installation de nouvelles espèces dans des zones géographiques jusque-là indemnes. Ainsi, une nouvelle espèce vectrice, *Hyalomma marginatum*, s'est récemment installée dans le sud de la France (Vial *et al.*, 2016).

L'étude à laquelle nous avons participé pour ce travail de thèse a été réalisée pour mieux connaître l'éco-épidémiologie globale de la piroplasmose équine et identifier des facteurs de risque de cette maladie en région Auvergne-Rhône-Alpes. Nous avons plus particulièrement participé à une enquête de terrain sur des chevaux de trait dans les départements du Cantal, du Puy-de-Dôme, du Rhône et de la Savoie/Haute Savoie en avril et mai 2021. Ces chevaux sont mis en pâture une grande majorité de l'année ce qui en fait des bons modèles pour l'étude. Grâce à des collectes de tiques réalisées à la fois sur les chevaux et les pâtures qu'ils fréquentent, le projet se proposait de répondre à plusieurs questions : quelles sont les espèces de tiques présentes sur les chevaux et dans l'environnement ? quelle est la charge en tiques sur les chevaux ? quels sont les facteurs de risque de l'infestation des chevaux par les tiques ?

Cette thèse vétérinaire s'inscrit dans le cadre plus général du travail de thèse d'Université de Clémence Nadal. La thèse d'Université est le fruit de la collaboration entre l'ANSES et l'INRAE. Elle est encadrée par Maud Marsot et Sarah Bonnet. Elle a pour but de mieux connaître l'éco-épidémiologie de la piroplasmose équine en France et de réfléchir sur la mise en place de recommandations préventives.

Dans un premier temps nous présenterons les connaissances actuelles sur les tiques vectrices des agents de la piroplasmose chez les chevaux, puis nous présenterons et analyserons les données récoltées lors de l'étude de terrain en région Auvergne-Rhône-Alpes.

Première partie : étude bibliographique

1. Généralités sur les tiques

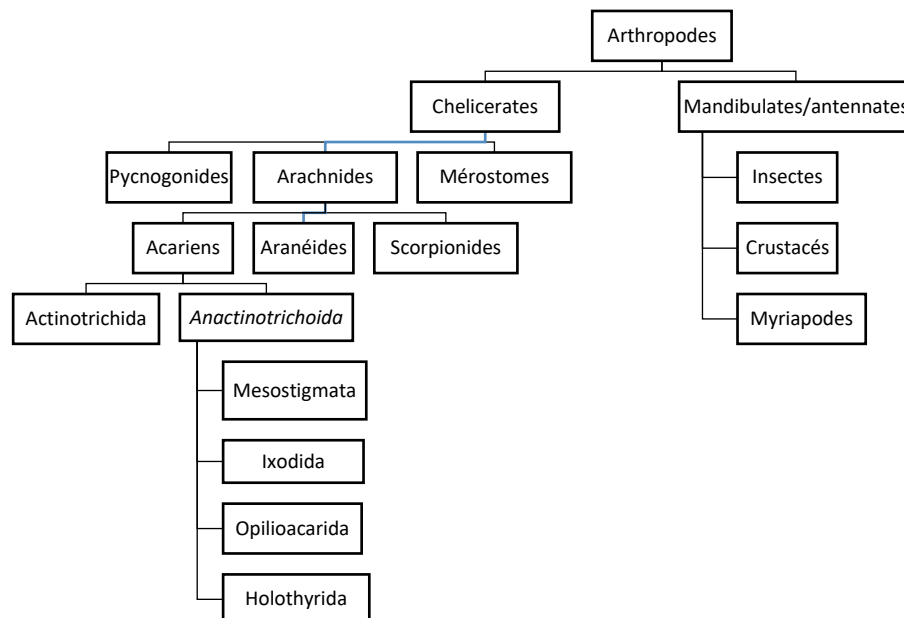
1.1 Tiques parasites des animaux

1.1.1 Position systématique et éléments de classification

La classification des tiques a d'abord été basée sur l'étude des caractères morphologiques, la répartition géographique et les caractéristiques biologiques. Elle a été beaucoup modifiée depuis le XXème siècle et n'est pas encore consensuelle à ce jour pour les tiques molles. Les désaccords concernent les genres et espèces. Pour les tiques dures un consensus a été trouvé.

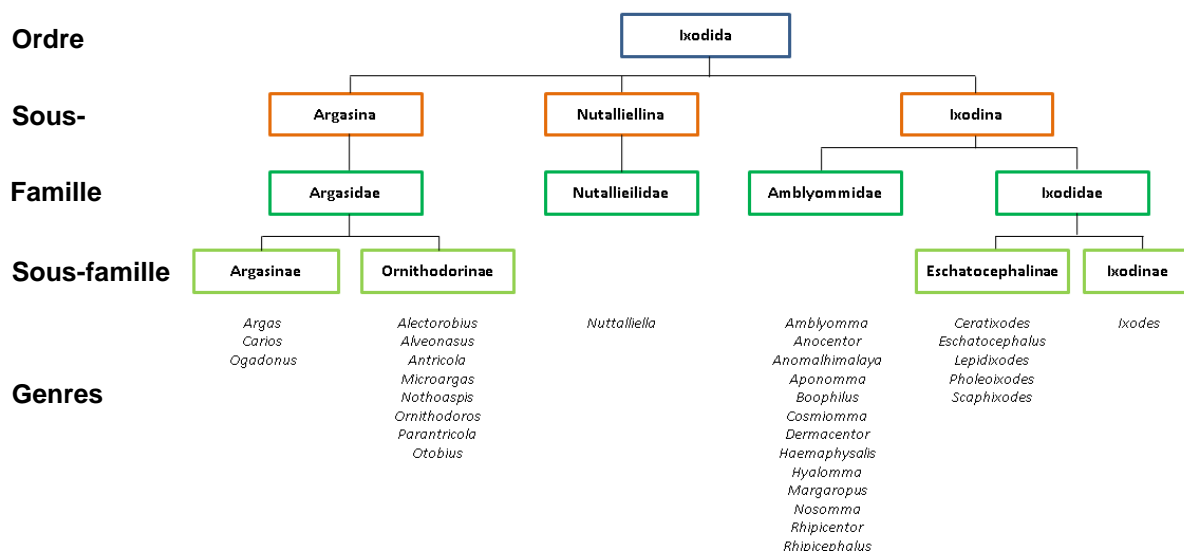
Les tiques sont des acariens appartenant à l'embranchement des Arthropodes, au sous-embranchement des Chélicérates, à la classe des Arachnides, la sous-classe des Acariens, au super-ordre des Anactinotrichoïda et à l'ordre des Ixodida (Figure 1) (Camicas et Morel, 1977).

Figure 1 : Eléments de classification des acariens (Bussiéras et Chermette, 1991)



L'ordre des Ixodida se divise en trois sous-ordres : Nuttalliellina, Argasina et Ixodina (Figure 2).

Figure 2 : Classification systématique des espèces de tiques (Camicas *et al.*, 1998)



Le sous-ordre Nutalliellina comprend qu'une seule famille les Nutalliellidés. La famille ne comporte qu'un seul genre (*Nuttalliella*).

Le sous-ordre des Argasina est celui des « tiques molles ». Elles sont appelées ainsi car elles présentent un tégument chitinisé mais non sclérifié. La famille des Argasidés est divisée en deux sous-familles : les Argasinés et les Ornithodorinés. La classification des tiques molles reste encore controversée. Il existe quatre écoles de taxonomie différentes : l'école Soviétique (Filippova, 1966, Pospelova-Shtrom, 1969), l'école Américaine (Clifford *et al.*, 1964, Hoogstraal, 1985), l'école Française (Camicas *et al.*, 1998) et le système cladistique (Klompen ans Olver, 1993). Les genres *Ornithodoros*, *Argas* et *Otobius* sont les trois genres communs aux quatre écoles.

Le sous-ordre des Ixodina est celui des « tiques dures ». Elles possèdent un tégument chitinisé et sclérifié.

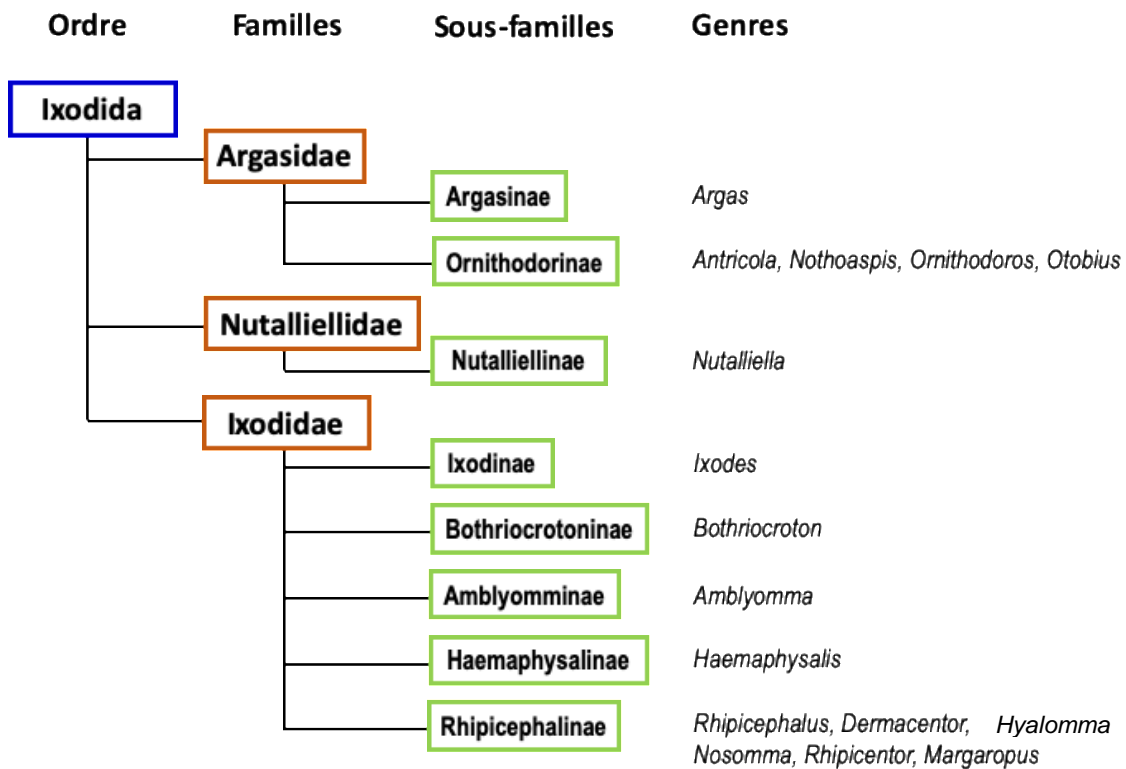
Le développement des techniques de biologie moléculaire a modifié la nomenclature établie par Camicas *et al.* en 1998. En effet, les études de phylogénie basées sur l'étude du génome mitochondrial et des gènes des ARNr nucléaires ont permis d'affiner la classification. Ainsi les tiques dures comprennent 12 genres : *Ixodes*, *Haemaphysalis*, *Amblyomma*, *Rhipicephalus*, *Dermacentor*, *Hyalomma*, *Anomalohimalaya*, *Bothriocroton*, *Cosmiomma*, *Margaropus*, *Nosomma* et *Rhipicentor*.

Ainsi le genre *Bothriocroton* a été créé (Klompen *et al.*, 2002). Le genre *Boophilus* est devenu un sous-genre du genre *Rhipicephalus* (Murrell et Barker, 2003). Les espèces du genre *Aponomma* ont été déplacées dans le genre *Amblyomma*. Ainsi, le nom *Aponomma* n'est plus un nom de genre valide.

Il y a 899 noms de genres et d'espèces de tiques en 2004 (Barker et Murrell, 2004).

La classification la plus récente des tiques dures est celle de Guglielmone *et al.* (Figure 3). Il y a cinq familles : Ixodinae, Bothriocrotoninae, Amblyomminae, Haemaphysalinae et Rhipicephalinae. Rhipicephalinae est composée de 6 genres : *Rhipicephalus*, *Dermacentor*, *Hyalomma*, *Nosomma*, *Rhipicentor* et *Margaropus*. Ixodinae est composée du seul genre *Ixodes*.

Figure 3 : Classification des tiques (Guglielmono *et al.*, 2010)



1.1.2 Morphologie

Les arthropodes sont caractérisés par un corps métamérisé à symétrie bilatérale, par des appendices articulés, un corps recouvert d'un exosquelette au développement discontinu. Les chélicérates sont caractérisés par la présence d'une paire d'appendices préhensiles appelés des chélicères et d'une absence d'antennes et de mandibules. Les arachnides ont une paire de chélicères et une paire de pédipalpes, un corps formé en 2 parties (prosoma et opisthosoma). L'adulte a quatre paires de pattes portées par le prosoma. Les acariens ont en général le prosoma et l'opisthosoma fusionnés en un corps globuleux non segmenté, ont un rostre avec des pièces buccales (Figures 4 et 5) et sont en général microscopiques (<1mm) sauf les tiques. Ce sont des espèces libres, des parasites obligatoires ou facultatifs.

Figure 4 : Parties du corps d'un acarien (Bussiéras et Chermette, 1991)

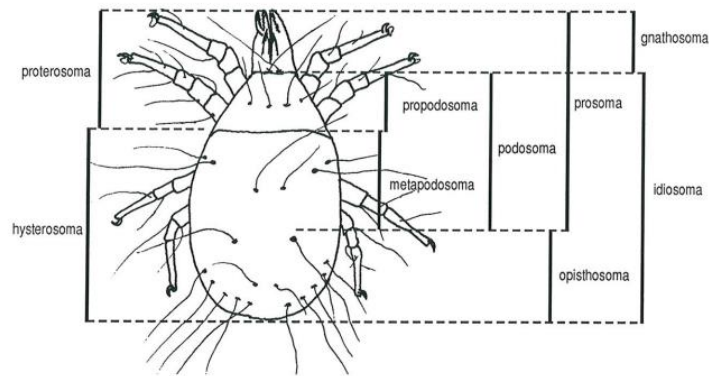
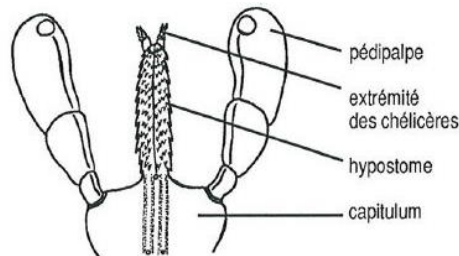


Figure 5 : Schéma d'un rostre d'acarien (Bussiéras et Chermette, 1991)



La classification traditionnelle des acariens est basée sur la présence et la position des stigmates. Le stigmate est un orifice où débouche le système respiratoire. Les Actinotrichida n'ont pas de stigmates en arrière des hanches II et les pattes sont insérées sur des  pim res. L'épimère est un épaississement chitineux sur lequel est insérée la patte. Les Anactinotrichoida ont des stigmates en arrière des hanches II et n'ont pas d' pim res (Bussiéras et Chermette, 1991).

Les Anactinotrichoida avec les stigmates au voisinage des hanches III sont des m sostigmates (Gamasida et Argasida). Les Anactinotrichoida avec les stigmates en arrière des hanches IV sont majoritairement des tiques.

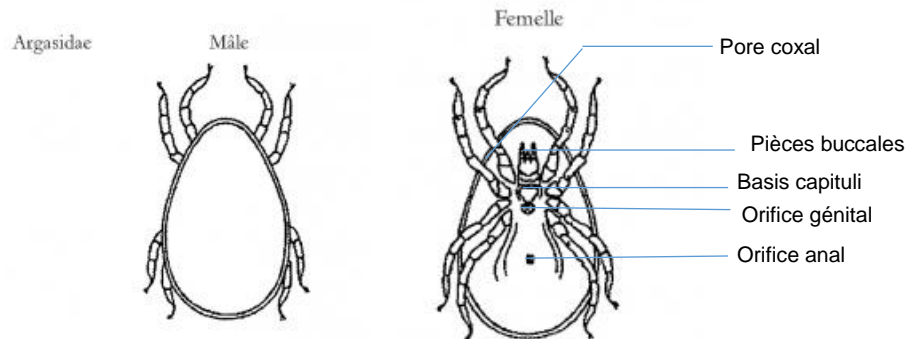
Les tiques sont des acariens de grandes dimensions (>2 mm). Les tiques dures ont une paire de stigmates au voisinage des hanches IV. Elles ont des pattes sans épimère. Leur rostre avec un hypostome est adapté à la perforation des tissus.

- Tiques molles

Les tiques molles ont un rostre ventral, des pièces buccales ventrales et un tégument souple non sclérifié (Figure 6). Elles présentent trois étapes de développement : larve, nymphe et adulte. Les nymphes et les adultes ont un capitulum situé en face ventrale. Les larves ont trois paires de pattes, un rostre terminal et des pattes pourvues de ventouses. Les nymphes et les adultes ont quatre paires de pattes. Les larves, les nymphes et les adultes ont un écusson dorsal absent. Les adultes ont des griffes et des stigmates entre les hanches III et IV. L'orifice génital est situé sur la face ventrale entre les hanches I. Le dimorphisme sexuel est très peu marqué. La femelle se distingue du mâle par l'orifice génital qui est transversal chez la femelle et en fer à cheval chez le mâle.

Les palpes, composées de quatre articles sont particulièrement mobiles chez les tiques molles contrairement aux tiques dures (Pérez-Eid, 2007).

Figure 6 : Morphologie des tiques molles adulte (Pérez-Eid, 2007)



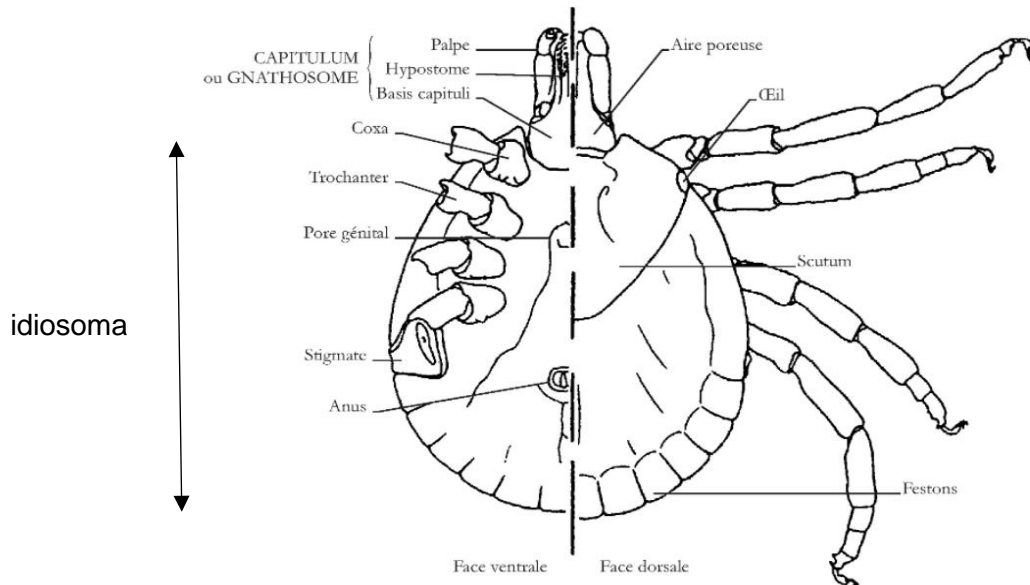
- Tiques dures

Les tiques dures ont un tégument dur sclérifié ou en partie sclérifié. Ils sont caractérisés par un rostre terminal à tous les stades, un écusson dorsal et parfois des écussons ventraux (chez les mâles), des stigmates en arrière des hanches IV et chaque patte porte une ventouse et deux griffes. Le capitulum est en position antérieure. Le dimorphisme sexuel est très marqué. Elles présentent trois étapes de développement : larve, nymphe et adulte.

La larve est issue de la maturation des œufs. Elle est de petite taille et possède trois paires de pattes. Elle n'a pas de stigmates (Boulanger et McCoy, 2015) ; (Bussiéras et Chermette, 1991). La nymphe possède quatre paires de pattes. Elle présente la même morphologie que la femelle adulte. Elle se différencie de l'adulte par l'absence d'orifice génital et d'aires poreuses situées sur le capitulum. L'adulte a une taille de 5 à 30 mm quand il est gorgé et présente quatre paires de pattes. La taille dépend de l'espèce et du niveau de gorgement de la tique.

Le corps de la tique est constitué de deux parties principales: le gnathosome ou capitulum qui porte les pièces buccales et l'idiosoma qui porte les pattes. Les pièces buccales sont constituées de l'hypostome et des chélicères (Figure 7).

Figure 7 : Morphologie générale schématique d'une tique ixodidé (Rodhain et Pérez-Eid, 1985)



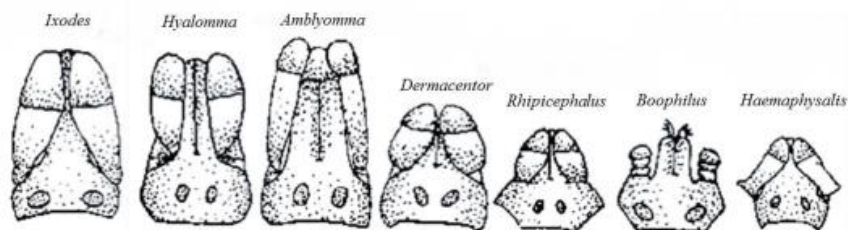
Le capitulum est constitué de plusieurs parties :

- basis capituli (base du capitulum)
- un hypostome en position ventrale
- deux chélicères en position dorsale qui sont terminés chacune par un doigt articulé. Ce doigt porte des crochets sur son bord externe. Elles constituent une gaine qui entoure l'hypostome.
- deux pédipalpes formés de quatre articles

L'hypostome est l'organe d'ancrage de la tique dans la peau de l'hôte (Pérez-Eid, 2007). L'hypostome et les chélicères s'enfoncent dans la peau tandis que les palpes qui sont des organes sensoriels restent en surface (Pérez-Eid, 2007).

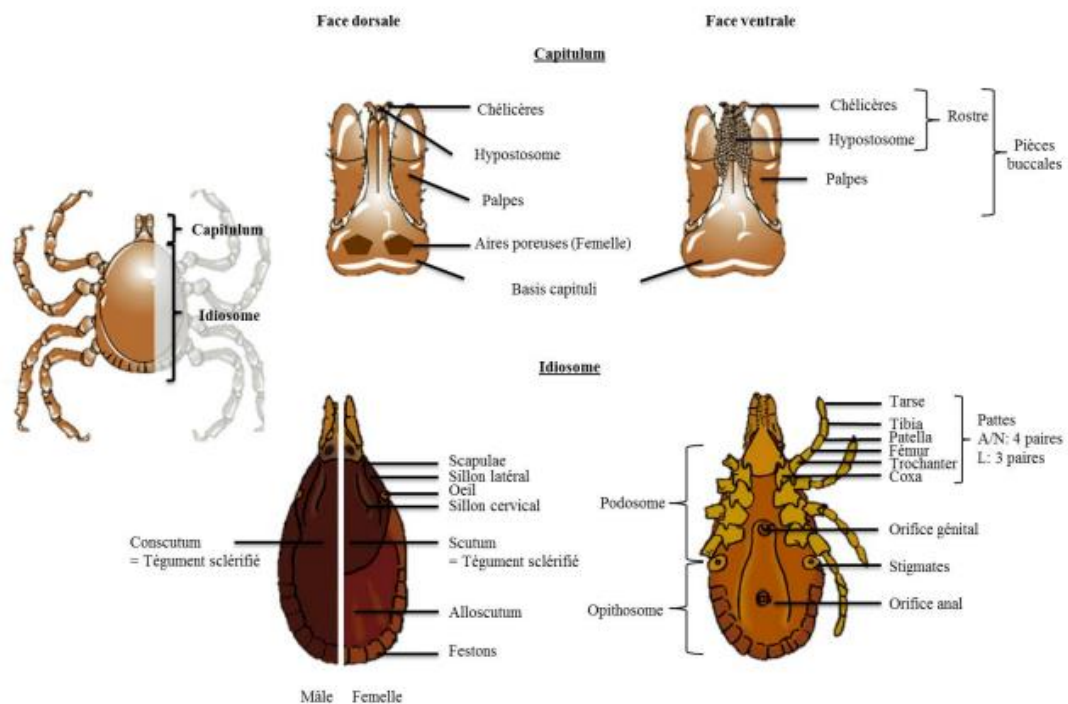
La morphologie de la base du capitulum est utilisée en systématique pour identifier les différents genres de tiques dures. Le capitulum est soit de forme rectangulaire soit de forme hexagonale. Les tiques brévirostres ont un gnathosoma carré. Les tiques longirostres ont un gnathosoma rectangulaire allongé (Figure 8).

Figure 8 : Les différents types de capitulum des tiques dures (Pérez-Eid, 2007)



- L'idiosoma est constitué de plusieurs parties (Figures 7 et 9) :
 - écusson dorsal ou scutum qui est parfois découpé en 11 festons. La face dorsale est presque totalement recouverte par cette plaque chitinisée. Chez le mâle, le scutum recouvre totalement la face dorsale,
 - quatre paires de pattes en face ventrale qui sont formées de six articles dont le dernier porte une ventouse et deux griffes, les tarse I possèdent un organe sensoriel (organe de Haller),
 - uropore (orifice anal) en arrière des hanches IV en face ventrale est souvent contourné par un sillon anal qui est soit de type Prostriata (le sillon anal contourne l'anus par l'avant) soit Metastriata (le sillon anal contourne l'anus par l'arrière),
 - gonopore (orifice génital) qui est médian entre les hanches I et II en face ventrale,
 - une paire de stigmates (orifice respiratoire) s'ouvre en arrière et en dehors des hanches IV en face ventrale, entourés chacun par un pérित्रème (pièce chitineuse qui entoure les stigmates) qui a souvent une forme de virgule.

Figure 9 : Morphologie générale des tiques dures (Gondard, 2017)

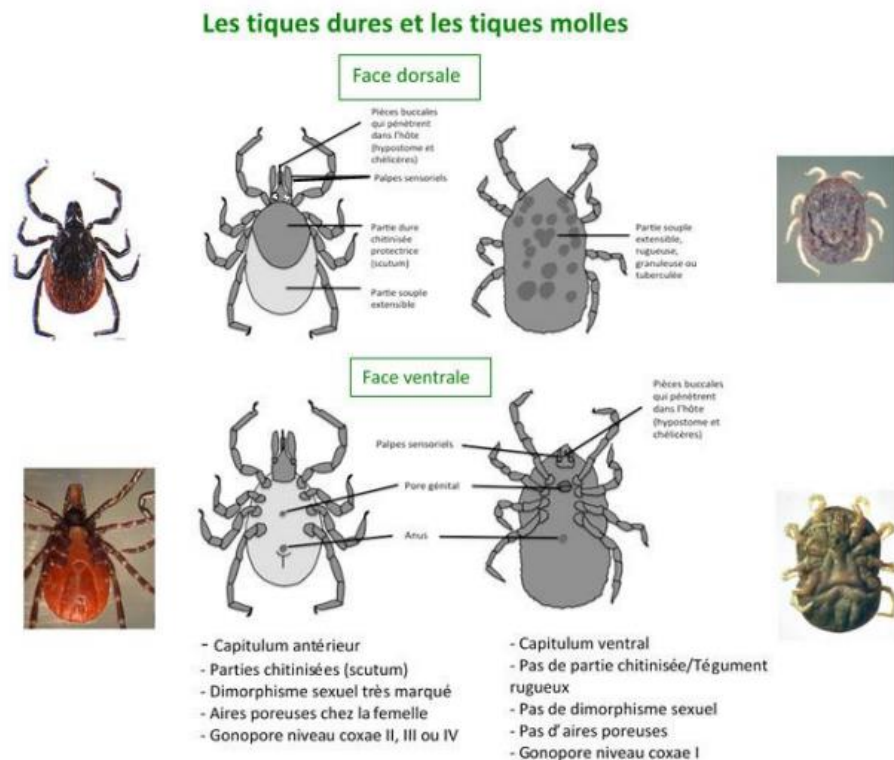


Particularités chez la femelle :

Les tiques femelles sont de plus grande taille. Leur hypostome est plus développé et présente deux aires poreuses sur la face dorsale de la base du capitulum. Elles ont un écusson dorsal réduit et jamais d'écussons ventraux. En face dorsale comme le scutum est réduit la femelle peut se déformée lors du repas sanguin. Le pérित्रème est circulaire ou généralement ovalaire. Deux dépressions (fovées) au milieu de la face dorsale reliées à des glandes fovéales sont présentes chez les tiques sauf chez les Prostriata. Les femelles des tiques dures présentent des aires poreuses en face dorsale de la base du capitulum, qui ont un rôle physiologique lors de l'oviposition (Pérez-Eid, 2007) (Figure 9).

La figure 10 résume les différences morphologiques entre les tiques dures et les tiques molles femelles.

Figure 10 : Différences morphologiques entre les tiques dures et les tiques molles femelles (Bonnet, 2019)



1.1.3 Anatomie

L'anatomie est très similaire entre les tiques molles et les tiques dures (Bonnet et Boulanger, 2019) (Figure 11).

Figure 11 : Représentation schématique de la structure interne en coupe frontale d'une femelle de tique molle (à gauche) et de tique dure (à droite) (Balashov, 1972)

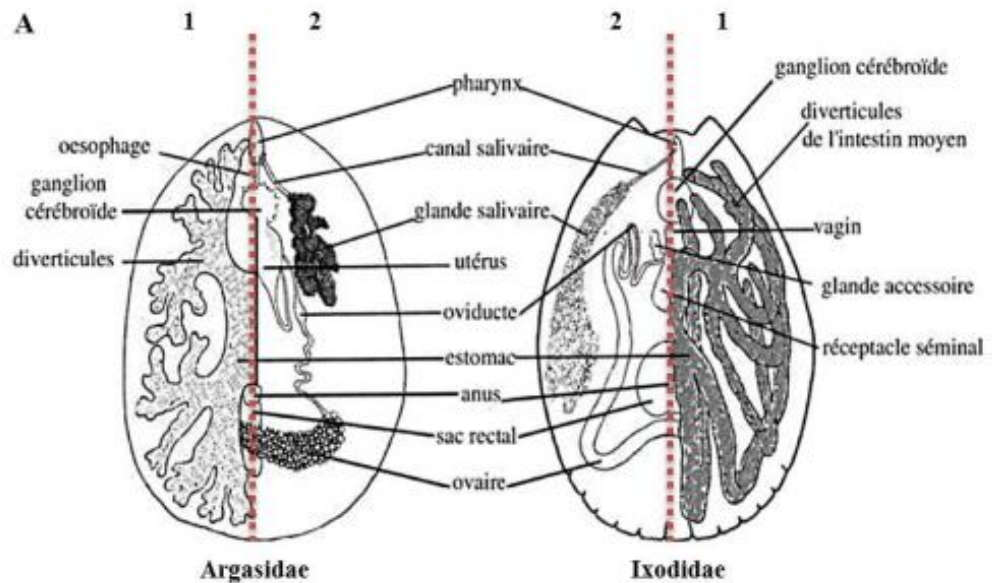
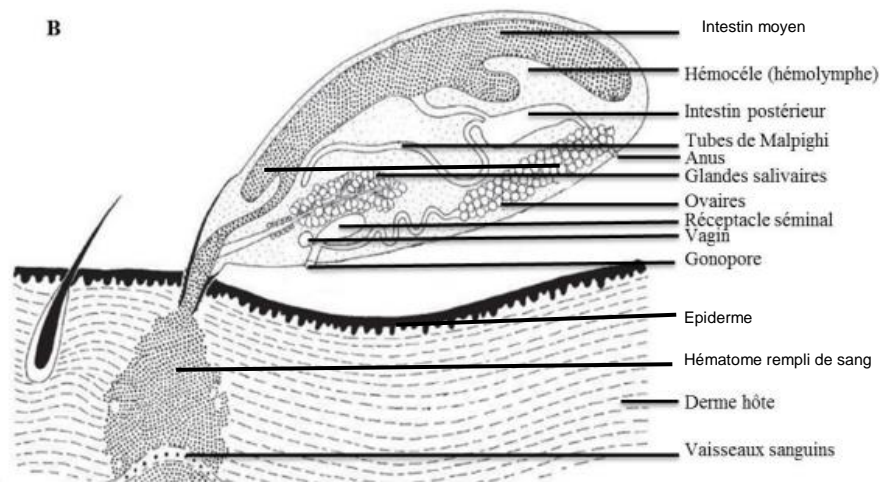


Figure 12 : Représentation schématique d'une tique dure femelle en cours de gorgement (Melhorn et Armstrong, 2001)



- Appareil digestif

Les tiques sont hémato-phages stricts. L'appareil digestif des tiques commence par la cavité buccale. Le sang et la salive circulent par le canal alimentaire/salivaire commun. Vient ensuite le pharynx, qui commande les alternances entre succions sanguines et émissions salivaires pendant le repas. L'œsophage fait suite au pharynx et se termine par une valvule qui s'oppose au reflux du sang. Au fond de la cavité buccale, il y a deux glandes salivaires latérales dont le rôle est notamment la sécrétion de salive. La fonction sécrétoire aide au percement de la peau, au prélèvement du sang

sans réaction de l'hôte par émission de substances d'insensibilisation et d'anticoagulation. L'intestin moyen est composé d'une portion centrale appelé estomac central à partir duquel se développent plusieurs diverticules. La digestion est réalisée dans l'estomac et les diverticules latéraux. L'intestin moyen sert également de lieu de stockage. Le tube digestif se poursuit par l'intestin postérieur appelé également sac rectal qui débouche ensuite dans le rectum puis se termine par l'anus (Pérez-Eid, 2007) (Figure 12). L'eau produite au cours de la digestion du repas sanguin va quant à elle être excrétée via les glandes salivaires chez les tiques dures, et via les glandes coxales débouchant sur les pores coxaux chez les tiques molles (Boulanger et McCoy, 2015).

- Glandes salivaires

Les tiques ont deux glandes salivaires de chaque côté du corps. Elles sont constituées d'acini reliés entre eux par des canaux. Il existe trois types d'acini chez les tiques dures dont la fonction diffère. La salive excrétée rejoint les canaux salivaires qui débouchent sur le canal pré-oral. La taille des glandes varie selon la prise de repas sanguin et le développement de la tique. Leur taille est augmentée au cours du repas sanguin et diminuée à la fin du repas. Les glandes salivaires sont essentielles pour la survie des tiques. Elles émettent diverses substances qui facilitent le prélèvement de sang en réduisant la réaction immunologique de l'hôte. Chez les tiques dures, elles sont également impliquées dans la synthèse du ciment qui permet une fixation forte sur l'hôte, ou encore dans l'évacuation d'eau provenant du repas sanguin. Ces glandes permettent la régulation de l'hygrométrie et donc permettent à la tique de survivre dans un environnement à faible taux d'humidité. Les agents pathogènes sont transmis via la salive dans la grande majorité des cas.

- Tubes de Malpighi

Les tubes de Malpighi correspondent au système excréteur. Ils recueillent les produits nitrogénés du catabolisme dans l'hémolymphe qui sont transformés en cristaux de guanine et les rejettent dans le sac rectal puis dans l'anus.

- Glandes coxales des tiques molles

Les glandes coxales des tiques molles servent à évacuer l'eau accumulée au cours du repas sanguin. Elles débouchent sur les pores coxaux situés entre les coxae I et II des tiques molles. Chez les tiques dures, cette fonction excrétoire est réalisée par les glandes salivaires (Boulanger et McCoy, 2015).

- Appareil génital

La majorité des tiques ont une reproduction sexuée obligatoire. L'appareil génital de la femelle est constitué d'un ovaire unique, sous forme de chapelet en U, disposé en arrière du corps. L'ovaire se prolonge par deux oviductes qui s'unissent pour former un oviducte commun. Le vagin est formé d'une partie arrondie et d'une partie tubulaire. Des glandes accessoires se déversent dans le vagin. Le vagin se termine par une ouverture externe génitale (Figure 12).

L'appareil génital mâle est constitué de deux testicules tubulaires partiellement fusionnés qui se continuent par une paire de canaux déférents qui débouchent sur le conduit éjaculatoire. Il existe aussi un complexe de glandes accessoires associé.

L'accouplement n'a lieu qu'une fois chez les tiques dures, avant chaque repas chez les molles. Selon les espèces, de 2000 à 12000 œufs sont produits chez les tiques dures (Pérez-Eid, 2007). Les œufs sont au nombre de 20 à 500 œufs par repas pour les tiques molles.

- Appareil respiratoire

Les larves sont dépourvues de stigmate. La respiration s'effectue donc directement au travers de la cuticule. Les nymphes et adultes respirent grâce à un système trachéolaire très ramifié au contact des organes qui débouchent sur les trachées puis sur les troncs trachéolaires droit et gauche. Ces troncs s'abouchent dans les stigmates en contact avec l'air extérieur (Pérez-Eid, 2007).

- Appareil nerveux

Le synganglion, encore appelé ganglion cérébroïde, constitue le système nerveux de la tique, et est situé dans la zone péri-œsophagienne. À partir du synganglion, des nerfs périphériques partent vers la région du corps et des appendices. Peu de données existent sur le fonctionnement du système nerveux de la tique. Des neuropeptides synthétisés par le synganglion semblent être impliqués dans le contrôle de la glande salivaire (Simo *et al.*, 2009).

- Système circulatoire

Le système circulatoire est ouvert. Il est composé d'un sinus et parfois d'un vaisseau formant un cœur qui propulse l'hémolymphe. L'hémolymphe est un liquide composé de métabolites, d'hormones, de cellules du système immunitaire, les hémocytes. Ces cellules sont capables de synthétiser des peptides antimicrobiens et de transporter l'eau et les déchets. L'hémolymphe baigne l'hémocèle qui est l'ensemble des organes présents dans la cavité interne de la tique.

1.1.4 Cycle évolutif

Les tiques présentent toutes un cycle de développement à trois stades : la larve, la nymphe et l'adulte mâle ou femelle (Figure 13). Larve, nymphe et adulte sont séparés par une métamorphose qui fait suite à la prise d'un repas sanguin : la métamorphose larvaire, où la larve mue en nymphe, et la métamorphose nymphale, où la nymphe mue en adulte.

Figure 13 : Trois stades évolutifs d'*Ixodes ricinus* (Biomnis, 2017)



Pendant l'accouplement, le mâle introduit son rostre dans le pore génital de la femelle pour y déposer un spermatophore contenant les spermatozoïdes. La maturation finale des spermatozoïdes est réalisée dans les voies génitales de la femelle. Chez les *Amblyomma*, le mâle émet des phéromones pour attirer la femelle (Sonenshine, 2006).

Les cycles évolutifs sont différents entre les tiques molles et dures :

- Stades

Les tiques dures présentent trois stades contrairement aux tiques molles qui présentent un stade pour la larve et un nombre de stades variables pour les nymphes et les adultes. Les stades se différenciant par la prise d'un repas sanguin et une augmentation de la taille sans réelle métamorphose. La stase nymphale peut inclure deux à huit stades selon des espèces de tiques molles (Boulanger et McCoy, 2015). La stase est une étape de développement d'une tique. Chez les tiques dures, un stade correspond à une stase.

- Nombre de repas et durée

Le nombre de repas est de 0 ou 1 pour la stase larvaire et variable pour la stase nymphale et adulte chez les tiques molles. Le repas dure de quelques minutes à quelques heures. Chez les tiques dures, le nombre de repas correspond au nombre de stades soit 3 de la larve à l'adulte. Le repas dure de 4 à 15 jours (Richards *et al.*, 2017).

- Tropisme d'hôte

Les tiques molles ont un spectre restreint d'hôte sur lesquelles elles se nourrissent contrairement aux tiques dures. Néanmoins, certaines tiques dures comme *R. sanguineus* piquent en priorité le chien (Dantas-Torres, 2010).

- Reproduction

Chez les tiques molles, l'accouplement se produit en dehors de l'hôte et peut être multiple. Il a lieu avant chaque repas. Après son repas, la femelle fécondée se détache de l'hôte et pond les œufs dans l'environnement. Le nombre de fécondation, pontes et œufs dépend de l'espèce de tique molle. Elle peut pondre plusieurs fois.

Chez les tiques dures, l'accouplement se produit sur l'hôte ou dans l'environnement extérieur. Il a lieu avant ou au cours du repas de la femelle. La femelle fécondée passe alors d'une phase de gorgement lente à rapide jusqu'à réplétion. Elle se détache de l'hôte et pond. La femelle meurt après la ponte. Il a été montré que chez *Ixodes arboricola* les œufs de la même ponte sont fécondés par plusieurs mâles différents (Van Oosten *et al.*, 2016).

- Cycles et préférences trophiques

Les tiques présentent deux formes de vie : une vie parasitaire et une vie libre. Elles alternent entre celles-ci. Les tiques sont des parasites hématophages obligatoires. Ce sont des ectoparasites temporaires. La vie libre est plus longue que la vie parasitaire. Les tiques dures sont soit exophiles (tiques dont le milieu de vie dans le milieu extérieur n'est pas celui de l'hôte, prairie, forêt...) soit endophiles (tiques dont le milieu de vie dans le milieu extérieur correspond à celui de l'hôte, nid, maisons, terriers...).

Différents types de cycle parasitaire existent chez les tiques et se distinguent par le nombre d'hôtes et par leur nature.

Suivant le nombre d'hôte :

- les cycles polyphasiques : ils concernent uniquement les tiques molles dont les nymphes et les adultes prennent plusieurs repas sanguins lors d'autant de phases parasitaires ;
- les cycles monophasiques : se dit d'un cycle comportant une seule phase parasitaire. La tique effectue tout son cycle de développement sur le même hôte, chaque stade effectue son repas sur le même animal, la larve est la seule à chercher un hôte ;
- les cycles diphasiques : se dit d'un cycle comportant deux phases parasitaires. La larve et la nymphe effectuent chacune leur repas sur le même animal, il y a deux piqûres distinctes, puis la nymphe passe dans le milieu extérieur et trouve un nouvel hôte au stade adulte. L'adulte effectue sa phase parasitaire sur un autre animal ;
- les cycles triphasiques : la larve se fixe sur un premier hôte pour un premier repas. Elle mue au sol puis trouve un deuxième hôte pour la phase nymphale. Elle tombe à nouveau au sol après son repas sanguin et mue en adulte. La tique adulte se fixe sur un troisième hôte pour son repas. A chaque fin de repas, le parasite descend de l'animal, possède une phase dans le milieu extérieur et change d'hôte. Les trois phases parasitaires correspondent à chacun des trois stades : larvaire, nymphal, adulte.

Suivant la nature des hôtes :

- monotropes = tous les stades se nourrissent sur le même type d'hôte. C'est le cas de *Rhipicephalus sanguineus*.
- ditropes = les larves et les nymphes se nourrissent sur les oiseaux, reptiles ou petits mammifères et les adultes se nourrissent sur les grands mammifères. C'est le cas des tiques du genre *Dermacentor* et *Hyalomma*.
- télotropes = les larves et les nymphes se nourrissent sur tout vertébré terrestre disponible et les adultes se nourrissent sur un grand mammifère. C'est le cas d'*Ixodes ricinus*.

Pour les tiques dures ces cycles de préférence trophique peuvent être appelés monoxène, dixène ou trixène.

1.1.5 Nutrition et recherche de l'hôte

Les tiques sont des parasites hématophages obligatoires.

- Tiques dures

Les tiques dures chassent leur hôte à l'affût ou en recherchant directement leur proie (*Hyalomma marginatum* par exemple).

Pour muer et changer de stase, la tique fait un repas qui dure de 4 à 15 jours (Richards *et al.*, 2017). La durée du repas est de 3-5 jours pour les larves, 3 à 8 jours pour les nymphes et de 6 à 12 jours pour la plupart des femelles. En saison chaude la durée du repas peut diminuer. *Haemaphysalis inermis* fait exception, les larves et les nymphes se gorgeant en 1 à 2h (Pérez-Eid, 2007). Le repas est composé de trois phases. La première est la fixation. La tique prépare l'endroit de la piqûre, elle sécrète beaucoup de salive et va s'attacher de plus en plus fermement à son hôte. Cette phase dure quelques heures à 2 jours. La tique coupe la peau avec ses chélicères qui pénètrent avec l'hypostome dans l'épiderme, facilité par la sécrétion d'enzymes salivaires. La fixation se fait grâce au rostre et au ciment. L'ancrage est assuré par le ciment et les dents rétrogrades de la tique. Des espèces de tiques n'utilisent pas de ciment pour la fixation. Les palpes restent toujours à la surface de la peau. Il y a ensuite deux phases de gorgement qualifiées l'une de lente et l'autre de rapide. La phase lente de gorgement dure plus 7 jours chez les adultes pendant

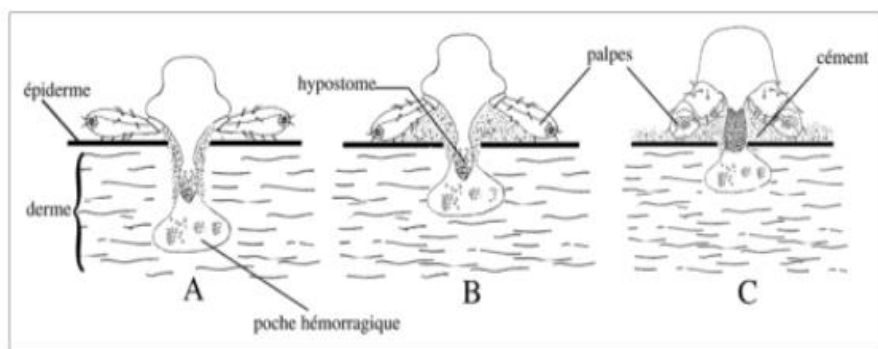
laquelle la femelle augmente de taille pour atteindre un poids critique qui est environ dix fois sa taille. Elle attend que le mâle vienne pour copuler et ainsi passer à la phase rapide de nourrissage. La femelle peut rester dans la phase lente de gorgement jusqu'à 3 semaines si le mâle ne vient pas. La tique ne se nourrit pas plus que le poids critique afin de rester assez petite pour ne pas être détectée (Richards *et al.*, 2017). Si la femelle est fécondée, vient ensuite la phase rapide de gorgement qui dure de 12 à 24h. Une substance (autre que les spermatozoïdes) dans le spermatophore stimule l'entrée dans la phase rapide de gorgement. Une femelle non fécondée ne peut achever son gorgement (« diapause trophique virginale »).

La tique se détache de l'hôte si le volume de sang absorbé atteint un seuil. Le repas est une alternance d'absorption de sang (1-2 à 10-30 secondes) et d'émission de salive (d'une fraction de seconde à une seconde). Cette procédure permet à la tique d'agrandir la poche formée dans la peau au bout du rostre et ainsi de creuser sous la peau jusqu'à atteindre des capillaires sanguins.

Les mâles ne se gorgent jamais ou ne font pas de repas dans certaines espèces comme chez les tiques dures. La vie libre est plus longue que la vie parasitaire.

Après décrochement, la digestion du sang continue jusqu'à la fin de la vitellogenèse et de l'oviposition chez la femelle.

Figure 14 : Schéma des différents types de fixation des tiques dures sur la peau (Pérez-Eid, 2007)



A et B : cas des tiques longirostres (*Ixodes ricinus*,...)

C : cas des tiques brévirostres (*Dermacentor*, *Rhipicephalus*, *Haemaphysalis*,...)

Les sites de fixation des tiques sur les ongulés dépendent du type de rostre de la tique. Les tiques qui possèdent un rostre long comme *I. ricinus* ou *Hyalomma* se fixent préférentiellement sur le fanon, la poitrine et l'ars, la région génito-anale, les mamelles et l'aîne. Les rostres courts comme *Dermacentor* ou *Rhipicephalus* se fixent préférentiellement sur la conque auriculaire, le chignon, la nuque et le cou. *Rhipicephalus bursa* se fixe aussi dans la région anale. Sur le chien, les adultes de *Rhipicephalus sanguineus* étaient fixés en majorité à la tête, au cou et au dos ; les nymphes sur les oreilles et les larves sur la croupe, les pattes postérieures et la queue. Sur le chien, les adultes de *Dermacentor variabilis* sont plus fréquents sur les oreilles, la tête et le cou (Koch, 1982). Chaque espèce de tique se fixe de manière différente à la peau de l'hôte selon la longueur du rostre en enfonçant plus ou moins profonds les chélicères et l'hypostome (Figure 14).

Pendant toutes ces phases de nourrissage, la tique produit beaucoup de salive. La salive contient des facteurs anti-hémostatiques, des facteurs anti-inflammatoires et des facteurs immunomodulateurs. Ces deux derniers facteurs permettent d'atténuer localement la réponse de l'hôte. Cela facilite la transmission d'agents pathogènes à l'hôte. Les glandes salivaires sont composées de trois types d'acini :

- le type 1 : au niveau central des glandes salivaires. Elle pourrait jouer un rôle dans des conditions de dessiccation pour garder la tique hydratée,
- les types 2 et 3 : en périphérie, au niveau des ramifications. Ils sont de taille plus élevée, ce sont les producteurs majoritaires de la salive,
- le type 4 : présent chez le mâle en plus des autres acini.

Les glandes salivaires ont un rôle très important dans l'osmorégulation lors du repas sanguin de la tique. Le sang va dans les intestins, les ions Na⁺, K⁺ et l'eau du sang sont réabsorbés dans les glandes salivaires. Les glandes salivaires concentrent ainsi le sang ingéré par la tique, en jouant le rôle de reins, et en excréant tous les éléments en excès ayant été absorbés lors du repas sanguin (Šimo *et al.*, 2017).

- Nuttalliella

Nuttalliella namaqua est la seule espèce de ce genre. Les larves et les nymphes réalisent un repas rapide comme les tiques dures mais la concentration du repas sanguin se produit via les tubes de Malpighi (Mans *et al.*, 2011). Elle effectue des repas sanguins multiples et rapides sur des reptiles.

- Tiques molles

Chez les tiques molles, le repas est nocturne. Les tiques molles ont un cycle polyphasique avec généralement un repas pour le stade larvaire et un repas pour chacun des deux à huit stades nymphaux et plusieurs repas pour les mâles et les femelles. Le repas est de courte durée (sauf chez les larves), de quelques minutes à quelques heures. Le repas est légèrement plus court pour les premiers stades nymphaux et pour les mâles. Pendant ou directement après le repas la tique concentre le sang absorbé en rejetant de l'eau par les glandes coxales pour les tiques molles. Après un seul repas, la tique peut survivre 5 à 7 ans (Bussiéras et Chermette, 1991). Les nymphes et adultes pénètrent rapidement dans la peau et ne s'ancre pas solidement dans la peau. Les chélicères sont bien développées et l'hypostome est peu denticulé. Elles ne sécrètent pas de ciment.

1.1.6 Habitat et saisonnalité

Selon la stase, le type d'habitat peut changer au sein d'une espèce de tique. Les adultes de *D. reticulatus* sont exophiles tandis que les nymphes sont endophiles.

Les facteurs abiotiques influençant la présence des tiques sont en particulier la température et l'hygrométrie. Les facteurs biotiques influençant la présence des tiques sont la végétation, les hôtes et les prédateurs.

La recherche d'hôtes (activité) de la tique dépend des conditions environnementales.

Chaque espèce de tique exophile a sa propre activité saisonnière. Il y a également une différence d'activité entre les stases. L'activité est également dépendante de la région, de l'habitat, des années et de la présence des hôtes. Les différences s'observent dans une même espèce. Par exemple, en Europe *I. ricinus* présente deux pics d'activité (printemps et automne) alors qu'en

Angleterre elle n'a parfois qu'un seul pic d'activité (été) (Boulanger et McCoy, 2015). Afin de baisser leur mortalité, les tiques suivent deux formes de diapause : une diapause comportementale et une diapause environnementale. La diapause comportementale est le repos de la tique en phase libre en attente de conditions plus propices pour la recherche de l'hôte. La diapause développementale est un arrêt du développement des tiques gorgées ou des œufs.

Chez les tiques endophiles (tiques molles et certaines tiques dures), l'activité est moins saisonnière car les conditions climatiques sont stables au sein des habitats fermés. Leur activité est dépendante de la présence des hôtes qui peut être saisonnière. La capacité à jeuner pendant longtemps et la diapause développementale avec ponte différée ont été retenues comme moyen de survivre face à la saisonnalité de la présence des hôtes. C'est le cas d'*Argas arboreus* qui pond dans les 40 jours si les conditions sont adéquates et pond au printemps d'après lorsqu'elles se gorgent en octobre (Boulanger et McCoy, 2015).

L'heure d'activité dans la journée de la tique est variable selon l'espèce.

Les adultes de *Nuttalliella namaqua* fréquenteraient des corniches rocheuses, falaises et crevasses (Mans *et al.*, 2011).

Il existe différentes techniques pour collecter les tiques :

- Collecte directe à vue : les tiques sont récupérées à l'aide d'une pince sur la végétation. Cette technique est possible pour les tiques exophiles. Les tiques sont de petites tailles donc il est difficile de les voir et d'être exhaustif sur une partie de la pâture. C'est une méthode également chronophage,
- La collecte « en marchant » : la méthode consiste à marcher dans la zone d'étude puis à collecter les tiques sur les vêtements. Elle permet de simuler le passage d'un hôte,
- Piège à CO₂ : la technique est un piège avec une boîte qui contient un dispositif émettant du CO₂ qui simule un hôte. Elle permet de collecter aussi les tiques qui chassent (« chasseuses »). Les boîtes peuvent être placées dans tous les types de végétations (Ginsberg et Ewing, 1989). Cette méthode est utilisée aussi dans les milieux artificiels (chenils, écuries,...) car aucun autre type de collecte n'est possible (Pérez-Eid, 2007). Le principal inconvénient est qu'il faut laisser la boîte et faire des relevés réguliers des tiques capturées. Le matériel est également coûteux,
- La méthode du drap : le drap agit comme un leurre mécanique qui mime le passage de l'hôte. Le drap est de dimensions connues, attaché à un bâton, et tiré sur une distance définie. Les espaces de collecte sont appelés transects. A la fin du transect, les tiques présentes sur le drap sont collectées. L'avantage de cette technique est sa facilité d'emploi et son faible coût. On peut parcourir de grandes surfaces rapidement et précisément. Avec cette technique, seules les tiques à l'affût sont collectées et elle ne peut pas être utilisée lors de pluie ou de vent. C'est la méthode la plus reproductible et donc il est possible de pouvoir comparer les résultats entre les différentes études même si les périodes d'étude sont différentes et les habitats sont différents (Mays *et al.*, 2016). La méthode du drapeau est une variante qui consiste à balayer latéralement la végétation. Elle est utilisée par exemple pour les haies,

- Association entre le drap et le CO₂ : Il s'agit de placer un dispositif émettant du CO₂ sur un drap. Le drap avec le CO₂ permet de collecter plus de tiques *Ixodes ricinus* que le drap seul (Gherman *et al.*, 2012),
- Comptage « à vue » : Il s'agit de repérer visuellement les tiques à l'affût sur la végétation. Elle n'est pas employée pour les larves et les nymphes car elles sont de petite taille. Cette méthode est plus efficace que celle du drapeau pour les adultes *Amblyomma* (Terassini *et al.*, 2010),
- Echantillonnage d'humus : Il s'agit de faire un prélèvement d'humus et de compter les tiques présentes. La procédure passe par des techniques de séparation des tiques et de l'humus (flottation, tamisage,...). Elle ne permet pas de distinguer les tiques à l'affût des autres tiques. Elle est difficile à mettre en œuvre et donc reproductible,
- Collecte sur hôtes : La technique peut être utilisée pour l'étude des agents pathogènes transmis par les tiques. Elle consiste à récupérer directement les tiques présentes sur un hôte à l'aide d'un tire tique.

1.1.7 Rôle pathogène direct

Le rôle pathogène des tiques peut-être direct, dû à la piqûre. En effet, en perforant la peau avec les pièces buccales une inflammation se crée. La primo infestation se caractérise par une congestion et une rupture vasculaire chez l'hôte. Lors de ré-infestation une réaction plus forte peut avoir lieu : réaction inflammatoire avec œdème et/ou perte de poils. Dans ce chapitre nous ne parlerons que des tiques dures.

L'action mécanique et irritative entraîne une inflammation locale de l'hôte. Le nombre important de tiques est un facteur aggravant.

Les tiques ont une action spoliatrice et ingèrent une quantité importante de sang (femelles). Certaines tiques peuvent prélever jusqu'à 200 fois leur poids en sang au cours d'un repas. Pour *Amblyomma* cela représente jusqu'à 20 mL de sang. En milieu tempéré, les tiques prennent des repas moins volumineux (moins de 2 mL) qu'en région tropicale. Lorsque l'infestation est importante, l'animal peut présenter un fort affaiblissement et de l'anémie car la spoliation sera importante.

Les tiques peuvent favoriser les infections secondaires. L'affaiblissement de l'animal est un terrain propice au développement d'infection. La plaie laissée par la piqûre représente une porte d'entrée pour des agents pathogènes. La salive de la tique provoque une immunodépression locale qui permet un passage plus facile des agents pathogènes de la tique à l'hôte.

La salive de la tique est, pour certaines espèces de tique et dans certains cas, nocive car composée de neurotoxines responsables de la paralysie ascendante à tique. Elle se manifeste après une piqûre de tique à proximité d'un trajet nerveux. Un arrêt des fonctions cardio-respiratoires conduisent à la mort dans certains cas. Cette paralysie touche principalement l'Australie et l'Amérique du Nord (Boulangier et McCoy, 2015).

Les réactions d'hypersensibilité immédiate (de type I) ou retardée (de type IV) sont aussi des actions directes. Par exemple, les tiques peuvent provoquer une allergie à la viande rouge. La tique possède un sucre nommé « alpha-Galactose » dans sa salive. Un certain nombre de primates dont l'homme ne synthétisent pas ce sucre. S'il y a rencontre avec la tique, il y a une première réaction

d'hypersensibilité. L'homme alors sensibilisé peut présenter un choc anaphylactique suite à l'ingestion de viande rouge qui possède ce sucre. Des études ont montré que l'enzyme α -Gal a un rôle dans la survie de la tique (Cabezas-Cruz *et al.*, 2018). L'enzyme qui détruit cette molécule pourrait être intéressante pour développer un vaccin et étudier la transmission des agents pathogènes (Cabezas-Cruz et de la Fuente, 2017).

Une dyshidrose tropicale peut être provoquée par les tiques. Il s'agit d'une dermatose se manifestant par l'apparition de vésicules sur la tête, l'encolure et le corps de l'animal ainsi que par une hyperhémie des muqueuses. Elle a été observée en Afrique chez la tique *Hyalomma truncatum*.

1.2 Tiques parasites des chevaux

1.2.1 Espèces de tiques affectant les chevaux dans le monde

Les genres retrouvés chez les chevaux dans le monde sont *Amblyomma*, *Boophilus*, *Dermacentor*, *Haemaphysalis*, *Hyalomma*, *Ixodes* et *Rhipicephalus*. Des tiques molles comme *Otobius megnini* sont aussi retrouvées chez les chevaux.

1.2.2 Principales espèces de tiques affectant les chevaux en France métropolitaine

Les principales espèces de tiques parasitant les chevaux en France sont : *Dermacentor reticulatus*, *Dermacentor marginatus*, *Ixodes ricinus*, *Hyalomma marginatum*, *Rhipicephalus bursa* et *Haemaphysalis punctata* (Bonnet, 2019). Le programme PiroSentinel du sud de la France a identifié *Ixodes ricinus*, *D. reticulatus*, *D. marginatus*, *H. marginatum*, *R. bursa*, *H. punctata* sur 11 631 tiques récoltées. Dans le programme Pirotick une autre espèce de tique a été prélevée sur les chevaux : *Haemaphysalis concinna*.

- *Dermacentor sp.*

Les *Dermacentor* sont des tiques de grande taille. Elles mesurent entre 3 et 6,5 mm. Le sillon anal entoure l'anus par l'arrière (metastrinata). Les tiques ont des yeux. Elles sont brévirostres. Il y a la présence de festons sous l'anus. La première hanche est bifide et la quatrième est très développée chez les mâles. L'article II, appelé aussi trochanter, de la patte I porte dorsalement une épine. Le stigmate a souvent la forme d'une virgule. Les *Dermacentor* présentent une pigmentation blanchâtre (émail) sur la face dorsale (Figure 15). Il existe deux espèces de ce genre en France qui sont *D. marginatus* et *D. reticulatus* (Figure 16). La distinction entre les deux espèces est possible sous loupe binoculaire.

Figure 15 : Schéma d'une tique (mâle) du genre *Dermacentor* (Plantard, 2018)

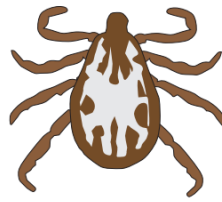


Figure 16 : Images de *D. reticulatus* (à gauche) et de *D. marginatus* (à droite) (University of Bristol, 2022a)



Ce genre est présent dans toute la France. Il est présent dans les forêts, prairies, landes, broussailles,... Les adultes s'observent plus tôt dans l'année que les autres espèces de tiques. Il est possible d'en observer dès février-mars.

Les *Dermacentor* sont en grande majorité triphasiques. La durée moyenne du cycle est d'environ 1 à 2 ans, variant en fonction des espèces et des conditions environnementales. Les *Dermacentor* sont ditropes. Leurs larves et nymphes se gorgent préférentiellement sur les petits mammifères dans leurs terriers. Les adultes prennent leur repas sur les mammifères de taille moyenne à grande (sangliers, cerfs, chevreuils, vaches, moutons, chèvres, chevaux, chiens,...) et occasionnellement sur l'homme (notamment au niveau de la tête et du cou). Dans une étude américaine, *D. albipictus* se fixe préférentiellement sur le ventre du cheval et sur le côté gauche du cheval (Sundstrom *et al.*, 2021).

Chez l'animal, ce genre peut transmettre en France des bactéries (*Anaplasma* spp.) et des protozoaires (*Babesia* / *Theileria*). L'anaplasmose concerne les ruminants.

Dermacentor reticulatus

D. reticulatus est très proche morphologiquement de *D. marginatus*. Elle est de grande taille souvent autour de 5 mm pour la femelle à jeun. La femelle a des ocelles (taches rondes) visibles de chaque côté du scutum orné. Elle présente une longue épine externe parallèle et collée à la hanche I contrairement à *D. marginatus*. Chez le mâle, une épine se situe à l'arrière des pédipalpes et le

scutum est orné de blanc sur tout le corps. Elle est de couleur brun-rougeâtre avec un scutum tacheté de plages blanches.

Elle a un cycle triphasique ditrope. Les nymphes et les larves sont endophiles et les adultes sont exophiles. Les adultes parasitent essentiellement le chien plus rarement les autres carnivores domestiques et sauvages. Le cycle dure entre un et trois ans. Les adultes apparaissent en octobre et disparaissent en juillet avec un pic d'activité en février-mars (Lamontellerie, 1965). Les nymphes apparaîtraient en juillet. Elle est moins xéro-thermophile que *D. marginatus*.

Elle transmet notamment des bactéries (*Francisella*, *Coxiella*, *Anaplasma*, *Bartonella*, ou *Borrelia* spp.) et des piroplasmes (Bonnet *et al.*, 2013).

Dermacentor marginatus

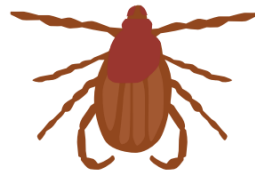
Dermacentor marginatus a la même morphologie que *D. reticulatus* sauf qu'elle n'a pas d'épine à l'arrière des pédipalpes et l'épine externe de la hanche I est plus courte et divergente.

Dermacentor marginatus a un cycle triphasique ditrope, avec une endophilie des stases immature, nymphal et larvaire et une exophilie de la stase adulte. Elle se localise au niveau des oreilles des cornes et/ou de la queue. Les adultes seraient surtout actifs de fin janvier à début mai, les nymphes en septembre et octobre. Le cycle dure un an environ. Elle est porteuse notamment de *Coxiella*, *Anaplasma*, *Francisella*, *Bartonella*, *Theileria* et *Babesia* (Bonnet *et al.*, 2013).

- *Rhipicephalus* sp.

La taille du genre *Rhipicephalus* est très variable. La femelle non gorgée mesure environ 4 mm. Ce genre est souvent de couleur brun rougeâtre (Figure 17). L'espèce *R. bursa* a un capitulum avec de grandes aires poreuses. La tique est metastriata. Il y a la présence de festons sous l'anus. Le capitulum est hexagonal. Le scutum est ponctué. Elle possède des yeux. La hanche I est bifide. Les pérित्रèmes sont virgulaires chez le mâle et la femelle. Les écussons ventraux près de l'orifice anal sont triangulaires. La longueur des écussons ventraux du mâle sont deux fois inférieurs à la largeur. La femelle a un scutum ponctué avec des sillons cervicaux profonds et des ocelles. Il existe quatre espèces en France métropolitaine : *R. sanguineus*, *R. turanicus*, *R. bursa* et *R. pusillus*. Leur distinction est possible sous loupe binoculaire. Elles vivent principalement en climat méditerranéen même si elles se retrouvent parfois plus au Nord notamment dans des endroits clos comme des chenils. Elles sont actives principalement d'avril à juillet et à l'intérieur toute l'année. Ce genre est spécifique d'hôte. *R. sanguineus* préfère les chiens comme hôte, *R. pusillus* les lapins et les lièvres et *R. turanicus* et *R. bursa* les Equidés et les Ruminants. Le cycle dure en moyenne de 63 à 100 jours si les conditions sont favorables. Chez l'animal, ce genre est vecteur d'*Ehrlichia*, d'*Anaplasma*, de *Babesia/Theileria* et *Hepatozoon*. Dans une étude menée en Israël sur des chevaux, le genre *Rhipicephalus* (*R. annulatus* et *R. turanicus*) se localise sur le cheval en zone inguinale, le poitrail, la queue, l'encolure, les oreilles et les pattes (Tirosh-Levy *et al.*, 2018).

Figure 17 : Schéma d'une tique du genre *Rhipicephalus* (René-Martellet, 2018)



Elle est une espèce de tique diphasique. C'est une espèce exophile monotrope. Elle a une préférence pour les ongulés sauvages ou domestiques. Elle vit dans des milieux semi-ouverts ou ouverts, souvent dans des conditions péri-domestiques, enclos ou cours de ferme, et dans des pâturages boisés. Elle est thermophile.

- *Hyalomma marginatum*

La femelle mesure à jeun 5 mm et gorgée jusqu'à 2 cm de longueur. Le genre *Hyalomma* a le sillon anal entourant l'anus en arrière (metastriata) et est longirostre. Les mâles ont des écussons ventraux.

Figure 18 : Schéma d'une tique du genre *Hyalomma* (Vial, 2018)



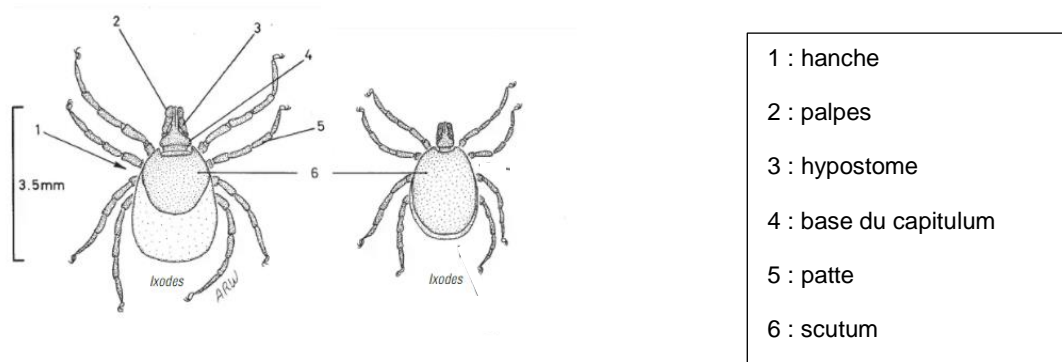
Ce sont des tiques chasseuses donc très véloces. Contrairement à *I. ricinus* qui se positionne sur des végétaux pour s'agripper sur l'hôte, *H. marginatum* se cache dans le sol, repère sa proie puis se dirige vers celle-ci. La traque peut durer 10 minutes sur des distances allant jusqu'à 100 m. Il existe trois espèces de *Hyalomma* en Europe : *Hyalomma marginatum*, *H. lusitanicum* et *H. scupense*. La distinction est possible sous loupe binoculaire. Les larves et les nymphes sont présentes en début d'été. Les adultes sont actifs au printemps et en été (Estrada-Peña *et al.*, 2011). Les forêts arbustives sèches comme le maquis ou la garrigue sont ses habitats préférés. Chez l'animal, elles sont vectrices de *Babesia* et *Theileria*.

L'espèce *H. marginatum* se distingue de *H. scupense* par la couleur des pattes qui sont annelées de blanc chez *H. marginatum* (Figure 18) et chez les mâles par la présence d'un feston central dorsal plus foncé pour *H. marginatum* (Grech-Angelini *et al.*, 2016a).

Hyalomma marginatum est une espèce exophile, diphasique et ditrope. Elle a une grande sélectivité parasitaire. Les larves et les nymphes sont généralement des parasites des petits vertébrés (lièvres, oiseaux,...) et les adultes sont parasites des grands ongulés domestiques et sauvages. Les adultes se fixent préférentiellement sur la région péri-anale, parfois des mamelles et le ventre. Le cycle dure en moyenne de 6 mois à 1 an (Pérez-Eid, 2007).

- *Ixodes ricinus*

Figure 19 : Schéma de la femelle (à gauche) et du mâle (à droite) d'*Ixodes ricinus* (Estrada-Pena et al., 2004)



La femelle mesure jusqu'à 11 mm lorsqu'elle est gorgée de sang. Le sillon anal contourne l'anus en avant (prostriata). Elle est dépourvue d'yeux et longirostre (Figures 19 et 20). Chez le mâle, la face ventrale est recouverte d'écussons chitineux. *I. ricinus* a la hanche I qui a une forte épine interne atteignant la hanche II.

Il existe au moins 18 espèces d'*Ixodes* en France. Elle est présente sur la quasi-totalité du territoire et rarement en climat méditerranéen. Les tiques ont besoin d'une certaine humidité procurée par la végétation comme la forêt, les haies, les broussailles car elles résistent mal à la dessiccation. Leurs pics d'activité sont au printemps et à l'automne (L'Hostis et al., 1995) (Daniel et al., 2015) (Gray, 1984). De nombreux agents pathogènes sont vectorisés par *I. ricinus* comme par exemple *Anaplasma*, *Babesia*, *Borrelia* ou *Flavivirus* chez les animaux.

Figure 20 : Schéma d'une tique du genre *Ixodes* (McCoy et Vourc'h, 2018) et image d'*I. ricinus* (Bristol University Tick ID , s. d.)



Ixodes ricinus est une espèce exophile à cycle triphasique et télotrope. Elle présente une ubiquité parasitaire. Le cycle dure en moyenne de 2 à 3 ans selon le climat. Chaque stade dure de 4 à 15 jours selon le stade et l'hôte (Richards et al., 2017). Le cycle dure de 5 à 10 mois en laboratoire de 15 à 20 °C. La durée de vie parasitaire est de 2 à 4 semaines. Le temps de nutrition dépend du

stade : il est de 3-4 jours pour la larve, 4-5 jours chez la nymphe et entre 7 et 12 jours pour la femelle adulte (Lees, 1948).

Ixodes ricinus est une espèce peu thermophile et très hygrophile. Elle se retrouve en général dans les biotopes abrités où la végétation est abondante. En climat méso-humide, elle recherche l'humidité sous couvert forestier, en zone de bocage les buissons ou la proximité des haies et les bosquets dans les prairies. En zone humide, elle abonde en zone ouverte de landes ou de pâturages. On la rencontre dans les joncs, fougères, bruyères, trèfle blanc,...

Les nymphes d'*I. ricinus* ont une augmentation progressive de l'activité à partir de 6h avec un pic à 18h. A partir de 21h et jusqu'à 6h l'activité diminue (Coiffait, 2019). Les nymphes et adultes ont une activité principalement printanière et secondairement automnale. Les larves ont une activité plus importante en automne (Gray, 1991). La température et l'humidité sont des facteurs essentiels du développement d'*I. ricinus*. Le maximum d'activité d'*I. ricinus* se situe entre 15 et 27°C pour les larves, 10 et 22°C pour les nymphes, et 18 et 25°C pour les adultes (Daniel et Dusbabek, 1994), pour une température de confort optimale estimée en laboratoire entre 14 et 17°C pour les nymphes et entre 16 et 21°C pour les larves. La tique *I. ricinus* est comateuse à 49°C et meurt à 51°C. Au sud-est de Toulouse, pour l'ensemble des trois saisons étudiées (hiver, printemps et été) les nymphes ont un pic d'activité entre 11 et 25°C sur terrain sec et 6 et 14°C sur terrain mouillé. L'activité est nulle à 0°C (Coiffait, 2019). La température optimale pour l'activité des tiques est donc variable et dépend des populations et des régions. Dans une étude menée en laboratoire (Tomkins *et al.*, 2014), des tiques *I. ricinus* issues de plusieurs pays sont placées à des températures fixes, et l'on mesure le nombre de tiques à l'affût. Pour des températures supérieures à 20°C, pour la France, le pourcentage cumulé de tiques à l'affût est constant.

Une étude rapporte que la moyenne de l'hygrométrie minimum sur les 10 jours précédant la collecte et le pourcentage du périmètre de la pâture avec une strate arborescente sont les effets les plus importants pour l'activité des tiques : plus les valeurs de ces deux variables sont élevées, plus la probabilité de capturer des nymphes est élevée. Si la moyenne de l'hygrométrie minimum sur les 10 jours précédant la collecte était supérieure à 57,9% et si le pourcentage du périmètre de la pâture avec une strate arborescente dépassait 73%, la moyenne du nombre de nymphes attendu était multipliée par 20,4 (Boyard, 2007).

Dans une étude sur des vaches laitières, *I. ricinus* est localisée préférentiellement au niveau de l'aisselle, le pis/aîne, le cou, le fanon et le flanc (L'Hostis *et al.*, 1994). Aux Etats-Unis *I. scapularis* se fixe en majorité à l'extérieur des oreilles, à la tête, à l'encolure et au poitrail des daims et des chevaux (Schmidtman *et al.*, 1998).

- *Haemaphysalis*

Haemaphysalis punctata

La femelle de *H. punctata* mesure de 3 mm jusqu'à 1 cm lorsqu'elle est gorgée. Le mâle mesure de 2,8 à 3,2 mm. La tique *H. punctata* est brévirostre, metastrata avec un scutum et des festons (Figure 21). Elle n'a pas d'yeux. L'article II des pédipalpes est saillant. L'article II (trochanter) des pattes I a une épine rétrograde. La hanche IV du mâle est munie d'une longue épine. Le mâle est dépourvu d'écussons ventraux (Bussiéras et Chermette, 1991).

L'espèce *H. punctata* est triphasique et ditrope. Toutes ces stases sont exophiles et elles vivent dans la strate herbacée des zones forestières ou des pâtures en zone bocagère. L'espèce a une sélectivité parasitaire qui conduit les femelles à parasiter préférentiellement les grands ruminants domestiques ainsi que les mammifères sauvages, cervidés et suidés et rarement les autres animaux. Les larves et les nymphes parasitent les petits mammifères (lièvre, hérisson,...), les oiseaux, reptiles et parfois l'Homme. Si les conditions sont très favorables, le cycle se déroule en un an. Les adultes sont actifs de février à juin, les nymphes en avril et décembre, les larves en juillet (Pérez-Eid, 2007).

Figure 21 : Tique *Haemaphysalis punctata* femelle vue ventrale (à gauche) et dorsale (à droite) (« Bristol University Tick ID », s. d.)



Haemaphysalis concinna

Figure 22 : Tique *Haemaphysalis concinna* femelle vue dorsale (à gauche) et ventrale (à droite) (Bristol University Tick ID , s. d.)



Elle est également retrouvée sur les chevaux en France. La femelle engorgée mesure 10 mm (Figure 22). Dans une étude menée en Mongolie intérieure elle a été trouvée principalement dans les habitats d'arbustes et de prairies. Les adultes ont été observés de février à octobre avec un pic d'activité en juin. Les larves ont été observées principalement de fin avril à fin septembre avec un pic d'activité fin juillet. Les nymphes ont été observées principalement de mars à octobre avec un pic d'activité début juillet. Sur les moutons, les adultes et les nymphes étaient attachées préférentiellement à la tête et aux oreilles (Meng *et al.*, 2016). Elle se retrouve en France, Russie et Est de l'Europe. Elle est vectrice de *Francisella tularensis*.

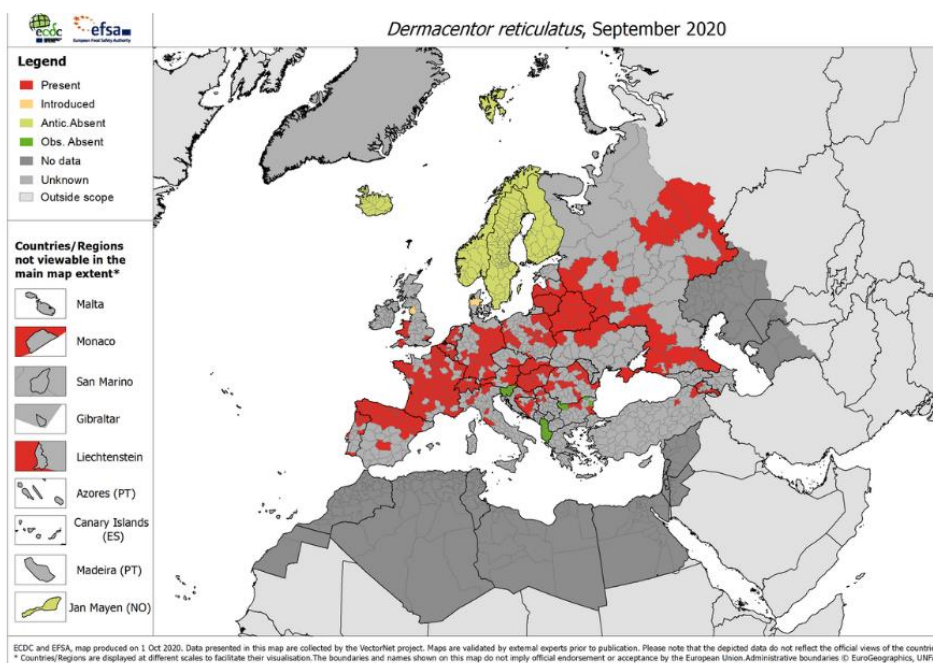
Dans une étude menée en Israël sur des chevaux, *Haemaphysalis parva* est retrouvée au niveau de l'encolure, du poitrail, des pattes, dans la zone inguinale et la queue (Tirosh-Levy *et al.*, 2018).

1.2.3 Répartition des espèces de tiques affectant les chevaux en France métropolitaine

Dermacentor reticulatus

Elle se retrouve dans la partie médiane du continent européen jusqu'en Asie centrale (Figure 23). Elle se localise rarement autour du bassin méditerranéen (Figure 23) et est présente dans des biotopes plus humides et plus au Nord que *D. marginatus*. En France, elle est présente partout sauf en altitude et dans des endroits très secs. Elle est présente dans les milieux ouverts et boisés (clairières, lisière) et les zone péri-urbaine (friches industrielles) (Pérez-Eid, 2007).

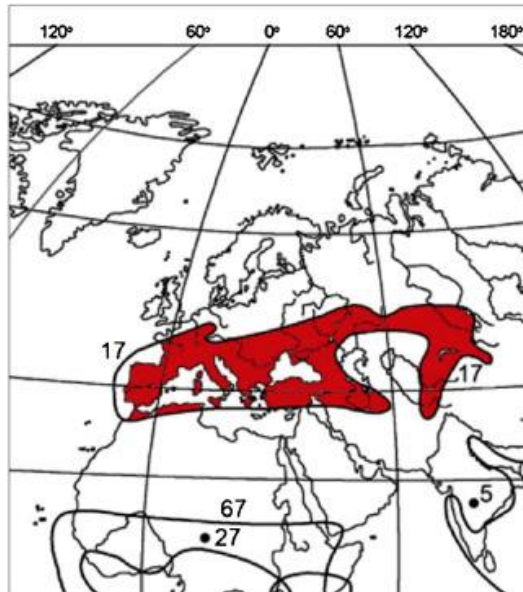
Figure 23 : Carte de la répartition de *Dermacentor reticulatus* en Europe (ECDC et EFSA, 2020a)



Dermacentor marginatus

L'espèce *D. marginatus* est plutôt thermophile répandue dans les deux tiers du sud de la France et autour du bassin méditerranéen jusqu'aux steppes asiatiques (Figure 24). Elle se retrouve dans les biotopes ouverts et éventuellement boisés (clairières ou les bords de chemins ensoleillés).

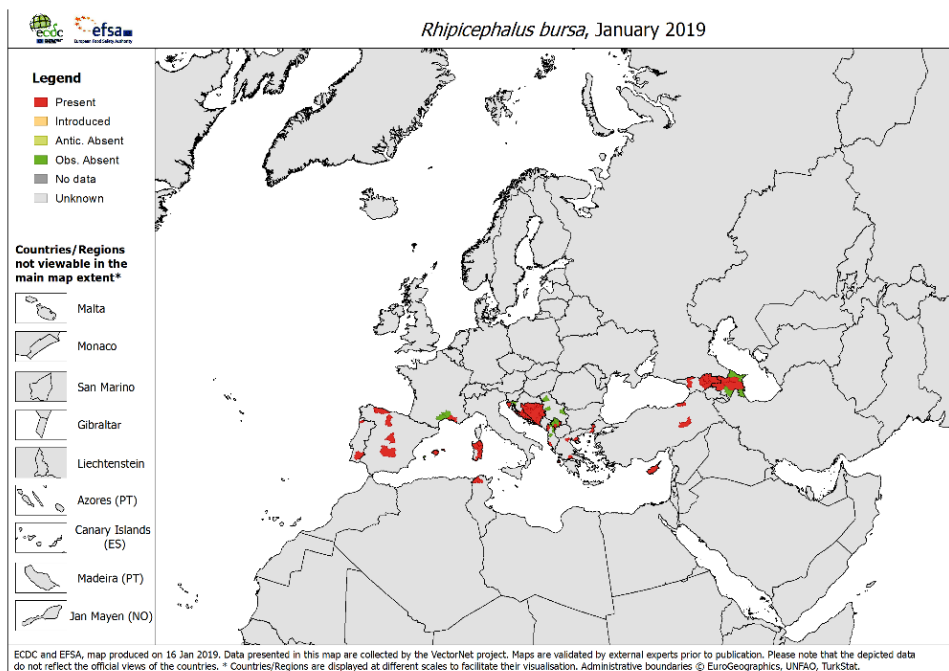
Figure 24 : Carte de répartition de *Dermacentor marginatus* (Rubel et al., 2016)



Rhipicephalus bursa

Elle est thermophile. Elle se retrouve en France autour de la Méditerranée. Son aire de répartition est limitée à quelques zones (Figure 25).

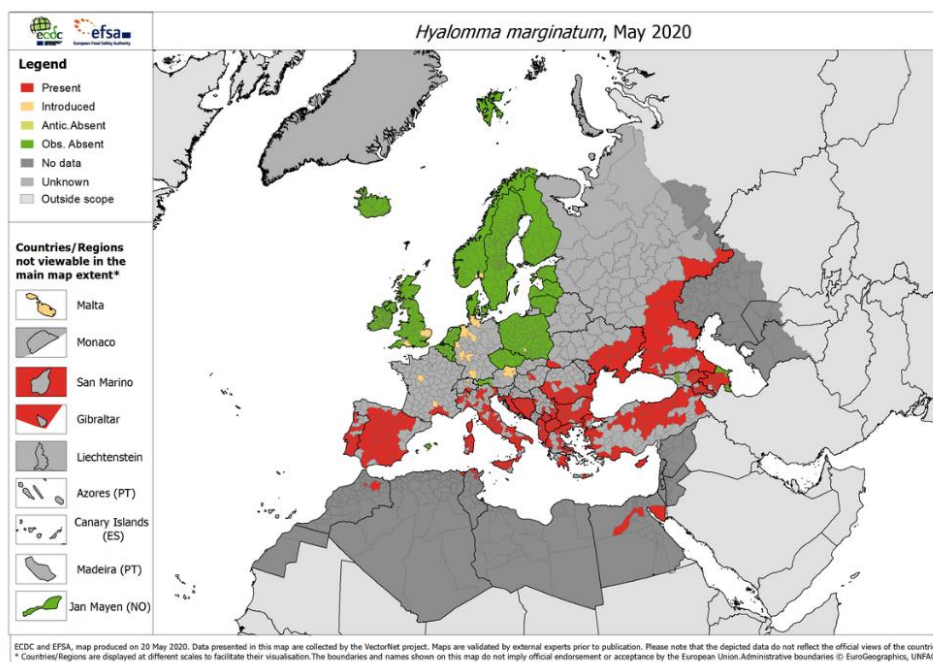
Figure 25 : Carte de la répartition de *Rhipicephalus bursa* en Europe (ECDC et EFSA, 2019)



Hyalomma marginatum

Hyalomma marginatum a été détectée en France métropolitaine dans l'Hérault, le Gard et les Bouches-du-Rhône ; elle est abondante en Corse (Figure 26). *Hyalomma scupense* a été détectée récemment en Corse. (Estrada-Peña *et al.*, 2011)

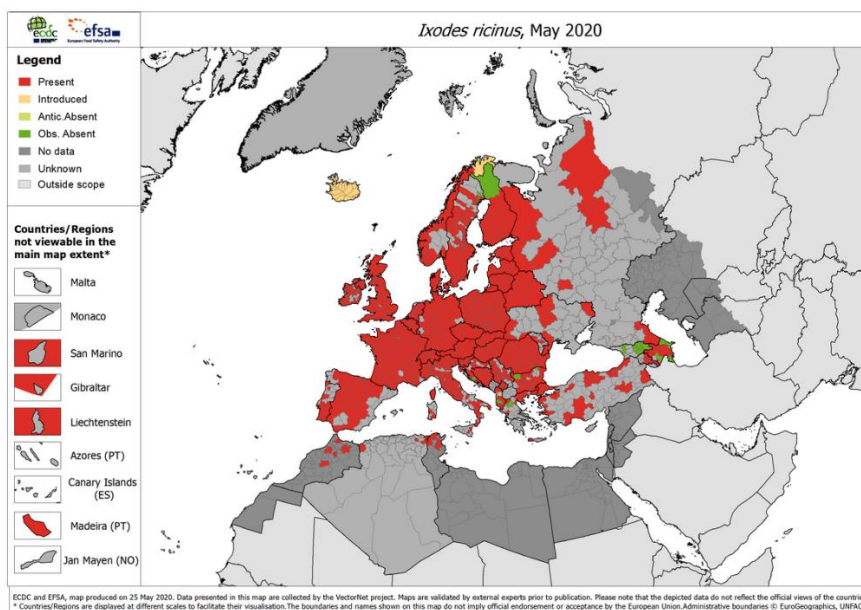
Figure 26 : Carte de la répartition de *Hyalomma marginatum* en Europe (ECDC et EFSA, 2020b)



Ixodes ricinus

Elle se retrouve partout en France sauf au-dessus de 1300-1500m d'altitude et dans des biotopes secs méditerranéens (quelques populations existent mais dans des endroits frais) (Figure 27).

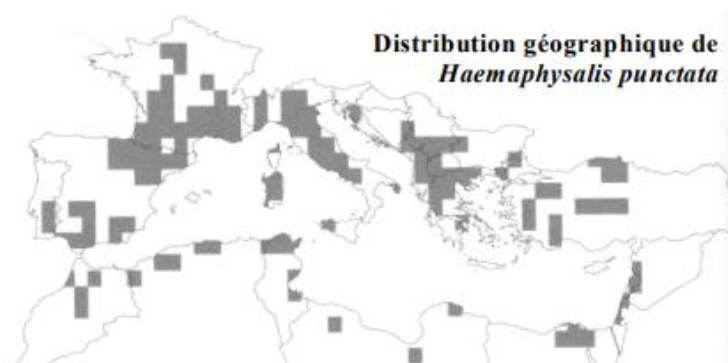
Figure 27 : Carte de répartition géographique d'*Ixodes ricinus* en Europe (ECDC et EFSA, 2020c)



Haemaphysalis punctata

A tendance xérophile, elle est présente sous le climat méditerranéen et jusqu'au sud de la Suède et en Pologne (Figure 28). Elle accompagne *D. marginatus* dans certains milieux plus ou moins ouvertes, souvent de type lande. Elle est souvent trouvée en association avec *R. bursa* (Pérez-Eid, 2007).

Figure 28 : Carte de répartition géographique de *Haemaphysalis punctata* (Estrada-Pena et al., 2004)



2. Méthodes de lutte contre les tiques

2.1 Mesures offensives

2.1.1 Lutte mécanique

Le détiquage manuel est un moyen efficace de lutter contre les tiques. C'est une mesure offensive puisqu'elle consiste à éliminer les tiques présentes sur les animaux. Elle est très efficace chez les carnivores domestiques. Un système de pince avec un crochet permet de retirer la tique en entier. Il est déconseillé de mettre de l'alcool ou de l'éther sur la tique avant de la retirer. Cette technique est utilisable si le nombre d'animaux est faible et non sur de grands troupeaux. Le détiquage manuel doit être pratiqué le plus rapidement possible. La durée d'attachement avant que la tique transmette l'agent pathogène est variable (Annexe 1).

2.1.2 Lutte chimique

La lutte chimique fait également partie des mesures offensives pour lutter contre les tiques. Elle consiste à traiter les animaux par application de produits chimiques qui tuent ou repoussent les tiques. Elle peut rarement être menée dans des étables et est peu efficace pour les tiques dures. Les caractéristiques d'un bon acaricide anti-tique est d'agir rapidement, longtemps et sans altération de la protection.

Neurotoxiques :

- L'usage des acaricides date du début du XIXème siècle suite à la découverte du rôle des tiques en tant que vecteurs de *Babesia* et *Theileria*. Les acaricides étaient administrés en prophylaxie et en curatif pour protéger le bétail de l'infestation par les tiques. Les bovins étaient immergés dans des bains remplis de solutions de dérivés arsenicaux. Les facteurs limitants de ces pratiques ont été l'apparition croissante de résistances des tiques vis-à-vis de ce type de pesticides et dangereux pour la santé. Des molécules de synthèse firent leurs apparitions dès 1946 : les organochlorés (DDT, lindane, toxaphène). Cette classe de pesticides inhibe le système GABAérgique et les la cytochrome-oxydase et perturbe le fonctionnement des pompes Na⁺/K⁺. Le message nerveux n'est alors plus transmis. Comme les dérivés arsenicaux, ces molécules de synthèse ont rapidement dû être remplacées à cause de l'apparition de résistances et de leurs forts impacts négatifs sur l'environnement.
- A partir de 1960, d'autres molécules de synthèse, les organophosphorés (chloropyrifos, coumaphos, diazinon, malathion, ethion, ...) et les carbamates (carbaryl, propoxur) ont progressivement remplacé les organochlorés (Ansay, 1990). Les organophosphorés se lient de façon quasiment irréversible avec l'acétylcholinestérase et provoquent la mort des tiques par inhibition de leurs conduction nerveuses. L'acétylcholinestérase hydrolyse l'acétylcholine en acide acétique et en choline permettant ainsi le retour à un état basal. Les carbamates sont des anticholinesthésiques réversibles (Zenner et Drevon-Gaillot, 2003) (Silberman et Taylor, 2022). Aujourd'hui ils ne sont quasiment plus utilisés à cause des nombreuses résistances observées (George, 2000).
- La pyréthrine naturelle issue du chrysanthème, a été utilisée dans les bains pour le bétail mais a vite été remplacée à cause de l'apparition de résistances et de son faible temps de vie dû à sa photosensibilité (Casida, 1980).

- Des recherches ont alors abouti à la synthèse de pyréthriinoïdes plus stables (deltaméthrine, perméthrine) qui inactivent les canaux sodiques membranaires des axones en augmentant la fréquence des décharges nerveuses (type I) ou en prolongeant le temps d'ouverture du canal (type II). Ils agissent aussi, lors de concentrations plus élevées que celles qui sont suffisantes pour affecter les canaux sodiques, par inhibition sur le récepteur GABA et les canaux calciques voltage dépendant (Wallace *et al.*, 2002). Ils sont encore utilisés en aspersion à haute concentration sur les animaux de compagnie ou encore le bétail plutôt qu'en bain. Une étude a été menée pour mesurer l'efficacité de la deltaméthrine contre *I. ricinus* et *R. sanguineus* sur des moutons et bovins. Chez les ovins l'effet acaricide a duré pendant 28 jours sur les nymphes et adultes d'*I. ricinus* et réduit à partir de 21 jours sur *R. sanguineus*. Chez les bovins l'effet acaricide a été observé pendant 21 jours pour *I. ricinus* et 14 jours chez *R. sanguineus*. Après 28 jours l'effet est nul sur *R. sanguineus* adulte. La répulsion est observée chez les bovins et moutons pour les deux espèces de tiques pendant 14 jours (Mehlhorn *et al.*, 2011). Les pyréthriinoïdes restent actuellement les molécules les plus utilisées.
- Le fipronil est un antagoniste du système GABA. Il bloque les canaux à chlorures associés aux récepteurs du GABA et du glutamate.
- Les formamidines représentées par l'amitraze et les amidines cyclines comme le clenpyrine perturbent la physiologie et permettent le détachement de la tique avant la fin du repas. L'amitraze est un inhibiteur des récepteurs octopaminergiques. L'inhibition de l'influx neurologique paralyse le parasite. L'amitraze est plus efficace que la deltaméthrine sur *Rhipicephalus (Boophilus) annulatus* chez les bovins et les moutons (Abdel-Fattah et El-Kholany, 2005).
- Afin d'avoir moins d'effets nocifs pour l'environnement et la santé humaine et éviter les résistances, une autre classe d'inhibiteurs plus spécifique est apparue. Il s'agit des inhibiteurs de croissance (fluazuron) qui peuvent bloquer la maturation des stases les plus précoces en perturbant la synthèse de la chitine (de Oliveira *et al.*, 2012). Ils n'ont aucun effet sur les adultes. La formulation en spot-on a une efficacité acaricide élevée contrairement à la formulation injectable (Gomes *et al.*, 2015).
- Les lactones macrocycliques (éprinomectine, ivermectine, moxidectine...) sont également utilisées. Elles provoquent une atteinte neuromusculaire par l'inhibition des canaux chlorures glutamate-dépendants spécifiques des cellules neuronales et musculaires. Des résistances sont également constatées (Rodriguez-Vivas *et al.*, 2018).

Des associations de ces molécules sont également faites pour essayer de contrer les résistances (Nath *et al.*, 2018). Le fipronil et l'amitraze présentent une meilleure efficacité lorsqu'elles sont associées (Prullage *et al.*, 2011). En revanche, le fluazuron associé à l'ivermectine en injection sous-cutanée est moins efficace que le fluazuron en spot-on sur *R. microplus* (Gomes *et al.*, 2015).

Les tiques communiquent via l'émission de phéromones. Lorsque les phéromones sont associées à des acaricides, leur utilisation augmente significativement la mortalité des tiques en augmentant l'exposition à l'acaricide en raison de l'attraction des tiques pour les phéromones (Sonenshine *et al.*, 2003).

Depuis la découverte des résistances, des tests biologiques de plus en plus rapides ont été développés dans le but d'évaluer le statut de résistance des tiques aux acaricides et d'évaluer la concentration létale à 50% de mortalité (Baxter *et al.*, 1999) (Lovis *et al.*, 2011). Ces tests pourraient ralentir le processus de résistance en évitant de sélectionner des tiques résistantes, par l'utilisation systématique d'un type d'acaricide pour lequel ces tiques sont résistantes.

Le projet Xenobio-TICK est mené afin de développer de nouveaux acaricides plus spécifiques. Le but est de séquencer le transcriptome pour identifier et caractériser de nouveaux gènes de neurorécepteurs spécifiques des tiques (Plantard, 2020). Il s'agit d'un essai d'identification de cibles plus spécifiques des tiques pour éviter l'atteinte de la faune non ciblée.

Ainsi, la contamination des productions animales (lait et viande) et environnementale combinée à l'émergence de résistances dues aux acaricides et la protection de la santé humaine questionnent l'usage de ces molécules en élevage. Même si certaines molécules sont efficaces, elles ne sont pas cohérentes avec la préservation de l'environnement et tuent des espèces non ciblées.

2.1.3 Lutte biologique

La lutte biologique consiste à combattre les tiques en utilisant leurs prédateurs ou parasites naturels. La lutte biologique permet une diminution du nombre des traitements mais son coût de mise en œuvre est non négligeable et pourrait avoir un impact environnemental négatif sur les espèces non ciblées.

La tique possède plusieurs prédateurs naturels comme par exemple des oiseaux (pies, pique-bœuf,...), lézards, fourmiliers, certaines fourmis,...

Les tiques peuvent aussi être attaquées par des organismes parasitoïdes. Certains sont utilisés en lutte biologique :

- *Ixodiphagus hookeri* est un hyménoptère. Il est le seul à avoir fait l'objet d'études approfondies dans le cadre d'une lutte biologique. Il a été utilisé aux Etats-Unis au début du XXème siècle pour contrôler *Dermacentor variabilis* et *Dermacentor andersoni*. Dans les conditions naturelles, ces guêpes ne sont pas efficaces même si au Kenya, les relâchés d'*I. hookeri* ont montré des résultats encourageants dans le contrôle des populations de tiques infestant les bovins (Ostfeld *et al.*, 2006). Néanmoins, des expériences de lâchers de grande ampleur ont malheureusement montré l'absence de persistance du parasitoïde au cours du temps, obligeant ainsi à répéter l'opération chaque année pour obtenir une efficacité du dispositif. Leurs conditions d'élevage entraînent un coût important car il faut un grand nombre de tiques pour les nourrir.
- Les champignons entomopathogènes les plus pathogènes pour les tiques sont *Metarhizium anisopliae* et *Beauveria bassiana* (Ostfeld *et al.*, 2006) (Cafarchia *et al.*, 2015). L'efficacité d'une vingtaine d'espèces de champignons entomopathogènes a été évaluée vis-à-vis de plusieurs espèces de tiques. Les résultats ont montré que la pathogénicité dépend de la stase, du temps de gorgement, de l'espèce et de la saison. Leurs conditions de croissance spécifique (faible exposition UV, humidité élevée), entraînent par ailleurs un coût de production élevé rendant l'utilisation de ces champignons limitée. Ces champignons peuvent être pathogènes pour d'autres insectes et donc perturber la faune non ciblée. C'est la seule lutte biologique qui a montré de vrais résultats intéressants couplée avec des acaricides.

- Des bactéries entomopathogènes comme *Proteus mirabilis* ont montré une certaine efficacité vis à vis de plusieurs espèces de tiques (*Dermacentor andersoni*, *Hyalomma marginatum*, *Amblyomma hebraeum*) (Samish *et al.*, 2004). Cependant le pouvoir pathogène est dépendant de la concentration ingérée par la tique.
- Des nématodes entomopathogènes comme *Steinernema* sp. et d'*Heterorhabditis* sp. sont capables d'inoculer des bactéries dans les tiques. Les bactéries lysent l'intérieur de la tique que les nématodes peuvent ensuite digérer. Les études démontrant leur efficacité restent encore faibles et peu concluantes (Samish *et al.*, 1999).

2.1.4 Lutte écologique et agronomique

La lutte écologique est basée sur la prévention afin de limiter le contact entre hôtes et tiques ou en modifiant l'environnement pour le rendre inhospitalier pour les tiques. Le contrôle de la population de tiques peut se faire par la gestion des parcelles et du troupeau. La détermination des zones et saisons à risque sont des points essentiels. Des zones à risques sont évitées pendant un certain temps et les animaux sont déplacés en limitant la diffusion des tiques. Dans une pâture, il est aussi important de gérer la végétation et la litière pour diminuer les habitats propices aux différentes stades de tiques (Hubálek *et al.*, 2006). La mise en place de clôture pour éviter l'entrée d'animaux sauvages dans la pâture a montré une bonne efficacité.

Cette gestion permet un contrôle durable de la population des tiques par une gestion durable des tiques et permet une diminution de la fréquence des traitements chimiques (Hüe et Fontfreyde, 2019).

Cependant cette méthode nécessite un investissement en temps et en argent et des adaptations de la conduite des troupeaux (Madder et Dernburg, 2018).

2.2 Mesures défensives

2.2.1 Végétaux

La flore peut être utilisée dans la lutte défensive. Certaines espèces de graminées et les *Gynandropis* sécrèteraient des substances possédant des propriétés répulsives ou toxiques pour *Rhipicephalus* et *Amblyomma*. Dans les pays tropicaux, *Boophilus* et *Amblyomma* seraient attirées par certaines légumineuses (*Stylosantes*) (Fernandez-Ruvalcaba *et al.*, 1999). L'utilisation de plantes répulsives ou toxiques pour les tiques pourraient être une solution moins nocive pour l'environnement.

2.2.2 Moyens génétiques

Lutte génétique (animaux)

Des animaux d'élevage résistants aux tiques peuvent être sélectionnés. Les animaux les moins résistants c'est-à-dire les porteurs de tiques sont identifiés puis éliminés. Certaines races sont également plus résistantes. Chez les bovins, il a été montré par exemple que la race Hereford ou Simmental présente un portage plus important de tiques que la race Brahman (Rechav, 1987) (Rechav *et al.*, 1990).

Les animaux résistants à la tique sont souvent moins sensibles à la piroplasmose (Bock *et al.*, 1997).

Lutte génétique (tiques)

Les moyens de lutte génétique comme la stérilisation des tiques existent mais sont rares. Le principe est de réaliser des lâchers de nombreuses tiques génétiquement modifiées, qui doivent prendre le pas sur les populations sauvages. Il existe à la fois des méthodes classiques de stérilisation par irradiation et des modifications du génome. Par exemple il a été montré que la suppression de l'expression de la subolésine par ARN interférence conduisait à la formation de mâles stériles (de la Fuente *et al.*, 2006). L'élevage des tiques est complexe et long ce qui rend ce moyen de lutte très difficile à mettre en œuvre. De plus, la problématique liée aux lâchers d'arthropodes OGM dans la nature n'est pas encore clarifiée à ce jour. Le lâcher de tiques génétiquement modifiées est interdit à l'heure actuelle sauf pour les tiques stérilisées. Ceci n'est pas encore réalisé sur le terrain.

2.2.3 Vaccination

La découverte au début du XXème siècle de l'établissement d'une immunité naturelle contre les piqûres de tiques et donc une protection contre les maladies associées, a conduit à développer des stratégies vaccinales. Les vaccins en ciblant le vecteur luttent contre les tiques et contre les pathogènes qu'elles transmettent.

L'objectif des vaccins est de bloquer soit directement la transmission d'agents pathogènes soit le gorgement des tiques avant la transmission qui, dans la plupart des cas, n'intervient que plusieurs heures ou jours après la fixation de la tique sur son hôte.

Il a été donc primordial d'identifier des antigènes cibles. Il existe deux types de vaccins : les vaccins visant les antigènes exposés au système immunitaire de l'hôte au cours du gorgement soit les antigènes salivaires, et les vaccins visant les antigènes « cachés » c'est-à-dire non exposés au système immunitaire de l'hôte pendant l'alimentation de la tique soit les antigènes du tube digestif par exemple. Ces deux types de vaccins présentent l'avantage d'agir à la fois sur la transmission et l'acquisition d'agents pathogènes mais aussi indirectement sur les populations de tiques en perturbant leur repas comme avec Bm86. Le volume de sang ingéré étant directement lié au nombre d'œufs pondus, en réduisant significativement l'efficacité du gorgement, les femelles pondront moins d'œufs, entraînant la réduction des populations de tiques. La transmission d'agents pathogènes n'étant pas immédiate pour beaucoup d'entre eux, bloquer rapidement le gorgement permettrait d'éviter toute transmission pour les vaccins visant les antigènes salivaires.

En 1989, l'antigène Bm86 exprimé à la surface de l'épithélium de l'intestin de la tique *R. microplus* femelle est découvert. Il a ensuite été commercialisé sous forme vaccinale en Australie

sous le nom de TickGARD®. Ce vaccin, en visant Bm86, permet une fuite du contenu intestinal dans le corps de la tique. Au Mexique, en Argentine et en Colombie il a été commercialisé en 1997 sous le nom de Gavac®. Ces deux vaccins sont dérivés de protéines recombinantes. Ils génèrent une réponse immune qui interfère avec la digestion du repas sanguin. Leur efficacité sur le gorgement et sur la fertilité des tiques est similaire. Néanmoins, ces vaccins présentent des contraintes importantes en termes de coût car nécessitent des rappels et sont surtout souche spécifique avec des taux de protection variables d'une région à une autre sur son espèce cible : *R. microplus*. Suivant les régions, la diminution de l'infestation est comprise entre 0 et 80% (de la Fuente *et al.*, 2007). TickGARD® dans certaines régions du Brésil a montré de faibles niveaux d'efficacité (Pereira *et al.*, 2008). Il est à noter que *R. microplus* est une tique monotrope qui effectue la totalité de son cycle qui est court, sur les bovins qui peuvent être vaccinés contrairement à d'autres espèces de tiques qui s'alimentent également sur la faune sauvage. Elle est donc plus facile à cibler.

C'est pour toutes ces raisons que TickGARD® n'est plus commercialisé en Australie. Gavac® est encore commercialisé à Cuba.

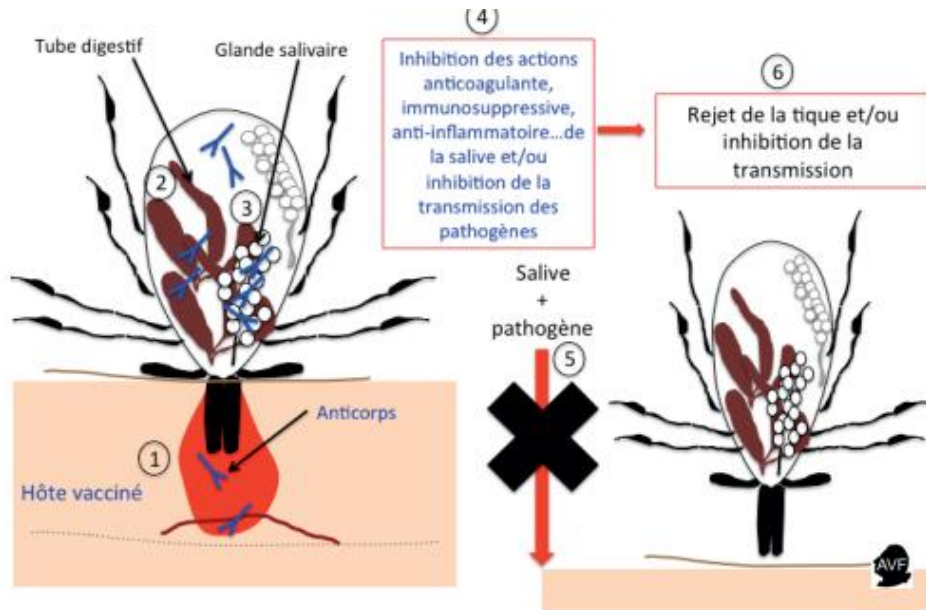
Les vaccins multi-antigènes avec par exemple une combinaison d'antigènes appartenant à la fois au vecteur et aux agents transmis sont recherchés (Parthasarathi *et al.*, 2021). Ces vaccins dirigés contre Bm86, constituent les seuls commercialisés à ce jour contre les tiques et ayant apporté des résultats concluant à travers le monde.

Plusieurs études ont montré que les tiques exprimaient différentes molécules lors de leur infection par un agent pathogène (Liu et Bonnet, 2014). Les protéines non salivaires telles que TROSPA (protéine de l'intestin de la tique), SILK, Q38 et SUB (protéine présente dans le développement des œufs) (Merino *et al.*, 2013) ou encore la protéine salivaire Salp15, dans le cadre d'une transmission de *B. burgdorferi* à des souris, ont été identifiées comme produisant une immunité protectrice (Dai *et al.*, 2009).

L'utilisation des antigènes salivaires est également très intéressante pour le développement de vaccins futurs puisqu'il existe un nombre élevé de protéines immunogènes et permettrait ainsi de générer des rappels naturels de vaccination chez l'hôte vertébré. En ciblant les antigènes salivaires, le repas de la tique pourrait être perturbé ou bloqué et ainsi empêcher la transmission d'agents pathogènes (Figure 29). Les anticoagulants comme par exemple des inhibiteurs de sérine protéases présents dans la salive seraient intéressants à envisager pour de futurs vaccins (Blisnick *et al.*, 2017). En effet, les protéines comme IrSPI pourraient être utilisées pour l'élaboration d'un vaccin anti-tique en gênant le repas sanguin. Si la protéine reconnue par les anticorps générés par la vaccination est inhibée, la tique absorbe moins de sang. De plus, IrSPI a un rôle immunodépresseur sur l'hôte. En ciblant la tique, la transmission d'agents pathogènes multiples sera moins importante. Néanmoins une étude en 2020, n'a pas prouvé la protection du vaccin contre l'infestation des souris et des moutons par les nymphes et les larves d'*I. ricinus*, au contraire la vaccination semble améliorer l'engorgement et la mue des tiques et diminue leur mortalité (Almazán *et al.*, 2020).

Figure 29 : Mode d'action d'un vaccin dirigé contre des protéines salivaires de tiques (Bonnet et Richardson, 2018)

1 : lorsque la tique se gorge sur un animal vacciné, elle va ingérer, en même temps que son repas sanguin, les anticorps générés par la vaccination, 2 : ces anticorps vont alors envahir le tube digestif de la tique, 3 : les anticorps vont ensuite envahir l'ensemble du corps de la tique y compris les glandes salivaires, 4 : dans les glandes salivaires, en fonction de leur cible, les anticorps vont alors inhiber des fonctions anticoagulantes, immunosuppressives, anti-inflammatoires ou la multiplication et/ou la transmission des agents pathogènes avec un impact soit au niveau des glandes salivaires, soit lors de l'injection chez l'hôte vertébré, 5 : en conséquence, l'action de la salive ou la transmission de l'agent pathogène seront inhibés et 6 : empêchée de se nourrir, la tique sera rejetée par son hôte et/ou il n'y aura pas de transmission de micro-organismes à ce dernier.



3. Rôle pathogène indirect des tiques

3.1 Transmission d'agents pathogènes aux animaux

3.1.1 Définitions

Un agent pathogène est un « agent mécanique, physique, chimique ou biologique dont la présence ou l'excès joue un rôle dans l'apparition d'une maladie » (Toma *et al.*, 2018).

Un vecteur est un « arthropode qui, à l'occasion d'un repas sanguin, acquiert un agent pathogène sur un hôte vertébré et le transmet ensuite à un autre hôte vertébré ». Il existe deux catégories de vecteurs : les vecteurs mécaniques qui assurent juste le transport de l'agent pathogène et les vecteurs biologiques qui assurent le transport et permettent également le développement et/ou la multiplication de l'agent pathogène. La transmission d'un agent pathogène par un vecteur biologique se déroule en trois étapes : infection au cours d'un repas sanguin sur un vertébré infecté, maturation de l'agent pathogène dans le vecteur, infestation d'un vertébré lors d'un nouveau repas sanguin (via la salive, le liquide coxal,...) (Toma *et al.*, 2018).

La compétence vectorielle est « l'aptitude d'un arthropode à ingérer un agent pathogène, en assurer la multiplication et/ou le développement et à le transmettre à un hôte vertébré » (Toma *et al.*, 2018).

La capacité vectorielle dépend de la compétence vectorielle de l'espèce d'arthropode considérée mais intègre des éléments extrinsèques conditionnant la densité de la population du vecteur, son activité et sa longévité. C'est « l'aptitude d'une population de vecteurs à transmettre un agent pathogène dans un environnement et à une période donnée » (Toma *et al.*, 2018).

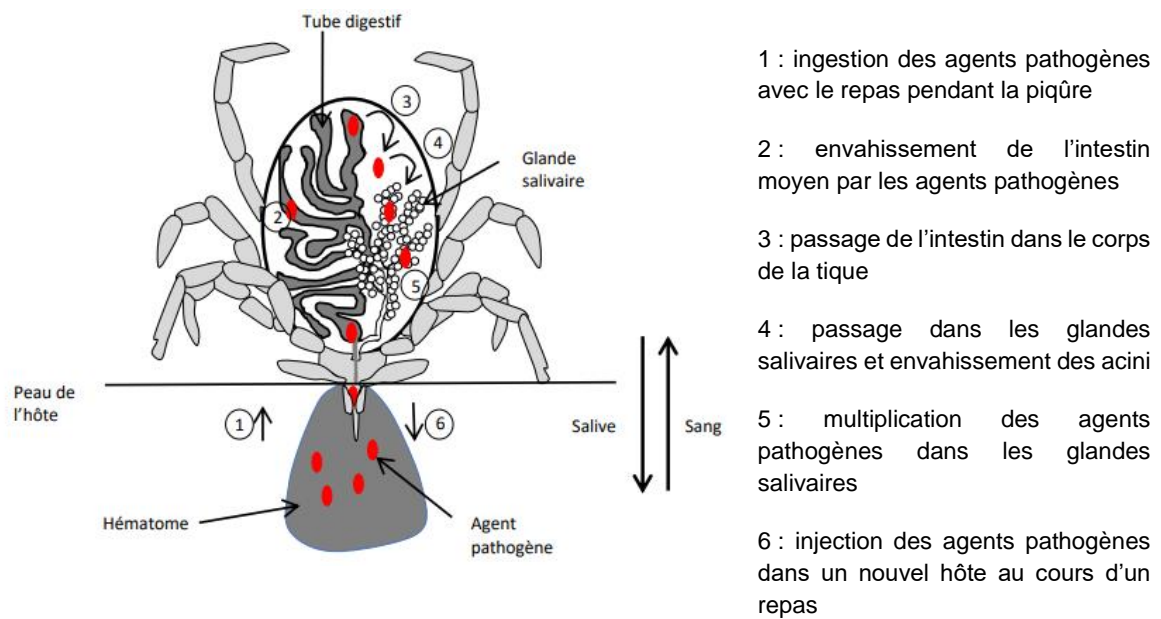
3.1.2 Rôle pathogène indirect des tiques

Dans toute la suite de la thèse, nous nous intéresserons aux tiques dures uniquement car les agents de la piroplasmose chez les chevaux ne sont transmis que par les tiques dures.

3.1.2.1 Etapes de la transmission des agents pathogènes

Les tiques sont des vecteurs biologiques. Elles s'infectent toujours pendant un repas. L'agent pathogène se multiplie et/ou se transforme au sein de la tique. Lorsque l'agent pathogène se multiplie dans l'arthropode c'est la transmission active. Elle peut se faire soit sans modification de ses propriétés (transmission biologique) soit avec modification de l'agent pathogène au sein de la tique lors d'un changement de stase (hôte intermédiaire). Lors d'un nouveau repas sanguin, la tique peut retransmettre les agents pathogènes acquis lors du repas précédent à un nouvel hôte (Figure 30).

Figure 30 : Schéma de l'acquisition et de transmission d'agent pathogène par la tique (Šimo et al., 2017)



L'agent pathogène peut-être maintenu tout au long du cycle de vie du vecteur. Il s'agit de la transmission trans-stadiale (ou transmission intra-générationnelle). L'agent pathogène circule à l'intérieur de la même génération par les cellules somatiques. L'agent pathogène est transmis de la larve à la nymphe, de la nymphe à l'adulte ou de la larve à la nymphe à l'adulte.

Le deuxième type de transmission chez la tique est trans-ovarienne (ou inter-générationnelle). Les pathogènes passent d'une génération à l'autre par les cellules germinales. La transmission se fait de l'adulte aux œufs. La larve peut directement jouer le rôle de vecteur pour des pathogènes, si la femelle était infectée. Peu d'agents pathogènes sont concernés par ce mode de transmission. Les protozoaires du genre *Babesia* sont concernés par les deux types de transmission. Ils migrent de l'intestin dans les glandes salivaires et dans les ovaires de la tique femelle.

Le co-repas (« co-feeding ») est aussi une voie de transmission d'agent pathogène entre deux tiques. Lorsque plusieurs tiques se nourrissent à proximité sur l'hôte il peut y avoir transmission de l'agent de l'une à l'autre tique par contamination directe ; l'hôte ne présente pas nécessairement de virémie ou de bactériémie. Cette transmission est particulièrement importante dans l'épidémiologie de l'encéphalite à tiques (Randolph, 2011).

Le temps de migration des agents pathogènes de l'intestin aux glandes salivaires est différent selon les espèces de tiques ou les agents pathogènes. La migration est quasi directe chez *Babesia* sp. ou le virus de l'encéphalite à tique. Elle nécessite le stimulus du repas sanguin chez *Borrelia* sp. Les risques de la transmission d'agents pathogènes sont d'autant plus importants que le temps de gorgement sur l'hôte est long. En effet, la probabilité de transmission augmente d'environ 36% en 48h à 93% en 72h pour *B. burgdorferi* (Piesman et al., 1987). La durée de fixation nécessaire à la tique pour transmettre un agent pathogène est résumée dans l'annexe 1.

La salive qui neutralise l'hémostase, l'inflammation et les réponses immunitaires de l'hôte facilitent l'infection par l'agent pathogène de l'hôte.

Toutes les tiques ne sont pas infectées. Si une tique est infectée, la transmission du pathogène au stade suivant n'est pas systématique.

3.1.2.2 Agents pathogènes transmis par les tiques

Les tiques sont le premier vecteur d'agents pathogènes en santé vétérinaire dans le monde. Ils transmettent des bactéries, virus, protozoaires et helminthes. Chaque espèce de tique a une compétence vectorielle sélective des agents pathogènes.

Les tiques sont parfois porteuses de plusieurs agents pathogènes (Moutailler *et al.*, 2016).

Les principaux agents pathogènes transmis aux mammifères en France sont le virus de l'encéphalite à tique, les bactéries appartenant aux genres *Anaplasma*, *Borrelia*, *Coxiella*, *Ehrlichia* et *Rickettsia*, les protozoaires *Babesia* sp., *Theileria* sp., *Cytauxoon* sp. et *Hepatozoon* sp. et les filaires du genre *Dipetalonema*.

Les principales maladies des chevaux liées aux tiques en France sont la piroplasmose équine dont les agents pathogènes sont *Babesia caballi* et *Theileria equi*, la borreliose de Lyme dont l'agent pathogène est *Borrelia burgdorferi* ssl et l'anaplasmose granulocytaire équine dont l'agent pathogène est *Anaplasma phagocytophilum*.

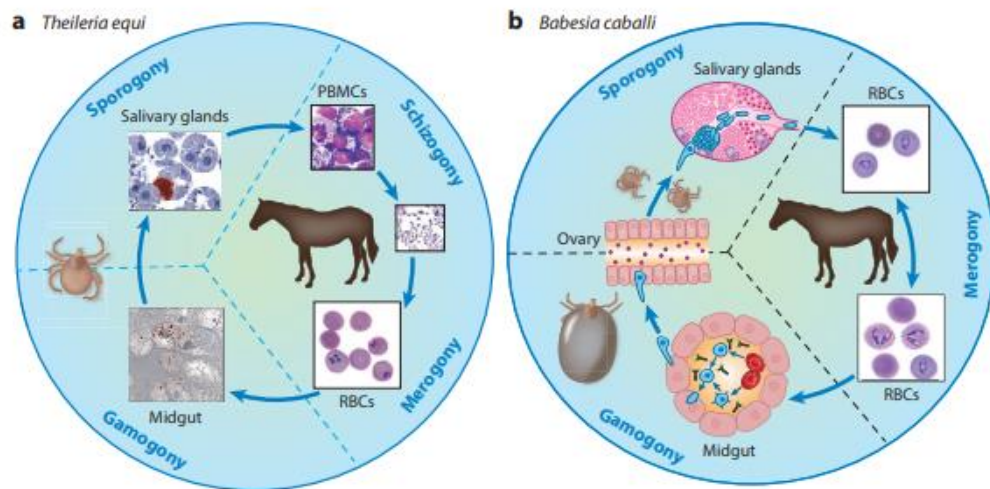
3.2 Cas particulier de la transmission des piroplasmes chez les chevaux

Les parasites qui sont la cause de la piroplasmose équine sont *B. caballi* et *T. equi*.

Babesia caballi est un parasite protozoaire intra-érythrocytaire. La forme du parasite est variable. Il peut être de forme annulaire, amiboïde ou piriforme bigéminée. *Babesia caballi* se développe en trois phases : la mérogonie, qui se déroule chez l'équidé, la gamogonie et la sporogonie, qui se déroulent au sein de la tique (Figure 31). La mérogonie est le développement d'un organisme à partir d'une partie sans noyau d'un œuf fécondé. La gamogonie est l'étape de reproduction sexuée dans le cycle. La sporogonie est l'étape de reproduction sans fécondation dans le cycle.

Theileria equi est un parasite protozoaire présentant une forme exo-érythrocytaire (lymphocytes) puis endo-érythrocytaire. *Theileria equi* se développe en trois phases : la schizogonie qui se déroule chez l'équidé, la gamogonie et la sporogonie, qui se déroulent au sein de la tique (Figure 31).

Figure 31 : Cycle de développement de *Theileria equi* (à gauche) et *Babesia caballi* (à droite) (Scoles et Ueti, 2015)



3.2.1 Espèces sensibles et réservoirs de piroplasmes

Dans une étude menée sur des équidés en Andalousie, la séroprévalence pour *B. caballi* est significativement plus élevée chez les mulets (32,1%) par rapport aux ânes (17,0%) et aux chevaux (7,9%) et la séroprévalence chez *T. equi* est significativement plus élevée chez les mulets (66,1%) par rapport aux chevaux (48,6%) (García-Bocanegra *et al.*, 2013).

La séroprévalence pour *B. caballi* et *T. equi* est divergente entre les études pour le sexe et l'âge des chevaux. La race est significativement associée au statut sérologique mais pas à la parasitémie (Nadal *et al.*, 2021).

3.2.2 Espèces de tiques vectrices

Les genres de tiques qui sont porteuses d'ADN de *B. caballi* et *T. equi* dans le monde sont *Dermacentor*, *Rhipicephalus*, *Hyalomma*, *Ixodes* et *Haemaphysalis*. *Amblyomma* est suspectée de les transmettre mais cela n'a pas encore été confirmé (Scoles et Ueti, 2015). Des études en Europe identifient les genres *Dermacentor*, *Rhipicephalus*, *Hyalomma*, *Ixodes* et *Haemaphysalis* (Nadal *et al.*, 2021). En effet, les espèces *H. marginatum*, *D. reticulatus*, *D. marginatus*, *R. bursa*, *R. sanguineus*, *R. annulatus*, *I. ricinus* et *H. punctata* sont porteuses de ces deux agents pathogènes (Nadal *et al.*, 2021). Il a été démontré expérimentalement que *R. bursa* transmet *T. equi* (Pérez-Eid, 2007). En France, la piroplasmose équine serait essentiellement transmise par *D. reticulatus* et *D. marginatus* (RESPE, 2019).

3.2.3 Mode de transmission

- Vectoriel

La voie majoritaire de la transmission des piroplasmes équins est la voie vectorielle par les tiques. Comprendre l'interaction entre le parasite et le vecteur est essentiel pour prédire la dynamique de transmission des agents pathogènes.

Babesia caballi est transmise par toutes les stades de tiques car la transmission peut-être transovarienne. Pour *B. caballi*, les tiques servent de réservoir car l'organisme persiste dans les tiques sur plusieurs générations, permis par la transmission trans-ovarienne. *Theileria equi* n'est transmis que par les nymphes et les adultes car la transmission est uniquement trans-stadiale. (Schein, 1988). Pour *T. equi*, les chevaux sont le principal réservoir car la transmission n'est que trans-stadiale et la présence du pathogène dans les lymphocytes du cheval dure très longtemps. Bien que *B. caballi* est présente dans les glandes salivaires au moment de la piqûre, la transmission n'a lieu que quelques jours après la piqûre car le parasite subit une transformation au sein de la tique avant d'être transmis. Il n'y a pas de durée de temps consensuel pour la transmission. A priori le temps au bout duquel la tique peut transmettre les genres *Babesia* ou *Theileria* serait de 7 jours (Richards *et al.*, 2017) (Konnai *et al.*, 2007). Pour l'espèce *Babesia microti*, il faut 36 à 48h après attachement pour qu'elle soit transmis à l'hôte car elle réalise la sporogonie dans les cellules des glandes salivaires de la tique (Piesman *et al.*, 1986).

Babesia

La tique infectée inocule des sporozoïtes pendant son repas sanguin sur le cheval par la salive (Figure 31). Les sporozoïtes envahissent les hématies et passent immédiatement sous forme de trophozoïtes. La multiplication asexuée des trophozoïtes se fait par plusieurs divisions binaires successives. Ces divisions conduisent à la production de cellules piriformes appelées des mérozoïtes (mérogonie). Ils sont libérés dans la circulation sanguine après éclatement de l'hématie ou en passant à travers la membrane de l'hématie. Ils se fixent sur la membrane d'autres hématies ou restent libres dans le sang. Certains trophozoïtes ne se divisent pas pour donner des mérozoïtes mais donnent des gamétocytes. Pendant son repas sur le cheval, la tique ingère ensuite des mérozoïtes qui sont détruits dans son intestin. La tique ingère aussi des gamétocytes qui vont se transformer en gamètes (gamogonie) suite à la lyse des hématies les contenant. Deux gamètes s'unissent pour former des kinètes primaires ou 18 ookinètes (fécondation). Ceux-ci pénètrent dans la paroi intestinale et s'y divisent en kinètes secondaires ou sporokinètes (sporogonie). Ils passent ensuite dans l'hémolymphe de la tique et passent dans les tubes de Malpighi ou les ovaires et se logent dans les cellules. Les sporokinètes présents dans un ovocyte seront transmis à la larve issue de ce dernier, et reprendront leur évolution lors du repas sanguin de celle-ci sur un hôte : c'est la transmission transovarienne. Lors d'un repas sanguin sur un équidé, quel que soit le stade de la tique, les sporokinètes colonisent les glandes salivaires se regroupant pour former des sporontes contenant des milliers de sporozoïtes. Ces sporozoïtes seront infectants après une maturation de cinq jours environ, à partir du début du gorgement de la tique. Suite au repas, la larve mue en nymphe ou la nymphe mue en adulte alors que les sporokinètes restent présents dans les glandes salivaires : c'est la transmission transtadiale. Ainsi la tique conserve l'agent pathogène dans les glandes salivaires lors du passage d'un stade de développement à un autre (Hajdusek *et al.*, 2013).

Theileria

Lors de son repas sanguin, la tique inocule des sporozoïtes qui envahissent les lymphocytes (Figure 31). Quelques jours plus tard, les sporozoïtes forment des macroschizontes (schizogonie) qui se multiplient dans les lymphocytes qui deviennent hyperplasiés. Une dizaine de jours après, les macroschizontes deviennent des microschizontes qui entraînent la rupture des lymphocytes. Les micromérozoïdes libérés par les microschizontes envahissent les hématies (mérogonie). Ils se transforment en gamétocytes (gamogonie). La larve ou la nymphe les ingèrent lors de son repas sanguin. Ces gamètes intra-cellulaires sont dirigés vers l'estomac dans lequel les gamètes forment les macrogamètes et en se divisant les microgamètes. Un macrogamète fusionne avec un

microgamète (fécondation). Le zygote formé suite à la fécondation se transforme en kinètes en fonction du changement de stase de la tique. Les kinètes passent dans l'hémolymphe et vont exclusivement dans les glandes salivaires de la tique. Elle deviennent des sporontes (sporogonie). Lorsque la tique se fixe, les kinètes se modifient pour former des sporozoïtes infectants qui peuvent être transmis au cheval via la salive (Tamzali, 2013).

- Transmission *in utero*

Une transmission de *T. equi* de la jument à son poulain est possible. Elle a été observée entre 40 et 150 jours de gestation. La voie la plus probable du parasite serait la voie transplacentaire. Ainsi, la transmission n'est plus possible après le 5^{ème} mois car il y a maturation du placenta qui est à partir de 5 mois totalement formé et empêche donc le passage des piroplasmés de la mère au fœtus. Cette transmission n'est pas systématique même si la jument est porteuse de piroplasmés. La transmission *in utero* peut conduire à un avortement ou à la naissance d'un poulain porteur de piroplasmés. Il sera réservoir du pathogène et pourra développer les symptômes de la maladie après la naissance (Allsopp *et al.*, 2007). La transmission *in utero* de *Babesia* est suspectée car des juments dont la PCR était positive ont eu des avortements (Sant *et al.*, 2016).

- Inoculation accidentelle

Les piroplasmés étant des parasites situés dans le sang, une contamination iatrogène est possible bien que rare. Cette transmission peut se faire en cas de transfusion sanguine à partir d'un cheval porteur de *B. caballi* ou *T. equi* à un cheval sain ou en cas d'utilisation d'une aiguille souillée par le sang d'un cheval porteur de piroplasmés (Gerstenberg *et al.*, 1998).

3.2.4 Prévalence des agents pathogènes *B. caballi* et *T. equi* au sein des tiques en France

Il existe très peu d'études indiquant la prévalence de *B. caballi* et *T. equi* dans les tiques. Dans une étude menée en Corse, pour *R. bursa* la prévalence est de 0% pour *B. caballi* et de 1% pour *T. equi* ; pour *R. annulatus* la prévalence est de 0% pour *B. caballi* et de 9% pour *T. equi*. Les tiques ont été prélevées sur les animaux (Grech-Angelini *et al.*, 2020). D'autres études qui détectent *Babesia* et *Theileria* ont été menées mais la détection de *B. caballi* et *T. equi* est nulle.

3.2.5 Prévalence de la piroplasmose équine en France

En Europe, pour *T. equi* la séroprévalence est de 30% et la prévalence est de 24,5%, pour *B. caballi* la séroprévalence est de 7,8% et la prévalence est de 2,4% (Nadal *et al.*, 2021).

Lors de son travail de thèse vétérinaire, Gaël Le Métayer a réalisé une étude sur 18464 sérums d'équidés pour évaluer la séroprévalence des piroplasmoses équines entre 1997 et 2005 en France. La séroprévalence moyenne pour les deux parasites confondus est de 18,9%. La séroprévalence moyenne est de 9,2% pour *B. caballi* et de 13,8% pour *T. equi*. Ces chiffres sont à nuancer car les sérums provenaient d'animaux destinés à l'exportation ou d'animaux chez lesquels une piroplasmose clinique était suspectée et le nombre d'échantillons variait selon les départements (Le Métayer, 2007). Dans l'article scientifique de Clémence Nadal qui s'appuie sur les résultats de cette thèse vétérinaire, pour *B. caballi*, la séroprévalence est inférieure à 5% en Bretagne, Normandie et Hauts-de-France. Elle est de plus de 20% dans les régions Auvergne-Rhône-Alpes,

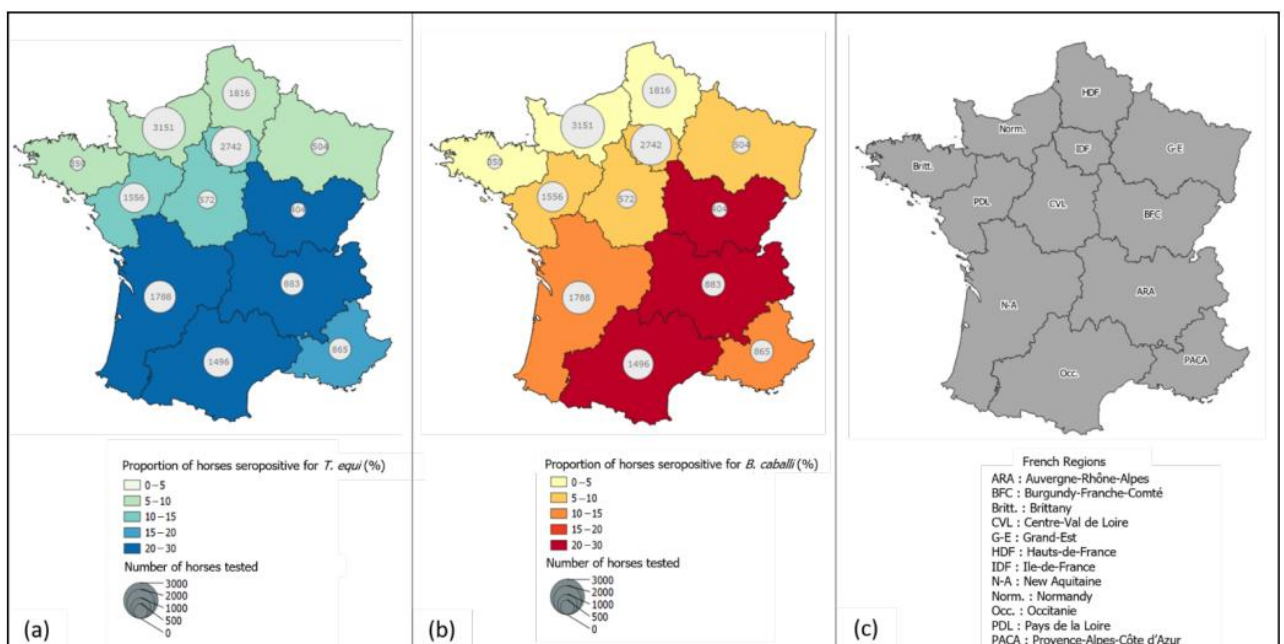
Occitanie, et Bourgogne-Franche-Comté (Figure 34). Pour *T. equi*, la séroprévalence est inférieure à 10% en Bretagne, Normandie, Hauts-de-France et Grand Est. Elle est de plus de 20% dans les régions Auvergne-Rhône-Alpes, Nouvelle-Aquitaine, Occitanie et Bourgogne-Franche-Comté (Figure 32) (Nadal *et al.*, 2022). En France, sur 16127 sérums de 1997 à 2003, 18,5% étaient positifs pour au moins un piroplasme, 13,2% étaient positifs pour *T. equi* et 9,5% étaient positifs pour *B. caballi* et 4,1% des sérums étaient positifs pour les deux parasites. (Nadal *et al.*, 2022).

La séroprévalence chez les chevaux positifs pour les deux parasites parmi les animaux infectés varie de 18,0% en 1997 à 26,0% en 2003. La séroprévalence à *B. caballi* varie de 11,1% en 1997 à 7,5% en 2003. La séroprévalence à *T. equi* varie de 10,7% en 1997 à 15,9% en 2003 (Nadal *et al.*, 2022).

En Camargue, le taux de séroprévalence pour *T. equi* est de 58% et pour *B. caballi* de 12,9%. 8,1% des chevaux sont séropositifs aux deux parasites. 50% sont séropositifs uniquement vis-à-vis de *T. equi* et 4,7% uniquement vis-à-vis de *B. caballi*. La répartition géographique des deux parasites n'était pas significativement différente (Guidi *et al.*, 2014).

Une étude entre 2011 et 2013 sur 173 chevaux montre que 51% des chevaux étaient positifs pour la piroplasmose (PCR positif). Parmi les PCR positif, 81% sont positifs pour *T. equi* et 11% pour *B. caballi* et 8% pour ces deux piroplasmes (Benamou-Smith *et al.*, 2015).

Figure 32 : Répartition géographique de *Babesia caballi* et *Theileria equi* en France (données entre 1997 et 2003) (Nadal *et al.*, 2022)



Deuxième partie : étude expérimentale

1 Contexte et objectifs de l'étude

Les changements socio-économiques et environnementaux actuels sont susceptibles de conduire à une nouvelle répartition des espèces de tiques ainsi qu'à une émergence de nouvelles espèces en France. Ces changements pourraient donc avoir une incidence sur la transmission de tout agent pathogène transmis par les tiques, dont ceux responsables de la piroplasmose équine. Cette maladie représente un important enjeu sanitaire dans la filière équine française étant donné ses répercussions sur la santé animale. L'enjeu est également économique pour l'éleveur qui doit notamment fournir un certificat spécifique pour exporter les chevaux. L'OIE (Organisation Mondiale de la Santé Animale) recommande « un certificat vétérinaire international attestant que les animaux ont été maintenus exempts de tiques, le cas échéant sous la prescription d'un traitement préventif, pendant les 30 jours ayant précédé leur chargement » (OIE, 2011).

L'objectif de ce travail expérimental est d'étudier l'éco-épidémiologie des vecteurs des agents de piroplasmose équine en région Auvergne-Rhône-Alpes.

Cette étude s'est basée sur une enquête de terrain visant à :

- identifier les espèces de tiques observées sur les chevaux,
- évaluer la charge en tiques sur les chevaux,
- décrire les déterminants intrinsèques de variation d'infestation des chevaux par les tiques,
- identifier les espèces de tiques présentes dans les pâtures,
- évaluer la densité de tiques en activité sur les pâtures.

Les données obtenues ont été intégrées à un modèle multivarié pour appréhender certains facteurs de risque d'infestation des chevaux par les tiques. Les variables analysées sont : la charge parasitaire, l'âge, la race, le sexe, l'utilisation des antiparasitaires, la couverture boisée et la présence de cours d'eau dans les pâtures.

Ce travail fait partie d'une étude plus large visant à appréhender les facteurs de risque d'infection des chevaux par la piroplasmose équine (thèse d'Université de Clémence Nadal). La thèse vétérinaire de Claire Delaunay portant sur la prévalence de la piroplasmose équine chez les chevaux de trait en Auvergne-Rhône-Alpes s'intègre également dans la thèse d'Université de Clémence Nadal.

2 Matériels et méthodes

2.1 Critères d'inclusion

2.1.1 Choix des races de chevaux

Le modèle d'étude choisi est le cheval de trait car il est en pâture quasiment toute l'année et est donc très exposé aux tiques. Cette exposition importante aux vecteurs en fait un excellent modèle pour les étudier. Une pratique d'élevage homogène rend possible la comparaison entre des facteurs de risque entre les élevages.

2.1.2 Choix des zones d'étude

La région Auvergne-Rhône-Alpes a été choisie comme zone d'étude car les biotopes y sont variés (Figure 40) et les tiques y sont nombreuses.

Cette région présente également un nombre de chevaux de trait élevés. En effet, elle est la 5ème région française en nombre d'élevages de chevaux de trait. Plus de la moitié des équidés de trait sont immatriculés en Auvergne Rhône-Alpes, Nouvelle Aquitaine et Occitanie en 2019 (IFCE, 2020). La région Auvergne-Rhône Alpes comptabilise 650 éleveurs de chevaux de trait et d'ânes avec 1610 poulinières (IFCE, 2013) (Figures 33 et 34).

Figure 33 : Nombre de chevaux de trait immatriculés en France en 2019 (IFCE, 2020)

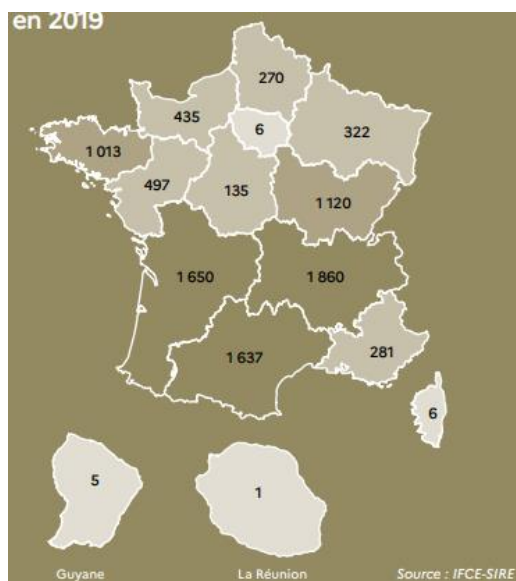
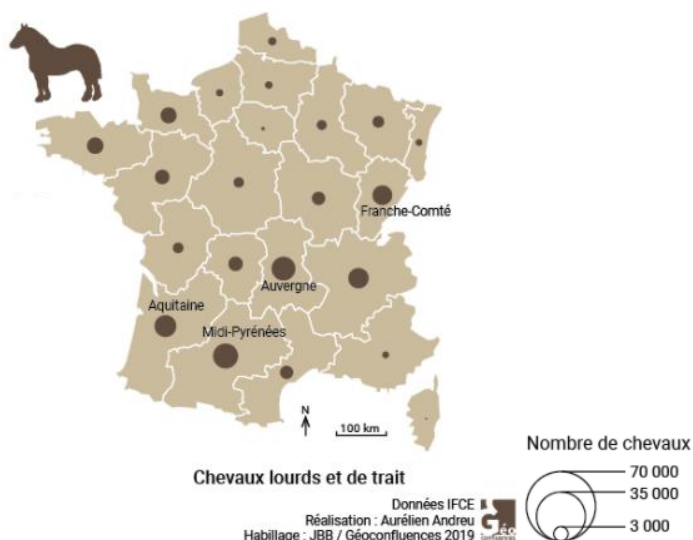


Figure 34 : Distribution spatiale des chevaux lourds et de trait en France (Andreu, 2019)



La région Auvergne-Rhône Alpes comptabilise le plus grand nombre d'étalons actifs en race de trait avec 392 étalons en 2019 (IFCE, 2020).

Cette région compte également plusieurs races de chevaux de trait comme le Trait Breton, le Comtois, l'Ardennais, le Percheron.

Pour le choix des zones au sein de la région nous avons utilisé une carte de répartition des éleveurs de chevaux de trait fournie par la SFET (Société Française des Equidés de Travail) pour déterminer un nombre suffisant de chevaux à étudier dans chaque zone. Cette carte a été croisée avec la carte de répartition des types de végétation (Figure 35) et la carte des reliefs en Auvergne-Rhône-Alpes (Figure 36).

Figure 35 : Carte des types de végétation en Auvergne-Rhône-Alpes (Clémence Nadal)

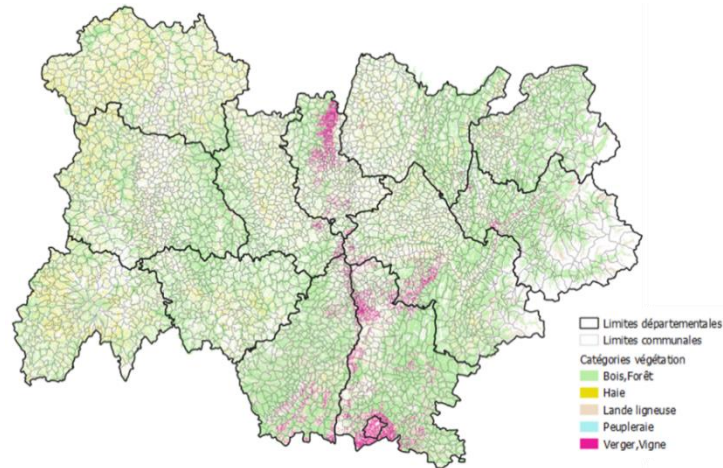
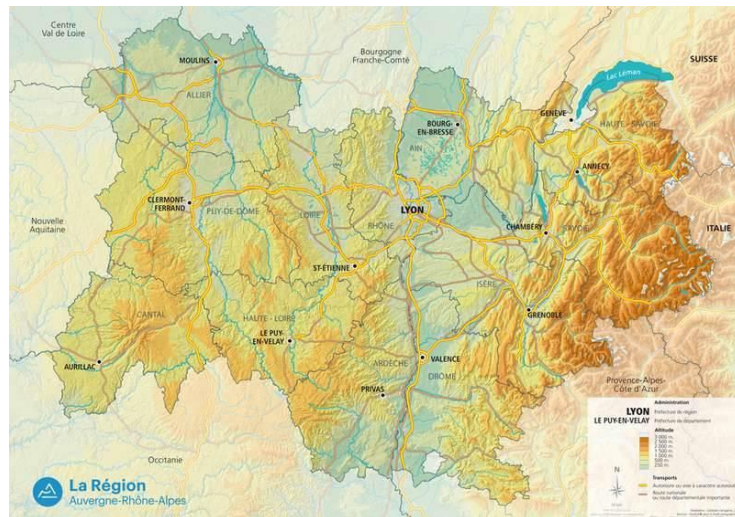


Figure 36 : Carte des altitudes en Auvergne-Rhône-Alpes © Région Auvergne-Rhône-Alpes (Latitude-Cartagène, 2016)



Ainsi pour la thèse d'Université de Clémence Nadal, quatre zones ont été définies pour avoir une zone de haute altitude/basse altitude et zone bocagère/zone boisée. Les quatre zones sont le Cantal nord/ Puy-de-Dôme, le Cantal sud, le Rhône et la Savoie. Pour notre travail de thèse de doctorat vétérinaire, nous limiterons l'étude à deux zones : le Cantal nord/ Puy-de-Dôme et le Cantal sud. La différence majeure entre ces deux zones est l'altitude ; le Cantal sud est de plus basse altitude que le Cantal nord/ Puy-de-Dôme.

Deux zones distinctes ont été sélectionnées dans notre étude afin d'avoir des expositions environnementales variées et de pouvoir comparer les élevages dans la même zone et entre eux les deux zones.

Nous appellerons la zone 1 = Cantal sud et la zone 2 = Cantal nord/Puy-de-Dôme.

2.1.3 Choix des élevages

2.1.3.1 Appels téléphoniques

Les élevages ont été choisis au hasard par tirage au sort dans la liste des élevages de chevaux de trait présents en Auvergne-Rhône-Alpes et fournie par SFET dans les zones définies préalablement. Les élevages sélectionnés ont ensuite été appelés par téléphone dans l'ordre du tirage au sort. Lors de l'appel une présentation de l'étude est effectuée. L'éleveur suivant dans la liste était appelé :

- si l'élevage ne pouvait pas participer à l'étude ;
- au bout de 3 appels restés sans réponse ;
- si le numéro de téléphone était introuvable dans l'annuaire ou non attribué.

2.1.3.2 Prise de rendez-vous

La prise de rendez-vous avec les éleveurs se fait par téléphone une semaine avant la visite selon leur disponibilité.

2.1.4 Choix des chevaux au sein des élevages

Si l'élevage comprend moins de 5 chevaux, tous les chevaux de l'élevage sont inclus. Dans certains élevages cela n'a pas toujours été possible de le faire car certains chevaux se sont révélés être non manipulables. Si l'élevage comprend 5 à 10 chevaux, 5 chevaux participent à l'étude. Si l'élevage comprend plus de 10 chevaux, 7 chevaux sont inclus dans l'étude.

Pour les élevages de plus de 5 chevaux, la sélection des chevaux étudiés n'était pas faite au hasard mais c'est l'éleveur qui choisissait les chevaux les plus dociles de son élevage.

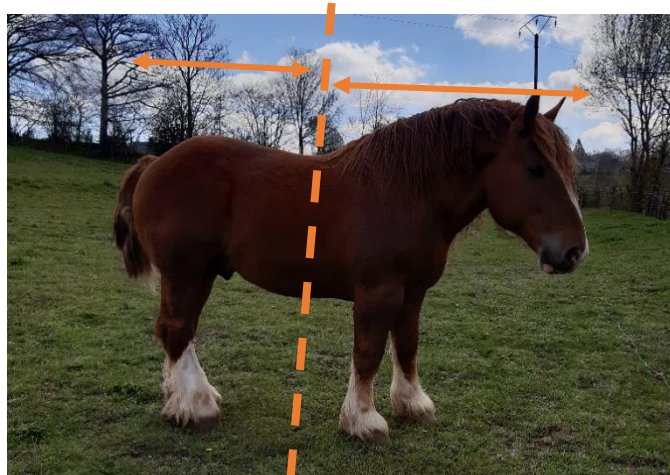
Il n'existe pas d'étude bibliographique en France sur le taux d'infestation des tiques sur les chevaux de trait donc nous n'avons pas pu avoir de référence sur la prévalence.

2.1.5 Choix des zones de collecte des tiques sur les chevaux

Les tiques se fixent habituellement dans les zones où la peau est la plus fine : jugulaire, poitrail, auge, bout de nez, intérieur de la cuisse ou d'un antérieur. Le lieu d'attachement de la tique diffère selon les espèces et le stade.

Dans notre étude, nous avons collecté les tiques présentes sur l'ensemble du cheval. Les tiques obtenues sont séparées dans deux tubes de prélèvement différents selon leur localisation en partie antérieure (tête, poitrail, encolure, crinière, aisselle) ou postérieure (Figure 37). Seul l'intérieur du fourreau n'a pas été collecté du fait de la dangerosité de la manipulation. La localisation des tiques sur l'animal est inscrite sur la feuille « fiche cheval ».

Figure 37 : Zones de collecte sur le cheval



2.1.6 Choix des pâtures

Pour la collecte des tiques, nous avons choisi une, deux et/ou trois pâtures dans chaque élevage selon le critère suivant : les chevaux étudiés devaient être présents dans la pâture au cours des deux derniers mois et depuis au moins une semaine. La limite d'une semaine est choisie car l'incubation des parasites responsables de la piroplasmose équine nécessite environ une semaine. Si le cheval a une PCR positive, l'infection s'est faite par une tique de la pâture. La PCR et la sérologie peuvent être positives même si l'infection s'est faite il y a plus de 2 mois. Une limite de 2 mois est alors fixée pour limiter le champ de l'analyse qui serait trop chronophage.

2.1.7 Choix de la période de l'étude

L'étude de terrain a eu lieu au printemps 2021. Cette période a été choisie car le printemps est une des périodes d'activité maximale des tiques. En France, la période d'activité la plus élevée s'étend en général d'avril à juin en plaine et de mai à juillet en montagne (Chalvet-Monfray, 2020).

Les collectes ont lieu soit le matin soit l'après-midi suivant l'heure de rendez-vous avec l'éleveur.

2.2 Recueil des données

2.2.1 Questionnaire rempli par l'éleveur

Un questionnaire sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait est envoyé par mail à l'éleveur avant la visite via le logiciel Sphinx. Ce logiciel permet de créer des questionnaires pour des enquêtes. Le questionnaire présente des questions à choix multiples, à choix simples et à réponse ouverte courte. Si l'éleveur ne peut remplir le questionnaire sur internet, une version papier lui est remise au début de la visite puis récupérée à la fin de la visite. Si l'éleveur a des questions, le questionnaire est rempli sur place avec lui.

Ce questionnaire est divisé en plusieurs parties. La première partie porte sur les informations générales, la deuxième partie porte sur les pratiques d'élevage, la troisième partie porte sur l'environnement. Il est présenté en annexe 2.

Pour ce travail de thèse de doctorat vétérinaire, seuls les critères suivants ont été retenus :

- A quelle fréquence observez-vous la présence de tiques sur vos chevaux ?
- A quelle(s) période(s) de l'année les observez-vous ?
- Traitez-vous vos chevaux contre les tiques ? Si oui, précisez le produit utilisé et la fréquence à laquelle vous l'appliquez
- Surveillez-vous la présence de tiques sur les chevaux, et les retirez-vous manuellement ?
- A quelle fréquence regardez-vous si vos chevaux ont des tiques ?
- Utilisez-vous un dispositif de type « Tire-tic » pour les retirer ?
- Lorsque vous mettez les chevaux dans une parcelle, à quelle hauteur est l'herbe de la pâture ?
- Avez-vous connaissance du passage de faune sauvage (cerf, chevreuil, sanglier,...) dans les pâtures ? Si oui, quelles espèces avez-vous déjà pu observer ?
- A quelle fréquence pensez-vous que la faune sauvage traverse vos pâtures ?

2.2.2 Relevé des informations

2.2.2.1 Relevé des informations cheval

Pendant la visite de terrain, les informations collectées sur les chevaux de trait prélevés sont :

- N°SIRE
- Date de naissance
- Lieu de naissance
- Race
- Robe
- Sexe
- Si c'est une femelle, la date de la dernière et prochaine mise-bas
- Score corporel
- Localisation des tiques
- Si utilisation d'antiparasitaires internes, la fréquence et la dernière administration
- Si utilisation d'antiparasitaires externes, la fréquence et la dernière administration
- Si utilisation de vaccins, les valences du vaccin et la dernière administration
- Antécédents médicaux
- Historique des pâtures sur les 2 derniers mois

La fiche est présentée en annexe 3.

Chaque fiche correspond à un cheval.

2.2.2.2 Relevé des informations pâtures

Pendant la visite de terrain, les informations collectées pour les pâtures sont :

- Date
- Heure de collecte
- Coordonnées GPS
- Température
- Hygrométrie
- Altitude
- Météo le jour de la collecte

- Surface de la pâture
- Nombre de chevaux pâturant simultanément dans la pâture
- Pâturage mixte et, si oui, alterné ou simultané et quelles sont les autres espèces partageant la pâture
- S'il y a présence de zone boisée dans la pâture et en quelle proportion
- S'il y a présence de buissons ou d'arbustes sur la pâture et en quelle proportion
- Si la pâture est humide au printemps et à l'automne
- Si la pâture est inondable en hiver
- S'il y a la présence d'un plan d'eau ou d'un cours d'eau sur la pâture
- S'il y a présence de végétation sur les clôtures autour des pâtures et si oui, le type de végétation
- S'il y a une proximité directe avec une autre pâture avec des bovins ou ovins
- S'il y a une proximité directe avec un champ agricole et si oui, sa nature
- S'il y a une proximité directe avec la forêt
- S'il y a la présence d'un abri dans la pâture
- S'il y a un passage de faune sauvage dans la pâture et si oui, quelles espèces

La fiche est présentée en annexe 4.

Un plan de la pâture et de ses alentours est réalisé sur place. Ce plan inclut les éléments : haie, arbre, voie ferrée, route, cours d'eau, pâture, culture, habitation, entrée pâture et la direction Nord. Deux exemples de fiches pâtures remplies sont présentées en annexe 5. Des éléments remarquables autres sont aussi retranscrits si besoin sur le schéma par exemple la présence d'un étang ou d'une zone humide. Les transects utilisés lors de la collecte des tiques dans l'environnement sont inscrits sur le schéma. Si la pâture présente un dénivelé important, plusieurs points GPS sont également notés sur le schéma.

Dans un tableau, le nombre de tiques collectées par transect est noté (en différenciant nymphes et adultes lorsqu'il est possible de faire la distinction à ce stade). La distinction entre mâles et femelles a été faite au laboratoire. Les tiques d'une pâture sont réunies dans un même pot de prélèvement. Il est noté la hauteur de l'herbe associée. La hauteur de l'herbe est définie de manière arbitraire par zéro : aucune herbe, rase : <10 cm et haute : >10 cm (Figures 38 et 39).

Figure 38 : Pâturation avec herbe rase



Figure 39 : Pâturation avec herbe haute



Chaque fiche correspond à une pâture.

2.3 Collecte de tiques

2.3.1 Sur les chevaux

Les tiques sont collectées à l'aide d'un « Tire-tic » puis mises dans un tube à prélèvement (Figures 40 et 41).

Figure 40 : Prélèvement d'une tique à l'aide d'un « Tire-tic »



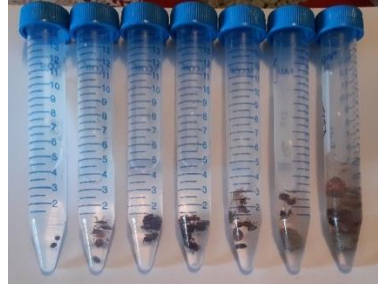
Figure 41 : Tique sur cheval avant prélèvement



Les prélèvements des tiques et du sang sont anonymisés par un code. CA pour le Cantal sud ou PD pour Cantal nord/Puy-de-Dôme, suivi du numéro de l'élevage E x, puis du numéro de la pâture dans laquelle le cheval a été P x, puis le numéro du cheval C x, avec x un nombre entier.

Les tiques sont tuées par de l'alcool à 70° et conservées dans de l'alcool à 70° dans les tubes à prélèvement jusqu'à leur étude en laboratoire (Figure 42).

Figure 42 : Tiques immergées dans l'alcool

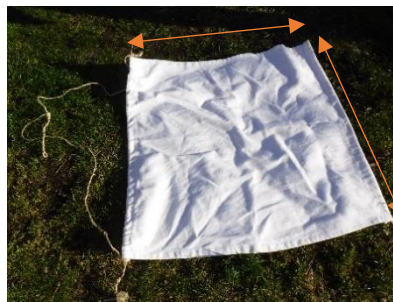


2.3.2 Sur la pâture

Nous avons choisi la technique du drap ou collecte au drap car c'est une méthode fiable, peu onéreuse et simple à mettre en œuvre. C'est une méthode utilisée pour la collecte de tiques sur la végétation.

Il s'agit d'une pièce de tissu blanc (matière : molleton) de 1 m sur 1 m dont deux côtés opposés sont maintenus tendus avec des tiges de bois (Figure 43). Sur un de ces côtés, une ficelle est accrochée de part et d'autre de la tige de bois permettant de maintenir le tissu à plat et facilitant la collecte par l'opérateur qui peut ainsi trainer le drap au sol en marchant.

Figure 43 : Drap (1 m²)



La vitesse de marche de l'opérateur est d'un pas par seconde. Le tissu utilisé dans notre étude est du coton épais car il permet de faciliter l'accrochage des tiques lors du passage du drap.

Chaque transect fait 10 m de long. Pour faciliter sa délimitation, nous avons utilisé une corde de 10 m avec à ses extrémités deux tiges de bois qui étaient plantées dans le sol (Figure 44).

Figure 44 : Vues de deux transects



A la moitié du transect et à la fin du transect, le drap est inspecté à l'œil nu. Les tiques trouvées sont comptées et récupérées dans un pot à prélèvement. Nous avons utilisé un pot de prélèvement par pâture.

On définit le nombre de transects selon la surface de la pâture :

- moins de 4 ha, 4 tirages ;
- de 4 à 12 ha, 6 tirages ;
- plus de 12 ha, 8 tirages.

Lors de chaque passage, nous avons noté la date, l'heure, les conditions météorologiques (ensoleillement, pluie, couvert, éclaircies et/ou venteux), l'état du sol sur la feuille de relevé. Pour cela nous avons utilisé un thermomètre et un hygromètre. Le GPS permet d'obtenir l'altitude ultérieurement grâce au point GPS enregistré.

Nous avons sélectionné uniquement les bordures de pâturage pour l'échantillonnage des tiques. Pour chaque transect, nous avons choisi de tirer le drap au milieu des bordures de la pâture.

Le protocole implique un seul passage du drap lors des collectes.

Cette méthode permet de détecter uniquement les tiques à l'affût.

2.4 Identification des tiques collectées

2.4.1 Identification morphologique

L'identification des tiques est obtenue sous loupe binoculaire aux grossissements x10, x20 et x30 selon les caractéristiques morphologiques décrites dans la première partie de la thèse. Le stade et le sexe sont également notés. Les clefs d'identification des tiques utilisées sont celles de Pérez-Eid (2007) et de Estrada-Peña (2018).

2.4.2 Confirmation par PCR (Polymerase Chain Reaction)

La confirmation de l'espèce obtenue à la loupe binoculaire est réalisée, grâce à la biologie moléculaire, en 2 étapes :

1. Extraction de l'ADN de la tique
2. Réalisation d'une RT-PCR ciblant un gène spécifique de tique pour valider l'extraction d'ADN (vérifier la présence de l'ADN de la tique dans le tube) et confirmer l'identification de l'espèce obtenue à la loupe binoculaire. Le protocole de ces deux étapes est détaillé en annexe 6.

2.5 Analyse statistique

Dans la suite de la thèse, pour simplifier les notations : l'antiparasitaire est considéré comme externe lorsqu'il est appliqué en spot-on ; l'antiparasitaire est appelé interne lorsqu'il est administré par voie orale.

L'objectif de l'analyse statistique consiste à identifier les variables (individuelles, liées aux pratiques d'élevage et environnementales) associées à l'infestation des chevaux par les tiques. L'analyse a été conduite en considérant comme variable explicative le nombre de tiques par cheval, sans distinction de l'espèce de tique ni de son stade. L'unité épidémiologique considérée est le cheval.

Les variables considérées dans l'analyse sont :

- l'âge, l'étude de la littérature a soulevé que les chevaux âgés de 4 à 6 ans seraient plus infestés que les chevaux de 1 à 3 ans ;
- la race, notre hypothèse étant qu'une race peut être plus infestée, l'étude de la littérature a montré que chez les bovins certaines races étaient plus infestées ;
- le sexe, l'étude de la littérature a soulevé que les mâles seraient plus infestés que les femelles ;
- la robe, notre hypothèse étant que les tiques sur les robes claires sont trouvées plus facilement ;
- la présence de tiques dans la pâture, notre hypothèse étant que s'il y a des tiques dans la pâture les chevaux seront infestés ;
- l'utilisation d'antiparasitaire externe, notre hypothèse étant que si les éleveurs utilisent des antiparasitaires externes les chevaux sont plus infestés ;
- l'utilisation d'ivermectine, notre hypothèse étant que les chevaux traités à l'ivermectine sont moins infestés ;
- l'utilisation de moxidectine, notre hypothèse étant que les chevaux traités à la moxidectine sont moins infestés ;
- la vaccination contre la grippe, notre hypothèse étant que les éleveurs pratiquant la vaccination s'occupent plus régulièrement de leurs chevaux ;
- la présence de zone boisée dans la pâture, notre hypothèse dépend de l'espèce de tique retrouvée ;
- la présence de cours d'eau dans la pâture, l'étude de la littérature a montré que les chevaux dans des endroits boueux sont plus infestés que les chevaux dans des logements bétonnés (Ali *et al.*, 2021).

Etant donné que l'échantillonnage des chevaux est effectué en fonction de la zone d'étude, nous avons aussi pris cette variable dans l'analyse afin de contrôler cet effet lié à l'échantillonnage.

Une fois la base de données finalisée, la seule variable explicative quantitative a été transformée en facteur (âge avec 3 classes d'âge : ≤ 2 , 2-10, > 10). De plus, la variable robe a été regroupée en deux classes : foncée (alezan brûlé et bai) et claire (alezan et rouan). En premier lieu, une analyse descriptive des données a été réalisée afin d'illustrer la relation entre l'infestation des chevaux par les tiques et les variables d'intérêt. Ensuite, un modèle linéaire généralisé (McCullagh et Nelder, 1989) avec une distribution binomiale négative (lien log) a été utilisé. Ce modèle est adapté pour expliquer une variable de comptage pour lequel une surdispersion est observée (ce qui est le cas pour des données de comptage de nombre de tiques). Les variables explicatives dont l'intervalle de confiance à 95% des odds-ratio estimés sont conservées et considérées comme étant significativement associées à la variable à expliquer Y. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (version 4.1.2).

2.5.1 Population cible

L'étude est observationnelle car les chevaux recrutés dans l'étude sont exposés à des expositions ou ne le sont pas, mais sans qu'il n'y ait eu aucune intervention de notre part.

L'étude est transversale car les chevaux sont recrutés dans chaque élevage au moment où nous sommes venues. La population cible est les chevaux de trait dans la région Auvergne-Rhône-Alpes. La « maladie » est la charge en tiques par cheval. Les expositions d'intérêt sont l'âge, la race, le sexe, la robe, la présence ou absence de tiques dans la pâture, l'antiparasitaire externe, l'antiparasitaire interne ivermectine ou moxidectine, le vaccin mis à jour, la présence ou absence de zone boisée dans la pâture, la présence et l'absence de cours d'eau dans la pâture et la zone.

Pour le modèle, le cheval gris de race Percheron a été enlevé car il est le seul représentant de sa race et de sa robe.

2.5.2 Choix du modèle

La « maladie » étant quantitative, nous avons choisi de prendre un modèle de régression linéaire.

$F(M) = a + b_1E_1 + b_2E_2 + b_3E_3 + \dots + b_{10}E_{10}$ M est la maladie (le nombre de tique par cheval), E_1 à E_{10} sont les expositions d'intérêts avec N étant un nombre entier de 1 à 10, a est l'ordonnée du point d'intersection de la droite avec l'axe des ordonnées et b est le coefficient de la pente de cette droite.

La variable nombre de tiques étant une variable de comptage et les tiques s'agrégeant dans l'environnement, nous avons choisi de prendre le modèle linéaire généralisé binomial négatif.

2.5.3 Modèle multivarié : binomial négatif

2.5.3.1 Description

Le modèle binomial négatif est un modèle linéaire généralisé (McCullagh et Nelder, 1989) avec une distribution binomiale négative (lien log). Il est adapté lorsqu'une surdispersion est observée ce qui est le cas des tiques.

Les variables utilisées dans ce modèle sont : l'âge, la race, la robe, l'antiparasitaire externe, l'antiparasitaire interne ivermectine ou moxidectine, la présence ou absence de tiques dans la pâture, la présence ou absence de zone boisée dans la pâture et la présence ou l'absence de cours d'eau dans la pâture et la zone. L'exposition vaccination contre la grippe a été enlevée pour le modèle multivarié car il n'a pas été prouvé que la vaccination était associée à l'infestation par les tiques et que les éleveurs s'occupent d'eux plus régulièrement. En effet, les chevaux même non vaccinés reçoivent un antiparasitaire interne signe de soins réguliers. De plus, le statut vacciné était manquant pour certains chevaux. L'exposition sexe du cheval a été enlevée pour le modèle multivarié car le nombre de chevaux mâles est faible.

Nous avons 10 expositions et 78 chevaux dans le modèle multivarié.

2.5.3.2 Qualité du modèle binomial négatif

Pour vérifier la qualité du modèle, nous avons vérifié les trois points suivants :

- le paramètre de surdispersion k . Il est obligatoire de prendre en compte ce paramètre car les tiques ne sont pas réparties uniformément sur le cheval mais sont regroupées. Il est considéré que, s'il est supérieur à 1, le modèle n'a pas été capable de prendre en compte la surdispersion. S'il est inférieur à 1, le modèle a été capable de prendre en compte la surdispersion. Plus il s'éloigne de 1, moins le modèle a été capable de prendre en compte la surdispersion ;
- l'adéquation aux données non visuelles. La différence entre les variables estimées et observées doit être non significative ;
- la bonne adéquation aux données de façon visuelle via un rootogram. Il s'agit d'un graphique représentant le nombre de chevaux en fonction du nombre de tiques. Il permet de comparer graphiquement la fréquence du nombre de chevaux selon le nombre de tiques obtenues sur le terrain avec celle ajustée à partir du modèle binomial négatif.

3 Résultats

3.1 Etude descriptive

Pour la sélection des élevages, j'ai appelé :

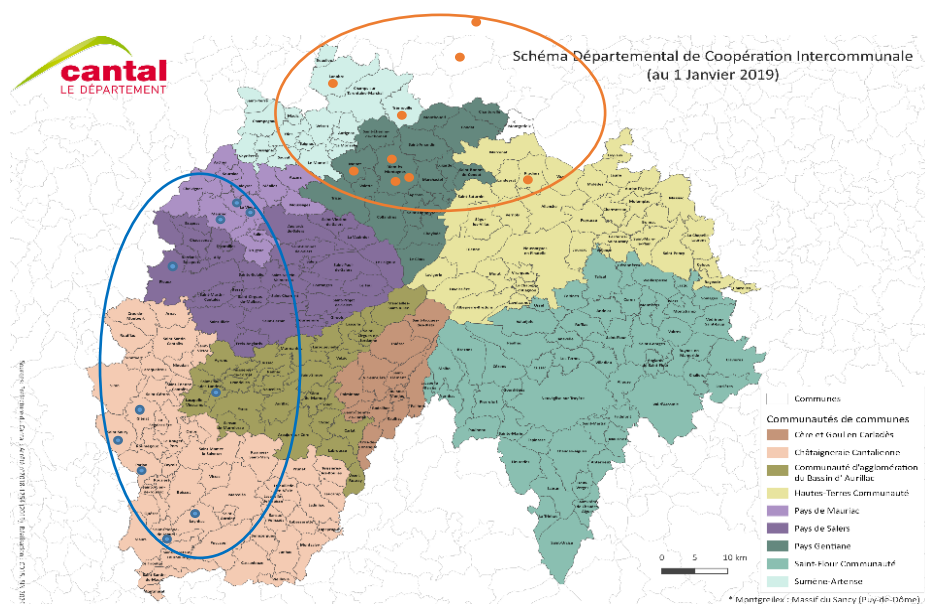
- 74 élevages pour la zone Rhône pour 14 participants potentiels ;
- 19 élevages pour la zone Cantal sud (zone 1) pour 6 participants potentiels ;
- 26 élevages pour la zone Cantal nord/ Puy-de-Dôme (zone 2) pour 6 participants potentiels.

Au total des appels réalisés par Claire Delaunay et des miens pour la zone 1 : 39 appels pour 12 participants potentiels soit un pourcentage de refus de 70% et pour la zone 2 : 61 appels pour 10 participants potentiels soit un pourcentage de refus de 83,6%.

Dans la zone 1, deux éleveurs n'ont pas répondu aux appels téléphoniques.

Au total, 20 élevages ont été inclus dans notre étude, pour un total de 79 chevaux prélevés. Parmi ces 20 élevages, 10 font partie de la zone 1 et 10 font partie de la zone 2 (Figure 45). Parmi ces 79 chevaux, 35 font partie de la zone 1, 44 font partie de la zone 2.

**Figure 45 : Répartition géographique des éleveurs (zone 1: en bleu, zone 2: en rouge)
(Conseil départemental du Cantal, 2019)**

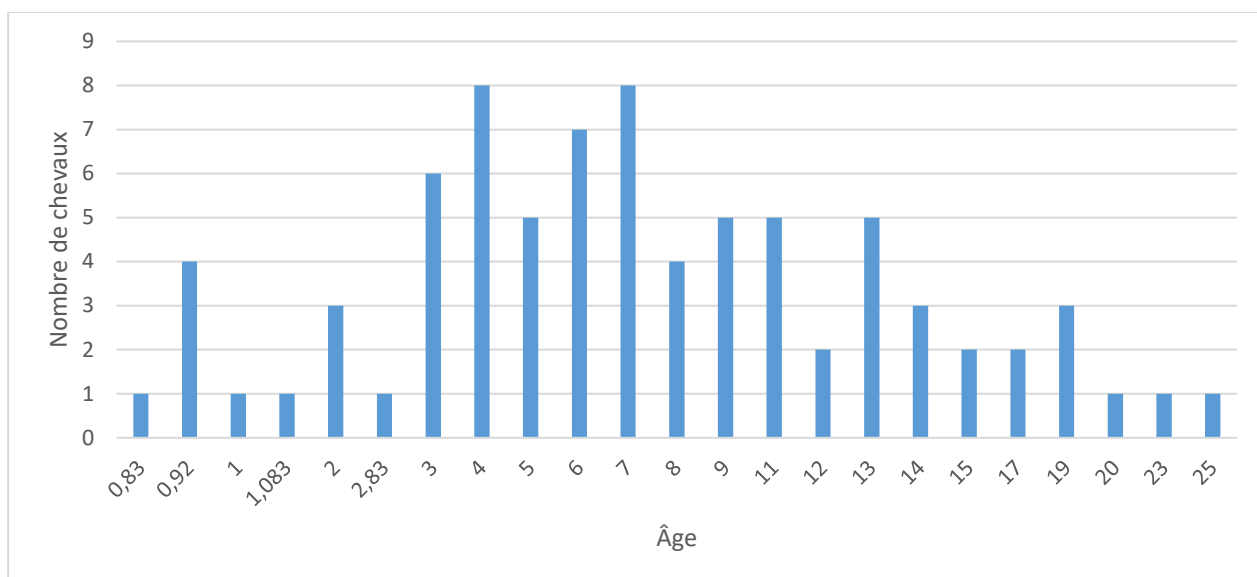


La période d'étude en zone 1 s'étend du 12 au 20 avril 2021 et en zone 2 du 16 au 26 avril 2021. L'altitude moyenne en zone 1 est de 618 m et en zone 2 de 989 m.

3.1.1 Caractéristique des chevaux de l'étude

L'étude porte sur 79 chevaux de trait répartis dans 20 élevages. Les élevages sont composés de 1 à 7 chevaux. Le nombre de mâle est de 4 dont 2 en zone 1 et 2 en zone 2. Le nombre de femelle s'élève à 75 chevaux dont 33 dans la zone 1 et 42 dans la zone 2.






Figure 46 : Répartition de l'âge des chevaux de l'étude



L'âge des chevaux est compris entre 10 mois et 25 ans (Figure 46).

Les races de chevaux sont le Trait Breton (41,8%), le Comtois (32,9%), l'Ardennais (16,5%), les Croisés (7,6%) et le Percheron (1,3%). Dans la zone 1, la race Trait Breton est la plus représentée (77,1%). Dans la zone 2, la race Comtois est la plus représentée (54,5%). Le nombre de chevaux de race Ardennais est quasiment équivalent entre la zone 1 et la zone 2.

Figure 47 : Couleurs de robe des chevaux

	Gris
	Bai
	Alezan brûlé
	Rouan
	Alezan

Les robes de chevaux sont alezan (57%), bai (16,5%), alezan brûlé (13,9%), rouan (11,4%) et gris (1,3%). Dans les zones 1 et 2, la robe la plus représentée est l'alezan (Figure 47).

3.1.2 Caractéristiques des pâtures de l'étude

Au total, il y a 37 pâtures dont 19 pâtures dans la zone 1 et 18 pâtures dans la zone 2. La surface des pâtures est comprise entre 0,25 et 15 ha.

La température était comprise entre 5 et 25°C. L'hygrométrie était comprise entre 26 et 67%. Pour 40,5% des pâtures il n'y a pas de zones boisées ; 43,2% des pâtures ont entre 1 et 25% de zones boisées ; 10,8% des pâtures ont entre 25 et 50% de zones boisées et 5,4% ont entre 50 et 75% de zones boisées. 43,2% des pâtures possèdent un cours d'eau.

3.1.3 Caractéristiques des tiques et répartition des tiques

La biologie moléculaire a permis de confirmer les espèces identifiées sous loupe binoculaire.

3.1.3.1 Sur les chevaux

3.1.3.1.1 Identification des espèces de tiques collectées

Au total nous avons collecté **44 tiques** dans le Cantal sud (zone 1) dont 41 tiques analysées au laboratoire et **144 tiques** dont 129 dans le Cantal nord/Puy-de-Dôme (zone 2) ont été étudiées au laboratoire. Le nombre de tiques collectées n'est pas égal au nombre de tiques analysées car certaines tiques sont tombées au sol lors de leur manipulation. L'étude comprend 79 chevaux et 20 élevages.

Nous avons identifié sur les chevaux trois espèces de tiques lors de l'étude de terrain : ***I. ricinus***, ***D. reticulatus*** et ***D. marginatus***.

- Proportion des espèces de tique dans chaque zone

Dans la zone 1, *I. ricinus* est l'espèce de tique la plus fréquente (63,4%), puis *D. reticulatus* (19,5%) et *D. marginatus* (17%). Dans la zone 2, *D. reticulatus* est l'espèce de tique la plus fréquente (72,1%), puis *I. ricinus* (24,8%) et *D. marginatus* (1,6%).

- Répartition des nymphes et adultes

Nous n'avons pas retrouvé de nymphes de *D. marginatus* ni de *D. reticulatus*. Il y a 20 nymphes et 6 adultes d'*I. ricinus* en zone 1. Il y a 17 nymphes et 14 adultes d'*I. ricinus* en zone 2.

Aucune larve n'a été collectée sur les chevaux.

- Répartition du sexe des tiques

Dans la zone 1, 62% des tiques adultes sont des femelles et 38% des tiques adultes sont des mâles. Dans la zone 1, 57,1% des tiques adultes *D. marginatus* sont des mâles ; 50% des tiques adultes *D. reticulatus* sont des mâles. Les sexes des tiques de *D. marginatus* et *D. reticulatus* sont quasiment en proportion égale. Dans la zone 1, nous avons collecté que des femelles d'*I. ricinus*.

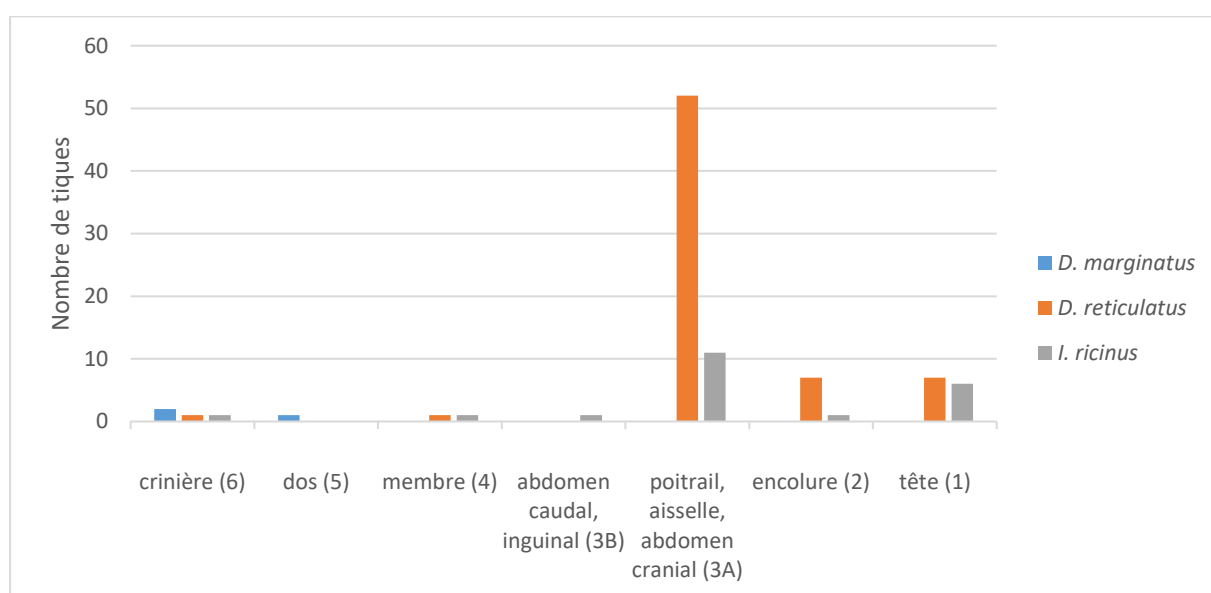
Dans la zone 2, 52% des tiques adultes sont des femelles et 48% des tiques adultes sont des mâles. Dans la zone 2, 100% des tiques adultes *D. marginatus* sont des mâles ; 53% des tiques adultes *D. reticulatus* sont des mâles et 6,6% des tiques adultes *I. ricinus* sont des mâles. Il y a quasiment autant de femelle que de mâles pour l'espèce *D. reticulatus*.

3.1.3.1.2 Répartition des tiques fixées sur les chevaux

- Localisation

Nous avons noté la zone de localisation des tiques sur les chevaux et leur nombre pour chaque localisation. Pour les chevaux qui n'avaient qu'une tique ou une espèce de tique, il a été possible de réaliser la figure 34. Il y a au total 92 tiques utilisées pour réaliser la figure 54.

Figure 48 : Localisation des trois espèces de tique sur les chevaux



La tique *D. marginatus* est retrouvée dans la crinière et sur le dos alors que *I. ricinus* est retrouvée partout sauf sur le dos et l'abdomen caudal et inguinal. La tique *D. reticulatus* est présente sur l'ensemble du cheval sauf sur le dos. 68,5% des tiques sont localisées sur le poitrail, les aisselles et l'abdomen crânial (Figure 48).

3.1.3.1.3 Répartition des espèces et du stade des tiques en fonction de l'âge, de la race, de la robe et de la couleur des crins

- Age

La tique *D. marginatus* est observée sur des chevaux âgés de 11 mois à 11 ans ; *D. reticulatus* est observée sur des chevaux âgés de 11 mois à 19 ans ; *I. ricinus* est observée sur des chevaux âgés pour les nymphes de 10 mois à 23 ans et pour les adultes de 5 à 13 ans.

Tableau 1 : Répartition (nombre de tiques) des espèces, stade et sexe en fonction de la race et de la robe

VARIABLES	<i>Dermacentor marginatus</i>		<i>Dermacentor reticulatus</i>		<i>Ixodes ricinus</i>		Nymphes
	Adultes		Adultes		Adultes		
	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	
Race							
Ardennais			2	6			
Comtois	1		35	6	1	13	7
Croisé Trait Breton	1		2	9			
Comtois croisé Trait Breton	2		12	22			
Trait Breton	2	3	4	5		7	30
Robe							
Alezan	5	3	40	20	1	11	31
Alezan brûlé	1		7	14		2	5
Bai			6	8		5	1
Rouan			2	6		2	

- Race

La tique *D. reticulatus* est présente chez toutes les races ; *D. marginatus* est présente chez toutes les races sauf sur les Ardennais de l'étude. Les nymphes et les adultes d'*I. ricinus* sont présentes sur les Comtois et les Traits Breton (Tableau 1).

- Robe

La tique *D. marginatus* est observée sur les chevaux alezans ; *D. reticulatus* et *I. ricinus* sont observées sur toutes les robes de chevaux de l'étude. Les nymphes d'*I. ricinus* ne sont pas observées sur la robe Rouan. Le cheval gris n'avait pas de tiques (Tableau 1).

Nous avons aussi calculé le nombre moyen de tiques par cheval en fonction de la couleur des crins. Il s'élève à $2,5 \pm 4$ pour les crins clairs et $2,12 \pm 4$ pour les crins foncés.

3.1.3.2 Sur les pâtures

Nous n'avons pas pu effectuer les tirages de manière proportionnelle à la surface de la pâture. Parfois la surface prélevée représente au maximum 26% et au minimum 0,05% de la pâture. La plus grande pâture prélevée avait une surface de 15 ha soit avec 8 transects nous avons collecté 0,053% de la pâture. Pour les pâtures de grande surface (supérieure à 12 ha), nous avons réalisé un maximum de 8 transects car le travail était trop chronophage au-delà.

3.1.3.2.1 Identification des espèces de tiques collectées

Les espèces de tiques retrouvées dans les pâtures sont : *I. ricinus*, *D. reticulatus* et *D. marginatus*.

Au total, nous avons collecté 43 tiques sur 37 pâtures. Dans la zone 1, nous avons collecté 9 tiques dont 3 femelles et 6 mâles et dans la zone 2, 34 tiques dont 24 nymphes, 5 femelles et 5 mâles. Nous avons collecté les tiques dans 19 pâtures dans la zone 1 et dans 18 pâtures dans la zone 2.

Au total, *I. ricinus* représente 74% des tiques collectées sur les pâtures. *D. reticulatus* représente 23% des tiques collectées. *D. marginatus* représente 2% des tiques collectées.

Dans la zone 1, *D. reticulatus* représente 89% (8 tiques) des tiques collectées sur les pâtures et *D. marginatus* représente 11% des tiques collectées sur les pâtures. Nous n'avons pas collecté d'*I. ricinus*.

Dans la zone 2, *I. ricinus* représente 94% des tiques collectées sur les pâtures et *D. reticulatus* représente 6% des tiques. Nous n'avons pas collecté de *D. marginatus*.

Nous avons collecté des nymphes (*I. ricinus*) uniquement dans la zone 2.

3.1.3.2.2 *Densité et répartition des tiques selon la température, l'hygrométrie, les zones boisées, la hauteur de l'herbe et l'humidité du sol*

La moyenne de densité de tiques sur la totalité des tiques dans la pâture est de $0,024 \pm 0,075$ tique/m². Dans la zone 1, la moyenne de densité de tiques sur la totalité des tiques dans la pâture est de $0,0083 \pm 0,02$ tique/m². Dans la zone 2, la moyenne de densité de tiques sur la totalité des tiques dans la pâture est de $0,041 \pm 0,1$ tique/m².

La densité de tiques est plus grande dans la zone 2 que dans la zone 1.

Tableau 2 : Répartition (nombre de tiques) des espèces, stade et sexe des tiques collectées en fonction de la température, l'hygrométrie, la zone boisée, la hauteur de l'herbe (sans distinction sexe) et l'humidité du sol (sans distinction sexe)

VARIABLES	<i>Dermacentor marginatus</i>		<i>Dermacentor reticulatus</i>		<i>Ixodes ricinus</i>		Nymphes
	Adultes		Adultes		Adultes		
	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	
Température							
13			2	1			
14					4	4	22
15			3	1			
20	1			1			1
23			1	1			1
Hygrométrie							
28%			1	1			1
30%			3	1			1
35%	1			1			
37%			2	1			
38%					4	4	9
49%							13
Zone boisée							
0%	1		2	2			
<25%			4	2	4	4	10
25-50%							14
Hauteur herbe							
<10 cm	1		2				4
>10 cm			8		7		21
Humidité sol							
Humide			5		2		14
Sec	1		5		5		11

Les tiques ont été pour la plupart (69,8%) retrouvées dans les pâtures lorsque la température était de 14°C. Les tiques sont retrouvées entre 13°C et 23°C. La tique *I. ricinus* est présente de 14°C à 23°C, *D. reticulatus* de 13°C à 23°C et *D. marginatus* à 20°C. L'effectif est réduit et la température n'a été relevée que le jour de la collecte.

Les tiques sont retrouvées entre 28% et 49% d'hygrométrie. La tique *I. ricinus* est présente de 28% à 49% d'hygrométrie, *D. reticulatus* de 28% à 37% et *D. marginatus* à 35%. Les tiques sont pour la plupart (69,8%) collectées pour des valeurs d'hygrométrie au-dessus de 38%.

Nous avons collecté 24 tiques dans les pâtures avec un cours d'eau contre 19 tiques dans les pâtures sans cours d'eau.

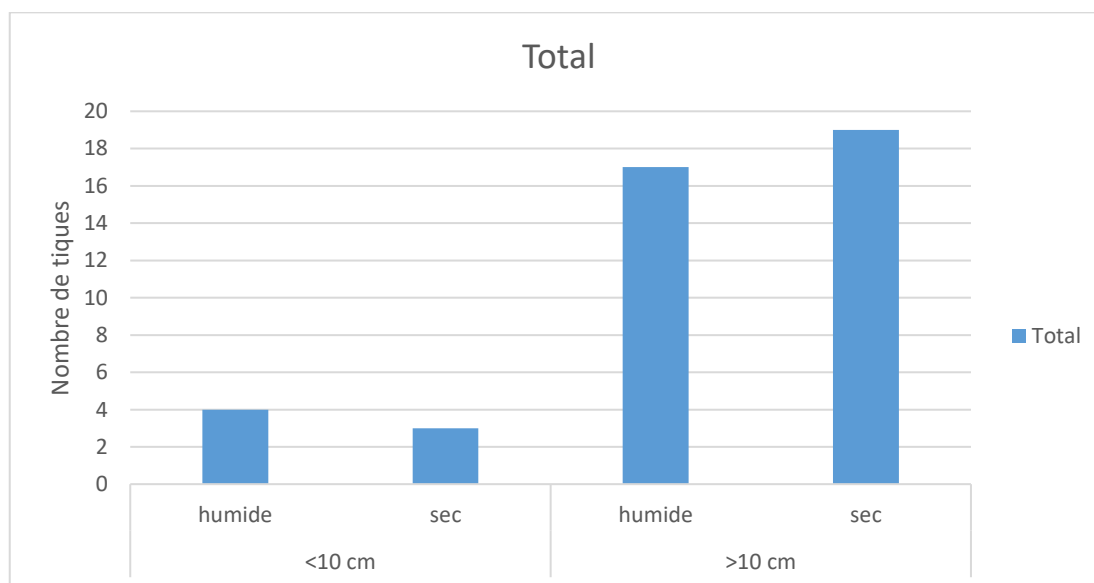
Nous avons collecté 38 tiques dans les pâtures avec une zone boisée contre 5 tiques dans les pâtures sans zone boisée.

Il y a 15 pâtures sans zone boisée associée, 16 pâtures avec moins de 25% de zone boisée, 4 avec 25 à 50% de zone boisée, 2 avec 50 à 75% de zone boisée et 0 pâture à plus de 75% de zone boisée. On observe un nombre plus faible de tiques dans les pâtures sans zone boisée au sein des pâtures échantillonnées (Tableau 2).

Les moyennes du nombre de tiques sont de $0,33 \pm 0,9$ sans zone boisée associée, $1,5 \pm 4,27$ avec moins de 25% de zone boisée, $3,5 \pm 4,51$ avec 25 à 50% de zone boisée et 0 avec 50 à 75% de zone boisée. Les moyennes du nombre de tiques ne sont pas significativement différentes entre les différentes proportions de zone boisée (Tableau 4). La médiane est de 0 sans zone boisée, 0 avec moins de 25% de zone boisée, 2 avec 25 à 50% de zone boisée et 0 avec 50 à 75% de zone boisée.

Les nymphes d'*I. ricinus* sont présentes quand il y a une zone boisée dans la pâture (Tableau 2).

Figure 49 : Nombre de tiques en fonction de la hauteur de l'herbe et de l'humidité du sol



On observe un nombre plus élevé de tiques lorsque l'herbe est haute de plus de 10 cm au sein des pâtures échantillonnées. Lorsque la hauteur de l'herbe est inférieure à 10 cm, le nombre de tiques est plus élevé sur un sol humide que sur un sol sec au sein des pâtures échantillonnées. Lorsque la hauteur de l'herbe est supérieure à 10 cm, le nombre de tiques est plus élevé sur sol sec que sur sol humide au sein des pâtures échantillonnées (Figure 49).

La tique *D. marginatus* est retrouvée uniquement sur l'herbe de moins de 10 cm de hauteur. Les deux autres espèces de tiques sont présentes quelle que soit la hauteur de l'herbe.

La tique *D. marginatus* est retrouvée uniquement sur sol sec. Les deux autres espèces de tiques sont présentes quelle que soit l'humidité du sol.

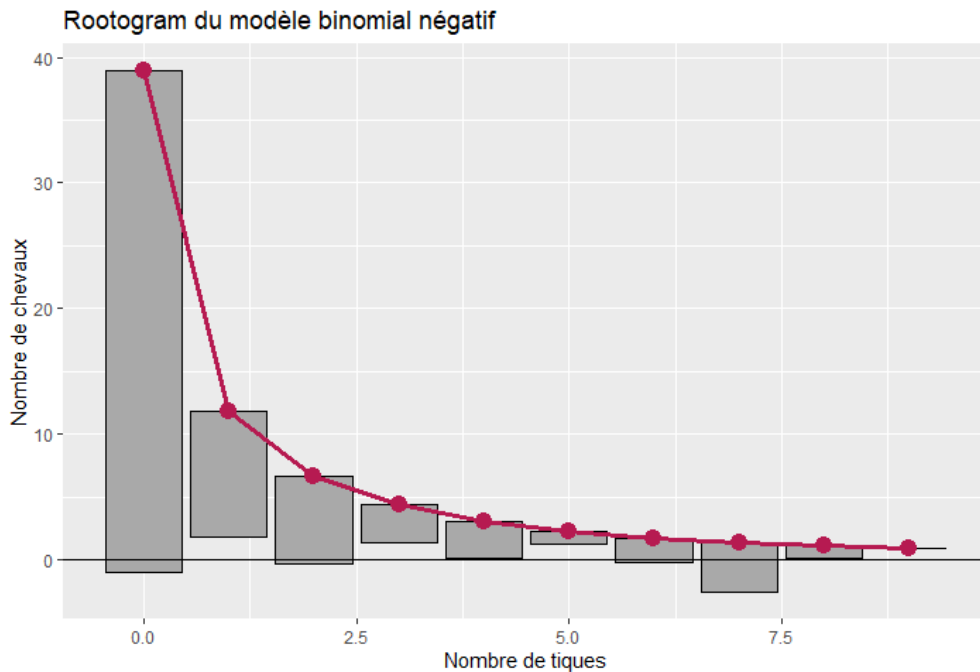
3.2 Analyse statistique

Les données ont été représentées sous forme de box plot. Cette fonction permet d'obtenir la médiane des réponses (Q2), les valeurs encadrants la moitié des réponses fournies (Q1 et Q3), ainsi que les valeurs encadrants la très grande majorité des réponses ($Q1 - 1,5 \times (Q3 - Q1)$ et $Q3 + 1,5 \times (Q3 - Q1)$).

3.2.1 Vérification de la qualité du modèle binomial négatif

Dans notre cas, le paramètre de surdispersion des données est égal à 1,07, ce qui est correct. La différence entre les variables estimées et observées est non significative car p est égal à 0,33. Le modèle est en bonne adéquation avec les données. Le rootogram est très satisfaisant car en adéquation avec la courbe des données estimées (Figure 50).

Figure 50 : Rootogram modèle binomial négatif 2

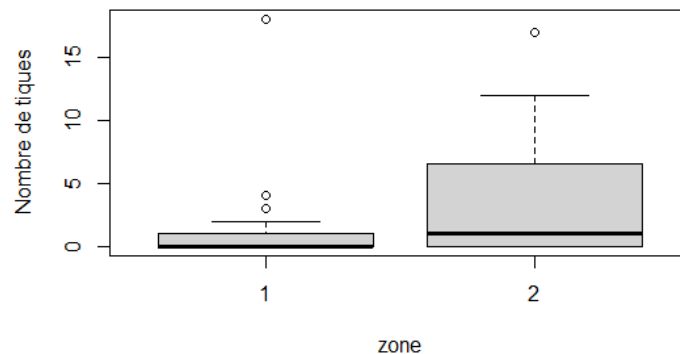


3.2.2 Taux d'infestation

Pour l'analyse descriptive, le cheval gris de race Percheron a été enlevé car il est le seul représentant de sa race et de sa robe.

48% des chevaux de l'étude sont infestés par des tiques.

Figure 51 : Nombre de tiques par cheval dans les zones 1 et 2



Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux ont entre 0 et 2 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0. Trois valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux ont entre 0 et 12 (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 6,5 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 1. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value) : 14 tiques (Figure 51).

Pour les deux zones confondues, la moitié des chevaux ont entre 0 et 3 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 0.

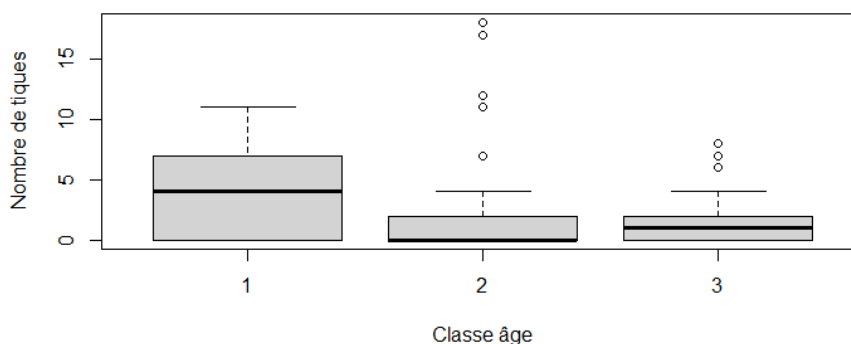
Dans la zone 1, le nombre moyen de tiques par cheval est de 1,3. Dans la zone 2, le nombre moyen de tiques par cheval est de 3,27. Pour les deux zones confondues, le nombre moyen de tiques par cheval est de 2,4.

3.2.3 Caractéristiques individuelles

3.2.3.1 Âge

Pour l'étude statistique, nous avons choisi les classes d'âge suivantes : ≤ 2 ans, entre 2 et 10 ans et > 10 ans. Nous avons choisi ces classes d'âge car le cheval de trait de moins de 2 ans est considéré comme un poulain. En prenant ces classes d'âges, la répartition du nombre des chevaux est homogène entre les classes.

Figure 52 : Taux d'infestation par cheval par classe d'âge dans les deux zones



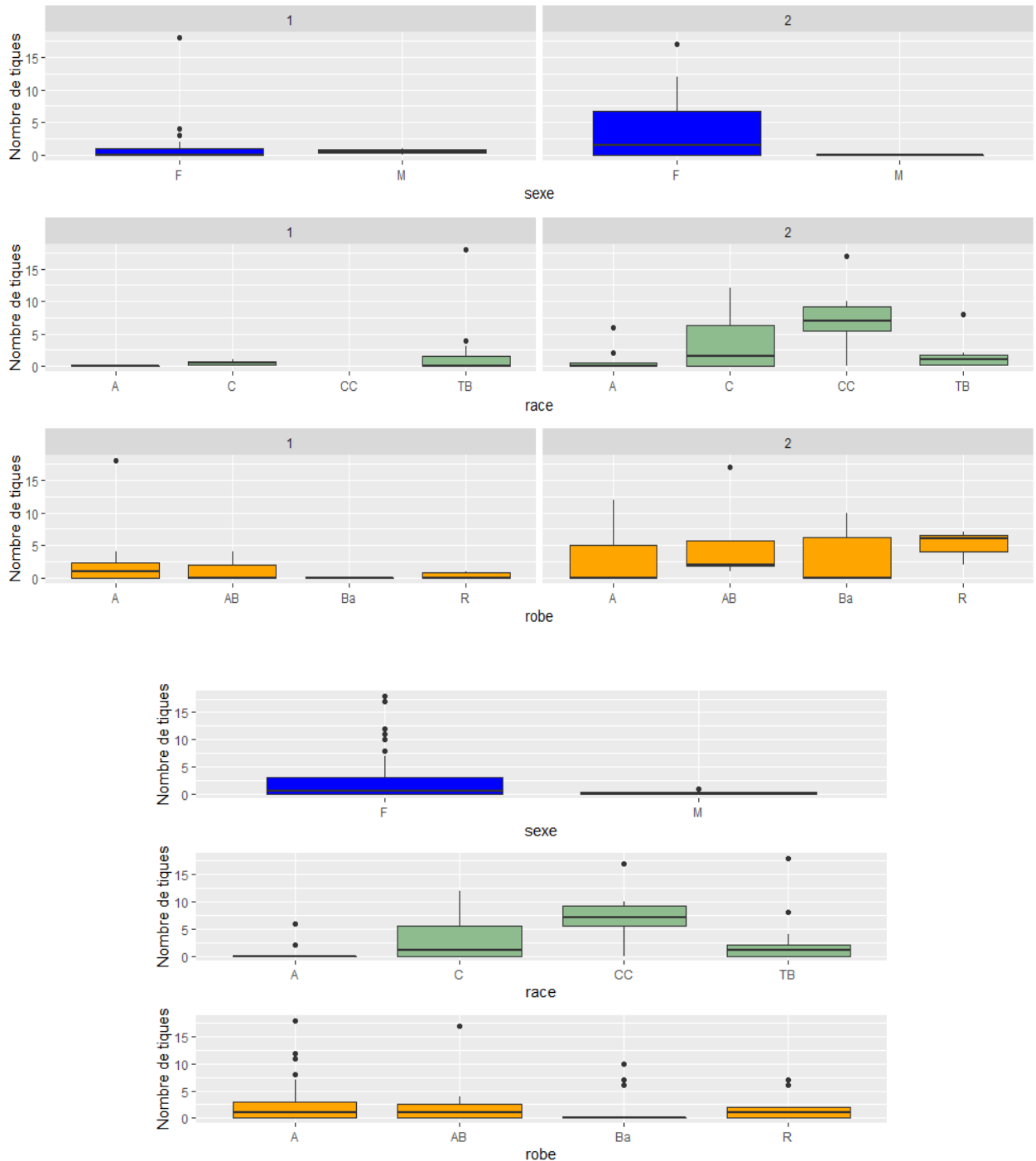
Pour les chevaux de moins de 2 ans, la très grande majorité des chevaux ont entre 0 et 11 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 7 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 4.

Pour les chevaux de 2 à 10 ans, la très grande majorité des chevaux ont entre 0 et 4 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 2 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 0. Cinq valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Pour les chevaux de plus de 10 ans, la très grande majorité des chevaux ont entre 0 et 4 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 2 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 1. Trois valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value) (Figure 52).

Le nombre de tiques moyen est de 4,7 pour les chevaux dont l'âge est inférieur ou égal à 2 ans. Le nombre de tiques moyen est de 2,3 pour les chevaux entre 2 et 10 ans. Le nombre de tiques moyen est de 1,8 pour les chevaux de plus de 10 ans. Dans notre échantillon, les chevaux de moins de 2 ans ont tendance à être plus infestés par les tiques (Annexe 7).

Figure 53 : Nombre de tiques par cheval selon le sexe (m : mâle, F : femelle), la race (C : Comtois, CC : croisés, A : Ardennais, TB : Trait breton,) et la robe (A : alezan, AB : alezan brulé, Ba : Bai, BI : Gris, R : Rouan) dans la zone 1 et la zone 2 et dans les deux zones confondues



3.2.3.2 Sexe des chevaux

Dans notre échantillon, les femelles semblent plus infestées que les étalons dans la zone 2. Ce résultat est à relativiser car le nombre d'étalons dans cette étude était faible, 4 étalons contre 75 juments.

Dans la zone 1, la très grande majorité des juments ont entre 0 et 2 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0. Trois valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 1, la très grande majorité des étalons ont entre 0 et 1 tique (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0,5.

Dans la zone 2, la très grande majorité des juments ont entre 0 et 17 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 7 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 1,5. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, les étalons n'ont aucune tique.

Pour les deux zones confondues, la médiane est de 0,5 pour les juments et de 0 pour les étalons (Figure 53).

Dans la zone 1, les médianes entre les juments et les étalons ne sont pas significativement différentes (test de Wilcoxon au seuil 1%). Dans la zone 2, les médianes entre les juments et les étalons ne sont pas significativement différentes (test de Wilcoxon au seuil 1%).

3.2.3.3 Race des chevaux

Les Croisés sont des Comtois x Trait breton, Auvergnat x Trait breton x Comtois, ou d'origine non rapportée.

Dans la zone 1, les Ardennais n'ont aucune tique.

Dans la zone 1, la très grande majorité des Comtois ont entre 0 et 1 tique (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0,5.

Dans la zone 1, la très grande majorité des Traits Breton ont entre 0 et 3 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1,5 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 0. Deux valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des Ardennais ont entre 0 et 2 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0. Deux valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des Comtois ont entre 0 et 12 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 6,5 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 1,5.

Dans la zone 2, la très grande majorité des Croisés ont entre 0 et 17 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 5 et 10 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 7. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des Trait Breton ont entre 0 et 2 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 2 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 1. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value).

Au total, la médiane des Ardennais est 0, celle des Comtois est 1, celle des Croisés est 7 et celle des Trait Breton est 1 (Figure 53).

Dans notre échantillon, les races Comtois, Trait Breton et Croisés semblent avoir un nombre de tiques moyen plus élevé que la race Ardennais. Cette tendance est à nuancer pour les Croisés car ils ne sont situés que dans la zone 2 et pour la majorité dans un même élevage. La race Ardennais conserve un nombre de tiques moyen faible dans les deux zones. Dans notre échantillon, cette race semble avoir un nombre de tiques moyen plus faible que les races Comtois, Trait Breton et Croisés (Annexe 7).

3.2.3.4 Robe

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux alezans ont entre 0 et 4 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 2,5 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 1. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux alezans brûlés ont entre 0 et 4 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 2 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 0.

Dans la zone 1, les chevaux bais n'ont aucune tique.

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux rouans ont entre 0 et 1 tique (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0.

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux alezans ont entre 0 et 12 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 5 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 0.

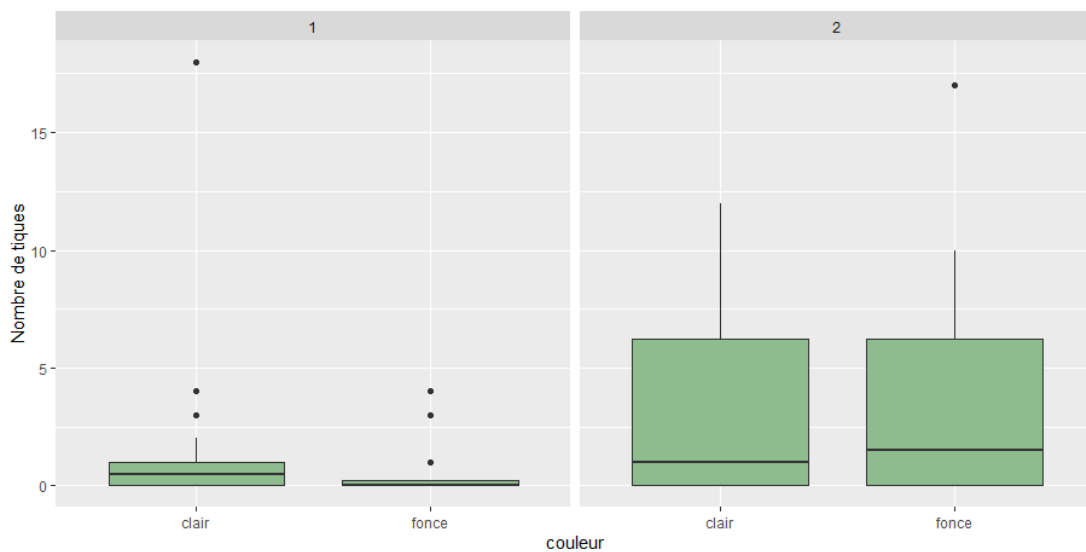
Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux alezans brûlés ont entre 1 et 17 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 1,5 et 9,5 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 2. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux bais ont entre 0 et 10 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 6,5 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 0.

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux rouans ont entre 2 et 7 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 4 et 6,5 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 6.

Au total, la médiane est 1 pour les chevaux alezans, 0 pour les chevaux bais, 1 pour les chevaux alezans brûlés et 1 pour les chevaux rouans (Figure 53).

Figure 54 : Nombre de tiques selon la couleur



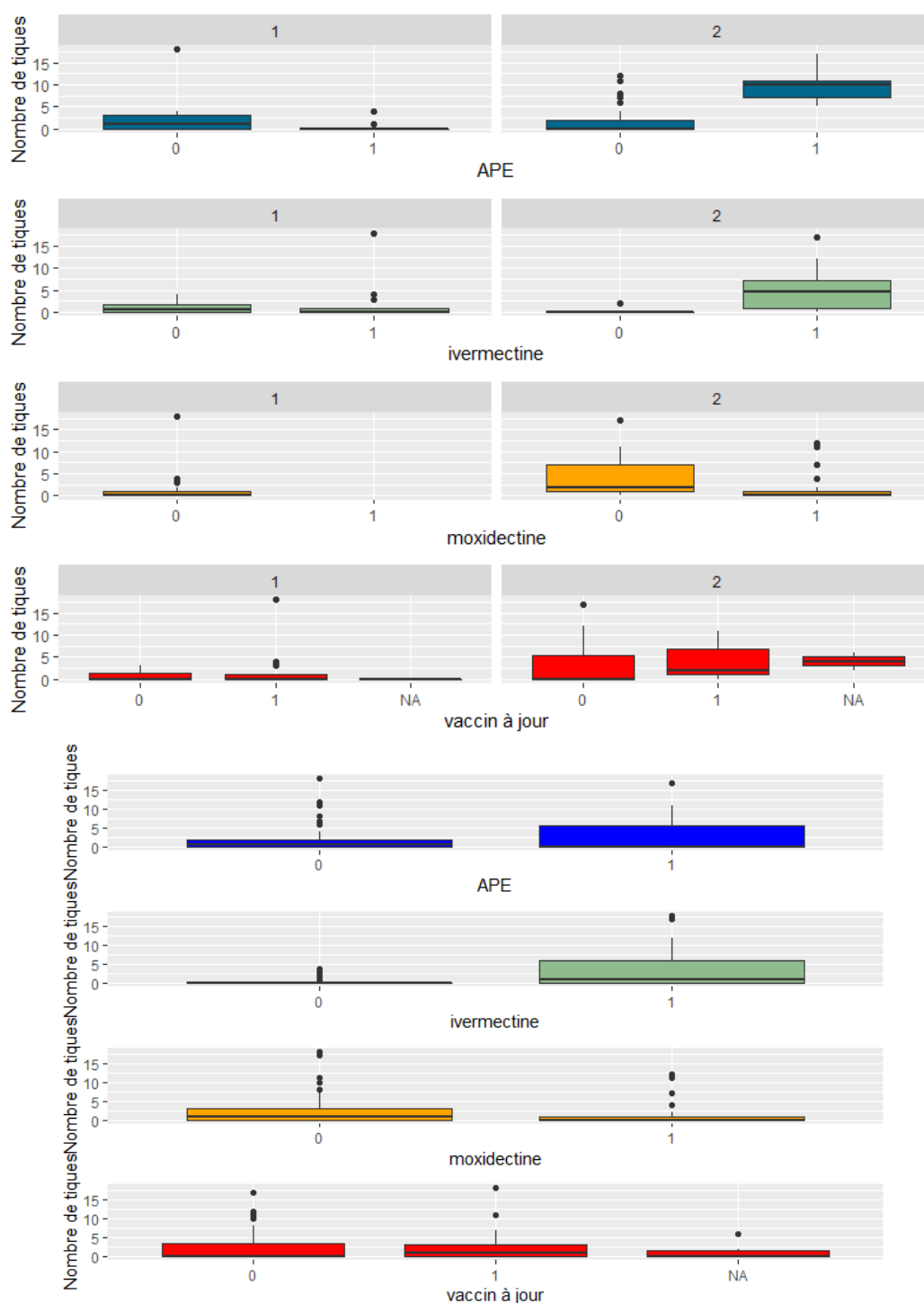
Les robes alezan et rouan sont regroupées dans les robes claires. Les robes alezan brûlé et bai sont regroupées dans les robes foncées.

Dans notre échantillon, la variabilité des valeurs autour de la médiane est presque similaire entre les robes claires et foncées pour les deux zones confondues (Figure 54).

3.2.4 Pratiques d'élevage

Dans la zone 2, sans l'application d'antiparasitaire externe la moitié des chevaux ont entre 0 et 2 tiques alors qu'avec application la moitié des chevaux ont entre 7 et 11 tiques. Dans la zone 2, avec l'ivermectine la moitié des chevaux ont entre 1 et 7,5 tiques alors que les chevaux non traités ont aucune tique. Dans la zone 2, sans moxidectine la moitié des chevaux ont entre 1 et 7 tiques alors qu'avec de la moxidectine la moitié des chevaux traités ont entre 0 et 2 tiques.

Figure 55 : Nombre de tiques par cheval selon l'utilisation (1) ou l'absence d'utilisation (0) d'antiparasitaire externe, l'utilisation (1) ou l'absence d'utilisation (0) d'ivermectine, l'utilisation (1) ou l'absence d'utilisation (0) de moxidectine, vaccin à jour (1) ou non à jour (0) ou absence de données (NA) dans la zone 1 et 2 et dans les deux zones confondues



3.2.4.1 Usage d'un antiparasitaire externe

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux sans APE ont entre 0 et 4 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 3 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 1. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 1, les chevaux avec APE n'ont aucune tique. Deux valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux sans APE ont entre 0 et 4 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 2 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 0. Cinq valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux avec APE ont entre 5 et 17 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 7 et 11 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 10.

Au total, la médiane est 0,5 pour les chevaux non traités et 0 pour les chevaux traités (Figure 55).

Dans la zone 2, au sein de notre échantillon, le nombre moyen de tiques est plus élevé lors de l'utilisation d'antiparasitaires externes (Annexe 7).

3.2.4.2 Ivermectine

Dans l'échantillon, 5 chevaux ne sont pas traités avec des antiparasitaires internes et 5 chevaux sont traités au praziquantel. Ils sont présents dans la zone 1. Comme peu de chevaux ne sont pas traités avec des antiparasitaires internes, nous avons décidé de séparer l'ivermectine et la moxidectine. Les résultats suivants incluent ceux qui sont traités avec le praziquantel ou la moxidectine.

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux non traités avec de l'ivermectine ont entre 0 et 3 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1,5 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 0.

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux traités avec de l'ivermectine ont entre 0 et 1 tique (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0. Trois valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, les chevaux non traités avec de l'ivermectine n'ont aucune tique. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux traités avec de l'ivermectine ont entre 0 et 17 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 1 et 7,5 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 4,5. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value).

Au total, la médiane est 0 pour les chevaux non traités et 1 pour les chevaux traités (Figure 55).

Dans la zone 2, au sein de notre échantillon, le nombre moyen de tiques est plus élevé lors de l'utilisation d'antiparasitaire interne dont la molécule est l'ivermectine (Annexe 7).

3.2.4.3 Moxidectine

Les résultats suivants incluent ceux qui sont traités avec le praziquantel ou l'ivermectine.

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux non traités avec de la moxidectine ont entre 0 et 2 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0. Trois valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux non traités avec de la moxidectine ont entre 0 et 11 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 1 et 7 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 2. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux traités avec de la moxidectine ont entre 0 et 2 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0. Quatre valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Au total, la médiane est 1 pour les chevaux non traités et 0 pour les chevaux traités (Figure 55).

Dans la zone 2, au sein de notre échantillon, le nombre moyen de tiques est plus faible lors de l'utilisation d'antiparasitaire interne dont la molécule est la moxidectine (Annexe 7).

3.2.4.4 Vaccin à jour

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux non vaccinés ont entre 0 et 3 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1,5 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 0.

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux vaccinés ont entre 0 et 1 tique (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0. Trois valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux non vaccinés ont entre 0 et 12 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 6 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 0. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux vaccinés ont entre 0 et 11 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 1 et 7 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 2.

Au total, la médiane est 0 pour les chevaux non vaccinés, 1 pour les chevaux vaccinés, 0 pour les chevaux dont le statut est inconnu (Figure 55).

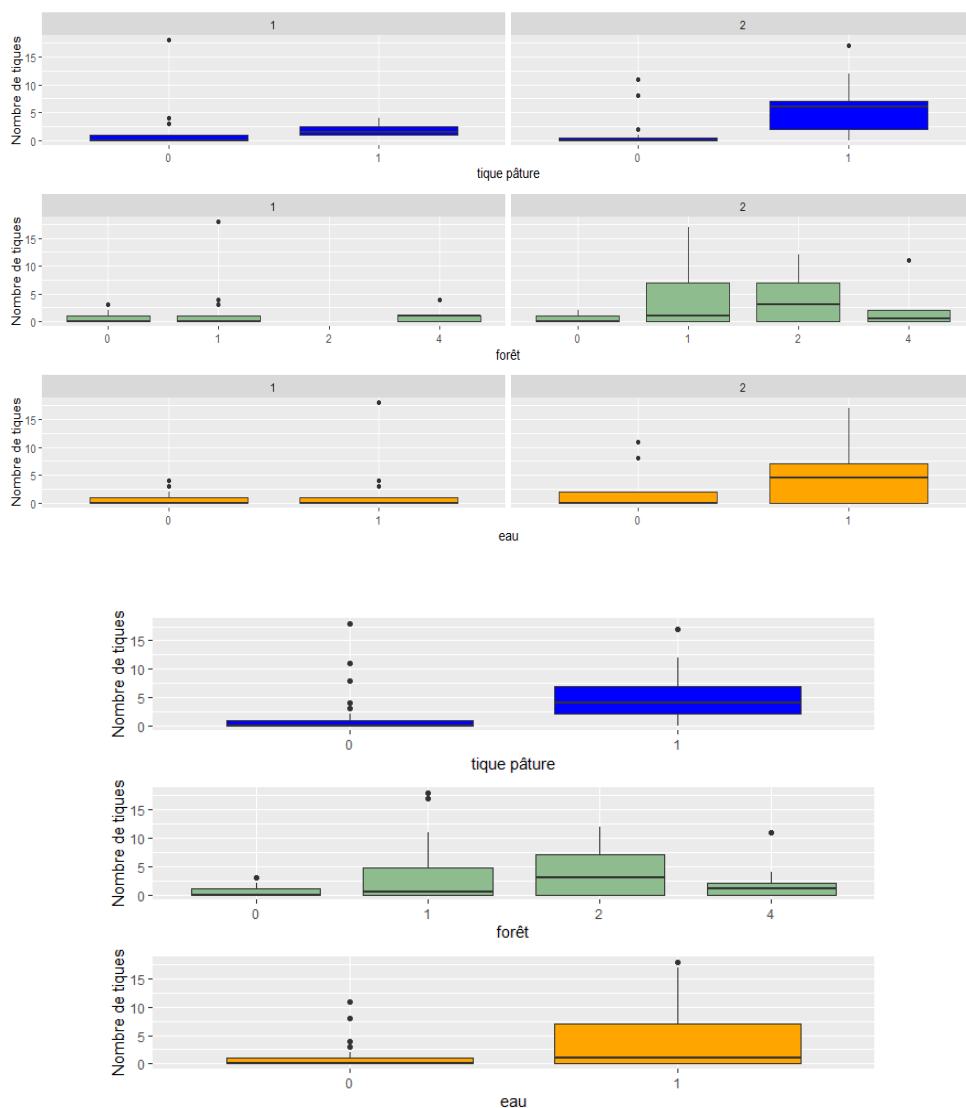
Le nombre moyen de tiques n'est pas significativement différent entre les chevaux dont le vaccin est à jour ou non (Annexe 7). Dans la zone 2, les médianes entre les chevaux dont les vaccins sont à jour et ceux dont les vaccins sont non à jour ne sont pas significativement différentes (test de Wilcoxon au seuil 1%).

3.2.5 Variables environnementales

Dans notre échantillon, il semble que lorsque des tiques sont retrouvées dans la pâture, des tiques sont retrouvées aussi sur les chevaux. Dans la zone 2, la comparaison des médianes entre l'absence et la présence de tiques dans la pâture montre une différence significative. Lorsqu'il y a

une surface boisée dans la pâture le nombre de tiques retrouvées sur les chevaux semble augmenter dans notre échantillon. Les médianes sont significativement différentes dans la zone 2 entre les chevaux dont la pâture n'a pas de zone boisée et les chevaux dont la pâture a entre 25 et 50% de zone boisée. Dans la zone 2, la moitié des chevaux ont entre 0 et 2 tiques alors que s'il y a un cours d'eau la moitié des chevaux ont entre 0 et 7 tiques.

Figure 56 : Nombre de tiques par cheval en fonction de la présence (1)/absence (0) de tique dans la pâture, de la présence (1 : <25% de zone boisée, 2 : 25-50% de zone boisée, 4 : proportion boisée indéterminée)/absence (0) de forêt et la présence (1)/absence (0) d'un point d'eau sur la pâture dans la zone 1 et la zone 2 et dans les deux zones confondues



3.2.5.1 Tiques dans les pâtures

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux où il n'y a pas des tiques dans la pâture ont entre 0 et 1 tique (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace

interquartile), avec une médiane de 0. Trois valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux où il y a des tiques dans la pâture ont entre 1 et 4 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 1 et 3 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 1,5.

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux où il n'y a pas des tiques dans la pâture ont entre 0 et 1 tique (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 0,5 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0. Trois valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux où il y a des tiques dans la pâture ont entre 0 et 12 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 2 et 7 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 6. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value).

Au total, la médiane pour les chevaux dans une pâture infestée est 0 et pour les chevaux dans une pâture non infestée est 4 (Figure 56).

Dans notre échantillon, lorsqu'il y a des tiques dans la pâture, le nombre moyen de tiques sur les chevaux est plus élevé. Il semble y avoir corrélation entre la présence de tiques dans la pâture et celle sur chevaux (Annexe 7).

3.2.5.2 Zone boisée

Certains chevaux ont été présents dans deux pâtures différentes qui ont des proportions boisées différentes (Figure 56, classe 4).

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux pour lesquels il n'y a pas de zone boisée dans la pâture ont entre 0 et 2 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0. Une valeur extrême est en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux pour lesquels il y a moins de 25% de zone boisée dans la pâture ont entre 0 et 1 tique (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0. Trois valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 1, les chevaux pour lesquels il y a entre 50 et 75% de zone boisée dans la pâture n'ont aucune tique.

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux pour lesquels il n'y a pas de zone boisée dans la pâture ont entre 0 et 2 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0.

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux pour lesquels il y a moins de 25% de zone boisée dans la pâture ont entre 0 et 17 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 7 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 1.

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux pour lesquels il y a entre 25 et 50% de zone boisée dans la pâture ont entre 0 et 12 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 7 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 3.

Au total, la médiane est 0 pour les pâtures non boisées, 0,5 pour les pâtures avec moins de 25% de zone boisée et 3 pour les pâtures avec 25 à 50% de zone boisée (Figure 56).

Dans notre échantillon, le nombre moyen de tiques est plus élevé si la pâture contient une zone boisée. Le manque de pâtures avec une proportion importante de zone boisée ne nous permet pas de savoir si plus la pâture est boisée plus le nombre de tiques moyen sur les chevaux est important. Dans la zone 2, entre une zone boisée de <25% et une zone boisée de 25 à 50%, le nombre de tiques est stable. A partir de plus de 50% (une pâture) nous n'avons pas collectées de tiques (Annexe 7).

3.2.5.3 Cours d'eau

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux où il n'y a pas de cours d'eau dans la pâture ont entre 0 et 2 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0. Deux valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 1, la très grande majorité des chevaux où il y a un cours d'eau dans la pâture ont entre 0 et 1 tique (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 1 tique (espace interquartile), avec une médiane de 0. Trois valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux où il n'y a pas de cours d'eau dans la pâture ont entre 0 et 2 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 2 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 0. Deux valeurs extrêmes sont en dehors des limites du Box plot (out value).

Dans la zone 2, la très grande majorité des chevaux où il y a un cours d'eau dans la pâture ont entre 0 et 17 tiques (limites du Box plot). La moitié des chevaux ont entre 0 et 7 tiques (espace interquartile), avec une médiane de 4,5.

Au total, la médiane est 0 pour les chevaux où il n'y a pas de cours d'eau dans la pâture et 1 pour les chevaux où il y a un cours d'eau dans la pâture (Figure 56).

Dans la zone 2, le nombre de tiques moyen semble plus élevé lors de la présence d'un cours d'eau sur la pâture (Annexe 7).

3.2.6 Résultats du modèle binomial négatif

Un premier modèle est réalisé prenant en compte comme variables d'intérêt l'âge, la race, la robe, l'antiparasitaire externe, l'antiparasitaire interne ivermectine ou moxidectine, la présence ou l'absence de tiques dans la pâture, la présence ou l'absence de zone boisée dans la pâture, la présence ou l'absence de cours d'eau dans la pâture et la zone (Tableau 3).

Tableau 3 : Odds ratio et intervalles de confiance associés aux variables étudiées dans le modèle multivarié 1

	OR	Intervalle de confiance à 95%		Significativité (significatif : *** ; NS : non significatif)
		Minimum	Maximum	
Intercept	0,04	0,002	0,5	
Age				
<2	Référence	-	-	
2-10	1,4	0,4	4,9	NS
>10	0,9	0,2	3,5	NS
Race				
Ardennais	référence	-	-	
Comtois	12,5	1,3	260,5	***
Croisé	10,4	0,6	319,3	NS
Trait Breton	25,7	2,1	517,5	***
Robe				
Claire	référence	-	-	
Foncée	0,7	0,3	1,8	NS
Tiques pâture				
Absence	référence	-	-	
Présence	3,0	0,8	11,5	NS
APE				
Absence	référence	-	-	
Présence	0,9	0,2	3,5	NS
API ivermectine				
Absence	référence	-	-	
Présence	1,1	0,2	4,7	NS
API moxidectine				
Absence	référence	-	-	
Présence	0,01	0,006	0,8	***
Forêt				
Absence	référence	-	-	
<25%	0,5	0,06	3,3	NS
25-50%	1,6	0,09	63,5	NS
Indéterminée	0,7	0,1	3,8	NS
Eau				
Absence	référence	-	-	
Présence eau	3,3	0,4	27,3	NS
Zone				
1	référence			
2	4,9	0,7	38,7	NS

Le modèle multivarié 1 permet d'identifier deux variables associées à l'infestation des chevaux par les tiques, qui sont la race et l'utilisation de moxidectine. Ainsi, on observe que les Comtois sont plus infestés que les Ardennais, avec un OR de 12.5 [1.3 ; 260.5]. On observe que les Trait Breton sont plus infestés que les Ardennais, avec un OR de 25.7 [2.1 ; 517.5]. Les chevaux traités avec de la moxidectine sont moins infestés, avec un OR de 0,01 [0,006 ; 0,8] (Tableau 3).

La zone n'est plus considérée comme une variable d'intérêt dans les deux modèles suivants. On considère que la différence éventuelle qui pourrait exister entre les deux zones n'est pas significative car les pratiques d'élevage et les conditions environnementales sont proches entre les deux zones. Avec le modèle binomial négatif linéaire généralisé, l'intervalle de confiance de l'Odds ratio des races Croisé, Comtois et Trait Breton n'inclut pas la valeur 1.

Tableau 4 : Odds ratio et intervalles de confiance associés aux variables étudiées dans le modèle multivarié 2

	OR	Intervalle de confiance à 95%		Significativité (significatif : *** ; NS : non significatif)
		Minimum	Maximum	
Intercept	0,105	0,009	0,940	
Age				
<2	Référence	-	-	
2-10	1,3	0,4	4,4	NS
>10	0,9	0,2	3,2	NS
Race				
Ardennais	référence	-	-	
Comtois	15,6	1,3	378,2	***
Croisé	19,2	1,1	613,3	***
Trait Breton	9,1	1,1	131,3	***
Robe				
Claire	référence	-	-	
Foncée	0,7	0,3	1,8	NS
Tiques pâture				
Absence	référence	-	-	
Présence	3,3	0,9	12,5	NS
APE				
Absence	référence	-	-	
Présence	0,7	0,2	2,6	NS
API ivermectine				
Absence	référence	-	-	
Présence	1,4	0,3	5,9	NS
API moxidectine				
Absence	référence	-	-	
Présence	0,09	0,004	1,0	NS
Forêt				
Absence	référence	-	-	
<25%	1,4	0,3	6,0	NS
25-50%	7,0	0,4	212,3	NS
Indéterminée	1,0	0,2	4,9	NS
Eau				
Absence	référence	-	-	
Présence eau	1,0	0,2	3,4	NS

Le modèle multivarié permet d'identifier une variable associée à l'infestation des chevaux par les tiques, qui est la race. Ainsi, on observe que les Comtois, les Croisés et les Traits bretons sont plus infestés que les Ardennais, avec des OR respectifs de 15.6 [1.3 ; 378.2], 19.2 [1.1 ; 613.3], et 9.1 [1.1 ; 131.3] (Tableau 4).

Résultats du modèle binomial négatif modifié

Les Croisés sont présents dans l'élevage 17 et l'élevage 20. L'élevage 17 est situé dans la zone 2 et est composé quasi exclusivement de croisés (5 sur 6 chevaux). L'élevage 20 est composé de 1 croisé sur 4 chevaux. Pour vérifier que la race est bien associée à l'infestation des chevaux par les

tiques et supprimer l'éventuel facteur confondant de l'élevage 17, les Croisés de l'élevage 17 sont enlevés. Pour le modèle, le Croisé de l'élevage 20 a également été enlevé car il est le seul représentant de sa race.

Tableau 5 : Odds ratio et intervalles de confiance associés aux variables étudiées dans le modèle multivarié (sans les chevaux croisés)

	OR	Intervalle de confiance à 95%		Significativité (significatif : *** ; NS : non significatif)
		Minimum	Maximum	
Intercept	0,1	0,01	1,3	
Age				
<2	référence	-	-	
2-10	1,6	0,2	8,8	NS
>10	1,4	0,2	8,9	NS
Race				
Ardennais	référence	-	-	
Comtois	10,8	1,4	331,9	***
Trait Breton	7,3	0,9	107,5	NS
Robe				
Claire	référence	-	-	
Foncée	0,6	0,2	1,9	NS
Tiques pâture				
Absence	référence	-	-	
Présence	2,5	0,5	12,2	NS
APE				
Absence	référence	-	-	
Présence	0,3	0,04	1,5	NS
API ivermectine				
Absence	référence	-	-	
Présence	1,7	0,3	7,8	NS
API moxidectine				
Absence	référence	-	-	
Présence	0,1	0,005	0,7	***
Forêt				
Absence	référence	-	-	
<25%	1,0	0,2	4,8	NS
25-50%	5,9	0,3	209,8	NS
Indéterminée	2,7	0,3	20,5	NS
Eau				
Absence	référence	-	-	
Présence eau	1,1	0,2	4,1	NS

Avec le modèle binomial négatif linéaire généralisé modifié, l'intervalle de confiance de l'Odds ratio de la race Comtois et de l'utilisation de moxidectine n'inclut pas la valeur 1.

Le modèle multivarié permet d'identifier deux variables associées à l'infestation des chevaux par les tiques, qui sont la race et l'utilisation de moxidectine. Ainsi, on observe que les Comtois sont plus infestés que les Ardennais, avec un OR de 10,8 [1,4 ; 331,9]. Les chevaux traités avec de la moxidectine sont moins infestés, avec un OR de 0,1 [0,005 ; 0,7] (Tableau 5).

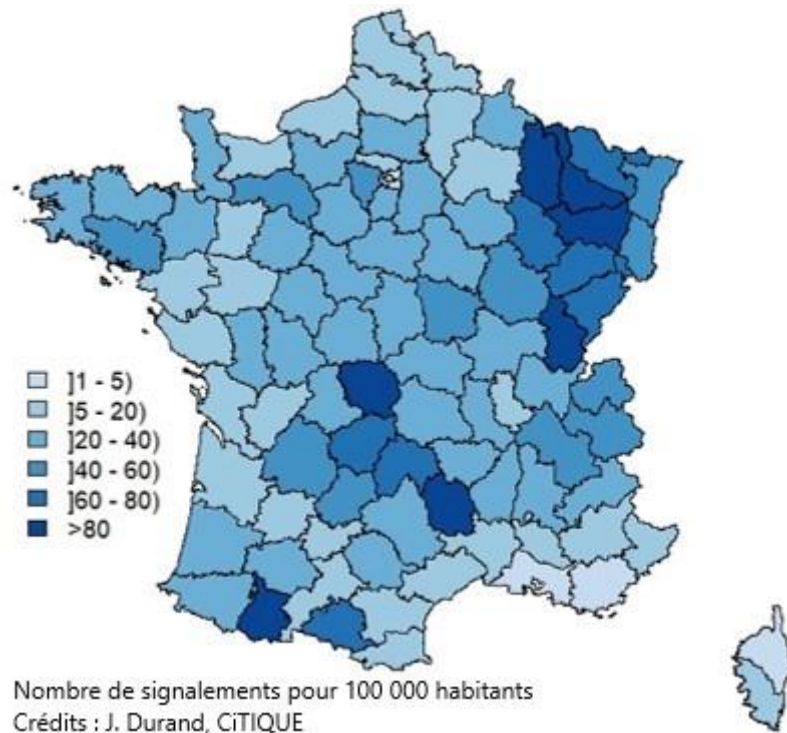
3.3 Discussion

3.3.1 Matériels et méthodes

- Choix de la région

La région Auvergne-Rhône-Alpes a été choisie pour l'étude. En effet, les biotopes y sont variés et le nombre de tiques importants. La carte de distribution des signalements de piqûres de tique montre que l'ensemble du territoire est concerné (Figure 57).

Figure 57 : Carte de distribution des signalements de piqûres de tique (2017-2019) (Durand, 2021)



- Choix du type de cheval

Le modèle d'étude choisi est le cheval de trait car il est en pâture quasiment toute l'année et est donc très exposé aux tiques. Cette exposition importante aux vecteurs en fait un excellent modèle pour les étudier. Une pratique d'élevage homogène rend possible la comparaison entre des facteurs de risque entre les élevages. Les chevaux destinés à l'exportation sont principalement des chevaux de trait (IFCE, 2020). Leur statut sérologique vis-à-vis de la piroplasmose est pris en compte lors de leur exportation dans certains pays.

Figure 58 : Nombre de chevaux exportés selon la race et l'âge (IFCE, 2020)

	0-2 ans	3-4 ans	5-7 ans	8-12 ans	13 ans et +	Total
Galopeurs	886	238	769	566	515	2 975
Trotteurs	1 171	473	1 392	483	453	3 972
Chevaux et poneys de sport	305	470	394	647	770	2 586
Equidés de travail	4 019	660	254	317	589	5 838
Autres races	114	149	90	162	266	781
Equidés d'origine constatée	1 543	237	98	135	245	2 258
Origines non constatées	1 847	879	193	300	670	3 890

Source : IFCE-OESC d'après TRACES, DDCSPP

Les chevaux concernés par l'exportation sont principalement les chevaux de trait âgés de 0 à 2 ans (Figure 58).

- Choix des élevages

La sélection des élevages a été réalisée de façon aléatoire dans la base de données de la SFET. En revanche suite à notre présentation de l'objectif de l'étude, certains éleveurs ont refusé de participer à l'étude.

Les refus téléphoniques s'expliquent par :

- 1) des élevages injoignables ;
- 2) la non disponibilité des personnes ;
- 3) l'élevage de chevaux de trait n'existe plus ;
- 4) l'éleveur considère son élevage petit ;
- 5) l'éleveur n'a jamais eu de cas de piroplasmose.

Pour les causes de refus 4) et 5) nous précisions au téléphone que toutes les tailles des élevages pouvaient être incluses dans l'étude et que la présence ou non de chevaux atteints par la piroplasmose n'était pas un critère d'exclusion.

Ainsi ce refus peut provoquer un biais d'échantillonnage. Ce biais reste néanmoins limité car la majorité des éleveurs qui ne voulaient pas participer le justifiaient par le manque de temps. L'absence de tiques a constitué un motif de refus pour 3 éleveurs dans les 2 zones. Ceci peut provoquer également un biais d'échantillonnage.

- Choix des chevaux

Les chevaux pouvant être prélevés pendant l'étude sont les plus abordables. Nous pouvons supposer que si les chevaux sont dociles, l'éleveur enlève plus facilement les tiques à ceux-là. Il peut donc y avoir un biais d'échantillonnage. Les éleveurs peuvent également avoir tendance à sélectionner leurs chevaux ayant déjà eu la piroplasmose ou au contraire ceux dont le statut de la piroplasmose est inconnu. Il peut donc y avoir un biais de classement d'échantillonnage. Deux chevaux de l'étude ont déjà eu la piroplasmose. Ce biais est minime car l'un des deux était dans un élevage de moins de 5 chevaux donc tous les chevaux de l'élevage ont été recrutés. Ce biais est également minime pour la race car les chevaux d'un même élevage sont pour la plupart de la même race.

Par ailleurs, nous savions si le cheval a déjà eu la piroplasmose avant de collecter les tiques et le sang. Cela pourrait amener à un biais de classement différentiel car nous pourrions avoir plus tendance à chercher des tiques sur le cheval.

- Choix de la période

La période de l'étude s'étend du 12 au 26 avril 2021. Il aurait été intéressant de renouveler l'étude en automne car les tiques présentent également une activité lors de cette période. Il aurait été également intéressant de prolonger cette période d'étude jusqu'en juin. En effet, en France, la période d'activité la plus élevée s'étend en général d'avril à juin en plaine et de mai à juillet en montagne (Chalvet-Monfray, 2020).

- Pâturation

Nous avons choisi la méthode du drap car c'est une méthode peu coûteuse, facile à mettre en place et qui permet de quantifier la densité de tiques. Cette méthode permet de détecter uniquement les tiques à l'affût et donc qu'une seule partie des tiques présentes sur la pâture.

Il est également difficile de tirer le drap dans les broussailles épineuses et en forêt.

Le protocole utilisé ici ne fait intervenir qu'un seul passage du drap lors des collectes. Des passages répétés permettraient une estimation plus précise du nombre de tiques à l'affût (Kautzmann, 2018). Nous avons choisi de ne faire qu'un passage car lorsque nous réalisons au début de l'étude un aller-retour, nous obtenons des tiques à l'aller et jamais au retour. De plus, nous nous sommes rendu compte que l'aller et retour était très chronophage notamment sur de grandes pâtures. Nous avons inspecté le transect à 5 m et à 10 m pour éviter que les tiques posées sur le drap ne se décrochent.

Nous avons tiré le drap au milieu des bordures de la pâture. Il a été montré que l'emplacement prédominant d'*I. ricinus* dans les pâturages des zones de bocage en France est en bordure de la pâture (L'Hostis *et al.*, 1995) (Agoulon *et al.*, 2012). Au milieu d'un pâturage, le couvert végétal offre des conditions microclimatiques qui sont beaucoup moins favorables à cette espèce de tique. Les densités d'*I. ricinus* sont négligeables au milieu de la pâture, alors qu'elles peuvent être très hautes en bordure (L'Hostis *et al.*, 1995). La variabilité de la végétation est très importante au centre des pâtures et c'est pourquoi nous n'avons pas réalisé de transect au centre de la pâture.

Nous avons choisi de trainer le drap dans chaque pâture sur un nombre de transect d'autant plus important que la pâture est grande pour explorer une partie assez importante de la végétation. Au-delà de 15 ha, le nombre de transects est fixé à 8 pour que la collecte soit réalisable dans un temps donné. Les transects sont suffisamment espacés pour être considérés comme indépendants les uns des autres. Néanmoins lorsque la pâture était très grande, le nombre de transect ne couvrait qu'une faible surface de la pâture.

Le nombre de tiques prélevées dans les pâtures est faible et ne nous permet pas de réaliser un modèle. Plusieurs raisons peuvent être avancées pour expliquer cet effectif réduit. Les températures ont été très variables pendant les deux semaines de collecte allant de 0 à 25°C. La température moyenne est plus élevée dans la zone 2. Pour avoir des conditions climatiques plus répétables il aurait fallu réaliser l'étude sur une plus longue période même si théoriquement en avril il s'agit de leur pic d'activité.

Il aurait été intéressant d'évaluer la température et l'hygrométrie dans les heures et jours précédents la collecte. Dans une étude antérieure, les tiques *I. ricinus* réagissent en 4 à 7h à une température constante de 15°C au Pays de Galles et en Angleterre (Tomkins *et al.*, 2014). Ainsi, la température dans les jours précédents n'a que très peu d'effet sur l'activité des tiques. L'effet de la température et de l'humidité existe surtout sur le développement et la survie de la tique. L'activité de la tique est liée à des variations beaucoup plus restreintes dans le temps. L'activité d'*I. ricinus* est dépendante de la saison, avec une réaction à la température différente pour les populations de printemps et d'automne, notamment les nymphes (Gray, 1984).

Le passage du drap n'a pas été possible lorsqu'il pleuvait ou lorsque le sol était détrempé. Les tiques ne peuvent s'attacher sur le drap lorsqu'il est imbibé d'eau.

Les tiques ne sont pas réparties de façon homogène dans l'environnement et il est possible de passer à côté de zones de « regroupement » de tiques. Les conditions météorologiques entre chaque zone sont différentes et non caractéristiques de celles-ci, il est donc difficile de comparer les résultats entre les différentes zones. Pour homogénéiser il aurait fallu réaliser cette étude sur plusieurs années. Les pâtures prélevées sont variées et représentatives du Cantal et Puy-de-Dôme.

3.3.2 Analyse statistique

Le modèle utilisé dans l'étude est le modèle multivarié binomial négatif linéaire généralisé. Ce modèle n'est pas parfait car il ne prend pas en compte l'effet élevage. L'effet élevage n'est pas pris en compte dans le modèle ce qui entraîne un biais de confusion. Le modèle binomial négatif mixte serait plus adéquat car il prend en compte l'effet aléatoire élevage. En effet, nous avons réalisé le modèle randomForest pour voir quelles variables avaient une association importante avec l'infestation par les tiques. Il se base sur l'assemblage d'arbres de décision créés de façon aléatoire. Les variables à prendre en compte sont celles qui sont présentes dans plus de 50% des arbres. Le principe est le suivant : on a des groupes de chevaux qui sont infestés par les tiques ou non et on teste à chaque nœud les différentes variables pour voir dans combien d'arbres les variables sont conservées, parmi les 500 arbres générés. Ce modèle permet de savoir comment les variables sont liées entre elles. D'après ce que l'on a vu avec randomForest les effets élevage, race et présence de tiques dans la pâture sont importants (elles apparaissent dans plus de 50% des arbres réalisés). La variable « élevage » pourrait être un facteur de confusion. Pour pouvoir faire le modèle mixte, il faudrait avoir plus de données.

Avec randomForest, la variable tique pâture est à prendre en compte. En revanche, dans le modèle binomial négatif, l'intervalle de confiance de l'odds ratio inclut 1. Il serait intéressant d'envisager d'autres variables pour l'environnement comme par exemple la température et l'hygrométrie sur le mois précédent la collecte. En effet, la non association entre les tiques dans la pâture et sur les chevaux pourrait s'expliquer par les conditions météorologiques (température basse et hygrométrie) non favorables à l'activité des tiques dans la pâture pendant la période d'étude.

3.3.3 Résultats

Nous avons collecté trois espèces de tiques sur les chevaux : *I. ricinus*, *D. reticulatus* et *D. marginatus*. Dans une étude participative (Pirogotick) commencée en 2020, les espèces de tiques collectées sur des chevaux en France sont *I. ricinus*, *D. reticulatus*, *D. marginatus*, *H. marginatum*, *H. punctata*, *R. bursa*, *H. concinna*. Lors, d'une étude menée en Corse sur des chevaux, les espèces

H. marginatum, *R. bursa*, *D. marginatus* et *R. sanguineus* ont été collectées (Grech-Angelini *et al.*, 2016b).

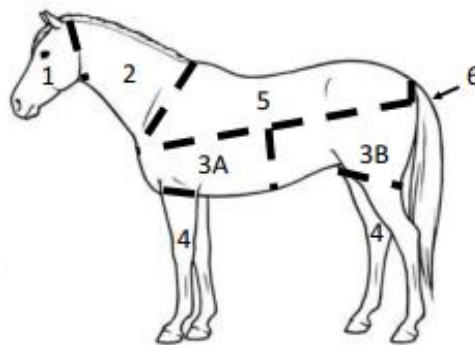
Dans la pâture, nous avons collecté trois espèces de tiques : *I. ricinus*, *D. reticulatus* et *D. marginatus*. Seule *I. ricinus* a été retrouvée dans les pâtures dans l'ouest du Cantal (Boyard, 2007).

48% des chevaux de l'étude sont infestés par des tiques. Dans une étude sur des ânes en Italie, 56,6% sont infestés par des tiques (Zanzani *et al.*, 2019).

Dans notre étude, dans la zone 1 le nombre moyen de tique par cheval s'élève à 1,3 et dans la zone 2 à 3,27. Le nombre de tiques collecté dans l'environnement étant faible, il est difficile de corréliser les moyennes du nombre de tiques retrouvées dans l'environnement et celles sur les chevaux. Il serait intéressant de savoir si les températures de la semaine précédant notre venue étaient plus basses que lors de l'étude. Une étude en Tunisie rapporte une moyenne de 3 tiques par cheval (Gharbi *et al.*, 2018). Dans l'étude de Sundstrom, la médiane du nombre de tiques par cheval est de 3, ce nombre est de 0 ou 1 selon la zone dans notre étude.

La proportion de nymphes retrouvées sur les chevaux dans la zone 1 est de 48,8% et dans la zone 2 de 13,2%. Dans l'étude de Sundstrom, la proportion de nymphe est de 10,2%. Le rapport tiques femelles et tiques mâles est cohérent avec cette dernière étude.

Figure 59 : Site d'attache des tiques (Sundstrom *et al.*, 2021)



Pour présenter les résultats des sites d'attache des tiques sur le cheval, nous nous sommes basées sur l'étude de Sundstrom *et al.* (Figure 59). Cette étude porte sur la localisation sur le cheval de *I. scapularis*, *D. albipictus* et *A. americanum*. La tique *I. scapularis* adulte est présente sur l'ensemble du corps du cheval et en majorité sur le poitrail, les aisselles et l'abdomen cranial. Dans notre étude, la tique *I. ricinus* est retrouvée partout sauf sur le dos et l'abdomen caudal et inguinal. Dans l'étude de Sundstrom, la tique *D. albipictus* adulte est retrouvée sur l'ensemble du corps du cheval sauf sur la queue, la région périnéale et la tête. Les nymphes de *D. albipictus* sont retrouvées sur l'ensemble du corps sauf sur la tête, l'abdomen caudal et inguinal, la queue et la région périnéale. Dans notre étude, la tique *D. marginatus* est retrouvée dans la crinière et sur le dos et la tique *D. reticulatus* est présente sur l'ensemble du cheval sauf sur le dos.

L'étude est observationnelle donc il y a des biais de confusion et la relation causale n'est pas sûre.

Les chevaux avec les crins clairs ont tendance à avoir plus de tiques que les crins foncés. Sur les robes claires, les tiques sont plus visibles donc plus souvent retirées aussi, ce qui peut induire un biais de classement non différentiel si les éleveurs pratiquent le détiquage. Il n'y a pas de différence d'infestation entre les chevaux à robe claire ou foncée. Il serait intéressant de prendre d'autres données comme par exemple la couleur de la peau du cheval.

Une différence significative est observée entre les races croisé/comtois/trait breton et ardennais. Cet effet race est retrouvé dans les modèles 2 et modifié. Les Croisés comme facteur de risque est à nuancer car les Croisés sont en majorité dans le même élevage situé dans la zone 2. Pour vérifier si la race Croisés est un facteur de risque d'avoir plus de tiques, il faudrait augmenter l'effectif des chevaux. Les intervalles de confiance des OR sont très larges. Ceci s'explique sûrement par un manque de puissance statistique (peu de chevaux dans l'échantillonnage). L'effet race peut s'expliquer par la génétique, des pratiques d'élevage non identifiées avec le questionnaire, la consistance des poils ou une différence au niveau de la sueur.

L'effectif des mâles étant très réduit il faudrait augmenter l'effectif des chevaux mâles pour voir s'il pourrait être un facteur de risque ou un facteur protecteur.

Paradoxalement le nombre de chevaux parasités est plus important sur les chevaux où un traitement antiparasitaire externe est entrepris. Ceci s'explique ainsi : les éleveurs qui voient des tiques sur leurs chevaux appliquent de l'antiparasitaire externe. Les traitements au moment de notre venue ne sont pas à jour, ainsi les chevaux peuvent être considérés comme non traités (les antiparasitaires externes ayant une durée d'action ne dépassant pas quelques jours/ semaines). Les antiparasitaires externes sont volatils et ils sont rapidement dilués par la sueur, leur efficacité est donc limitée. Par ailleurs, lorsque les chevaux sont traités, ils le sont tous.

Nous avons choisi d'analyser les vermifuges comme facteurs de risque ou de protection car l'ivermectine et la moxidectine ont une activité acaricide.

Dans la zone 2, il est possible de comparer les médianes d'infestation des chevaux traités ou non traités par l'ivermectine ou les médianes d'infestation des chevaux traités ou non traités par la moxidectine car les chevaux sont tous traités à l'ivermectine ou à la moxidectine. La médiane dans la zone 2 est plus élevée chez des chevaux traités à l'ivermectine que des chevaux non traités à l'ivermectine. La médiane dans la zone 2 est plus élevée chez des chevaux non traités à la moxidectine que des chevaux traités à la moxidectine et dans le modèle modifié (sans la race Croisés), la moxidectine est associée à l'infestation des chevaux par les tiques. La différence pourrait s'expliquer par des raisons pharmacocinétiques : la moxidectine est plus rémanente que l'ivermectine. Il existe des facteurs confondants dans cette population qui pourraient expliquer cette différence comme la race (les Ardennais sont en général traités avec de la moxidectine) et la zone (la moxidectine n'est pas utilisée par les éleveurs de la zone 1).

Il serait intéressant d'aller dans le détail de l'environnement de la pâture pour trouver d'autres facteurs de risque.

Dans l'étude, deux genres de tique ont été identifiés. Les conditions environnementales d'activité de ces deux genres sont différentes. La tique *I. ricinus* est présente plutôt en zone boisée car elle a besoin d'humidité alors que *D. reticulatus* et *D. marginatus* sont présentes en zone ouverte ou en lisière de forêt (Boulanger et McCoy, 2015). Il serait intéressant de faire des modèles pour chaque espèce de tiques. Là encore, étant donné qu'il y a déjà un manque de puissance statistique, le nombre de données serait encore plus faible.

En regroupant les deux zones, on observe que la proportion de tiques *Dermacentor* est plus élevée que celle d'*I. ricinus*, ce qui pourrait expliquer que nous ne trouvons pas d'association de la variable zone boisée avec l'infestation des tiques.

Contrairement à notre hypothèse de départ, dans notre échantillon, ce sont les chevaux de moins de 2 ans qui ont plus tendance à être infestés par les tiques. Il est possible que les chevaux de moins de 2 ans aient une immunité moins performante.

Dans le modèle prenant en compte la zone comme variable d'intérêt, deux variables sont associées à l'infestation des chevaux par les tiques : la race et l'utilisation de moxidectine. Etant donné le faible effectif des chevaux dans les deux zones ainsi que des pratiques d'élevage et des conditions environnementales proches entre les deux zones, la zone a été enlevée des variables d'intérêts. Dans le modèle 2, une variable est associée à l'infestation des chevaux par les tiques : la race. Dans les trois modèles l'absence d'association entre la présence de tiques dans la pâture et sur les chevaux est étonnante. L'activité des tiques étant dépendantes de la température et de l'hygrométrie dans la pâture, il est probable que le nombre de tiques dans la pâture soit sous-estimé. De plus, comme la collecte sur les chevaux était réalisée avant la collecte dans la pâture nous connaissions le statut des chevaux vis-à-vis de leur infestation. Il y a donc un biais différentiel potentiel. L'OR est non significativement différent de 1, la présence de ce biais ne remet pas en cause la non significativité de l'OR.

Le modèle binomial négatif n'est pas assez puissant pour montrer d'autres facteurs de risque ou protecteurs.

Nous nous sommes demandés aussi s'il y a toujours des facteurs de risque ou de protection lorsque la charge en tiques est très élevée dans la pâture.

Conclusion

La piroplasmose équine est une maladie parasitaire due à l'infection par *Babesia caballi* ou *Theileria equi* et vectorisée par les tiques. Elle a un impact économique et médical important. Pour prévenir l'infection, il est essentiel d'identifier les espèces de tiques impliquées et de connaître leur biologie et leur écologie. En France, peu d'études étudient l'infestation des chevaux par les tiques.

Notre étude avait pour but d'identifier les espèces de tiques retrouvées en région Auvergne-Rhône-Alpes et de rechercher des facteurs de risque d'infestation des chevaux par les tiques.

L'échantillon était constitué de 79 chevaux de trait répartis dans 20 élevages dans le Cantal sud et le Cantal nord/Puy-de-Dôme. Les espèces de tiques retrouvées sont *Ixodes ricinus*, *Dermacentor reticulatus* et *D. marginatus*. Dans l'échantillon, indépendamment de la zone, l'âge, la robe, l'utilisation d'un antiparasitaire externe, d'ivermectine ou de moxidectine, la présence de tiques, d'une zone boisée ou d'un cours d'eau, il existait une association significative entre les races Comtois et Trait breton et l'infestation des chevaux par les tiques et entre l'utilisation de moxidectine et l'infestation des chevaux par les tiques. Dans l'échantillon indépendamment de l'âge, la robe, l'utilisation d'un antiparasitaire externe, d'ivermectine ou de moxidectine, la présence de tiques, d'une zone boisée ou d'un cours d'eau, il existait une association significative entre les races Comtois, Trait breton et Croisés et l'infestation des chevaux par les tiques. Sous réserve que les biais de classement différentiel et de sélection soient absents, il y a des chances pour que, au sein des chevaux de trait de la région Auvergne-Rhône-Alpes, l'infestation des chevaux par les tiques soit moins fréquente parmi les Ardennais que parmi les Comtois, Trait breton et Croisés. Néanmoins, la race Croisés comme facteur de risque est à nuancer car les chevaux de cette race sont quasiment tous regroupés au sein d'un même élevage. Par ailleurs, le modèle utilisé est le modèle binomial négatif linéaire généralisé. Il ne prend pas en compte l'effet élevage qui est aussi un facteur de confusion.

Ainsi des études sur un échantillon plus grand, avec une liste plus longue d'expositions d'intérêt pourrait être intéressant pour tenter de déterminer d'autres facteurs de risques pouvant avoir un réel impact sur l'infestation des chevaux de trait par les tiques. En augmentant la taille de l'échantillon, le modèle binomial négatif mixte serait plus adéquat car il prend en compte l'effet élevage. Par ailleurs, l'étude pourrait être envisagée sur plusieurs années pour pallier l'inhomogénéité des conditions climatiques. L'augmentation du nombre de chevaux permettrait également d'augmenter la puissance statistique des résultats. La thèse d'Université de Clémence Nadal qui vise à appréhender les facteurs de risque d'infection des chevaux par la piroplasmose est réalisée sur un nombre plus élevé de chevaux de trait. La présence d'agents pathogènes dans les tiques est également recherchée dans la thèse de Clémence Nadal.

Liste des références bibliographiques

- ABDEL-FATTAH, M.A.F., EL-KHOLANY, K. (2005) Evaluation of Amitraz Against Ticks and Mites Infestation in Cattle and Sheep in Comparison With Diazinon and Deltamethrin. *Journal of Veterinary Medical Research* vol. 15, n° 2, p. 52-58. [https://doi.org/10.21608/jvmr.2005.77931]
- AGOULON, A., MALANDRIN, L., LEPIGEON, F., *et al.* (2012) A Vegetation Index qualifying pasture edges is related to *Ixodes ricinus* density and to *Babesia divergens* seroprevalence in dairy cattle herds. *Veterinary Parasitology* vol. 185, n° 2-4, p. 101-109. [https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.10.022]
- ALI, A., ZAHID, H., ZEB, I., *et al.* (2021) Risk factors associated with tick infestations on equids in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, with notes on *Rickettsia massiliae* detection. *Parasites & Vectors* vol. 14. [https://doi.org/10.1186/s13071-021-04836-w]
- ALLSOPP, M.T.E.P., LEWIS, B.D., PENZHORN, B.L. (2007) Molecular evidence for transplacental transmission of *Theileria equi* from carrier mares to their apparently healthy foals. *Veterinary Parasitology* vol. 148, n° 2, p. 130-136. [https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.05.017]
- ALMAZÁN, C., FOURNIOL, L., RAKOTOBÉ, S., *et al.* (2020) Failed Disruption of Tick Feeding, Viability, and Molting after Immunization of Mice and Sheep with Recombinant *Ixodes ricinus* Salivary Proteins IrSPI and IrLip1. *Vaccines* vol. 8, n° 3. [https://doi.org/10.3390/vaccines8030475]
- ANDREU, A. (2019) Les chevaux et la Normandie, géographie d'une filière d'élevage. In *Géoconfluences*. [http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-regionaux/france-espaces-ruraux-periurbains/articles-scientifiques/elevage-cheval-normandie] (consulté le 21/11/2021).
- ANSAY, M. (1990) Pesticides et médicaments en santé animale: rencontre interdisciplinaire Nord-Sud de technologies. Bruxelles, Presses universitaires de Namur.
- BALASHOV, Y. (1972) Bloodsucking Ticks (Ixodoidea) – Vectors of Diseases of Man and Animals. *Miscellaneous Publications of the Entomological Society of America* vol. 8, n° 5, p. 161-376.
- BARKER, S.C., MURRELL, A. (2004) Systematics and evolution of ticks with a list of valid genus and species names. *Parasitology* vol. 129 Suppl, p. S15-36. [https://doi.org/10.1017/s0031182004005207]
- BAXTER, G.D., GREEN, P., STUTTGEN, M., *et al.* (1999) Detecting resistance to organophosphates and carbamates in the cattle tick *Boophilus microplus*, with a propoxur-based biochemical test. *Experimental & Applied Acarology* vol. 23, n° 11, p. 907-914. [https://doi.org/10.1023/a:1006364816302]
- BENAMOU-SMITH, A.E.M., GUIDI, E., DEBERGÉ, E., *et al.* (2015) Etude des cas de piroplasmose présentés à Vetagrosup Lyon entre 2011 et 2013: quelles caractéristiques cliniques et hémato-biochimiques faut-il retenir? *Institut français du cheval et de l'équitation 2015* p. 162-164.
- BIOMNIS (2017) Le point sur les maladies transmises par les tiques. In *Eurofins*. [https://www.eurofins-biomnis.com/wp-content/uploads/2016/08/Le-point-Sur-Maladies-tiques-DS20.pdf] (consulté le 18/03/2022).
- BLISNICK, A.A., FOULON, T., BONNET, S.I. (2017) Serine Protease Inhibitors in Ticks: An Overview of Their Role in Tick Biology and Tick-Borne Pathogen Transmission. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* vol. 7, p. 199. [https://doi.org/10.3389/fcimb.2017.00199]
- BOCK, R.E., DE VOS, A.J., KINGSTON, T.G., *et al.* (1997) Effect of breed of cattle on innate resistance to infection with *Babesia bovis*, *B bigemina* and *Anaplasma marginale*. *Australian Veterinary Journal* vol. 75, n° 5, p. 337-340. [https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1997.tb15706.x]

- BONNET, S. (2019) Tiques et chevaux : quels risques en France ? *In IFCE*. [<https://www.ifce.fr/wp-content/uploads/2019/09/Tiques-et-chevaux-quels-risques-en-france.2pdf.pdf>] (consulté le 24/11/2021).
- BONNET, S., BOULANGER, N. (2019) Tiques, Lyme & Cie. Paris, Scitep éditions.
- BONNET, S., DE LA FUENTE, J., NICOLLET, P., *et al.* (2013) Prevalence of Tick-Borne Pathogens in Adult *Dermacentor* spp. Ticks from Nine Collection Sites in France. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* vol. 13, n° 4, p. 226-236. [<https://doi.org/10.1089/vbz.2011.0933>]
- BONNET, S., RICHARDSON, J. (2018) La vaccination anti-tiques comme outil de prévention contre les multiples agents qu'elles transmettent. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France* vol. 171, n° 1, p. 14-19. [<https://doi.org/10.4267/2042/68002>]
- BOULANGER, N., MCCOY, K.D. (Éd.) (2015) Tiques et maladies à tiques : Biologie, écologie évolutive, épidémiologie, Tiques et maladies à tiques : Biologie, écologie évolutive, épidémiologie, Didactiques. Marseille, IRD Éditions.
- BOYARD, C. (2007) Facteurs environnementaux de variation de l'abondance des tiques *Ixodes ricinus* dans des zones d'étude modèles en Auvergne. Thèse de biologie animale. Clermont-Ferrand, Université Blaise Pascal.
- BUSSIÉRAS, J., CHERMETTE, R. (1991) Abrégé de Parasitologie vétérinaire Entomologie vétérinaire, Polycopié. Maisons-Alfort, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, unité de parasitologie.
- CABEZAS-CRUZ, A., DE LA FUENTE, J. (2017) Immunity to α -Gal: Toward a Single-Antigen Pan-Vaccine To Control Major Infectious Diseases. *ACS Central Science* vol. 3, n° 11, p. 1140-1142. [<https://doi.org/10.1021/acscentsci.7b00517>]
- CABEZAS-CRUZ, A., ESPINOSA, P.J., ALBERDI, P., *et al.* (2018) Tick galactosyltransferases are involved in α -Gal synthesis and play a role during *Anaplasma phagocytophilum* infection and *Ixodes scapularis* tick vector development. *Scientific Reports* vol. 8, n° 1, p. 14224. [<https://doi.org/10.1038/s41598-018-32664-z>]
- CAFARCHIA, C., IMMEDIATO, D., IATTA, R., *et al.* (2015) Native strains of *Beauveria bassiana* for the control of *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato. *Parasites & Vectors* vol. 8, p. 80. [<https://doi.org/10.1186/s13071-015-0693-9>]
- CAMICAS, J.-L., HERVY, J., ADAM F, *et al.* (1998) Les tiques du monde (Acarida, Ixodida) : nomenclature, stades décrits, hôtes, répartition The ticks of the world (Acarida, Ixodida) : nomenclature, described stages, hosts, distribution, Orstom. Paris.
- CAMICAS, J.-L., MOREL, P.C. (1977) Position systématique et classification des tiques (Acarida : Ixodida). *Acarologia* vol. 18, n° 3, p. 410-420.
- CASIDA, J.E. (1980) Pyrethrum flowers and pyrethroid insecticides. *Environmental health perspectives* vol. 34, p. 189-202. [<https://doi.org/10.1289/ehp.8034189>]
- CHALVET-MONFRAY, K. (2020) Tiques, maladie de Lyme et autres maladies à tiques - Les facteurs déterminants la répartition et l'abondance de tiques dans l'environnement. [https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/DP_INRAE-Tiques.pdf] (consulté le 17/06/2022).
- COIFFAIT, C. (2019) Rythme d'activité de la tique *Ixodes ricinus* : une synchronisation avec l'activité du chevreuil ? Thèse de médecine vétérinaire. Toulouse, Université Paul-Sabatier.
- CONSEIL DÉPARTEMENTAL DU CANTAL (2019) Schéma départemental de coopération intercommunale. *In Cantal*. [<https://www.cantal.fr/wp-content/uploads/2021/04/Interco-V2.png>] (consulté le 30/03/2022).
- DAI, J., WANG, P., ADUSUMILLI, S., *et al.* (2009) Antibodies against a tick protein, Salp15, protect mice from the Lyme disease agent. *Cell host & microbe* vol. 6, n° 5, p. 482-492. [<https://doi.org/10.1016/j.chom.2009.10.006>]
- DANIEL, M., DUSBABEK, F. (1994) Micrometeorological and microhabitat factors affecting maintenance and dissemination of tick-borne diseases in the environment. *In* Sonenshine D.E., Mather T.N., *Ecological dynamics of tick-borne zoonoses*. New York, Oxford University Press.
- DANIEL, M., MALÝ, M., DANIELOVÁ, V., *et al.* (2015) Abiotic predictors and annual seasonal dynamics of *Ixodes ricinus*, the major disease vector of Central Europe. *Parasites & Vectors* vol. 8, n° 1, p. 478. [<https://doi.org/10.1186/s13071-015-1092-y>]

- DANTAS-TORRES, F. (2010) Biology and ecology of the brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus*. *Parasites & Vectors* vol. 3, n° 1, p. 26. [<https://doi.org/10.1186/1756-3305-3-26>]
- DE LA FUENTE, J., ALMAZÁN, C., CANALES, M., *et al.* (2007) A ten-year review of commercial vaccine performance for control of tick infestations on cattle. *Animal Health Research Reviews* vol. 8, n° 1, p. 23-28. [<https://doi.org/10.1017/S1466252307001193>]
- DE LA FUENTE, J., ALMAZÁN, C., NARANJO, V., *et al.* (2006) Autocidal control of ticks by silencing of a single gene by RNA interference. *Biochemical and Biophysical Research Communications* vol. 344, n° 1, p. 332-338. [<https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2006.03.109>]
- DE OLIVEIRA, P.R., CALLIGARIS, I.B., ROMA, G.C., *et al.* (2012) Potential of the insect growth regulator, fluazuron, in the control of *Rhipicephalus sanguineus* nymphs (Latreille, 1806) (Acari: Ixodidae): Determination of the LD95 and LD50. *Experimental Parasitology* vol. 131, n° 1, p. 35-39. [<https://doi.org/10.1016/j.exppara.2012.02.023>]
- DURAND, J. (2021) Les résultats de CiTIQUE : la carte de distribution des signalements de piqûre de tique (2017-2019). In *CiTIQUE*. [https://www.citique.fr/distribution_signalements_2019/] (consulté le 23/03/2022).
- ECDC, EFSA (2020a) *Dermacentor reticulatus* - current known distribution: September 2020. In *European Centre for Disease Prevention and Control*. [<https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/dermacentor-reticulatus-current-known-distribution-september-2020>] (consulté le 27/03/2022).
- ECDC, EFSA (2020b) *Hyalomma marginatum* - current known distribution: May 2020. In *European Centre for Disease Prevention and Control*. [<https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/hyalomma-marginatum-current-known-distribution-may-2020>] (consulté le 28/03/2022).
- ECDC, EFSA (2020c) *Ixodes ricinus* - current known distribution: May 2020. In *European Centre for Disease Prevention and Control*. [<https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/ixodes-ricinus-current-known-distribution-may-2020>] (consulté le 28/03/2022).
- ECDC, EFSA (2019) *Rhipicephalus bursa* - current known distribution: January 2019. In *European Centre for Disease Prevention and Control*. [<https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/rhipicephalus-bursa-current-known-distribution-january-2019>] (consulté le 28/03/2022).
- ESTRADA-PENA, A., BOUATTOUR, A., CAMICAS, J.-L., *et al.* (2004) Ticks of Domestic Animals in the Mediterranean Region. A Guide to Identification of Species. Zaragoza, University of Zaragoza ITG Library.
- ESTRADA-PEÑA, A., MARTÍNEZ AVILÉS, M., MUÑOZ REOYO, M.J. (2011) A population model to describe the distribution and seasonal dynamics of the tick *Hyalomma marginatum* in the Mediterranean Basin. *Transboundary and Emerging Diseases* vol. 58, n° 3, p. 213-223. [<https://doi.org/10.1111/j.1865-1682.2010.01198.x>]
- ESTRADA-PEÑA, A., MIHALCA, A.D., PETNEY, T.N. (2018) Ticks of Europe and North Africa: A Guide to Species Identification. Cham, Springer.
- FERNANDEZ-RUVALCABA, M., CRUZ-VAZQUEZ, C., SOLANO-VERGARA, J., *et al.* (1999) Anti-tick effects of *Stylosanthes humilis* and *Stylosanthes hamata* on plots experimentally infested with *Boophilus microplus* larvae in Morelos, Mexico. *Experimental & Applied Acarology* vol. 23, n° 2, p. 171-175. [<https://doi.org/10.1023/a:1006010812891>]
- GARCÍA-BOCANEGRA, I., ARENAS-MONTES, A., HERNÁNDEZ, E., *et al.* (2013) Seroprevalence and risk factors associated with *Babesia caballi* and *Theileria equi* infection in equids. *Veterinary Journal* vol. 195, n° 2, p. 172-178. [<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.06.012>]
- GEORGE, J.E. (2000) Present and future technologies for tick control. *Annals of the New York Academy of Sciences* vol. 916, p. 583-588. [<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2000.tb05340.x>]
- GERSTENBERG, C., ALLEN, W.R., PHIPPS, L.P. (1998) Mechanical transmission of *Babesia equi* infection in a British herd of horses. In *Proceedings of the eight international conference of equine infectious diseases*. Dubai, R and W Publications, p. 217-222.
- GHARBI, M., DRISSI, G., DARGHOOUTH, M.-A. (2018) Population dynamics of ticks infesting horses in north-west Tunisia. *Revue scientifique et technique* vol. 37, n° 3, p. 837-841. [<https://doi.org/10.20506/rst.37.3.2890>]

- GHERMAN, C., MIHALCA, A., DUMITRACHE, M., *et al.* (2012) CO 2 flagging - An improved method for the collection of questing ticks. *Parasites & vectors* vol. 5, p. 125. [https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-125]
- GINSBERG, H.S., EWING, C.P. (1989) Comparison of flagging, walking, trapping, and collecting from hosts as sampling methods for northern deer ticks, *Ixodes dammini*, and lone-star ticks, *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae). *Experimental & Applied Acarology* vol. 7, n° 4, p. 313-322. [https://doi.org/10.1007/BF01197925]
- GOMES, L.V.C., LOPES, W.D.Z., CRUZ, B.C., *et al.* (2015) Acaricidal effects of fluzaron (2.5 mg/kg) and a combination of fluzaron (1.6 mg/kg) + ivermectin (0.63 mg/kg), administered at different routes, against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* parasitizing cattle. *Experimental Parasitology* vol. 153, p. 22-28. [https://doi.org/10.1016/j.exppara.2015.02.004]
- GONDARD, M. (2017) A la découverte des agents pathogènes et microorganismes des tiques de la Caraïbe par séquençage de nouvelle génération et PCR microfluidique en temps réel. Thèse de doctorat: Sciences de la vie et de la santé. Champs-sur-Marne, Université Paris-Est.
- GRAY, J.S. (1991) The development and seasonal activity of the tick, *Ixodes ricinus*: a vector of Lyme borreliosis. *Review of Medical and Veterinary Entomology* vol. 79, n° 6, p. 323-333. [https://doi.org/10.1079/cabreviews/19910506476]
- GRAY, J.S. (1984) Studies on the dynamics of active populations of the sheep tick, *Ixodes ricinus* L. in Co. Wicklow, Ireland. *Acarologia* vol. 25, n° 2, p. 167-178.
- GRECH-ANGELINI, S., STACHURSKI, F., LANCELOT, R., *et al.* (2016a) First report of the tick *Hyalomma scupense* (natural vector of bovine tropical theileriosis) on the French Mediterranean island of Corsica. *Veterinary Parasitology* vol. 216, n° 33, p. 33-37. [https://doi.org/10.1016]
- GRECH-ANGELINI, S., STACHURSKI, F., LANCELOT, R., *et al.* (2016b) Ticks (Acari: Ixodidae) infesting cattle and some other domestic and wild hosts on the French Mediterranean island of Corsica. *Parasites & Vectors* vol. 9, n° 1, p. 582. [https://doi.org/10.1186/s13071-016-1876-8]
- GRECH-ANGELINI, S., STACHURSKI, F., VAYSSIER-TAUSSAT, M., *et al.* (2020) Tick-borne pathogens in ticks (Acari: Ixodidae) collected from various domestic and wild hosts in Corsica (France), a Mediterranean island environment. *Transboundary and Emerging Diseases* vol. 67, n° 2, p. 745-757. [https://doi.org/10.1111/tbed.13393]
- GUGLIELMONE, A.A., ROBBINS, R.G., APANASKEVICH, D.A., *et al.* (2010) The Argasidae, Ixodidae and Nuttalliellidae (Acari: Ixodida) of the world : a list of valid species names vol. 2528, n° 1. [https://doi.org/10.11646/zootaxa.2528.1.1]
- GUIDI, E., PRADIER, S., LEBERT, I., *et al.* (2014) Piroplasmosis in an endemic area, implications for the control of equine Theileriosis and Babesiosis in horses. *Parasitology Research* vol. 114, n° 1, p. 71-83. [https://doi.org/10.1007/s00436-014-4161-9]
- HAJDUSEK, O., SIMA, AYLLON, N., *et al.* (2013) Interaction of the tick immune system with transmitted pathogens. *Frontiers in cellular and infection microbiology* vol. 3, n° 26. [https://doi.org/10.3389/fcimb.2013.00026]
- HUBÁLEK, Z., HALOUZKA, J., JURICOVÁ, Z., *et al.* (2006) Effect of forest clearing on the abundance of *Ixodes ricinus* ticks and the prevalence of *Borrelia burgdorferi* s.l. *Medical and Veterinary Entomology* vol. 20, n° 2, p. 166-172. [https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2006.00615.x]
- HÜE, T., FONTFREYDE, C. (2019) Development of a new approach of pasture management to control *Rhipicephalus microplus* infestation. *Tropical Animal Health and Production* vol. 51, n° 7, p. 1989-1995. [https://doi.org/10.1007/s11250-019-01899-x]
- IFCE (2020) Annuaire ECUS 2020 Bilan statistique de la filière équine française - Données 2019 Elevage Commerce Utilisations Statistiques socio-économiques. In IFCE. [https://equipedia.ifce.fr/fileadmin/bibliotheque/6.Statistiques/6.1.Ecus-depliant/ECUS-2020.pdf] (consulté le 21/11/2021).
- IFCE (2013) La filière équine en Rhône-Alpes Observatoire économique régional. In IFCE. [https://www.ifce.fr/wp-content/uploads/2015/07/OESC-OER-Plaquette-Rhone-Alpes2013web.pdf] (consulté le 21/11/2021).

- KAUTZMANN, L. (2018) Estimation bayésienne du taux d'échantillonnage et de la population à l'affût lors de collecte au drap d'*Ixodes ricinus*. Thèse de médecine vétérinaire. Vetagro sup.
- KLOMPEN, H., DOBSON, S., BARKER, S. (2002) A new subfamily, Bothriocrotoninae n. subfam., for the genus Bothriocroton Keirans, King & Sharrad, 1994 status amend. (Ixodida : Ixodidae), and the synonymy of *Aponomma* Neumann, 1899 with *Amblyomma* Koch, 1844. *Systematic parasitology* vol. 53, p. 101-7. [<https://doi.org/10.1023/A:1020466007722>]
- KOCH, H.G. (1982) Seasonal Incidence and Attachment Sites of Ticks (Acari: Ixodidae) on Domestic Dogs in Southeastern Oklahoma and Northwestern Arkansas, USA. *Journal of Medical Entomology* vol. 19, n° 3, p. 293-298. [<https://doi.org/10.1093/jmedent/19.3.293>]
- KONNAI, S., YAMADA, S., IMAMURA, S., *et al.* (2007) Attachment Duration Required for *Rhipicephalus appendiculatus* to Transmit *Theileria parva* to the Host. *Vector borne and zoonotic diseases* vol. 7, p. 241-8. [<https://doi.org/10.1089/vbz.2006.0616>]
- LAMONTELLERIE, M. (1965) Les tiques (Acarina, Ixodoidea) du Sud-Ouest de la France. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* vol. 40, n° 1, p. 87-100. [<https://doi.org/10.1051/parasite/1965401087>]
- LATITUDE-CARTAGÈNE (2016) Des cartes Région Auvergne-Rhône-Alpes. In *Auvergne-Rhône - Alpes*. [<https://www.auvergnerrhonealpes.fr/media/1360/download?inline>] (consulté le 18/03/2022).
- LE METAYER, G.A. (2007) Séroprévalence des piroplasmoses équine en France entre 1997 et 2005. Thèse de médecine vétérinaire, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort.
- LEES, A.D. (1948) The sensory physiology of the sheep tick, *Ixodes Ricinus* L. *Journal of Experimental Biology* vol. 25, n° 2, p. 145-207. [<https://doi.org/10.1242/jeb.25.2.145>]
- L'HOSTIS, M., DIARRA, O., SEEGER, H. (1994) Sites of attachment and density assessment of female *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) on dairy cows. *Experimental & Applied Acarology* vol. 18, n° 11, p. 681-689. [<https://doi.org/10.1007/BF00051535>]
- L'HOSTIS, M., DUMON, H., DORCHIES, B., *et al.* (1995) Seasonal incidence and ecology of the tick *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) on grazing pastures in western France. *Experimental & Applied Acarology* vol. 19, n° 4, p. 211-220. [<https://doi.org/10.1007/BF00130824>]
- LIU, X.Y., BONNET, S.I. (2014) Hard Tick Factors Implicated in Pathogen Transmission. *PLoS Neglected Tropical Diseases* vol. 8, n° 1, p. e2566. [<https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002566>]
- LOVIS, L., PERRET, J.-L., BOUVIER, J., *et al.* (2011) A new in vitro test to evaluate the resistance level against acaricides of the cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Veterinary Parasitology* vol. 182, n° 2-4, p. 269-280. [<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.06.004>]
- MADDER, M., DERNBURG, A. (2018) La Lutte Intégrée contre les Arthropodes Vecteurs de Maladies chez les Bovins (EGSALI) Tiques. In *GDS974*. [https://www.gds974.com/wp-content/uploads/2018/11/Tiques_betail_EGSALI_2.pdf] (consulté le 11/03/2022).
- MANS, B.J., DE KLERK, D., PIENAAR, R., *et al.* (2011) *Nuttalliella namaqua*: a living fossil and closest relative to the ancestral tick lineage: implications for the evolution of blood-feeding in ticks. *PloS One* vol. 6, n° 8, p. e23675. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023675>]
- MAYS, S.E., HOUSTON, A.E., TROUT FRYXELL, R.T. (2016) Comparison of novel and conventional methods of trapping ixodid ticks in the southeastern U.S.A. *Medical and Veterinary Entomology* vol. 30, n° 2, p. 123-134. [<https://doi.org/10.1111/mve.12160>]
- MCCOY, K., VOURC'H, G. (2018) Ménotique Fiche *Ixodes ricinus*. In *CITIQUE*. [<https://www.citique.fr/les-tiques/les-especes-de-tiques/>]
- MCCULLAGH, P., NELDER, J.A. (1989) Generalized Linear Models, 2nd ed. Londres, Chapman et Hall/CRC.
- MEHLHORN, H., SCHUMACHER, B., JATZLAU, A., *et al.* (2011) Efficacy of deltamethrin (Butox® 7.5 pour on) against nymphs and adults of ticks (*Ixodes ricinus*, *Rhipicephalus sanguineus*) in treated hair of cattle and sheep. *Parasitology Research* vol. 108, n° 4, p. 963-971. [<https://doi.org/10.1007/s00436-010-2141-2>]
- MELHORN, H., AMSTRONG, P.M. (2001) Encyclopedic reference of parasitology. Berlin, Heidelberg, Springer.

- MENG, H., XU, S., YU, Z., *et al.* (2016) Abundance and seasonal activity of *Haemaphysalis concinna* (Acari: Ixodidae) at the border between China and Russia in Northern Inner Mongolia, China. *Parasites & Vectors* vol. 9, n° 1, p. 1. [<https://doi.org/10.1186/s13071-015-1291-6>]
- MERINO, O., ANTUNES, S., MOSQUEDA, J., *et al.* (2013) Vaccination with proteins involved in tick-pathogen interactions reduces vector infestations and pathogen infection. *Vaccine* vol. 31, n° 49, p. 5889-5896. [<https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2013.09.037>]
- MOUTAILLER, S., VALIENTE MORO, C., VAUMOURIN, E., *et al.* (2016) Co-infection of Ticks: The Rule Rather Than the Exception. *PLoS Neglected Tropical Diseases* vol. 10, n° 3, p. e0004539. [<https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004539>]
- MURRELL, A., BARKER, S.C. (2003) Synonymy of *Boophilus* Curtice, 1891 with *Rhipicephalus* Koch, 1844 (Acari: Ixodidae). *Systematic Parasitology* vol. 56, n° 3, p. 169-172. [<https://doi.org/10.1023/B:SYPA.0000003802.36517.a0>]
- NADAL, C., BONNET, S.I., MARSOT, M. (2021) Eco-epidemiology of equine piroplasmiasis and its associated tick vectors in Europe: A systematic literature review and a meta-analysis of prevalence. *Transboundary and Emerging Diseases*. [<https://doi.org/10.1111/tbed.14261>]
- NADAL, C., MARSOT, M., LE METAYER, G., *et al.* (2022) Spatial and Temporal Circulation of *Babesia caballi* and *Theileria equi* in France Based on Seven Years of Serological Data. *Pathogens (Basel, Switzerland)* vol. 11, n° 2, p. 227. [<https://doi.org/10.3390/pathogens11020227>]
- NATH, S., MANDAL, S., PAL, S., *et al.* (2018) Impact and Management of Acaricide Resistance-Pertaining to Sustainable Control of Ticks. *International Journal of Livestock Research* vol. 8, n° 5, p. 46.
- OIE (2011) Piroplasmose équine Code sanitaire pour animaux terrestres. In OIE. [https://www.oie.int/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahc/2011/fr_chapitre_1.12.7.pdf] (consulté le 21/11/2021).
- OSTFELD, R.S., PRICE, A., HORNBOSTEL, V.L., *et al.* (2006) Controlling Ticks and Tick-borne Zoonoses with Biological and Chemical Agents. *BioScience* vol. 56, n° 5, p. 383-394. [[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)056\[0383:CTATZW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)056[0383:CTATZW]2.0.CO;2)]
- PARTHASARATHI, B.C., KUMAR, B., GHOSH, S. (2021) Current status and future prospects of multi-antigen tick vaccine. *Journal of Vector Borne Diseases* vol. 58, n° 3, p. 183-192. [<https://doi.org/10.4103/0972-9062.321739>]
- PEREIRA, M.C., LABRUNA, M.B., SZABO, M.P.J., *et al.* (2008) *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: biologia, controle e resistência. São Paulo, MedVet.
- PÉREZ-EID, C. (2007) Les tiques : identification, biologie, importance médicale et vétérinaire, Monographies de microbiologie. Paris, Tec et Doc Lavoisier.
- PIESMAN, J., KARAKASHIAN, S.J., LEWENGRUB, S., *et al.* (1986) Development of *Babesia microti* sporozoites in adult *Ixodes dammini*. *International Journal for Parasitology* vol. 16, n° 4, p. 381-385. [[https://doi.org/10.1016/0020-7519\(86\)90118-9](https://doi.org/10.1016/0020-7519(86)90118-9)]
- PIESMAN, J., MATHER, T.N., SINSKY, R.J., *et al.* (1987) Duration of tick attachment and *Borrelia burgdorferi* transmission. *Journal of Clinical Microbiology* vol. 25, n° 3, p. 557-558.
- PLANTARD, O. (2020) Tiques, maladie de Lyme et autres maladies à tiques-Xenobio-TICK: séquencer le transcriptome des tiques pour le développement des nouveaux acaricides. In INRAE. [https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/DP_INRAE-Tiques.pdf] (consulté le 21/11/2021).
- PLANTARD, O. (2018) Ménotique Fiche *Dermacentor*. In CiTIQUE. [<https://www.citique.fr/les-tiques/les-especes-de-tiques/>] (consulté le 25/03/2022).
- PRULLAGE, J.B., TRAN, H.V., TIMMONS, P., *et al.* (2011) The combined mode of action of fipronil and amitraz on the motility of *Rhipicephalus sanguineus*. *Veterinary Parasitology* vol. 179, n° 4, p. 302-310. [<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.03.041>]
- RANDOLPH, S.E. (2011) Transmission of tick-borne pathogens between co-feeding ticks: Milan Labuda's enduring paradigm. *Ticks and Tick-borne Diseases* vol. 2, n° 4, p. 179-182. [<https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2011.07.004>]
- RECHAV, Y. (1987) Resistance of Brahman and Hereford cattle to African ticks with reference to serum gamma globulin levels and blood composition. *Experimental & Applied Acarology* vol. 3, n° 3, p. 219-232. [<https://doi.org/10.1007/BF01270458>]

- RECHAV, Y., DAUTH, J., ELS, D.A. (1990) Resistance of Brahman and Simmentaler cattle to southern African ticks. *The Onderstepoort Journal of Veterinary Research* vol. 57, n° 1, p. 7-12.
- RENÉ-MARTELLET, M. (2018) Ménotique Fiche *Rhipicephalus*. In *CITIQUE*. [<https://www.citique.fr/les-tiques/les-especes-de-tiques/>] (consulté le 25/03/2022).
- RESPE (2019) Les tiques, à l'origine de maladies. *Cheval santé* n° 123, p. 61-63.
- RICHARDS, S.L., LANGLEY, R., APPERSON, C.S., *et al.* (2017) Do Tick Attachment Times Vary between Different Tick-Pathogen Systems? *Environments* vol. 4, n° 2, p. 37. [<https://doi.org/10.3390/environments4020037>]
- RODHAIN, F., PÉREZ-EID, C. (1985) Précis d'entomologie médicale et vétérinaire: notions d'épidémiologie des maladies à vecteurs. Paris, Maloine.
- RODRIGUEZ-VIVAS, R.I., JONSSON, N.N., BHUSHAN, C. (2018) Strategies for the control of *Rhipicephalus microplus* ticks in a world of conventional acaricide and macrocyclic lactone resistance. *Parasitology Research* vol. 117, n° 1, p. 3-29. [<https://doi.org/10.1007/s00436-017-5677-6>]
- RUBEL, F., BRUGGER, K., PFEFFER, M., *et al.* (2016) Geographical distribution of *Dermacentor marginatus* and *Dermacentor reticulatus* in Europe. *Ticks and Tick-borne Diseases* vol. 7, n° 1, p. 224-233. [<https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2015.10.015>]
- SAMISH, M., ALEKSEEV, E., GLAZER, I. (1999) Interaction Between Ticks (Acari: Ixodidae) and Pathogenic Nematodes (Nematoda): Susceptibility of Tick Species at Various Developmental Stages. *Journal of medical entomology* vol. 36, p. 733-40. [<https://doi.org/10.1093/jmedent/36.6.733>]
- SAMISH, M., GINSBERG, H., GLAZER, I. (2004) Biological control of ticks. *Parasitology* vol. 129, p. 389-403. [<https://doi.org/10.1017/S0031182004005219>]
- SANT, C., D'ABADIE, R., PARGASS, I., *et al.* (2016) Prospective study investigating transplacental transmission of equine piroplasmiasis in thoroughbred foals in Trinidad. *Veterinary Parasitology* vol. 226, p. 132-137. [<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.07.008>]
- SCHEIN, E. (1988) Babesiosis of Domestic Animals and Man Equine babesiosis, Miodrag Ristic. Boca Raton, CRC.
- SCHMIDTMANN, E.T., CARROLL, J.F., WATSON, D.W. (1998) Attachment-Site Patterns of Adult Blacklegged Ticks (Acari: Ixodidae) on White-Tailed Deer and Horses. *Journal of Medical Entomology* vol. 35, n° 1, p. 59-63. [<https://doi.org/10.1093/jmedent/35.1.59>]
- SCOLES, G.A., UETI, M. (2015) Vector Ecology of Equine Piroplasmiasis. *Annual Review of Entomology*, *Annual Review of Entomology* vol. 60, n° 1, p. 561-580. [<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-021110>]
- SILBERMAN, J., TAYLOR, A. (2022) Carbamate Toxicity. In *StatPearls*. Treasure Island (FL), StatPearls Publishing.
- ŠIMO, L., KAZIMIROVA, M., RICHARDSON, J., *et al.* (2017) The Essential Role of Tick Salivary Glands and Saliva in Tick Feeding and Pathogen Transmission. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* vol. 7, p. 281. [<https://doi.org/10.3389/fcimb.2017.00281>]
- SIMO, L., ZITNAN, D., PARK, Y. (2009) Two novel neuropeptides in innervation of the salivary glands of the black-legged tick, *Ixodes scapularis*: myoinhibitory peptide and SIFamide. *The Journal of Comparative Neurology* vol. 517, n° 5, p. 551-563. [<https://doi.org/10.1002/cne.22182>]
- SONENSHINE, D.E. (2006) Tick pheromones and their use in tick control. *Annual Review of Entomology* vol. 51, p. 557-580. [<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151150>]
- SONENSHINE, D.E., ADAMS, T., ALLAN, S.A., *et al.* (2003) Chemical composition of some components of the arrestment pheromone of the black-legged tick, *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) and their use in tick control. *Journal of Medical Entomology* vol. 40, n° 6, p. 849-859. [<https://doi.org/10.1603/0022-2585-40.6.849>]
- SUNDSTROM, K.D., LINEBERRY, M.W., GRANT, A.N., *et al.* (2021) Equine attachment site preferences and seasonality of common North American ticks: *Amblyomma americanum*, *Dermacentor albipictus*, and *Ixodes scapularis*. *Parasites & Vectors* vol. 14, n° 1, p. 404. [<https://doi.org/10.1186/s13071-021-04927-8>]

- TAMZALI, Y. (2013) Equine piroplasmosis: An updated review. *Equine veterinary education*, p. 590-598. [<https://doi.org/10.1111/eve.12070>]
- TERASSINI, F.A., BARBIERI, F.S., ALBUQUERQUE, S., *et al.* (2010) Comparison of two methods for collecting free-living ticks in the Amazonian forest. *Ticks and Tick-Borne Diseases* vol. 1, n° 4, p. 194-196. [<https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2010.08.002>]
- TIROSH-LEVY, S., GOTTLIEB, Y., APANASKEVICH, D., *et al.* (2018) Species distribution and seasonal dynamics of equine tick infestation in two Mediterranean climate niches in Israel. *Parasites & Vectors* vol. 11. [<https://doi.org/10.1186/s13071-018-3093-0>]
- TOMA, B., DUFOUR, B., BÉNET, J.J., *et al.* (2018) *Epidémiologie appliquée à la lutte collective contre les maladies animales transmissibles majeures*, 4ème éd. Maisons-Alfort, AEEMA.
- TOMKINS, J.L., AUNGIER, J., HAZEL, W., *et al.* (2014) Towards an Evolutionary Understanding of Questing Behaviour in the Tick *Ixodes ricinus*. *PLoS ONE* vol. 9, n° 10, p. e110028. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110028>]
- UNIVERSITY OF BRISTOL (2022a) *Dermacentor reticulatus*. In *Bristol University Tick ID Online photographic guide to ticks*. [<http://www.bristoluniversitytickid.uk/page/Dermacentor+reticulatus/14/#.YvvEaHZBzIU>] (consulté le 16/08/2022).
- UNIVERSITY OF BRISTOL (2022b) *Ixodes ricinus*. In *Bristol University Tick ID Online photographic guide to ticks*. [http://www.bristoluniversitytickid.uk/page/Ixodes+ricinus/26/#.Yvu_yHZBzIU] (consulté le 16/08/2022).
- UNIVERSITY OF BRISTOL (2022c) *Haemaphysalis punctata*. In *Bristol University Tick ID Online photographic guide to ticks*. [<http://www.bristoluniversitytickid.uk/page/Haemaphysalis+punctata/17/#.YkFaFOdBzIU>] (consulté le 28/03/2022).
- UNIVERSITY OF BRISTOL (2022d) *Haemaphysalis concinna*. In *Bristol University Tick ID Online photographic guide to ticks*. [<http://www.bristoluniversitytickid.uk/page/Haemaphysalis+concinna/15/#.Yqn4o3ZBzIU>] (consulté le 15/06/2022).
- VAN OOSTEN, A.R., MATTHYSEN, E., HEYLEN, D.J.A. (2016) Mating strategies and multiple paternity, assessed by microsatellites, of the dispersal-limited, ectoparasitic tree-hole tick, *Ixodes arboricola*. *International Journal for Parasitology* vol. 46, n° 9, p. 593-602. [<https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2016.05.004>]
- VIAL, L. (2018) Ménotique Fiche *Hyalomma*. In *CITIQUE*. [<https://www.citique.fr/les-tiques/les-especes-de-tiques/>] (consulté le 25/03/2022).
- VIAL, L., STACHURSKI, F., LEBLOND, A., *et al.* (2016) Strong evidence for the presence of the tick *Hyalomma marginatum* Koch, 1844 in southern continental France. *Ticks and Tick-Borne Diseases* vol. 7, n° 6, p. 1162-1167. [<https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2016.08.002>]
- WALLACE, K., SARGENT, D., WEINER, M. (2002) Mechanisms of pyrethroid neurotoxicity: implications for cumulative risk assessment. *Toxicology* vol. 171, n° 1, p. 3-59. [[https://doi.org/10.1016/s0300-483x\(01\)00569-8](https://doi.org/10.1016/s0300-483x(01)00569-8)]
- ZANZANI, S.A., PINTORE, E., OLIVIERI, E., *et al.* (2019) Ixodid ticks on wild donkeys in a Mediterranean nature reserve (Asinara National Park): diversity and risk factors. *Medical and Veterinary Entomology* vol. 33, n° 2, p. 238-246. [<https://doi.org/10.1111/mve.12355>]
- ZENNER, L., DREVON-GAILLOT, E. (2003) Contrôle et lutte chimique contre les tiques. *Le Point Vétérinaire* n° 235.

Annexe 1 : Temps d'attachement nécessaire pour transmettre des agents pathogènes chez différentes espèces de tiques (Richards *et al.*, 2017)

Table 1. Summary of attachment times reported in publications. Primary known US vector(s) are indicated in bold.

Pathogen(s)	Associated Disease	Arthropod Epidemiologic Vectors in US	Estimated Duration of Attachment Time to Transmit Pathogen	References for Attachment Time (Time Points Examined-Host)
<i>Anaplasma phagocytophilum</i>	Anaplasmosis	<i>I. scapularis</i> *, <i>I. pacificus</i>	24 h-50 h	[32] (24, 48, 72 h-C3H/HeJ and C3H/Smn.C1crHSD mice); [33] (12, 24, 30, 36, 50 h-C3H/HeJ mice)
<i>Babesia microti</i>	Babesiosis	<i>I. scapularis</i> *	7-18 days 36-54 h	[34] (every 24 h from 6-25 days-voles); [34] (36, 48, 54 h-hamsters)
<i>Borrelia burgdorferi</i>	Lyme disease	<i>I. scapularis</i> *, <i>I. pacificus</i> *	4-72 h (<i>Ixodes scapularis</i>); 48-96 h (<i>Ixodes pacificus</i>)	[17] (24, 48, 72, ≥96 h-deer mice); [35] (24, 48, 72 h, ≥96 h-mice); [36] (24, 48, 60, 72, 96, 192 h-only salivary glands tested [no host transmission]); [37] (4, 12 h-human clinical case report)
<i>Borrelia lonestari</i> **, possibly other <i>Borrelia</i> spp.	Master's disease, Southern tick associated rash illness	<i>A. americanum</i> *	Unknown	n/a
<i>Borrelia turicatae</i> , <i>Borrelia hermsii</i>	Tick-borne relapsing fever	<i>O. hermsii</i> *, <i>O. turicata</i> *, <i>O. parkeri</i>	15 s-30 min (transmission related to [rapid] time for engorgement in soft ticks)	[38] (6-23 min-unknown host); [31] (15 s, 30 min-Swiss Webster mice)
<i>Borrelia hermsii</i> , <i>Borrelia parkeri</i>	Tick-borne relapsing fever	<i>O. hermsii</i> *, <i>O. turicata</i> *, <i>O. parkeri</i>	Unknown	n/a
<i>Borrelia burgdorferi</i>	Borreliosis ****	<i>I. scapularis</i> *	24-96 h	[39] (24, 48, 72, 96 h-CD-1 mice)
<i>Borrelia miyamotoi</i>	<i>Borrelia miyamotoi</i> disease (Borreliosis) ****	<i>I. pacificus</i> *, <i>I. scapularis</i> *	24-96 h	[40] (24, 48, 72, 73-96 h-mice)
<i>Coxiella burnetii</i>	Query Fever	<i>A. americanum</i> , <i>A. cajennense</i> , <i>D. andersoni</i> *, <i>D. occidentalis</i> , <i>O. coriacus</i> Koch, <i>O. hermsii</i> (primary epidemic vector unknown)	Unknown	n/a
<i>Ehrlichia chaffeensis</i> , <i>Ehrlichia ruzhickii</i>	Ehrlichiosis	<i>A. americanum</i> , <i>D. variabilis</i>	24-50 h (<i>A. phagocytophilum</i>)	[33] (12, 24, 30, 36, 50 h-C3H/HeJ mice); [35] (24, 48, 72-mice)
<i>Ehrlichia muris</i>	n/a	<i>I. scapularis</i>	Unknown	n/a
<i>Francisella tularensis</i>	Tularemia	<i>A. americanum</i> , <i>D. andersoni</i> , <i>D. variabilis</i> * (also transmitted via aerosolized contact with or ingestion of infected animals)	48 h	[41] (48, 96, 144 h-saliva collected in capillary tube)
<i>Rickettsia 364D</i>	n/a	<i>D. occidentalis</i>	Unknown	n/a
<i>Rickettsia montanensis</i>	n/a	<i>D. variabilis</i>	Unknown	n/a
<i>Rickettsia parkeri</i>	Tidewater spotted fever, American boutonneuse fever, Maculatum rickettsiosis	<i>A. maculatum</i> ***	Unknown	n/a
<i>Rickettsia rickettsii</i>	Rocky Mountain spotted fever	<i>D. variabilis</i> , <i>D. andersoni</i> , <i>Rh. sanguineus</i>	2-96 h	[42] (2 h increments from 2-18, 24, 36, 48, >96 h-guinea pigs, rabbits)
Colorado tick fever virus	Colorado tick fever, mountain fever	<i>D. andersoni</i>	Unknown	n/a
Heartland virus	n/a	<i>A. americanum</i>	Unknown	[43] (unknown attachment time-rabbits)
Powassan virus	Powassan disease	<i>D. variabilis</i> , <i>D. andersoni</i> , <i>I. scapularis</i> *	15-30 min	[14] (15, 30, 60, 180 min-BALB/c mice)
Neurotoxin (possibly Ixovotoxin)	Tick paralysis	<i>A. americanum</i> , <i>A. maculatum</i> , <i>D. andersoni</i> , <i>D. variabilis</i> , <i>I. pacificus</i> (primary epidemic vector unknown)	5-7 days	[18] (human clinical case reports)
carbohydrate galactose-α-1,3-galactose	Meat allergies (alpha-gal syndrome)	<i>A. americanum</i>	Unknown	n/a

* Transmission capacity verified in laboratory animals; ** Pathogen not observed in all cases; *** *A. maculatum* did not become infected after feeding on cotton rats in the laboratory study [44]; **** Similar to Lyme disease.

Annexe 2 : Questionnaire Sphinx sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait pour l'étude des facteurs de risque de la piroplasmose équine

Questionnaire sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait pour l'étude des facteurs de risque de la piroplasmose équine

Nom

Prénom

Code postal de l'élevage

Commune

INFORMATIONS GENERALES

Quelle est votre activité principale ?

- Elevage de chevaux de trait Autre
 Autre type d'élevage

Quelle part de votre temps de travail allouez-vous à l'élevage de chevaux de trait ?

- Moins de 25% de mon temps Entre 50 et 75% de mon temps
 Entre 25 et 50% de mon temps Plus de 75% de mon temps

Combien de chevaux de trait (adultes et poulains compris) possédez-vous actuellement ?

Questionnaire sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait pour l'étude des facteurs de risque de la piroplasmose équine

Combien de naissances avez-vous eu cette année dans votre élevage ?

Possédez-vous un élevage autre que les chevaux de trait ?

Oui Non

Si oui, quelle(s) espèce(s) élevez-vous ?

Bovins Autre
 Ovins

Quelle est la taille de cet élevage ? (nombre de têtes)

Certains de vos chevaux ont-ils déjà eu de la piroplasmose ?

Oui Je ne sais pas
 Non Je ne connais pas cette maladie

Si oui, combien de vos chevaux ont été atteints de piroplasmose ?

Certains de vos chevaux ont-ils déjà eu d'autres pathologies notables ?

Borréliose (Maladie de Lyme) Pas à ma connaissance
 Anaplasmose équine Autre

Questionnaire sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait pour l'étude des facteurs de risque de la piroplasmose équine

PRATIQUES D'ELEVAGE

Quelle(s) race(s) de chevaux de trait produisez-vous ?

Ardennais Franches Montagnes
 Auxois Percheron
 Boulonnais Trait du Nord
 Breton Trait Poitevin Mulassier
 Cob Normand Croisé
 Comtois Autre

Si vous avez une race croisée, merci de préciser :

Pour quel type d'activité possédez-vous des chevaux de trait ?

Elevage pour viande Loisir
 Travail

Les juments suitées sortent-elles de l'élevage (mise à la reproduction par exemple) ?

Oui Non

Pouvez-vous préciser le nombre de chevaux que vous avez ?

Ardennais	<input type="text"/>
Auxois	<input type="text"/>
Boulonnais	<input type="text"/>
Breton	<input type="text"/>
Cob Normand	<input type="text"/>
Comtois	<input type="text"/>
Franches Montagnes	<input type="text"/>
Percheron	<input type="text"/>
Trait du Nord	<input type="text"/>
Trait Poitevin Mulassier	<input type="text"/>
Croisé	<input type="text"/>
Autre	<input type="text"/>

Questionnaire sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait pour l'étude des facteurs de risque de la piroplasmose équine

Si oui, dans quel contexte ?

Combien de fois par an ?

Et pour combien de temps ?

Les étalons sortent-ils de l'élevage (dans un autre élevage pour la reproduction ou dans un centre d'insémination par exemple) ?

- Oui
 Non

Je n'ai pas d'étalon

Les étalons sortent-ils en pâture ?

Oui

Non

Si oui, à quelle(s) période(s) sortent-ils en pâture ?

- Printemps
 Eté

- Automne
 Hiver

A quelle(s) saison(s) naissent les poulains ?

- Printemps
 Eté

- Automne
 Hiver

Les poulains sortent-ils en pâture ?

Oui

Non

Questionnaire sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait pour l'étude des facteurs de risque de la piroplasmose équine

Si oui, à quelle(s) période(s) sortent-ils en pâture ?

- Printemps
 Eté

- Automne
 Hiver

Les juments suitées sortent-elles en pâture ?

Oui

Non

Si oui, à quelle(s) période(s) sortent-elles en pâture ?

- Printemps
 Eté

- Automne
 Hiver

Les juments non suitées sortent-elles en pâture ?

Oui

Non

Si oui, à quelle(s) période(s) sortent-elles en pâture ?

- Printemps
 Eté

- Automne
 Hiver

Pratiquez-vous des pâturages mixtes (système de rotation, ou simultanément sur la pâture) ?

- Oui, simultané
 Oui, alterné

Non

Si oui, avec quelle espèce réalisez-vous le pâturage mixte ?

- Bovin
 Ovin

Autre

Questionnaire sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait pour l'étude des facteurs de risque de la piroplasmose équine Etude piroplasmose équine chez les chevaux trait

Pouvez-vous décrire brièvement le système de rotation mis en place dans votre élevage ?

Vos chevaux partent-ils en estive ?

- Oui Non

Si oui, expliquez les modalités de celle-ci (type d'animaux concernés, regroupement d'animaux de différents élevages ou non...)

Possédez-vous un registre d'élevage ou autre document permettant de connaître la localisation des chevaux sur les pâtures, dans les bâtiments ou en estive le cas échéant ?

- Oui Non

Réalisez-vous un broyage des refus sur les pâtures ?

- Oui Non

Si oui, procédez-vous ensuite à l'enlèvement du refus broyé ?

- Oui Non

Fauchez-vous l'herbe haute ?

- Oui Non

Réalisez-vous un broyage des plantes ligneuses sur les pâtures ?

- Oui Non

Questionnaire sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait pour l'étude des facteurs de risque de la piroplasmose équine

Réalisez-vous un traitement spécifique sur vos pâtures (herbicide) ?

- Oui Non

Si oui, précisez le traitement utilisé :

Mettez-vous en place un repos hivernal pour les pâtures ?

- Oui Non

A quelle fréquence observez-vous la présence de tiques sur vos chevaux ?

- Jamais Plus de 5 fois par an
 Moins de 5 fois par an Très régulièrement

A quelle(s) période(s) de l'année les observez-vous ?

- Printemps Automne
 Eté Hiver

Traitez-vous vos chevaux contre les tiques ?

- Oui, je réalise un traitement chimique sur les poulains non sevrés Oui, je réalise un traitement chimique sur les adultes
 Oui, je réalise un traitement chimique sur les poulains sevrés Non

Précisez le produit utilisé :

Et la fréquence à laquelle vous l'appliquez :

Questionnaire sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait pour l'étude des facteurs de risque de la piroplasmose équine

Surveillez-vous la présence de tiques sur les chevaux, et les retirez-vous manuellement ?

- Oui je retire manuellement les tiques sur les poulains non sevrés Oui je surveille mais je ne retire pas les tiques
- Oui je retire manuellement les tiques sur les poulains sevrés Non
- Oui je retire manuellement les tiques sur les adultes

A quelle fréquence regardez-vous si vos chevaux ont des tiques ?

Utilisez-vous un dispositif de type "Tire-tic®" pour les retirer ?

- Oui Non

A quelle fréquence allez-vous voir vos chevaux sur les pâtures ?

En cas de nouvel entrant au sein de l'élevage, procédez-vous à un test sérologie ou PCR de la piroplasmose équine ?

- Oui Non concerné
- Non

En cas de nouvel entrant au sein de l'élevage, procédez-vous systématiquement à un traitement antiparasitaire de celui-ci ?

- Oui Non concerné
- Non

Questionnaire sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait pour l'étude des facteurs de risque de la piroplasmose équine

ENVIRONNEMENT

Possédez-vous un plan de masse de votre exploitation et en particulier de vos pâtures, ou tout autre plan comportant des informations sur la topographie, l'emplacement des bâtiments, les délimitations des pâtures et la végétation existante ?

- Oui Non

De combien de pâtures disposez-vous pour vos chevaux de trait ?

Lorsque vous mettez les chevaux dans une parcelle, à quelle hauteur est l'herbe de la pâture ?

- Rase Elle arrive à mi-canon des chevaux
- Elle arrive aux boulets des chevaux

Avez-vous connaissance du passage de faune sauvage (cerf, chevreuil, sanglier, ...) dans les pâtures ?

- Oui Ne sait pas
- Non

Si oui, quelles espèces avez-vous déjà pu observer ?

A quelle fréquence pensez-vous que la faune sauvage traverse vos pâtures ?

Possédez-vous un ou plusieurs chiens qui vont sur les pâtures ?

- Oui Non

Questionnaire sur les pratiques d'élevage et l'environnement des chevaux de trait pour l'étude des facteurs de risque de la piroplasmose équine

Avez-vous des informations que vous jugeriez importantes de nous transmettre concernant la connaissance de votre élevage et/ou la gestion de la piroplasmose équine au sein de votre élevage ?

Annexe 3 : Fiche cheval

Fiche individuelle

Code identifiant cheval-..... - P..... – C.....

N° SIRE : **Date de naissance :** / / **Lieu de naissance :**

Race :

Robe :

Sexe :

Etalon

Hongre

Femelle

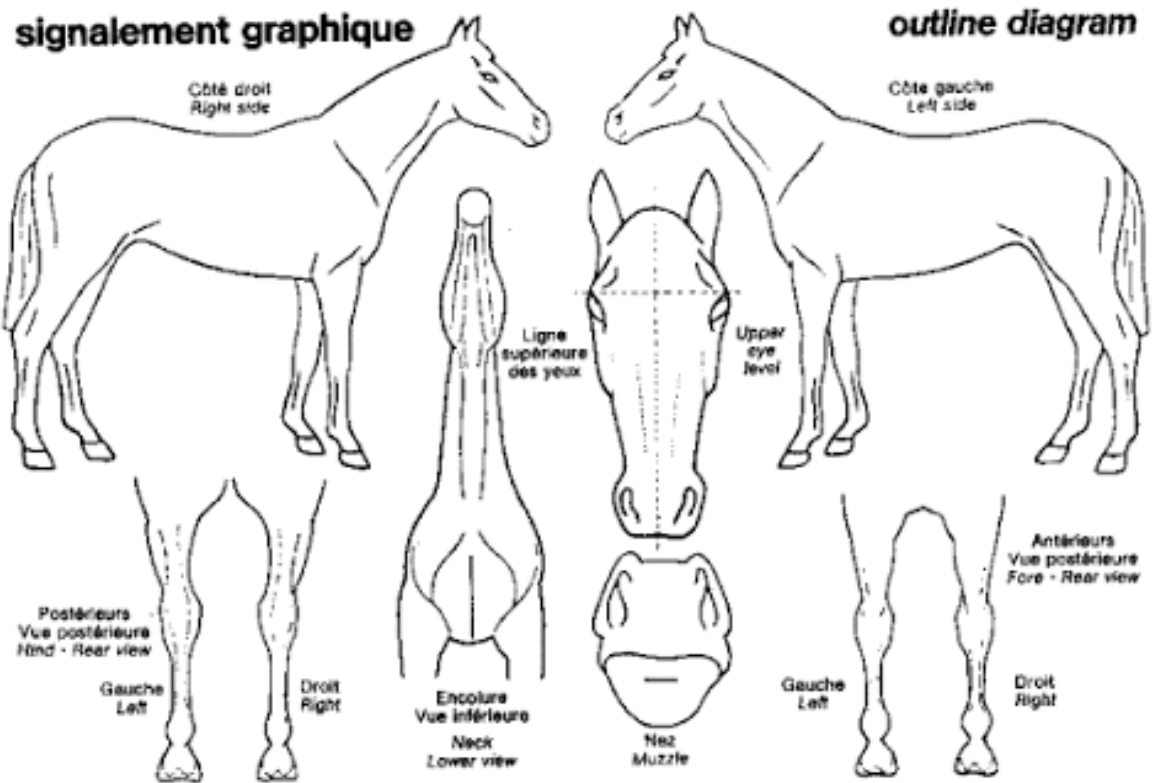
Si femelle, date

..... / /

de mise bas ?

Score corporel : / 9

Localisation tiques :



Prophylaxie : API :

APE :

Vaccin(s) : Antécédents médicaux :

Historique pâtures (2 derniers mois) :

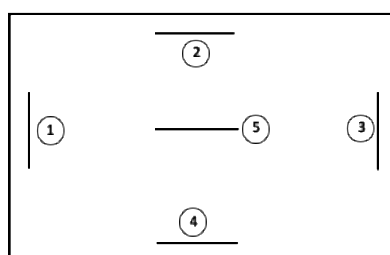
Annexe 4 : Fiche pâture

Fiche pâtures

Pâturage 1 :

- Coordonnées GPS :
- T°C : Hygrométrie : Altitude (cf coord. GPS) :
- Météo : soleil, pluie, couvert, éclaircies, venteux
- Surface de la pâture (en hectares) :
- Nombre de chevaux pâturant simultanément dans la pâture :
- Pâturage mixte : Non Oui. Si oui, Alterné Simultané Espèce :
- Zone boisée à l'intérieur de la pâture ? Non Oui
Si oui, proportion de la parcelle recouverte par des arbres :
 < 25% Entre 25 et 50% entre 50 et 75% > 75%
- Présence de buissons ou d'arbustes sur la pâture ? Non Oui
- Pâturage humide au printemps et à l'automne (zones de ruissellement, flaques) ? Non Oui
- Pâturage inondable en hiver ? Non Oui
- Présence d'un plan d'eau ou cours d'eau sur la pâture ? Non Oui
- Végétation sur les clôtures autour des pâturages ?
- Proximité directe avec autre pâture (bovins ou ovins) ? Non Oui
- Proximité directe avec champ agricole ? Non Oui. Si oui, préciser type de culture
- Proximité directe avec forêt ? Non Oui
- Présence d'un abri dans la pâture ? Non Oui
- Passage connu de faune sauvage ? Non Oui. Si oui, préciser espèces

Plan et alentours :



N° transect	Estimation N°tiques		Hauteur de l'herbe
	Nymphes	adultes	
1			
2			
3			
4			
5			

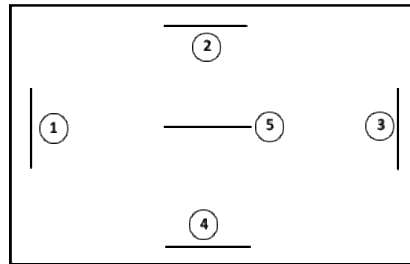
0
+ : 1-10
++ : 10-50
+++ : 50-100
++++ : >100

0=aucune
rase
> 10 cm

Pâtûre 2 :

- Coordonnées GPS :
- T°C : Hygrométrie : Altitude (cf coord. GPS) :
- Météo : soleil, pluie, couvert, éclaircies, venteux
- Surface de la pâture (en hectares) :
- Nombre de chevaux pâturent simultanément dans la pâture :
- Pâturage mixte : Non Oui. Si oui, Alterné Simultané Espèce :
- Zone boisée à l'intérieur de la pâture ? Non Oui
Si oui, proportion de la parcelle recouverte par des arbres :
 < 25% Entre 25 et 50% entre 50 et 75% > 75%
- Présence de buissons ou d'arbustes sur la pâture ? Non Oui
- Pâture humide au printemps et à l'automne (zones de ruissellement, flaques) ? Non Oui
- Pâture inondable en hiver ? Non Oui
- Présence d'un plan d'eau ou cours d'eau sur la pâture ? Non Oui
- Végétation sur les clôtures autour des pâtures ?
- Proximité directe avec autre pâture (bovins ou ovins) ? Non Oui
- Proximité directe avec champ agricole ? Non Oui. Si oui, préciser type de culture
- Proximité directe avec forêt ? Non Oui
- Présence d'un abri dans la pâture ? Non Oui
- Passage connu de faune sauvage ? Non Oui. Si oui, préciser espèces

Plan et alentours :



-  Haie
-  Arbre
-  voie ferrée
-  Route
-  Cours d'eau
-  Pâturage
-  Culture
-  Habitation
-  Entrée pâturage
-  Nord

N° transect	Estimation N°tiques		Hauteur de l'herbe
	Nymphes	adultes	
1			
2			
3			
4			
5			

0
 + : 1-10
 ++ : 10-50
 +++ : 50-100
 ++++ : >100

0=aucune
 rase
 > 10 cm

Annexe 5 : Deux exemples de feuille pâture remplies

Elevage : 20 N° pâture : 1 Date : 26/10/14 Heure de collecte : 19h15

Fiche pâtures

Descriptif

- Coordonnées GPS : ...062
- T°C : 14.5 Hygrométrie : ...62% Altitude (cf coord. GPS) :
- Météo : soleil, pluie, couvert, éclaircies, venteux
- Surface de la pâture (en hectares) : ...1
- Nombre de chevaux pâturant simultanément dans la pâture : ...8
- Pâturage mixte : Non Oui. Si oui, Alterné Simultané Espèce : ...BV
- Zone boisée à l'intérieur de la pâture ? Non Oui
Si oui, proportion de la parcelle recouverte par des arbres :
 < 25% Entre 25 et 50% entre 50 et 75% > 75%
- Présence de haies (buissons/arbustes) à l'intérieur de la parcelle ? Non Oui
Si oui, proportion de la parcelle recouverte par des haies :
 < 25% Entre 25 et 50% entre 50 et 75% > 75%
- Pâture humide au printemps et à l'automne (zones de ruissellement, flaques) ? Non Oui
- Pâture inondable en hiver ? Non Oui
- Présence d'un plan d'eau ou cours d'eau sur la pâture ? Non Oui
- Végétation sur les clôtures autour des pâtures ? ...Oui
- Proximité directe avec autre pâture (bovins ou ovins) ? Non Oui
- Proximité directe avec champ agricole ? Non Oui. Si oui, préciser type de culture
- Proximité directe avec forêt ? Non Oui (1 arbre se pose de la forêt)
- Présence d'un abri dans la pâture ? Non Oui
- Passage connu de faune sauvage ? Non Oui. Si oui, préciser espèces ...Bis l'ap (c-p)

Résultats des collectes de tiques

N° transect	Estimation N° tiques		Hauteur de l'herbe
	Nymphes	adultes	
1	0	0	fauc, sec ++
2	3	0	fauc, humide
3	0	0	fauc, bel sec ++
4	0	0	sec
5			
6			
7			
8			

0
+ : 1-10
++ : 10-50
+++ : 50-200
++++ : >200

faucune
rite
= 10cm

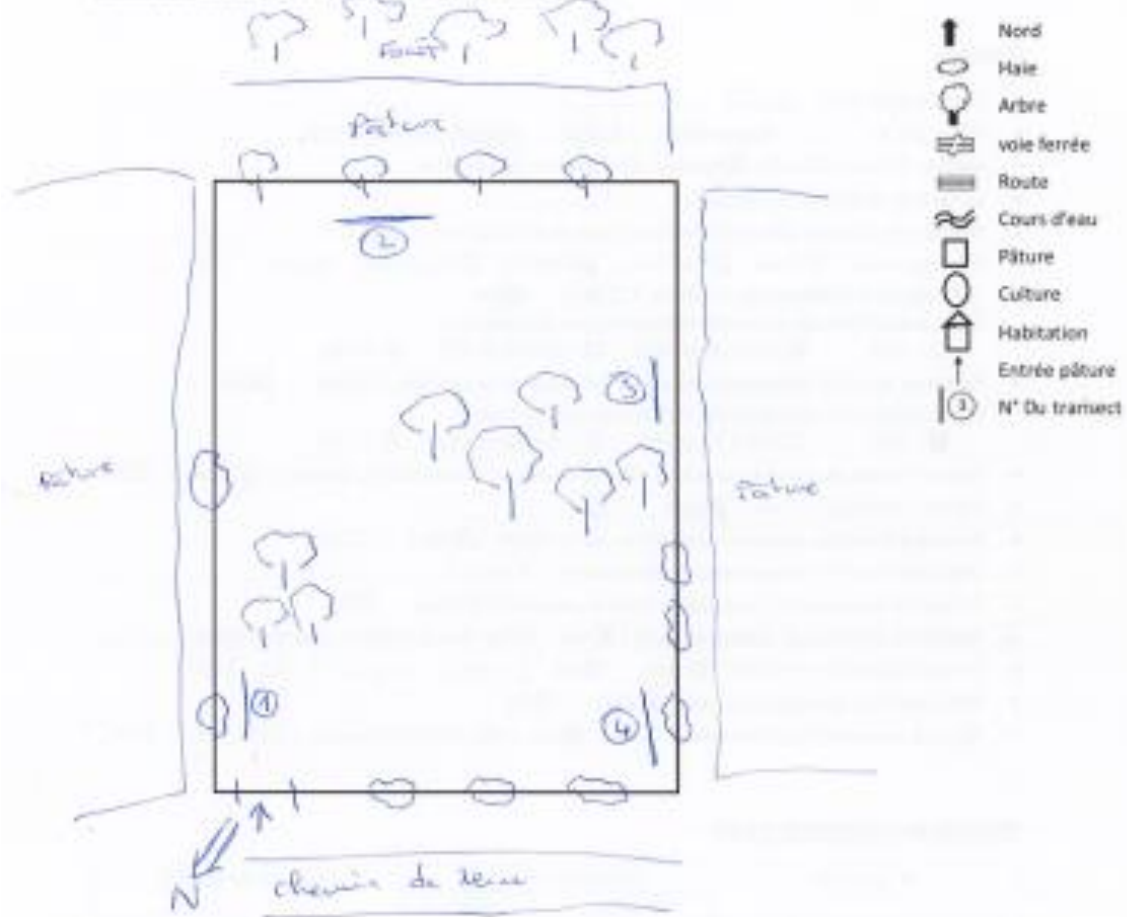
Elevage :

N° pâture :

Date :

Heure de collecte :

Plan et alentours : descriptif et position des transects



Commentaires :

Elevage : 2^A N° pâture : 2 Date : 27/04 Heure de collecte : 18h30

Fiche pâtures

Descriptif

- Coordonnées GPS : 091
- T°C : 16.2 Hygrométrie : 36% Altitude (cf coord. GPS) :
- Météo : soleil, pluie, couvert, éclaircies, venteux
- Surface de la pâture (en hectares) : 2
- Nombre de chevaux pâturant simultanément dans la pâture : 2 (logique Kalie)
- Pâturage mixte : Non Oui. Si oui, Alterné Simultané Espèce :
- Zone boisée à l'intérieur de la pâture ? Non Oui
Si oui, proportion de la parcelle recouverte par des arbres :
 < 25% Entre 25 et 50% entre 50 et 75% > 75%
- Présence de haies (buissons/arbustes) à l'intérieur de la parcelle ? Non Oui
Si oui, proportion de la parcelle recouverte par des haies :
 < 25% Entre 25 et 50% entre 50 et 75% > 75%
- Pâture humide au printemps et à l'automne (zones de ruissellement, flaques) ? Non Oui
- Pâture inondable en hiver ? Non Oui
- Présence d'un plan d'eau ou cours d'eau sur la pâture ? Non Oui (≈ 0,5 ha)
- Végétation sur les clôtures autour des pâtures ?
- Proximité directe avec autre pâture (bovins ou ovins) ? Non Oui
- Proximité directe avec champ agricole ? Non Oui. Si oui, préciser type de culture
- Proximité directe avec forêt ? Non Oui
- Présence d'un abri dans la pâture ? Non Oui
- Passage connu de faune sauvage ? Non Oui. Si oui, préciser espèces : *faible - abri
+L beaucoup de lierre
pp chevrons, l'ovale.*

Résultats des collectes de tiques

N° transect	Estimation N° tiques		Hauteur de l'herbe
	Nymphes	adultes	
1	1	0	haut et sec
2	0	0	moins et sec
3	0	0	haut et sec
4	0	1	haut et sec
5			
6			
7			
8			

0
+ : 1-10
++ : 10-50
+++ : 50-100
++++ : >100

0 = aucune
+++ = 10 cm
= 10 cm

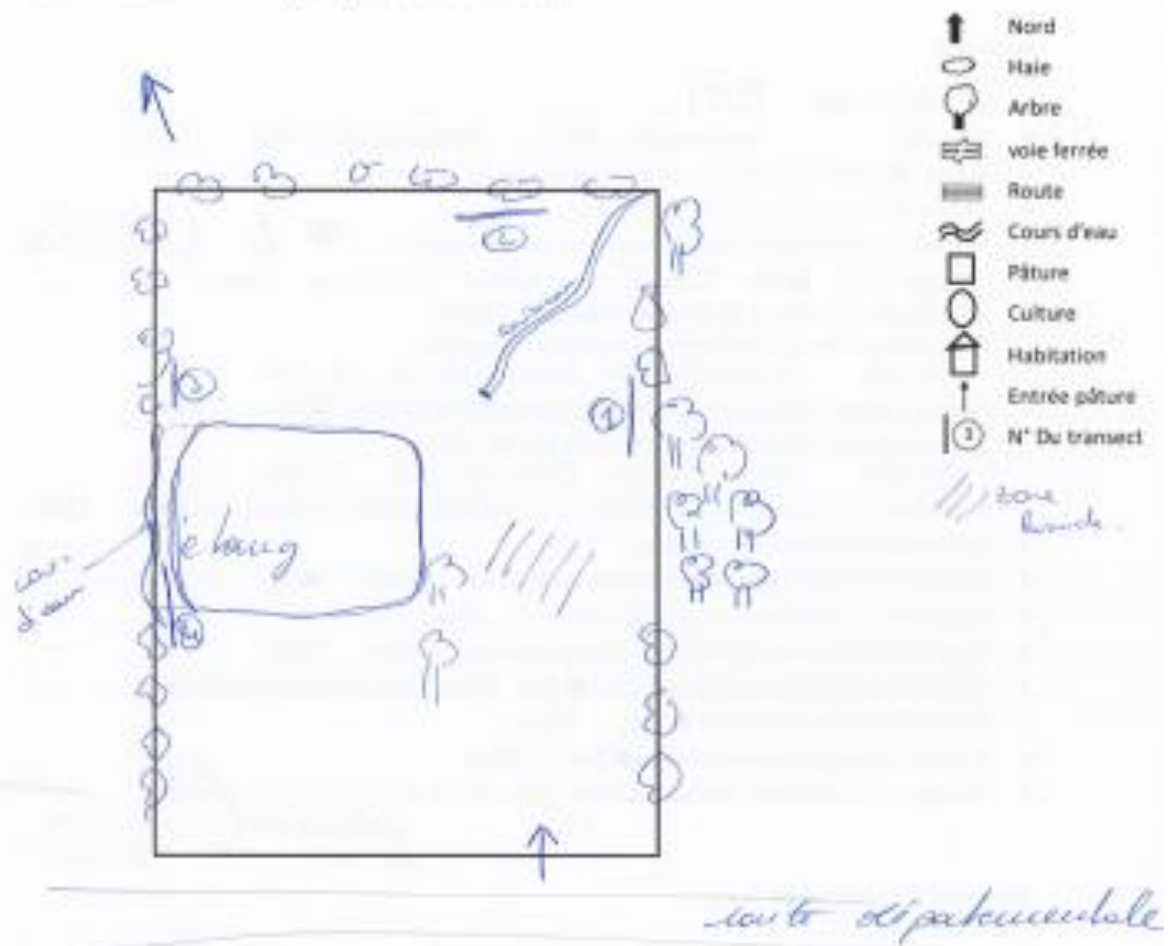
Elevage :

N° pâture :

Date :

Heure de collecte :

Plan et alentours : descriptif et position des transects



Commentaires : Habitation proche.

Annexe 6 : Protocoles d'extraction d'ADN et RT-PCR pour les tiques

Protocole d'extraction d'ADN :

Matériel :

- Broyeur Precellys (Bertin technologies, France)
- Kit extraction d'ADN Nucleospin tissue ref 740952.250 (Macherey-Nagel, Allemagne).
- Ethanol à 96% ou absolu
- Tubes à vis contenant 6 billes en inox Kit MK28-R (Bertin technologies, France)
- Tubes Eppendorf stériles 1.5 ml et 2 ml
- Pipettes Eppendorf 1000, 200, 20, 10 µl
- Cônes à filtres de 1000, 200, 20 et 10 µl
- Vortex
- Bain marie secs à 56°C puis à 70°C

1) Préparation avant broyage dans l'appareil Precellys

- Mettre une tique (nymphe ou adulte) par tube stérile contenant 6 billes et les mettre à -80°C toute la nuit.
- Le lendemain, les placer dans l'appareil Precellys et mettre en route le programme suivant pour réduire la tique en poudre : 5500 mouvements pendant 20 s. Si le broyage n'est pas satisfaisant, refaire un cycle, à condition que les bouchons des tubes ne soient pas fêlés (risque de rupture du tube).

2) Etape de pré-lyse

- Ajouter à la « poudre » de tique : 180 µl de tampon T1, vortexer
- Récupérer le liquide dans un nouveau tube Eppendorf stérile. Les billes sont à nettoyer dans de l'alcool absolu afin de pouvoir les réutiliser.
- Ajouter 25µl de protéinase K à ce prélysats puis vortexer
- Incuber ensuite sur bain-marie sec à 56°C 1 à 3h
- Vortexer les échantillons

3) Etape de lyse

- Ajouter 200 µl de tampon B3
- Vortexer
- Incuber à 70 C° pendant 10 min.
- Ajouter 210 µl d'éthanol absolu ou 96%, vortexer vigoureusement.

Pour chaque échantillon,

- placer un tube de recueil livré dans le kit
- charger l'échantillon sur la colonne
- centrifuger 1 min à 11000g. L'ADN est ainsi inclus dans la colonne
- Jeter l'éluat du tube de recueil

4) Etape d'éluat de l'ADN

- Placer un nouveau tube de recueil

- Ajouter sur la colonne 500µl du tampon BW
- Centrifuger 1 min à 11000g
- Jeter l'éluat
- Faire un 2 ème lavage de la colonne par ajout de 600 µl de tampon B5
- Centrifuger 1 min à 11000g
- Evacuer l'éluat.
- Centrifuger la membrane à vide 1 m à 11 000g pour la faire sécher.
- Placer la colonne dans un Eppendorf de 1,5 ml identifié
- Ajouter 100 µl de tampon d'éluion BE* préchauffé à 70°C pour 1 adulte, 50 µl de tampon d'éluion BE* préchauffé à 70°C pour 1 nymphe ou 250 µl de tampon d'éluion BE* préchauffé à 70°C pour un pool de 10 nymphes
- Incuber à température ambiante 5 min
- Centrifuger 1 min à 11000g. Penser à orienter les tubes pour ne pas casser le bouchon pendant la centrifugation

Faire des aliquots pour congélation à -20°C pour faire les PCR plus tard.

Protocole RT-PCR pour les tiques :

Matériel :

- Plaque assays
- Amorces (Tableau 6) :

Tableau 6: Amorces (F : Forward, R : Reverse)

	Gène	Nom amorces	séquence
<i>Ixodes ricinus</i>	ITS2	Ix_rici ITS2_F	CGAAACTCGATGGAGACCTG
		Ix_rici ITS2_R	ATCTCCAACGCACCGACGT
		Ix_rici ITS2_P	TTGTGGAAATCCCGTCGCACGTTGAAC
<i>Dermacentor reticulatus</i>	ITS2	Der_reti ITS2_F	AACCCTTTTCCGCTCCGTG
		Der_reti ITS2_R	TTTTGCTAGAGCTCGACGTAC
		Der_reti ITS2_P	TACGAAGGCAAACAACGCAAACACTGCGA
<i>Dermacentor marginatus</i>	ITS2	Der_margi ITS2_F	GCACGTTGCGTTGTTTGCC
		Der_margi ITS2_R	CCGCTCCGCGCAAGAATCT
		Der_margi ITS2_P	TTCGGAGTACGTGAGCTCTAGCAGA

- Sondes Taqman et Master Mix
- ADN obtenu à l'étape d'extraction
- Pipettes Eppendorf 10 µl
- Vortex
- Thermocycleur

Procédure :

- Vortexer les amorces et les sondes avant de faire le mélange.
- Faire le mélange pour 100 puits. Le mélange pour chaque puits comprend 3,64 µl d'eau, 0,12 µl d'amorce Forward, 0,12 µl d'amorce Reverse, 0,12 µl de sonde Taqman et 6 µl de sonde Master Mix.
- Vortexer le mélange
- Déposer le mélange de 10 µl dans chaque puits.
- Dans le puits de contrôle, déposer le mélange de 10 µl et y ajouter 2 µl d'eau (témoin négatif)

- Sous hotte ADN (stérile), vortexer les échantillons d'ADN puis ajouter 2 µl ADN dans chaque puits
- Couvrir la plaque
- Centrifuger la plaque
- Mettre la plaque dans le thermocycleur qui est programmé comme suit (Tableau 7) :

Tableau 7 : Programme thermocycleur

	Cycle	T (°C)	Mode d'acquisition	Temps	Vitesse d'augmentation (°C/s)
Dénaturation	1	95	Non	5 min	4.4
Amplification	45	95	Non	10 s	4.4
		60	Oui (unique)	15 s	2.2
Extension	1	40	Non	10 s	2.2

La température d'hybridation est de 60°C.

Le logiciel LightCycler 480 affiche en temps réel les étapes de pré-incubation, amplification et hybridation.

Annexe 7 : Moyenne du nombre de tiques par cheval en fonction des différentes expositions d'intérêts dans la zone 1 et la zone 2

	Nombre moyen de tiques		
	Zones 1 et 2	Zone 1	Zone 2
Sexe			
Mâle	0,25	0,5	0
Femelle	2,49	1,3	3,4
Race			
Ardennais	0,62	0	1
Comtois	3,04	0,5	3,25
Trait Breton	1,66	1,59	2
Percheron	0	0	/
Croisés	7,67	/	7,67
Robe			
Alezan	2,62	2,13	2,9
Alezan brûlé	2,73	1,14	5,5
Bai	1,77	0	2,88
Rouan	1,89	0,33	5
Gris	0	0	/
Antiparasitaire externe			
Absence	2,05	2,06	2,05
Présence	3,13	0,41	9,71

Antiparasitaire interne ivermectine			
Absence	0,48	1	0,13
Présence	3,37	1,38	5,07
Antiparasitaire interne moxidectine			
Absence	2,59	1,26	4,81
Présence	1,87	/	1,87
Vaccins			
Non à jour	2,18	0,75	2,5
A jour	2,13	1,65	2,43
Non donné	0,8	0	1,33
Tiques dans la pâture			
Absence	1,13	1,16	1,09
Présence	5,08	2	5,67
Zone boisée			
Absence	0,68	0,69	0,67
<25%	3,06	2,08	3,67
25-50%	4,08	/	4,08
50-75%	0	0	/
Non noté	1,69	1,2	2
Eau			
Absence	1,15	0,81	1,5
Présence	3,71	1,93	4,75

TIQUES VECTRICES DES PARASITES RESPONSABLES DE PIROPLASMOSE CHEZ LE CHEVAL :

ENQUÊTE DANS DES ÉLEVAGES DE CHEVAUX DE TRAIT EN RÉGION AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

AUTEUR : Claire CHANET

RÉSUMÉ :

La piroplasmose équine est une maladie parasitaire vectorisée par les tiques. Pour prévenir l'infection, il est essentiel d'identifier les espèces de tiques impliquées et de connaître leur biologie et leur écologie. Dans un premier temps, une étude bibliographique a été réalisée pour permettre une vision globale sur les tiques, leur rôle vecteur et les moyens de lutte contre ces ectoparasites.

Dans un deuxième temps, nous avons participé à une enquête dans des élevages de chevaux de trait dans le Cantal sud et le Cantal nord/Puy-de-Dôme. L'objectif de cette étude était de déterminer des associations statistiques voire causales entre des expositions d'intérêt et l'infestation des chevaux par les tiques. L'enquête s'est déroulée en avril 2021. La base de données a porté sur des questionnaires remplis par l'éleveur ainsi que des collectes de tiques sur les chevaux et dans les pâtures. Les espèces de tiques retrouvées dans les pâtures et sur les chevaux sont *Ixodes ricinus*, *Dermacentor reticulatus* et *D. marginatus*. Les expositions d'intérêt évaluées ont été les caractéristiques individuelles (âge, race, robe), les pratiques d'élevage (antiparasitaires externe et interne, ivermectine et moxidectine) et l'environnement (présence de tiques, d'une zone boisée ou d'un cours d'eau dans la pâture). L'élevage n'a pas été pris en compte comme exposition d'intérêt dans le modèle statistique. L'analyse statistique a révélé que les expositions d'intérêts race et utilisation de moxidectine étaient associées à l'infestation des chevaux par les tiques. Les races Comtois, Trait breton et Croisés semblent plus infestées que les Ardennais. Les chevaux traités à la moxidectine semblent moins infectés que les chevaux non traités.

MOTS CLÉS : TIQUE ; MALADIE TRANSMISE PAR LES TIQUES ; MALADIE VECTORIELLE ; TRANSMISSION DES MALADIES, *IXODES RICINUS*, *DERMACENTOR RETICULATUS* ; *DERMACENTOR MARGINATUS* ; ÉQUIDÉ ; CHEVAL DE TRAIT ; AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

JURY :

Président : Pr Radu Blaga

Directeur de thèse : Pr Jacques Guillot

Examinatrice : Dr Anne-Claire Lagrée

TICKS AS CARRIERS OF THE PARASITES RESPONSIBLE FOR PIROPLASMOSIS IN HORSES: SURVEY AMONG DRAFT HORSE FARMS IN AUVERGNE-RHONE-ALPES REGION, FRANCE

AUTHOR: Chanet Claire

SUMMARY:

Equine piroplasmosis is a parasitic disease vectorized by ticks. To prevent infection, it is essential to identify the tick species involved into the contamination process and have a better understanding of their biology and ecology. In this work, a bibliographic study was first carried out to have a global vision of ticks, their role as vectors and control options.

Secondly, a survey was performed in draft horse farms located in southern Cantal and northern Cantal/Puy-de-Dôme, France. The objective of this survey was to determine statistical or even causal associations between the exposures of interest and the presence of ticks on horses. The survey took place in April 2021. The database covered questionnaires completed by the breeders and collections of ticks on horses and in pastures. The ticks species collected during the study are *Ixodes ricinus*, *Dermacentor reticulatus* and *D. marginatus*. The studied exposures of interest were individual characteristics (age, breed, coat), breeding practices (use of external and internal antiparasitic drugs, ivermectin and moxidectin) and the environment (presence of ticks, a wooded area or a stream in the pasture). Farming was not taken into account as exposures of interest in the statistical model. Statistical analysis revealed that the exposures of interest corresponding to the breed and use of moxidectin were associated with the presence of tick on horses. Comtois, Trait Breton and Cross-breed horses seem more infested than Ardennes horses. Animals treated with moxidectin seem less infested than untreated ones.

KEYWORDS: TICK ; DISEASE VECTORIZED BY TICKS ; VECTORIZED DISEASE ; DISEASES TRANSMISSION, *IXODES RICINUS*, *DERMACENTOR RETICULATUS* ; *DERMACENTOR MARGINATUS* ; EQUINE ; DRAFT HORSE ; AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

JURY:

Chairperson: Pr Radu Blaga

Thesis Director: Pr Jacques Guillot

Reviewer: Dr Anne-Claire Lagrée