

# VARIATIONS INTERINDIVIDUELLES D'ABONDANCE DES TIQUES SUR EQUIDES : MISE EN EVIDENCE ET RECHERCHE DE FACTEURS EXPLICATIFS

---

THESE D'EXERCICE

pour obtenir le titre de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

*par*

**EBERHART Manon, Marie**

Née le 02/02/1996 à THIONVILLE (57)

**Directeur de thèse : M. Emmanuel LIENARD**

---

## JURY

PRESIDENT :

**M. Alexis VALENTIN**

Professeur à l'Université Paul Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

**M. Emmanuel LIENARD**

**Mme Emilie BOUHSIRA**

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITEE :

**Mme Laurence MALANDRIN**

Chargée de Recherche, INRAE, UMR 1300 BIOEPAR, ONIRIS



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

Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire

Directeur : Professeur Pierre SANS

**PROFESSEURS CLASSE  
EXCEPTIONNELLE**

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

**PROFESSEURS 1<sup>ère</sup> CLASSE**

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootéchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*

**PROFESSEURS 2<sup>ème</sup> CLASSE**

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et économie de la santé animale*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

## MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*  
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*  
Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*  
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*  
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*  
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*  
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*

## MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*  
Mme **BOHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*  
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*  
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*  
Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*  
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*  
M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*  
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*  
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*  
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*  
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*  
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*  
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*  
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*  
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*  
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*  
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*  
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales réglementées*  
Mme **WARET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*  
Mme **PALIERNE Sophie**, *Pathologie chirurgicale*  
M. **GAIDE Nicolas**, *Anatomie Pathologique*

## INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*  
M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*  
M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*  
M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*  
Mme **DEBREUQUE Maud**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*  
Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*  
Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*  
Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*  
Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*  
Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*  
Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*  
M. **RAMON PORTUGAL Félipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*  
M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*  
M. **DELPONT Mattias**, *Clinique Aviaire*  
Mme **POUJADE Agnès**, *Anatomie pathologique Vétérinaire*  
Mme **LAYSSOL-LAMOUR Catherine**, *Imagerie Médicale*  
Mme **SAADA Chloé**, *Gestion intégrée de la santé des ruminants*

# Remerciements

## **À Monsieur le Professeur Alexis VALENTIN,**

Professeur des Universités,  
Praticien hospitalier,  
Zoologie et Parasitologie, Université Paul-Sabatier de Toulouse,  
Service de Parasitologie et de Mycologie, Institut Fédératif de Biologie, CHU de  
Toulouse,  
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse.  
Mes hommages respectueux.

## **À Monsieur le Docteur Emmanuel LIÉNARD,**

Maître de Conférences à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse,  
Parasitologie et Maladies Parasitaires,  
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la direction de cette thèse et m'avoir  
accompagnée dans la réalisation de ce travail.  
Sincères remerciements.

## **À Madame la Docteur Émilie BOUHSIRA**

Maître de Conférences à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse,  
Parasitologie et Maladies Parasitaires,  
Pour avoir accepté le rôle d'assesseur de cette thèse.  
Pour l'intérêt porté à ce travail.  
Sincères remerciements.

## **À Madame la Docteur Laurence MALANDRIN,**

Chargée de Recherche, INRAE, UMR 1300 BIOEPAR, ONIRIS  
Pour son investissement dans ce projet, son aide précieuse et sa grande humanité,  
sans qui cette thèse n'aurait pas été la même.  
Amitiés, et sincères remerciements.

**À l'ensemble des propriétaires** ayant accepté de participer à ce projet.

# TABLE DES MATIERES

TABLE DES FIGURES .....	11
TABLE DES TABLEAUX .....	15
TABLE DES ANNEXES .....	17
LISTE DES ABREVIATIONS .....	18
<b>INTRODUCTION</b> .....	20
<b>PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	21
I. GENERALITES SUR LES TIQUES PRESENTES SUR LES CHEVAUX .....	21
A. CLASSIFICATION TAXONOMIQUE .....	21
B. CYCLE PARASITAIRE .....	22
C. PRESENTATION ET CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES PRINCIPALES TIQUES PRESENTES SUR LES CHEVAUX EN FRANCE METROPOLITAINE .....	23
1. <i>Dermacentor reticulatus</i> et <i>Dermacentor marginatus</i> .....	24
2. <i>Hyalomma marginatum</i> .....	25
3. <i>Ixodes ricinus</i> .....	26
D. ROLE VECTORIEL DES TIQUES .....	27
1. <i>Fixation sur l'hôte</i> .....	27
2. <i>Rôles pathogènes direct et indirect des tiques</i> .....	30
a) Effets pathogènes directs .....	30
b) Effets pathogènes indirects .....	31
3. <i>Les agents pathogènes transmis</i> .....	32
a) <i>Theileria equi</i> .....	32
b) <i>Babesia caballi</i> .....	33
c) <i>Anaplasma phagocytophilum</i> .....	34
4. <i>Épidémiologie et étude clinique des maladies transmises par les tiques</i> .....	34
a) Les piroplasmoses équine .....	34
b) L'anaplasmose granulocytaire équine .....	37
II. LES FACTEURS D'ATTRACTIVITE DES TIQUES POUR LES CHEVAUX .....	39
A. LES STRATEGIES MISES EN PLACE POUR LA RECHERCHE DE L'HOTE .....	39
B. STIMULI SENSORIELS UTILISES DANS LE PROCESSUS DE RECHERCHE DE L'HOTE ET ORGANES RECEPTEURS UTILISES .....	40

1.	<i>Description des organes de la perception et de leur localisation</i> .....	40
a)	Organe de Haller .....	41
b)	Soies sensorielles.....	42
i)	Sensilles olfactives.....	43
ii)	Sensilles gustatives .....	45
c)	Ocelles .....	46
2.	<i>Description des différents stimuli perçus</i> .....	47
a)	Stimuli visuels et détection des infrarouges.....	47
b)	Stimuli sonores .....	49
c)	Stimuli olfactifs.....	50
d)	Stimuli chimiques.....	50
i)	Allomones .....	51
ii)	Kairomones .....	51
iii)	Phéromones .....	52
C.	LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA PEAU ET LES SITES PREFERENTIELS DE FIXATION SUR LES EQUIDES.....	53
1.	<i>Épaisseur de la peau</i> .....	54
2.	<i>Composition de la peau</i> .....	55
3.	<i>Densité du pelage</i> .....	55
4.	<i>Rôle du microbiote et des sécrétions de l'hôte</i> .....	55
D.	LES CARACTERISTIQUES DE L'HOTE .....	56
1.	<i>La taille</i> .....	56
2.	<i>La masse corporelle et le score d'état corporel</i> .....	57
3.	<i>Le sexe</i> .....	57
4.	<i>L'âge</i> .....	58
E.	RACE DE L'HOTE ET LIEN AVEC LA GENETIQUE .....	59
F.	LE STATUT REPRODUCTEUR .....	59
III.	INFLUENCE DE L'EQUIDE SUR LA FIXATION DES TIQUES .....	60
A.	ACTION MECANIQUE GRACE AU COMPORTEMENT DE TOILETTAGE.....	60
B.	LA REPONSE IMMUNITAIRE DE L'HOTE FACE AUX TIQUES.....	61
1.	<i>L'immunité innée</i> .....	61
a)	Rôle des différents effecteurs de l'immunité.....	62
i)	Les neutrophiles.....	62
ii)	Les éosinophiles .....	63
b)	Le système du complément .....	64

2.	<i>La résistance acquise aux tiques</i> .....	64
a)	Rôle des basophiles .....	65
b)	Rôle des immunoglobulines E, de leur récepteur FcεRI et des lymphocytes CD4+.....	66
c)	Implication de l'histamine .....	66
d)	Rôle des mastocytes .....	68
e)	Rôle des immunoglobulines G .....	68
f)	Implication des cellules de Langerhans.....	69
3.	<i>Le complexe majeur d'histocompatibilité</i> .....	70
4.	<i>Le système immunitaire cutané</i> .....	71
5.	<i>Rôle du calcium intracellulaire dans les mécanismes de résistance aux tiques</i> 72	
6.	<i>Le métabolisme lipidique</i> .....	73
C.	CONCLUSION .....	74
<b>DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE EXPERIMENTALE – MISE EN ÉVIDENCE DE L'INÉGALE ABONDANCE DE TIQUES SUR ÉQUIDÉS ET RECHERCHE DE FACTEURS EXPLICATIFS</b> .....		
<b>75</b>		
I.	OBJECTIFS DE L'ETUDE .....	75
II.	MISE EN EVIDENCE EXPERIMENTALE DE L'INEGALE ABONDANCE DE TIQUES SUR LES CHEVAUX .....	76
A.	MATERIEL ET METHODES.....	76
1.	<i>Critères d'inclusion et d'exclusion</i> .....	76
2.	<i>Mise à jour des informations sur le site du projet PiroGoTick</i> .....	76
3.	<i>Recrutement des volontaires</i> .....	76
4.	<i>Préparation et envoi du matériel de collecte</i> .....	77
5.	<i>Protocole de collecte</i> .....	78
6.	<i>Comptage et identification des tiques</i> .....	79
B.	RESULTATS.....	80
1.	<i>Nombre de chevaux, caractéristiques et origines</i> .....	80
2.	<i>Localisation des tiques collectées</i> .....	82
3.	<i>Comptage des tiques</i> .....	82
4.	<i>Identification des tiques</i> .....	85
5.	<i>Répartition géographique des tiques collectées</i> .....	86
C.	CONCLUSION .....	89



III. RECHERCHE DE FACTEURS EXPLICATIFS .....	90
A. MATERIELS ET METHODES.....	90
1. <i>Critères d'inclusion et d'exclusion</i> .....	90
2. <i>Réalisation du questionnaire</i> .....	90
a) Informations concernant le propriétaire et le groupe de chevaux .....	91
b) Sexe, âge, taille .....	91
c) Race et robe .....	91
d) Couleur et épaisseur de la peau, longueur et densité des fanons et de la crinière .....	93
e) Nombre de balzanes, maques blanches sur la tête .....	94
f) Problème de santé générale, problèmes dermatologiques, traitement médical et vermifuge .....	94
g) Parasitisme .....	95
h) Caractère .....	96
3. <i>Extraction des données</i> .....	96
4. <i>Analyse statistique</i> .....	96
B. RESULTATS DU QUESTIONNAIRE .....	97
1. <i>Nombre de participants et de groupes de chevaux</i> .....	97
2. <i>Description des chevaux étudiés</i> .....	97
a) Sexe .....	97
b) Âge.....	98
c) Races .....	99
d) Robes.....	100
e) Taille.....	100
3. <i>Répartition géographique des chevaux</i> .....	101
C. RESULTATS.....	101
1. <i>Description de l'échantillonnage</i> .....	101
a) Variables qualitatives.....	102
i) Sexe, race et robe.....	102
ii) Couleur et épaisseur de la peau .....	104
iii) Les particularités des robes.....	105
iv) Densité de la crinière et des fanons.....	106
v) État de santé des chevaux .....	107
b) Variables quantitatives continues.....	108
i) Âge .....	108

ii) Taille .....	109
iii) Longueur de la crinière .....	110
2. <i>Analyse statistique</i> .....	111
a) Variables qualitatives.....	111
i) Sexe, race, robe.....	111
ii) Couleur et épaisseur de la peau .....	113
iii) Les particularités des robes.....	115
iv) Densité de la crinière et des fanons.....	116
v) État de santé des chevaux et prise de vermifuge.....	117
vi) Comportement et caractère.....	119
b) Variables quantitatives continues.....	119
i) Âge .....	120
ii) Taille.....	120
iii) Longueur de la crinière et des fanons.....	122
3. <i>Bilan</i> .....	122
IV. DISCUSSION .....	123
A. COLLECTE ET IDENTIFICATION DES TIQUES .....	123
B. CONSTRUCTION DU QUESTIONNAIRE.....	125
C. REPONSES AU QUESTIONNAIRE .....	127
D. DEMARCHE STATISTIQUE .....	128
E. ANALYSES DESCRIPTIVES.....	128
F. FACTEURS DE RISQUES MIS EN EVIDENCE GRACE A L'ANALYSE UNIVARIEE.....	130
<b>CONCLUSION</b> .....	132
<b>ANNEXES</b> .....	133
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	153

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Classification taxonomique des tiques dures (Cupp 1991; Sonenshine 1991) .....	21
Figure 2 : Les quatre stades évolutifs des tiques (Wise et al. 2014) .....	22
Figure 3 : Vues dorsales d'une femelle <i>Dermacentor reticulatus</i> (A) et d'un mâle <i>Dermacentor reticulatus</i> (B) (© INRAE- PiroGoTick).....	25
Figure 4 : Vues dorsales d'une femelle <i>Dermacentor marginatus</i> (A) et d'un mâle <i>Dermacentor marginatus</i> (B) (© INRAE- PiroGoTick) .....	25
Figure 5 : Vues dorsales d'une femelle <i>Hyalomma marginatum</i> (A) et d'un mâle <i>Hyalomma marginatum</i> (B) (© INRAE- PiroGoTick).....	26
Figure 6 : Vues dorsales d'une femelle <i>Ixodes ricinus</i> (A) et d'un mâle <i>Ixodes ricinus</i> (B) (© INRAE- PiroGoTick).....	27
Figure 7 : Femelle ixodidé en cours de gorgement (Mehlhorn 2001) .....	28
Figure 8 : Observation de <i>Theileria equi</i> au microscope optique (Wise et al. 2014)..	33
Figure 9 : Observation de <i>Babesia caballi</i> au microscope optique (Wise et al. 2014) .....	33
Figure 10 : Inclusion d' <i>Anaplasma</i> dans un granulocyte neutrophile (Dzięgiel et al. 2013).....	34
Figure 11 : Répartition mondiale des cas de piroplasmoses équine détectés ou signalés sur différentes espèces animales entre 2008 et 2018 (Onyiche et al. 2019) .....	35
Figure 12 : Répartition de l'anaplasmose granulocytaire équine dans le monde entre 1990 et 2018 (Saleem et al. 2018) .....	38
Figure 13 : Tiques de l'espèce <i>Dermacentor reticulatus</i> à la recherche d'hôtes (Földvári et al. 2016) .....	40
Figure 14 : Structure d'une tique dure et localisation des sites de perception (Mehlhorn 2001).....	41
Figure 15 : Observation de l'organe de Haller d'une tique <i>Ixodes ricinus</i> mâle au microscope électronique à balayage (Iovinella et al. 2016).....	42
Figure 16 : Observation de la face ventrale des pièces buccales (A) et du segment terminal du palpe recouvert de soies sensorielles (B) d' <i>Ixodes ricinus</i> au microscope électronique à balayage (Iovinella et al. 2016).....	43

Figure 17 : Observation du tarse de la patte I de <i>Dermacentor variabilis</i> montrant l'organe de Haller et les sensilles olfactives au microscope électronique (Sonenshine 2004).....	44
Figure 18 : Observation de la grande sensille olfactive (Ap1), entourées d'autres sensilles, situées dans la fosse antérieure de l'organe de Haller (Ap) au microscope électronique à balayage (Sonenshine 2004).....	45
Figure 19 : Observation des trois paires de sensilles gustatives à la base de la griffe du tarse de la patte I d'une tique <i>Dermacentor variabilis</i> mâle au microscope électronique à balayage (Phillips, Sonenshine 1993).....	46
Figure 20 : Observation de l'œil d'une tique adulte <i>Rhipicephalus evertsi mimeticus</i> au microscope électronique à balayage (Gothe, Göbel, Schöl 1990).....	47
Figure 21 : Fonction supposée de la capsule de l'organe de Haller en tant que capteur de chaleur (Carr, Salgado 2019).....	49
Figure 22 : Mise en évidence des lésions cutanées et de l'infiltration de basophiles au site de fixation des tiques après la première et la deuxième infestation grâce à un examen immunohistochimique à l'aide d'anticorps anti-mMCP-8 (Wada et al. 2010).....	65
Figure 23 : Mécanismes intervenant dans la mise en place de la résistance acquise aux tiques (Yoshikawa et al. 2021).....	67
Figure 24 : Observation d'une cellule de Langerhans (A) et de granules de Birbeck (B) au microscope électronique (Valladeau 2006, clichés du Dr Colette Dezutter-Dambuyant).....	69
Figure 25 : Représentation schématique de la structure de l'épiderme présentant les différentes étapes de différenciation des kératinocytes et les emplacements des composants de la barrière épidermique (Kongsuwan et al. 2010).....	72
Figure 26 : Tubes utilisés pour la conservation des tiques.....	77
Figure 27 : Tubes identifiés utilisés pour conserver les tiques .....	78
Figure 28 : Exemple de description d'une femelle <i>Dermacentor reticulatus</i> en vue dorsale (A) et en vue ventrale (B) sur le site de l'Université de Bristol (Wall et al. 2016).....	79
Figure 29 : Photographies de nymphes non gorgées d' <i>Ixodes ricinus</i> fournies par l'équipe PiroGoTick (observation à la loupe binoculaire).....	80
Figure 30 : Répartition des individus selon leur sexe (n = 46).....	81

Figure 31 : Répartition géographique des participants de l'étude Têtatic (Google Maps)	81
Figure 32 : Nombre de tiques collectées par cheval au sein d'un groupe pendant la première période de collecte	84
Figure 33 : Répartition des tiques identifiées selon leur espèce (n = 829)	85
Figure 34 : Répartition géographique des tiques majoritairement collectées (Google Maps)	87
Figure 35 : Explications fournies dans la partie « Têtatic » sur le site de l'INRAE concernant la répartition des taches des chevaux pie ( <a href="https://www6.inrae.fr/pirogotick/Tetatic#Illustrations">https://www6.inrae.fr/pirogotick/Tetatic#Illustrations</a> )	92
Figure 36 : Photographies montrant différentes densités de crinières et de fanons, disponible dans la partie Têtatic du site internet de l'INRAE ( <a href="https://www6.inrae.fr/pirogotick/Tetatic#Illustrations">https://www6.inrae.fr/pirogotick/Tetatic#Illustrations</a> )	93
Figure 37 : Répartition des groupes de chevaux (n = 191) selon l'effectif total dans le groupe (de 2 à 5 chevaux)	97
Figure 38 : Répartition des individus selon leur sexe (n = 567)	98
Figure 39 : Distribution des âges de la population étudiée (n = 567)	98
Figure 40 : Répartition des individus de l'étude selon leur race (n = 567)	99
Figure 41 : Répartition des individus selon leur robe (n = 567)	100
Figure 42 : Répartition des lieux de vie des chevaux recensés dans le questionnaire (Google Maps)	101
Figure 43 : Proportion relative du sexe des chevaux chez les chevaux « Têtatic » et les autres chevaux	102
Figure 44 : Proportion relative des différentes races et robes chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux	103
Figure 45 : Proportion relative de la couleur et de l'épaisseur de peau chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux	104
Figure 46 : Proportion relative du nombre de balzanes et de marques blanches sur la tête chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux	105
Figure 47 : Proportion relative des différentes densités de crinières et de fanons chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux	106
Figure 48 : Proportion relative des fréquences des problèmes de santé générale et dermatologiques chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux	107
Figure 49 : Distribution de l'âge des chevaux « Têtatic » et des autres chevaux	108

Figure 50 : Distribution de la taille des chevaux « Têtatic » et des autres chevaux.	109
Figure 51 : Distribution de la longueur de la crinière chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux.....	110

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques de <i>Dermacentor reticulatus</i> et <i>Dermacentor marginatus</i> (Euzéby 2008).....	24
Tableau 2 : Présentations cliniques et diagnostic de la piroplasmose équine.....	37
Tableau 3 : Dates, durées et fréquences des collectes de tiques réalisées .....	82
Tableau 4 : Composition en espèces de tiques de chaque participant.....	86
Tableau 5 : Composition en espèces de tiques récoltées sur chaque équidé.....	88
Tableau 6 : Tableau permettant de renseigner les degrés d'infestations des chevaux par différents insectes et ectoparasites dans le questionnaire « Têtatic » .....	95
Tableau 7 : Lien entre sexe, race et robe du cheval et son degré d'infestation par les tiques.....	112
Tableau 8 : Lien entre couleur de la peau, épaisseur de la peau des chevaux et leur degré d'infestation par les tiques.....	113
Tableau 9 : Lien entre épaisseur de la peau du cheval et son degré d'infestation par les tiques dans le cadre de comparaison multiples .....	114
Tableau 10 : Lien entre présence de marques blanches sur la tête, de balzanes et degré d'infestation par les tiques.....	115
Tableau 11 : Lien entre densité de la crinière et des fanons et degré d'infestation par les tiques .....	116
Tableau 12 : Lien entre prise de vermifuge, fréquence des problèmes de santé générale et des problèmes dermatologiques et degré d'infestation par les tiques ..	117
Tableau 13 : Lien entre fréquence des problèmes de santé générale, fréquence des problèmes dermatologiques et abondance de tiques sur les chevaux dans le cadre de comparaisons multiples.....	118
Tableau 14 : Lien entre la position du cheval, son comportement face aux parasites externes et son degré d'infestation par les tiques .....	119
Tableau 15 : Lien entre âge du cheval et son degré d'infestation par les tiques .....	120
Tableau 16 : Lien entre taille du cheval et son degré d'infestation par les tiques....	120
Tableau 17 : Lien entre taille du cheval et son degré d'infestation par les tiques dans le cadre de comparaisons multiples .....	121
Tableau 18 : Lien entre longueur de la crinière et des fanons et degré d'infestation par les tiques .....	122

Tableau 19 : Comparaison des proportions des différentes espèces de tiques récoltées et identifiées lors des projets Têtatic et PiroSentinel ..... 124



## TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Protocole de collecte.....	133
Annexe 2 : Fiche de suivi .....	135
Annexe 3 : Récapitulatif du comptage de tiques par équidé .....	136
Annexe 4 : Nombre de tiques collectées par cheval au sein d'un groupe pendant la seconde période de collecte.....	136
Annexe 5 : Questionnaire Têtatic (sections 1 et 2).....	137
Annexe 6 : Extraction des données du questionnaire sous forme de tableau Excel	149
Annexe 7 : Répartition des chevaux de l'étude selon leur race (n = 567).....	150
Annexe 8 : Répartition des chevaux étudiés selon leur robe (n = 567) .....	151
Annexe 9 : Pathologies et symptômes affectant les chevaux « Têtatic » et les autres chevaux.....	152

## LISTE DES ABREVIATIONS

*A. americanum* : *Amblyomma americanum*

*A. phagocytophilum* : *Anaplasma phagocytophilum*

ATR : Acquired Tick Resistance ou résistance acquise aux tiques

*B. caballi* : *Babesia caballi*

*B. t. indicus* : *Bos taurus indicus*

*B. t. taurus* : *Bos taurus taurus*

Blimp 1 : Protéine 1 de maturation induite par les lymphocytes B régulateur de la transcription

Ca<sup>2+</sup> : Ion calcium

CMH : complexe majeur d'histocompatibilité

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone

*D. albipictus* : *Dermacentor albipictus*

*D. marginatus* : *Dermacentor marginatus*

*D. reticulatus* : *Dermacentor reticulatus*

*D. variabilis* : *Dermacentor variabilis*

GPS : Global Positionning System

*H. excavatum* : *Hyalomma excavatum*

*H. lusitanicum* : *Hyalomma lusitanicum*

*H. marginatum* : *Hyalomma marginatum*

*I. ricinus* : *Ixodes ricinus*

*I. scapularis* : *Ixodes scapularis*

IgE : Immunoglobuline E

IgG : Immunoglobuline G

IL-4 : Interleukine 4

LCN9 : Lipocaline 9

LT CD4<sup>+</sup> : Lymphocyte T CD4<sup>+</sup>

*O. concanensis* : *Ornithodoros concanensis*

ORN : Olfactory Receptor Neurons

PCR : Polymerase chain reaction

*R. microplus* : *Rhipicephalus microplus*

*T. equi* : *Theileria equi*

TGM1 : Enzyme transglutaminase 1

VHF : Very High Frequency

# Introduction

Les tiques dures sont des ectoparasites obligatoires de grande taille, c'est-à-dire visibles à l'œil nu, se nourrissant exclusivement de sang ou de lymphes de vertébrés. Elles parasitent les animaux domestiques et sauvages. Aussi, les équidés vivant au pré ne sont pas épargnés et se retrouvent fréquemment confrontés aux tiques.

Les tiques sont responsables de la transmission de nombreux agents pathogènes, tels que des protozoaires, des bactéries ou encore des virus. En effet, elles constituent globalement le deuxième vecteur mondial à transmettre des pathogènes, après les moustiques. Les pathogènes transmis peuvent causer de nombreuses maladies chez les chevaux, dont les principales sont les piroplasmoses équine, dues à deux protozoaires *Babesia caballi* et *Theileria equi*. Ces maladies, largement répandues dans le monde, sont une préoccupation majeure pour le monde équin.

Afin de prévenir l'infestation par les tiques et donc la transmission d'agents pathogènes, il convient de comprendre les facteurs d'attractivité des tiques pour les chevaux et les raisons pour lesquelles certains chevaux se retrouvent massivement infestés de tiques. De nombreux facteurs sont à prendre en compte, dont l'environnement et les caractéristiques propres aux chevaux.

La première partie de ce manuscrit sera donc constituée d'une synthèse bibliographique renseignant sur des généralités concernant les tiques et les principales maladies qu'elles transmettent aux équidés. Ensuite, les modalités de perception de leur environnement par les tiques seront abordées, ainsi que les facteurs semblant impliqués dans l'attractivité préférentielle des tiques pour certains chevaux et le rôle de l'immunité anti-tiques. Dans une seconde partie expérimentale, nous chercherons à mettre en évidence l'inégale abondance de tiques entre équidés vivant ensemble au pré. Un questionnaire permettra ensuite de faire un inventaire des caractéristiques des chevaux afin d'évaluer si certains facteurs propres à l'individu permettent d'expliquer cette différence d'abondance des tiques entre équidés.

# PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## I. Généralités sur les tiques présentes sur les chevaux

### A. Classification taxonomique

Il existe près de 900 espèces de tiques et plusieurs classifications ont été élaborées au cours des décennies (Horak et al. 2002). Actuellement, ces parasites font partie de la sous-classe des Acariens. Les tiques se subdivisent en deux familles, à savoir les *Ixodidae*, correspondant aux tiques dures et les *Argasidae*, regroupant les tiques dites molles. Les tiques nous intéressant dans le cadre de cette étude sont les tiques dures. La famille des *Ixodidae* comporte plusieurs genres : *Amblyomma*, *Dermacentor*, *Haemaphysalis*, *Hyalomma*, *Ixodes*, *Rhipicephalus* (Figure 1) (Cupp 1991; Sonenshine 1991; Anderson et al. 2008).

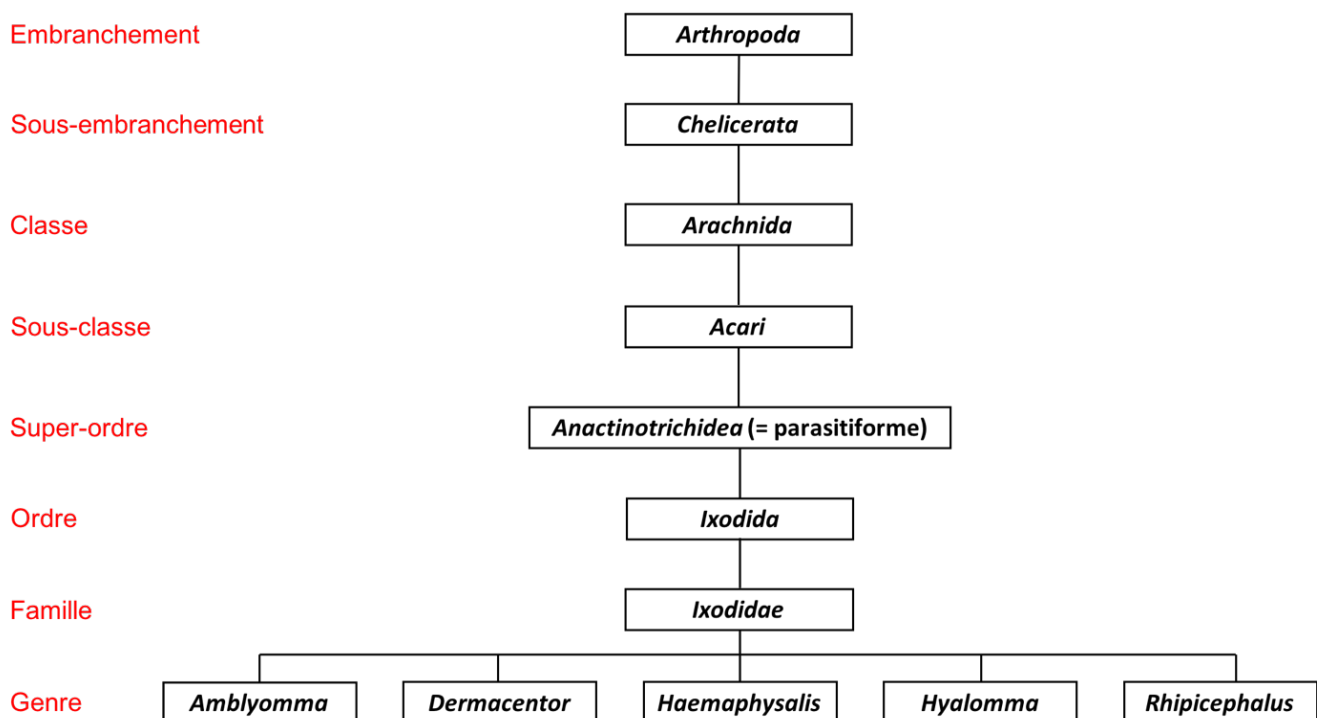


Figure 1 : Classification taxonomique des tiques dures (Cupp 1991; Sonenshine 1991)

## B. Cycle parasitaire

Les tiques dures sont des ectoparasites strictement hématophages obligatoires des mammifères, des oiseaux, des reptiles et des amphibiens (Walker et al. 2005). Elles présentent toutes un cycle évolutif où quatre stades se succèdent : œufs, larve, nymphe, adulte (Figure 2) (Estrada-Peña 2015). Durant leur vie, l'habitat des tiques est double, puisqu'elles alternent entre des phases de vie « libre » et les phases de vie parasitaire (McCoy et al. 2017).

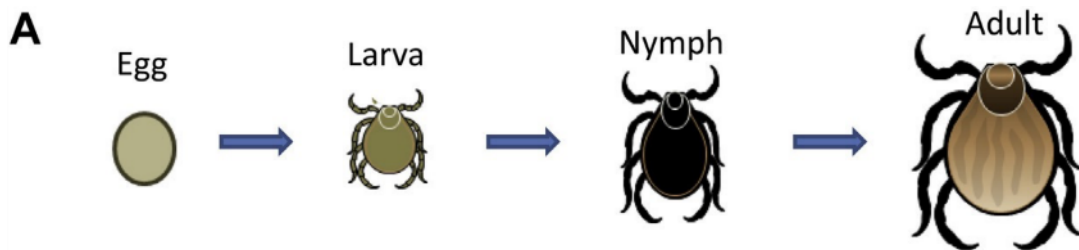


Figure 2 : Les quatre stades évolutifs des tiques (Wise et al. 2014)

La bio-écologie des tiques est influencée par des facteurs intrinsèques spécifiques tels que le nombre d'hôtes nécessaires au cours d'un cycle, le spectre et la spécificité d'hôtes et les sites préférentiels de fixation sur l'hôte. Des facteurs extrinsèques interviennent également. Il s'agit essentiellement de l'environnement et du climat avec notamment la température, l'humidité et le couvert végétal. Ces derniers conditionnent la répartition géographique des tiques, mais aussi leur développement, leur activité et leur survie. Les tiques dures sont souvent exophiles, c'est-à-dire que la quête d'un nouvel hôte se fait en milieu extérieur ouvert ou semi-ouvert (forêts, prairies, etc.), à la merci des intempéries. À l'inverse, les tiques molles sont plutôt endophiles et vivent donc essentiellement dans des habitats abrités, nids ou terriers, à proximité de leurs hôtes (McCoy et al. 2017).

Au cours de sa vie, une même espèce de tiques peut se nourrir sur différents types d'hôtes. La durée et le nombre de repas sanguin varient selon qu'il s'agisse d'une tique dure ou d'une tique molle. Les premières se nourrissent pendant plusieurs jours à plusieurs semaines, ingérant plus de 100 fois leur masse corporelle en sang, alors que les secondes se contentent de quelques minutes pour ingérer du sang de

l'hôte (McCoy et al. 2017; Estrada-Peña 2015). Les tiques dures, qui nous intéressent ici, peuvent présenter des cycles mono-, di- ou tri-phasiques, faisant ainsi intervenir un à trois hôtes différents. Beaucoup d'espèces présentent un cycle triphasique, comme *D. reticulatus*, *D. marginatus* et *I. ricinus*, au cours duquel les tiques tombent au sol entre chaque stade et trouvent un nouvel hôte pour se nourrir ensuite. *H. marginatum* est le plus souvent diphasique. Dans ce cas, larve et nymphe se nourrissent sur un même hôte avant de tomber au sol et de se métamorphoser en adulte, qui cherchera lui un second hôte. Il est à noter que les femelles des tiques dures ne pondent qu'une seule fois, de 1 000 à 20 000 œufs, après un repas unique, contrairement aux tiques molles qui pondent 20 à 500 œufs après chaque repas. De manière générale, les stades immatures tels que les larves et les nymphes, parasitent de petits hôtes vertébrés (rongeurs, oiseaux), alors que les adultes préfèrent les grands vertébrés (ongulés, carnivores) (McCoy et al. 2017; Estrada-Peña 2015).

### **C. Présentation et caractéristiques morphologiques des principales espèces de tiques présentes sur les chevaux en France métropolitaine**

En Europe, quatre espèces de tiques dures sont principalement retrouvées chez les équidés : *Ixodes ricinus*, *Dermacentor reticulatus*, *Dermacentor marginatus* et *Rhipicephalus bursa*. Grâce au projet PiroGoTick (financé par l'IFCE, le Fonds Eperon et l'Institut Carnot France Futur Élevage et coordonné par le Dr L. Malandrin, INRAE), des collectes ont été réalisées sur des chevaux vivant au pré dans plus de 400 sites en France métropolitaine et ont permis de mettre en évidence que *D. reticulatus* était la tique la plus présente sur les chevaux français, avec environ 60% des tiques adultes collectées. *Dermacentor marginatus* est quant à elle moins abondante que *D. reticulatus* puisqu'elle correspond à environ 10 à 15% des échantillons rassemblés. *Hyalomma marginatum* est retrouvée sur moins de 10% des sites ayant été sujets à des collectes, mais est localement très présente dans le sud de la France. *Ixodes ricinus* est peu abondante (moins de 8% des tiques adultes collectées). *Haemaphysalis punctata*, *Haemaphysalis concinna* et *Rhipicephalus*

*bursa* n'ont quant à elles qu'une importance quantitative mineure en France métropolitaine (Malandrin et al. 2022).

## 1. *Dermacentor reticulatus* et *Dermacentor marginatus*

*Dermacentor reticulatus* et *Dermacentor marginatus* appartiennent au genre *Dermacentor* avec un sillon anal postérieur à l'anus (Metastrata). Leurs dimensions n'excèdent pas quelques millimètres de longueur. Elles disposent d'un rostre court, appelé brévirostre et d'un capitulum rectangulaire. Leurs coxae I sont bifides et les coxae IV sont très développées chez les mâles. Elles disposent d'yeux et de festons, mais sont dépourvues d'écussons ventraux (Figures 3 et 4). Il s'agit de tiques triphasiques, c'est-à-dire que les trois stades prennent un repas sur un hôte différent et le quittent pour muer au sol. Elles sont également ditropes, puisque les larves et les nymphes parasitent un type d'hôte et les adultes un autre. Ces tiques sont répandues en régions tempérées. Les adultes sont exophiles et recherchent plutôt les milieux ouverts et ensoleillés, alors que les stades immatures sont endophiles. Seuls les adultes de *D. reticulatus* et de *D. marginatus* sont retrouvés sur les équidés français, avec une légère majorité de femelles pour *D. reticulatus* (Tableau 1) (Euzéby 2008; Malandrin et al. 2022).

Tableau 1 : Caractéristiques de *Dermacentor reticulatus* et *Dermacentor marginatus* (Euzéby 2008)

<b><i>Dermacentor reticulatus</i> (Figure 3)</b>	<b><i>Dermacentor marginatus</i> (Figure 4)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2<sup>ème</sup> article des pédipalpes avec élargissement latéral et porteur d'une forte épine rétrograde développée</li> <li>- Stades larvaire et nymphal parasites de rongeurs et d'insectivores</li> <li>- Formes adultes parasites du cheval et du chien (transmission respective de <i>Babesia caballi</i> et <i>Theileria equi</i> et <i>Babesia canis</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2<sup>ème</sup> article des pédipalpes dépourvu d'élargissement latéral, d'expansion latéro-postérieure et d'épines postérieures</li> <li>- Présence d'épines externes sur toutes les coxae</li> <li>- Ouverture génitale femelle en forme de V, simulant une paire d'ailes</li> <li>- Stades pré-imaginaux parasites de rongeurs</li> <li>- Formes adultes parasites du mouton et du cheval, auquel elle transmet <i>Babesia caballi</i> et <i>Theileria equi</i></li> </ul>



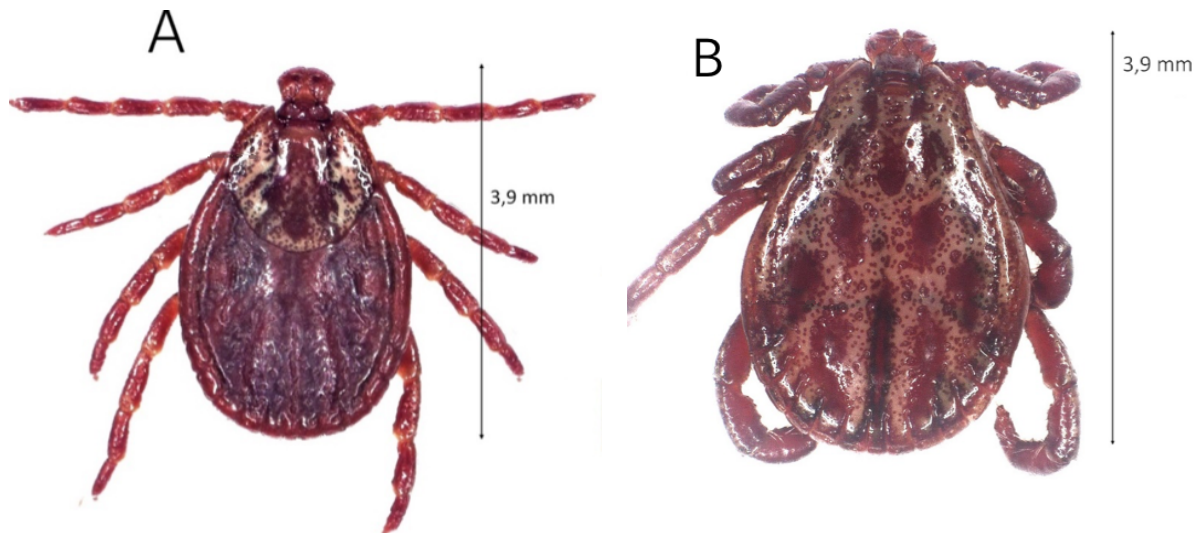


Figure 3 : Vues dorsales d'une femelle *Dermacentor reticulatus* (A) et d'un mâle *Dermacentor reticulatus* (B) (© INRAE- PiroGoTick)

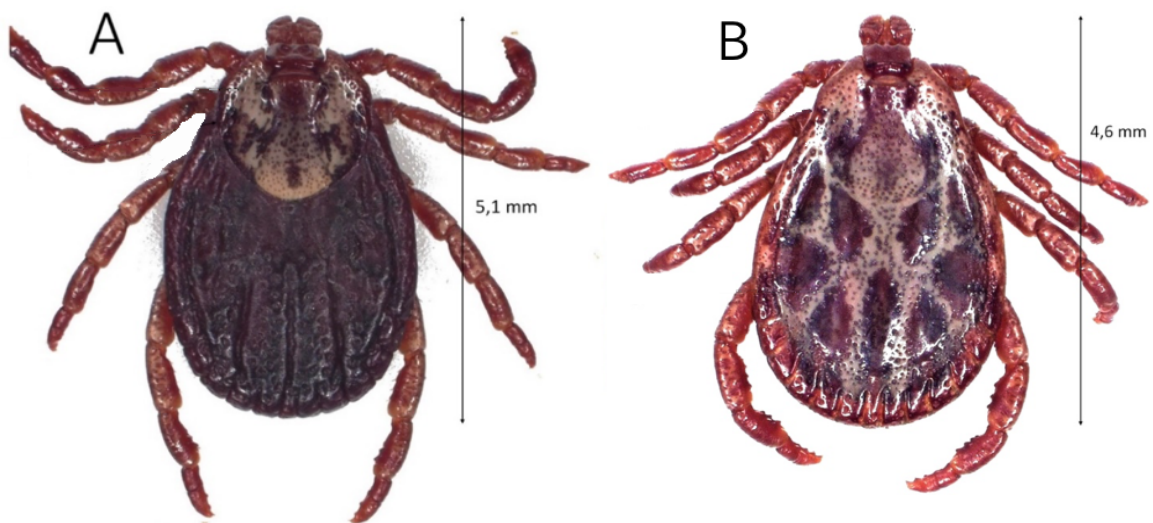


Figure 4 : Vues dorsales d'une femelle *Dermacentor marginatus* (A) et d'un mâle *Dermacentor marginatus* (B) (© INRAE- PiroGoTick)

## 2. *Hyalomma marginatum*

*Hyalomma marginatum* est une espèce au corps ovale, longirostre et disposant d'un capitulum à base rectangulaire. Son sillon anal contourne l'anus par l'arrière (Metastriata). Le premier article des palpes est de forme subtriangulaire, tandis que le deuxième article des palpes est aussi long que large, deux fois plus long que le

troisième article et possède une épine postérieure. Elle dispose d'yeux et d'écussons ventraux adanoux triangulaires. Le bord postérieur de son corps est festonné et les coxae I sont bifides et très échancrées (Figure 5). Le cycle de cette espèce est diphasique, exophile et ditrope. Les formes adultes parasitent préférentiellement les équidés, avec une abondance comparable des femelles et des mâles (Euzéby 2008; Malandrin et al. 2022).

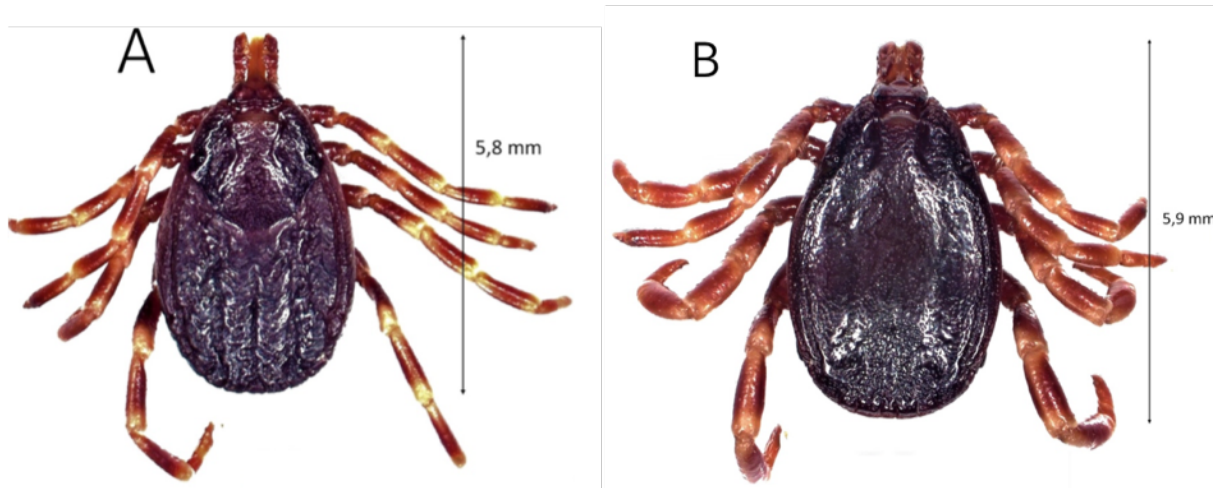


Figure 5 : Vues dorsales d'une femelle *Hyalomma marginatum* (A) et d'un mâle *Hyalomma marginatum* (B) (© INRAE- PiroGoTick)

### 3. *Ixodes ricinus*

*Ixodes ricinus* dispose d'un rostre long (longirostre), de coxae I prolongées en arrière par une épine, de tarsi I effilés, d'un scutum subcarré et d'un écusson génito-anal ovalaire. Son sillon anal est à côté divergent et entoure l'anus en avant (Prostriata). Elle est dépourvue d'yeux et de festons. Les mâles disposent quant à eux de nombreux écussons ventraux (Figure 6). Il s'agit d'une tique triphasique et télétrope : les larves et les nymphes sont ubiquistes et parasites d'oiseaux et de rongeurs, tandis que les adultes ont pour hôte les ongulés, les chiens, les chats, les hommes, les oiseaux et les reptiles. Les mâles adultes ne sont pas hématophages. Concernant les équidés, ce sont les stades immatures et principalement les nymphes qui y sont retrouvées, avec une majorité de femelles pour le stade adulte. *Ixodes ricinus* est strictement exophile, et également hygrophile, d'où sa préférence pour les

biotopes humides. Elle se retrouve sur l'ensemble du territoire métropolitain (Euzéby 2008; Malandrin et al. 2022).

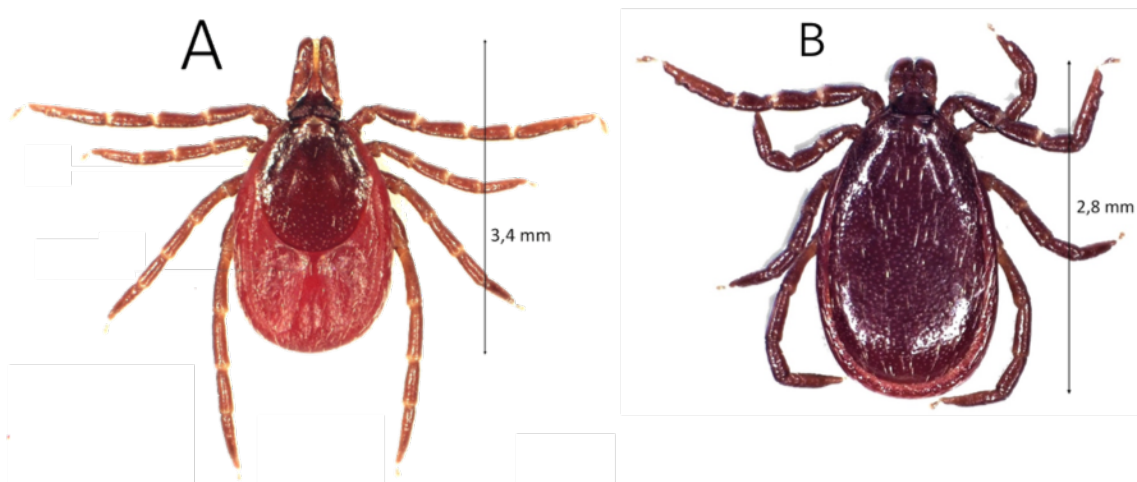


Figure 6 : Vues dorsales d'une femelle *Ixodes ricinus* (A) et d'un mâle *Ixodes ricinus* (B) (© INRAE-PiroGoTick)

## D. Rôle vectoriel des tiques

Les tiques ont une importance médicale et économique, à cause de leur rôle vectoriel, qu'il soit direct ou indirect. Le rôle pathogène direct des tiques est dû aux actions spoliatrice, mécanique et irritative, ainsi qu'aux effets toxiques. Leur rôle pathogène indirect est dû à la transmission d'agents pathogènes lors du repas sanguin (Pérez-Eid 2007).

### 1. Fixation sur l'hôte

Lorsque la tique a trouvé un hôte, elle doit d'abord gagner son site de fixation préférentiel et pénétrer son tégument. Son appareil buccal, appelé rostre, porté par le capitulum, rend cette pénétration possible. Le rostre est constitué de l'hypostome, pièce creusée et dentée avec un canal salivaire sclérifié dans lequel les glandes salivaires débouchent et qui remplit deux fonctions. Il achemine la salive de la tique jusqu'au site de morsure et permet d'assurer la fixation de la tique dans le tégument, tout en créant une lésion qui forme une poche de lyse (Figure 7). Le rostre peut être plus long que large, caractérisant des tiques longirostres telles qu'*Ixodes ricinus*.

Lorsque le rostre est court et large, il s'agit de tiques brévirostrées, comme les tiques du genre *Dermacentor*. Le rostre compte aussi deux chélicères, implantées dorsalement, dont le rôle mécanique est de dilacérer les tissus. Au niveau du capitulum est insérée également une paire de pédipalpes, formées de quatre articles. Les trois derniers articles portent des soies sensorielles conférant aux pédipalpes un rôle uniquement sensoriel. Les pédipalpes s'écartent en surface du tégument de l'hôte au niveau du point de morsure, sans le pénétrer. Les glandes salivaires sont des structures en forme de grappe de raisin. Les grains, appelés des acini, sont reliés entre eux par des canaux salivaires. Ces acini sont soit agranulaires et impliqués dans l'osmorégulation (acini de type I), soit granulaires et participent à la sécrétion de protéines bioactives et de lipides (acini de type II et III) (McCoy et al. 2017).

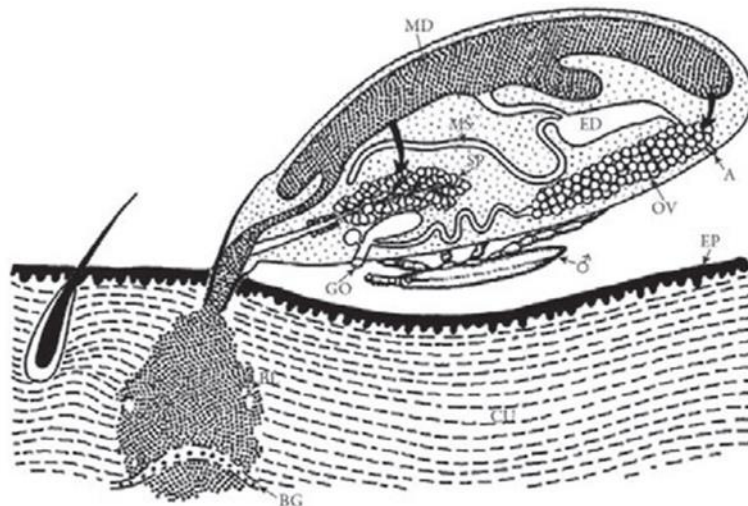


Figure 7 : Femelle ixodidée en cours de gorgement (Mehlhorn 2001)

**Légende fig.7 :** A = anus ; BL = hématome rempli de sang ; BG = vaisseau sanguin ; CU = derme ; ED = intestin postérieur ; EP = épiderme ; GO = pore génital ; MD = intestin moyen ; MS = tubes de Malpighi ; OV = ovaires ; SP = glandes salivaires

Une fois le tégument pénétré, les tiques forment un ciment autour du rostre, permettant l'ancrage à long terme dans la peau de l'hôte parasité. Ce ciment est produit par les matériaux sécrétés par les glandes salivaires. Il correspond à une substance complexe dont les protéines constituent le matériau principal, avec la glycine identifiée comme acide aminé dominant, bien que la composition chimique précise reste encore inconnue (Suppan et al. 2018). En 2020, Villar et al. se sont intéressés au protéome des glandes salivaires (sialome) et du ciment (cémentome)

de *Rhipicephalus microplus*, ainsi qu'à leurs propriétés physico-chimiques aux différents stades parasitaires de femelles adultes (Villar et al. 2020). Cette étude a mis en évidence que la composition du ciment variait au cours du processus d'alimentation et contenait des protéines dérivées de la tique et de l'hôte, associées à d'autres biomolécules, comme l' $\alpha$ -Gal. Le ciment possède des propriétés antimicrobiennes et joue un rôle dans la fixation de l'hôte grâce à ses propriétés adhésives. Il scelle ainsi la lésion alimentaire facilitant la prise du repas sanguin et la transmission d'agents pathogènes, en protégeant contre les réponses immunitaires et inflammatoires de l'hôte (Villar et al. 2020). En effet, le recyclage des protéines dérivées de l'hôte entrant dans la composition du ciment permet de réduire la réponse immunitaire de l'hôte, qui reconnaît ces protéines comme auto-antigènes. Ainsi la composition et les propriétés du ciment semblent modulées tout au long du repas sanguin des tiques afin d'optimiser l'attachement, la prise alimentaire et l'interférence avec la réponse immunitaire de l'hôte (Villar et al. 2020). Afin de pérenniser son ancrage, la tique doit donc masquer l'inflammation et la douleur qu'elle crée chez l'hôte parasité. Pour cela, la salive joue un rôle essentiel puisqu'elle contient d'autres protéines aux propriétés anti-inflammatoires. Parmi ces protéines, les lipocalines sont essentielles car elles entrent en compétition avec l'histamine, responsable notamment de sensations de démangeaison (Valdés 2014). La salive contient également une kininase, permettant la neutralisation de la bradykinine qui est impliquée dans le mécanisme de la douleur (Francischetti et al. 2009). Les tiques sont également capables de lutter contre les phénomènes d'hémostase ayant lieu chez l'hôte. En effet, différents facteurs agissant contre la coagulation et l'agrégation plaquettaire ont été mis en évidence dans la salive des tiques (McCoy et al. 2017). Par exemple, chez *Ixodes scapularis*, deux inhibiteurs spécifiques du facteur tissulaire de la voie extrinsèque de la coagulation, appelés Ixolaris et Penthalaris, ont été découverts (Francischetti et al. 2002; Francischetti et al. 2004). Fontaine *et al.* ont montré l'existence d'autres facteurs ayant une action d'inhibiteurs de la thrombine impliquée dans le processus de coagulation (Fontaine et al. 2011). Les tiques disposent également de l'apyrase, permettant de dégrader l'adénosine diphosphate, un nucléotide issu des cellules lésées et activateur de l'agrégation plaquettaire (Francischetti 2010). La coagulation de l'hôte est également perturbée à cause de l'existence d'inhibiteur de serine protéases de la famille Kunitz, appelé Haemangin,

chez les tiques de l'espèce *Haemaphysalis longicornis* (Islam et al. 2009; Shigetomi et al. 2010).

## **2. Rôles pathogènes direct et indirect des tiques**

### **a) Effets pathogènes directs**

Lors de morsure et de repas sanguin, les tiques ont un effet pathogène direct sur l'hôte parasité. En effet, les tiques causent tout d'abord des dommages lors de leur morsure puisqu'elles transpercent le tégument de l'hôte. Les pièces buccales ont une action mécanique, tandis que la salive exerce une action cytolytique. Les tiques infligent donc des blessures cutanées lors de leur fixation. La morsure de tique constitue donc une porte d'entrée pour les pathogènes comme les myiases ou les bactéries. Avec la prise du repas sanguin, elles peuvent générer des problèmes de spoliation sanguine. En effet, les tiques dures peuvent ingérer jusqu'à cent fois leur poids en sang qu'elles concentrent (McCoy et al. 2017). Ainsi, lors d'infestations importantes, les animaux parasités peuvent se retrouver affaiblis.

Les tiques peuvent également être responsables de paralysie. Cette dernière est provoquée par la morsure d'une tique adulte femelle la plupart du temps. Cette paralysie est cosmopolite, mais le nord-ouest de l'Amérique du Nord et la côte est de l'Australie sont plus affectés (Edlow et al. 2008). Une soixantaine d'espèces de tiques sont répertoriées comme étant à l'origine de cette paralysie réversible chez les animaux (McCoy et al. 2017). Elle survient plus fréquemment chez les chiens, mais peut aussi toucher les chats, les bovins, les moutons, les chevaux, ainsi que les humains (Sloan 1968; Doube 1975; Malik et al. 1991; Grattan-Smith et al. 1997; Schull et al. 2007; Trumpp et al. 2019). Chez les chiens, cette paralysie est due à la fixation de la tique adulte femelle, qui produit ensuite des neurotoxines salivaires. Ces dernières gagnent le système circulatoire de l'hôte et peuvent alors causer une paralysie motrice flasque ascendante en agissant sur les membranes présynaptiques de la jonction neuromusculaire et en empêchant la libération d'acétylcholine (Cooper et al. 1976; Malik et al. 1991; Atwell et al. 2001). En 2019, un premier cas de paralysie des tiques présumé est rapporté chez deux chevaux miniatures en Amérique du Nord. Ces chevaux étaient examinés pour ataxie et faiblesse musculaire progressive. De nombreuses tiques identifiées comme étant *Dermacentor variabilis* ont été trouvées

sur les deux chevaux (Trumpp et al. 2019). Par ailleurs, certaines tiques peuvent provoquer des allergies, voire des chocs anaphylactiques (McCoy et al. 2017).

### **b) Effets pathogènes indirects**

Les tiques ont un rôle pathogène indirect, par la transmission vectorielle d'agents pathogènes. La transmission de ces derniers est favorisée par la longue durée des repas sanguins réalisés par les tiques, laissant le temps aux agents pathogènes présents dans les glandes salivaires de se multiplier et d'être ainsi inoculés en plus grand nombre (Chanourdie 2001). Les tiques peuvent être porteuses et transmettre des protozoaires, tels que *Babesia caballi*, *Theileria equi*, ainsi que des bactéries telles qu'*Anaplasma phagocytophilum* ou *Borrelia burgdorferi* chez les chevaux et différents virus (M'ghirbi et al. 2012; Scoles et al. 2015). La transmission de ces pathogènes débute environ 24 heures après le début du repas sanguin, bien qu'elle puisse survenir plus tôt dans certains cas (Estrada-Peña 2015).

Chez les tiques du genre *Ixodes*, le stade nymphal est le stade le plus souvent impliqué dans la transmission d'agents infectieux, du fait de sa petite taille qui lui permet d'être imperceptible, et de sa présence en plus grand nombre que les adultes femelles. Selon l'agent infectieux impliqué, la transmission ne s'effectue pas selon les mêmes modalités. En effet, concernant les bactéries, elles sont souvent localisées dans l'intestin des tiques au moment de la morsure ou alors ne sont pas encore sous forme infectieuse. L'afflux sanguin ayant lieu lors du repas de la tique permet un changement de température et de pH. Ces modifications donnent ensuite la possibilité aux bactéries de migrer de l'intestin des tiques vers les glandes salivaires (McCoy et al. 2017). Les protéines de la salive de tique sont impliquées dans la colonisation du vecteur et la transmission de l'agent pathogène. Par exemple, au cours du repas sanguin, *Anaplasma phagocytophilum* induit l'expression du gène *salp16* dans les glandes salivaires de la tique *Ixodes scapularis*, jouant un rôle dans la migration des bactéries de l'intestin vers les glandes salivaires du vecteur (Kazimírová et al. 2013). Par ailleurs, la subolesine, une protéine présente chez différentes espèces de tiques, semble également intervenir lors de la transmission d'*A. phagocytophilum*. Elle intervient dans la reproduction et la prise du repas sanguin de la tique et fonctionne comme un facteur de transcription qui participe à la régulation de la réponse

immunitaire innée. En effet, l'infection des glandes salivaires de *D. variabilis* est diminuée par l'inhibition de sa synthèse par de l'ARN interférent (de la Fuente et al. 2006). Ces mécanismes sont néanmoins moins bien étudiés que ceux impliqués dans l'infection par les bactéries du genre *Borrelia*. Les protozoaires du genre *Theileria* et *Babesia* sont quant à eux présents dans les glandes salivaires avant le début de la prise alimentaire, mais ne semblent pas directement infectieux (McCoy et al. 2017).

### 3. Les agents pathogènes transmis

#### a) *Theileria equi*

*Theileria equi* est l'agent responsable de la piroplasmose ou theilériose équine. Il s'agit d'un protozoaire du phylum des Apicomplexa, de la famille des Theilériidae. Il est endémique dans la plupart des régions du monde, mais se retrouve surtout en zones tropicales et subtropicales, à l'exception de l'Australie, ainsi qu'en zones tempérées (McCoy et al. 2017). Les sporozoïtes injectés au cours du repas sanguin, parasitent d'abord des lymphocytes, puis des érythrocytes des équidés. Les mérozoïtes dans les hématies sont de petite taille (2 µm) et de formes annulaires, en virgule ou en tétrades avec une forme caractéristique en croix de Malte (Figure 8). Ils se caractérisent par leur absence de cytotome. La reproduction sexuée et la sporogonie se déroulent chez les Ixodidae : les tiques dures jouent les rôles à la fois d'hôtes définitifs et de vecteurs biologiques. Le cycle évolutif s'effectue chez les tiques du genre *Dermacentor* (notamment *D. reticulatus*), mais aussi *Rhipicephalus* (*R. bursa*), et *Hyalomma anatolicum excavatum* (Wise et al. 2014; Euzéby 2008). La tique femelle infectée ne transmet pas *T. equi* à sa descendance (pas de transmission transovarienne).



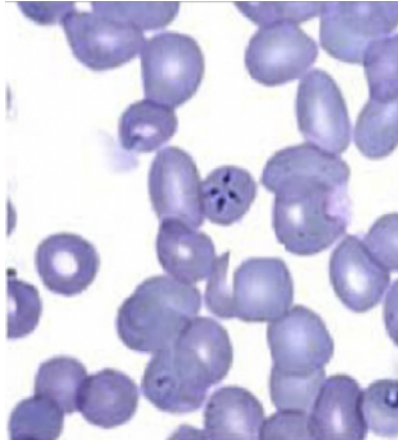


Figure 8 : Observation de *Theileria equi* au microscope optique (Wise et al. 2014)

### **b) *Babesia caballi***

*Babesia caballi* est également un protozoaire Apicomplexa. Il appartient à la famille des Babésiidae. Ce parasite des équidés a une répartition cosmopolite. C'est également un agent responsable de la piroplasmose ou babésiose équine. Il s'agit d'un parasite des hématies uniquement, mesurant 3 à 5  $\mu\text{m}$ . Il présente une forme typique en poire, souvent bigémminées (Figure 9). *Babesia caballi* peut effectuer son cycle de développement chez des Ixodidae du genre *Dermacentor*, avec transmission des sporozoïtes au stade adulte uniquement (Euzéby 2008; Wise et al. 2014). À la différence de *T. equi*, la tique femelle adulte infectée transmet les babésies à sa progéniture. Les tiques sont donc un réservoir de cet agent pathogène.

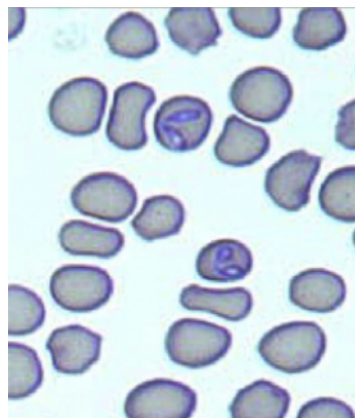


Figure 9 : Observation de *Babesia caballi* au microscope optique (Wise et al. 2014)

### c) *Anaplasma phagocytophilum*

*Anaplasma phagocytophilum* est une bactérie intracellulaire obligatoire à gram négatif, transmise par les tiques du genre *Ixodes* et responsable de l'anaplasmose granulocytaire équine. Elle appartient à l'ordre des Rickettsiales et au genre *Anaplasma*. Elle est de forme sphéroïde ou pléomorphe (Figure 10). Elle infecte les neutrophiles de l'hôte vertébré et se multiplie dans une vacuole parasitophore où elle forme une morula (Dzięciel et al. 2013; Guzman et al. 2022).

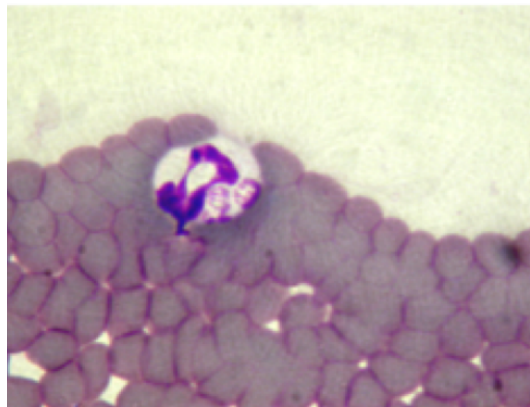


Figure 10 : Inclusion d'*Anaplasma* dans un granulocyte neutrophile (Dzięciel et al. 2013)

## 4. Épidémiologie et étude clinique des maladies transmises par les tiques

### a) *Les piroplasmoses équines*

Les piroplasmoses ou babésioses équines sont des maladies transmises par les tiques aux équidés et causées par *Theileria equi* (anciennement appelé *Babesia equi*) et/ou *Babesia caballi*. Ces protozoaires infectent tous les deux les équidés domestiques et sauvages (Wise et al. 2014). Les piroplasmoses équines se rencontrent dans tous les pays où les tiques vectrices sont présentes. Elles sont endémiques dans les régions tropicales, subtropicales, ainsi que dans certaines régions tempérées (Figure 11) (Rothschild 2013; Onyiche et al. 2019). Seule 10% de la population équine mondiale résiderait dans des zones exemptes d'infections à *B. caballi* ou *T. equi* (Jongejan et al. 2004). En France métropolitaine, les piroplasmoses équines se retrouvent sur l'ensemble du territoire, bien que la moitié sud du pays soit

plus touchée. Cependant, son aire de répartition gagne progressivement les régions du nord du fait des changements globaux dont le réchauffement climatique (Cadore et al. 2020).

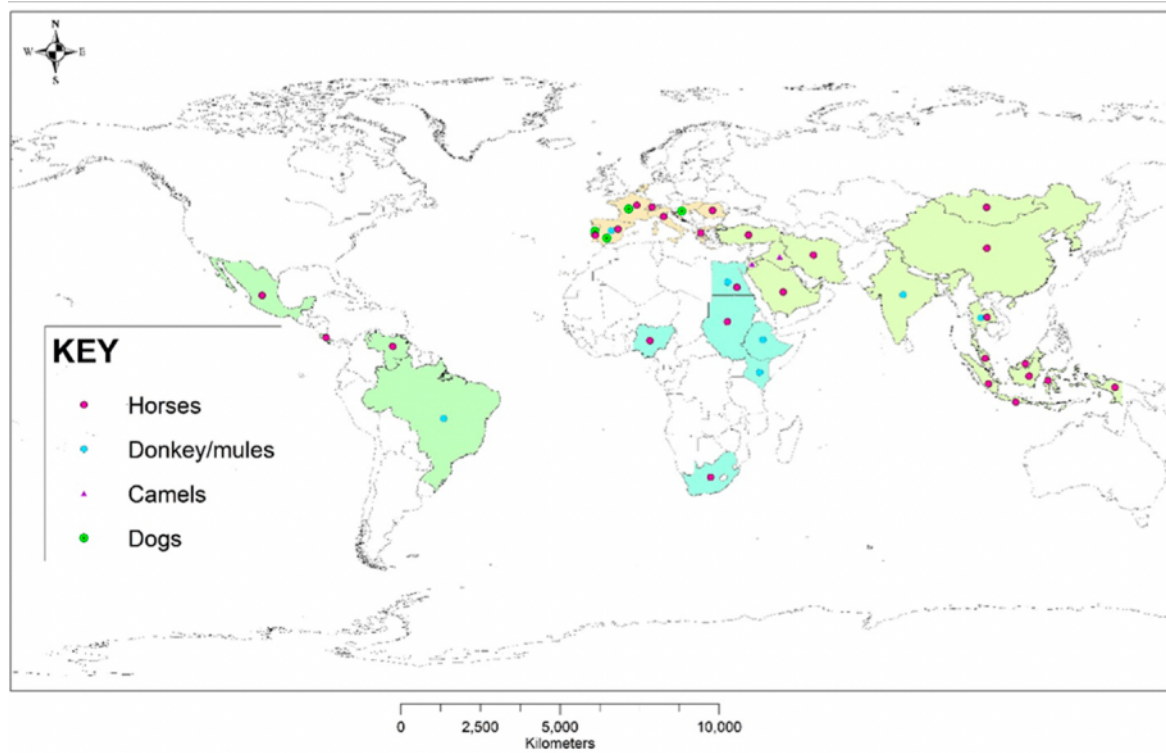


Figure 11 : Répartition mondiale des cas de piroplasmoses équine détectés ou signalés sur différentes espèces animales entre 2008 et 2018 (Onyiche et al. 2019)

La durée d'incubation est de 10 à 30 jours pour *Babesia caballi* et de 12 à 19 jours pour *Theileria equi* (de Waal 1992). Sans traitement, les chevaux infectés le sont à vie pour l'infection par *T. equi* et pendant plusieurs mois à plusieurs années pour *B. caballi* (Rothschild 2013; Onyiche et al. 2019). Les piroplasmoses équine peuvent se manifester sous des formes suraiguës, aiguës, subaiguës ou chroniques. Les équidés peuvent également être porteurs inapparents et ne présenter aucun signe clinique (Onyiche et al. 2019). Plusieurs études se sont intéressées aux prévalences respectives de *B. caballi* et *T. equi* et ont mis en évidence une séroprévalence de *T. equi* plus importante que celle de *B. caballi* en France et dans le sud de l'Europe de manière plus générale (Zobba et al. 2008; Kouam et al. 2010; García-Bocanegra et al. 2013).

La forme suraiguë est peu fréquente. Elle atteint principalement les poulains nouveau-nés infectés *in utero*, ainsi que les chevaux naïfs introduits en zone fortement endémique. Cette forme est foudroyante, causant des défaillances multi-organiques pouvant aller jusqu'à une mort subite. Les poulains atteints ont un mauvais pronostic. Ils présentent de la faiblesse, de la léthargie, de l'hyperthermie, de l'anémie et un ictère sévère, apparaissant dans les trois jours suivant la naissance (de Waal 1992; Beugnet et al. 2005; Rothschild 2013; Wise et al. 2014; Onyiche et al. 2019).

La forme aiguë se caractérise par une hyperthermie sévère (> 40°C), une anorexie, une congestion des muqueuses, une tachypnée, une tachycardie, une intolérance à l'effort, des œdèmes périphériques, une anémie, ainsi que de l'ictère et de l'hémoglobinurie dans les cas les plus graves (Tableau 2). Lors d'une infection à *B. caballi*, l'hyperthermie est très marquée avec un pic supérieur à 40°C pendant 24 à 36 heures, tandis que dans le cas d'une infection à *T. equi*, l'hyperthermie est moins marquée et apparaît de manière cyclique. Des troubles digestifs tels que des coliques et des diarrhées peuvent également survenir (de Waal 1992; Rothschild 2013; Wise et al. 2014; Onyiche et al. 2019).

La forme chronique peut faire suite à une forme aiguë chez un animal non traité ou survenir directement après infection. Des signes non spécifiques d'inflammation ou d'infection chronique peuvent se déclarer, notamment de la dysorexie, de la léthargie, un amaigrissement, une baisse des performances et un pelage en mauvais état. Ces équidés sont souvent anémiés et présentent des muqueuses légèrement pâles ou sub-ictériques, ainsi qu'une rate hypertrophiée (Tableau 2) (de Waal 1992; Rothschild 2013; Wise et al. 2014; Onyiche et al. 2019).

En zone endémique, la majorité des chevaux s'infectent lors de leur première année de vie. Lorsque des chevaux naïfs sont introduits en zone endémique, les taux de mortalité peuvent excéder 50% en l'absence de traitement. À titre d'exemple, un taux de mortalité de 69% a été constaté chez des chevaux non infectés, importés dans le sud de la France et n'ayant reçu aucun traitement (Maurer 1962; Rothschild 2013).

Tableau 2 : Présentations cliniques et diagnostic de la piroplasmose équine

Abréviations : IFA = immunofluorescence indirecte ; CFT = test de fixation du complément ; cELISA = dosage immuno-enzymatique compétitif ; PCR = polymérase chain reaction

	<b>Forme aiguë à <i>Theileria equi</i></b>	<b>Forme chronique / porteur de <i>Theileria equi</i></b>	<b>Forme aiguë à <i>Babesia caballi</i></b>	<b>Forme chronique / porteur de <i>Babesia caballi</i></b>
<b>Présentation clinique</b>	Fièvre, léthargie, pétéchies, œdème → muqueuses pâles, ictère, pigmenturie	Signes non spécifiques d'infection chronique, splénomégalie	Fièvre, léthargie, pétéchies, œdème → muqueuses pâles, ictère, pigmenturie	Aucun
<b>Biologie médicale</b>	Anémie Thrombocytopénie	Anémie légère	Anémie Thrombocytopénie	Aucun
<b>Étalement sanguin</b>	Corps piriformes (« croix de Malte ») de petite taille mesurant 2 à 3 µm	Pas de parasite	Corps plus grands et piriformes, mesurant 2 à 5 µm	Pas de parasite
<b>Parasitémie (%)</b>	1 à 5	0	0,1 à 1	0
<b>Diagnostic</b>	Frottis sanguin IFA (CFT) PCR	cELISA IFA PCR	Frottis sanguin IFA (CFT) PCR	cELISA IFA Western blot PCR

### **b) L'anaplasmosse granulocytaire équine**

L'anaplasmosse granulocytaire équine, appelée autrefois ehrlichiose granulocytaire équine, est une maladie infectieuse vectorisée et non contagieuse, décrite pour la première fois en Californie par Gribble en 1969 (Gribble 1969), due à une infection par *Anaplasma phagocytophilum*. Cette bactérie infecte de très nombreux mammifères, incluant l'Homme et les équidés. Les oiseaux migrateurs constituent un réservoir capable d'introduire la bactérie en zones indemnes. La bactérie a été retrouvée dans de nombreux pays, tels que les États-Unis, le Canada, ainsi que dans le Nord et l'Est de l'Europe (Figure 12) (Bakken et al. 1996; Dumler et al. 1997; Madigan et al. 2000).

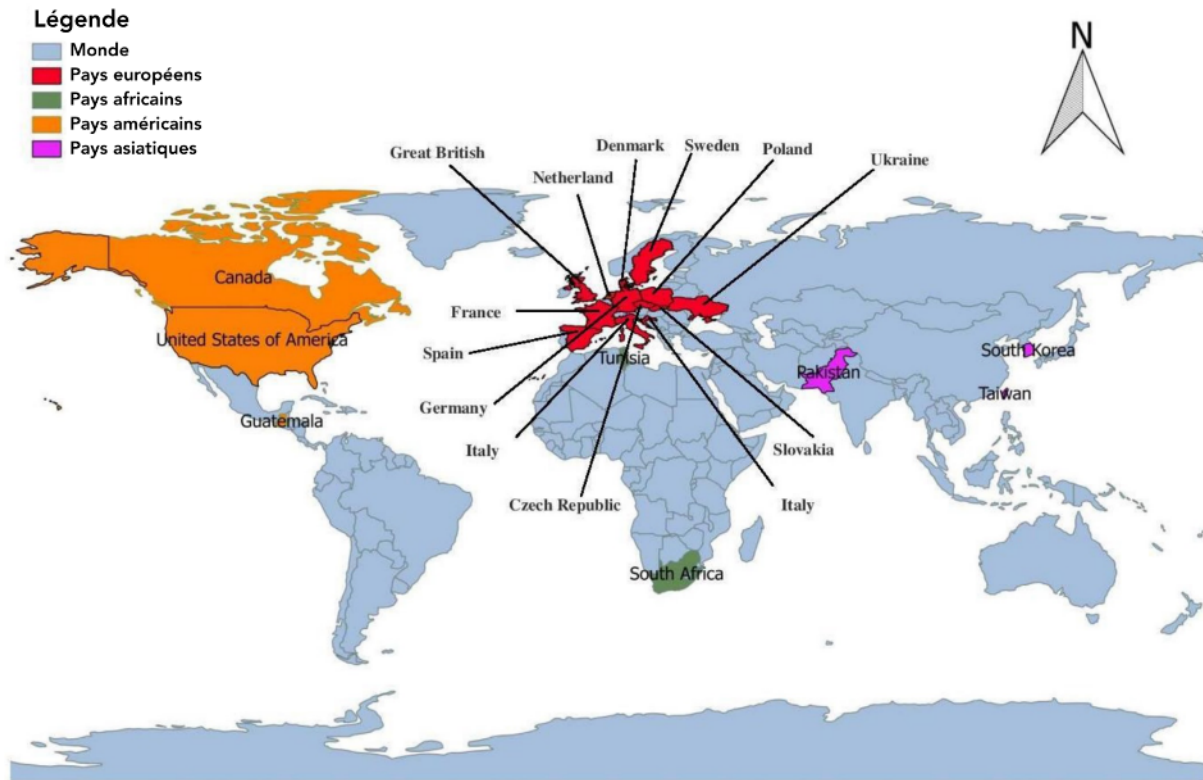


Figure 12 : Répartition de l'anaplasmoze granulocytaire équine dans le monde entre 1990 et 2018  
(Saleem et al. 2018)

Lors de l'infection par *A. phagocytophilum*, les signes cliniques sont nombreux et peu spécifiques. La période d'incubation est d'environ 10 jours (Gribble 1969; Barlough et al. 1995). L'évolution de la maladie peut être aiguë ou subclinique. Les chevaux atteints présentent une hyperthermie sévère pouvant persister pendant 6 à 12 jours, de l'abattement, de l'anorexie, de la tachycardie, de la tachypnée, de l'ataxie et un œdème distal des membres. D'un point de vue hématologique, les chevaux développent une anémie et une thrombocytopénie. L'infection peut également entraîner un portage sain, sans déclaration de signes cliniques. La gravité des signes cliniques varie en fonction de l'âge du cheval atteint. En effet, seule l'hyperthermie affecte les chevaux de moins d'un an, à laquelle s'ajoute de l'abattement et un léger œdème des membres pour les chevaux d'un à trois ans. Les chevaux âgés de plus de trois ans présentent l'ensemble des autres signes évoqués. La mortalité associée à cette maladie est faible (Madigan et al. 2000; Leblond et al. 2005).

## **II. Les facteurs d'attractivité des tiques pour les chevaux**

Les tiques représentent un enjeu médical et économique, du fait de leurs rôles pathogènes directs et indirects. Elles sont le deuxième vecteur mondial à transmettre des pathogènes après les moustiques (Kocan et al. 2011). Il est donc primordial d'éviter leur infestation. Actuellement, des acaricides chimiques sont majoritairement utilisés pour lutter contre les tiques, ce qui participe à la sélection de résistance et à la contamination de l'environnement (Bonnet et al. 2018). Investiguer les facteurs expliquant la variation d'abondance de tiques entre équidés pourrait permettre de mieux comprendre ce qui attire les tiques et donc de mettre au point d'autres moyens préventifs.

### **A. Les stratégies mises en place pour la recherche de l'hôte**

Les tiques ont développé différentes stratégies de recherche d'hôtes au cours de l'évolution. Les deux principales stratégies des tiques reposent sur leur comportement de recherche de nid ou de recherche de pâturage (Sonenshine et al. 2013).

La recherche de nid concerne la plupart des tiques molles et certaines tiques dures. Ces tiques restent dans les terriers ou les nids d'oiseaux pour se nourrir, muer et pondre des œufs. Il s'agit donc d'une stratégie passive, où les tiques attendent que l'hôte soit à proximité (Belozarov 1982; Zając et al. 2020).

Les tiques peuvent toutefois se déplacer activement sur de plus grandes distances depuis le nid vers la végétation. Elles grimpent sur les herbes, buissons ou tout type de végétation feuillue pour finalement attendre le passage des hôtes (Figure 13) (Földvári et al. 2016). Elles sont alors plus dépendantes des conditions météorologiques, notamment de la température et de l'humidité de l'air (Crooks et al. 2006; Zahler et al. 1995). Leur comportement de recherche est également influencé par les signes de la présence de l'hôte, tels que les mouvements, les changements de luminosité, le dégagement de chaleur et de CO<sub>2</sub>, ainsi que par les photopériodes

(Edman et al. 1988; Zając et al. 2020). Certaines espèces de tiques, comme *Dermacentor reticulatus* par exemple, utilisent les deux types de stratégies selon leur stade de développement (Zając et al. 2020).



Figure 13 : Tiques de l'espèce *Dermacentor reticulatus* à la recherche d'hôtes (Földvári et al. 2016)

## **B. Stimuli sensoriels utilisés dans le processus de recherche de l'hôte et organes récepteurs utilisés**

Les tiques adoptant une stratégie active partent à la recherche de l'hôte. Leur comportement de recherche est influencé par quatre types de stimuli, à savoir les stimuli visuels, sonores, olfactifs et chimiques, perçus par différents organes (Edman et al. 1988; Sonenshine 1991; Fourie et al. 1995).

### **1. Description des organes de la perception et de leur localisation**

Les tiques possèdent des organes sensoriels jouant un rôle clé dans le processus de recherche de l'hôte, de partenaire sexuel, ainsi que la perception de l'environnement. Les palpes et les tarsi des pattes antérieures constituent les sites de perception les plus importants (Figure 14) (McCoy et al. 2017).



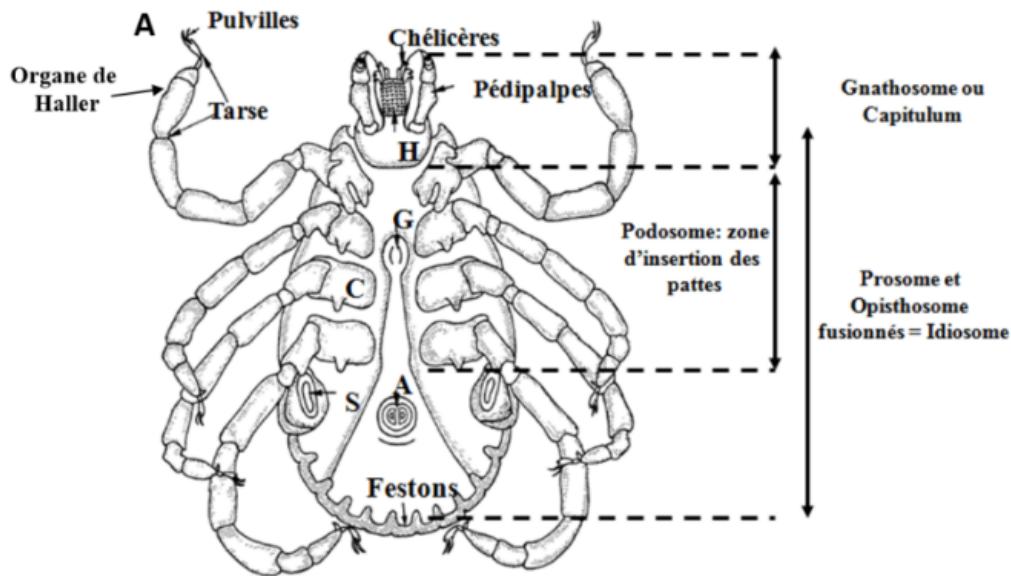


Figure 14 : Structure d'une tique dure et localisation des sites de perception (Mehlhorn 2001)

**Légende fig. 14 :** A : pore anal, G : pore génital, C : coxae ou hanche, H : hypostome, S : stigmate respiratoire.

### a) Organe de Haller

Le tarse de la première paire de pattes porte sur sa face dorsale un organe sensoriel appelé organe de Haller (Figure 14). Ce dernier est primordial dans le repérage de l'hôte. Il joue un rôle dans la détection des phéromones, des kairomones, ainsi que des signaux environnementaux découlant de la vie de l'hôte comme l'émission de CO<sub>2</sub> et de chaleur (Carr et al. 2017). Il permet également la détection de la lumière infrarouge (Mitchell et al. 2017). L'organe de Haller possède une structure complexe. Son diamètre varie de 10 à 100 µm (Josek et al. 2018). Il est constitué d'une capsule et d'une dépression ourlée d'un pli cuticulaire, auxquels s'ajoutent des groupes de soies en arrière de la capsule et en avant de la dépression (Figure 15) (Pérez-Eid 2007).

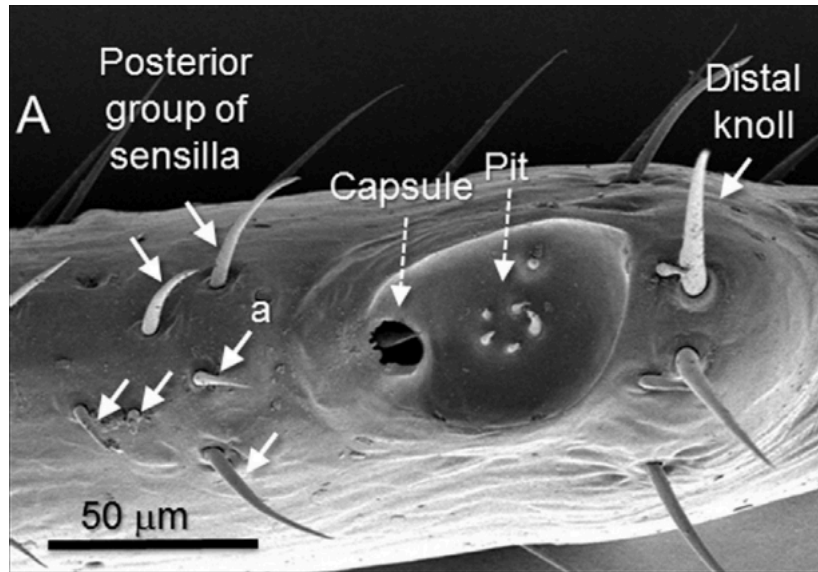


Figure 15 : Observation de l'organe de Haller d'une tique *Ixodes ricinus* mâle au microscope électronique à balayage (Iovinella et al. 2016)

**Légende fig. 15 :** Capsule : capsule de l'organe de Haller, Pit : dépression antérieure, Posterior group of sensilla : groupe postérieur de sensilles.

Une étude parue en 2017 s'est intéressée aux composantes morphologiques de l'organe de Haller chez des tiques de trois espèces différentes, à savoir *Ixodes scapularis*, *Amblyomma americanum* et *Dermacentor variabilis*. Des différences significatives de morphologie de l'organe de Haller étaient notables entre les différentes espèces de tiques. De plus, *D. variabilis* présente un dimorphisme sexuel au niveau de l'organe de Haller (Josek et al. 2018).

Le fonctionnement de l'organe de Haller est encore mal connu. Certaines études supposent que le mécanisme de l'olfaction ne s'effectuerait pas de la même manière chez les tiques que chez les insectes (Sonenshine 2014; Carr et al. 2017). Une étude de 2017 suggère que l'organe de Haller est bien impliqué dans l'olfaction, mais pas dans la gustation (Carr et al. 2017).

### **b) Soies sensorielles**

Les soies sensorielles sont des structures cuticulaires, réparties sur une grande partie du corps de la tique, dont ses pattes et ses palpes. En effet, certaines se trouvent au niveau de la paire de pédipalpes, localisée latéralement au rostre (Figure 16). Les pédipalpes sont constitués de quatre articles, dont les trois plus distaux possèdent des

soies sensorielles. Ils ont un rôle uniquement sensoriel et ne participent pas à la fixation de la tique (McCoy et al. 2017).

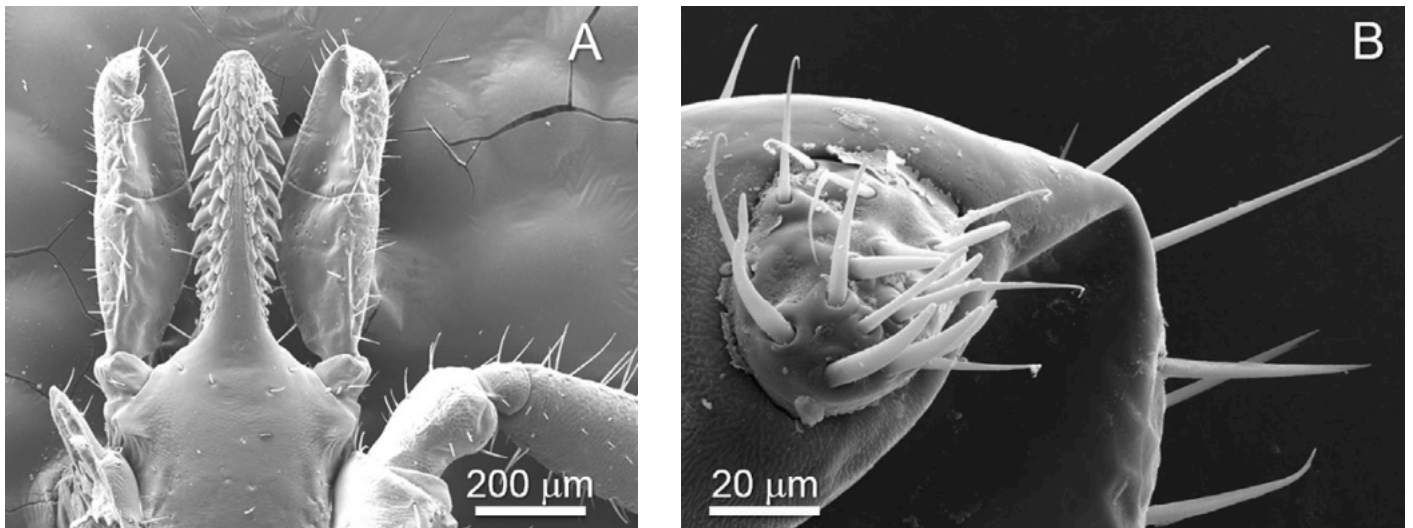


Figure 16 : Observation de la face ventrale des pièces buccales (A) et du segment terminal du palpe recouvert de soies sensorielles (B) d'*Ixodes ricinus* au microscope électronique à balayage (Iovinella et al. 2016)

Les soies sensorielles se divisent en sensilles mécanoproprioceptives et sensilles chémoréceptrices. Les sensilles chémoréceptrices sont réparties en grappes et permettent la détection des composés chimiques de l'environnement. Elles sont de deux types, à savoir les sensilles olfactives et les sensilles gustatives (Sonenshine 2004; McCoy et al. 2017).

### **i) Sensilles olfactives**

Chez les insectes, les antennes constituent les organes olfactifs, alors que chez les tiques, ce sont leurs premières paires de pattes, portant l'organe de Haller qui semblent jouer ce rôle (Josek et al. 2021). En effet, l'étude des tiques *Ixodes scapularis*, *Dermacentor variabilis* et *Amblyomma americanum* a permis de mettre en évidence la présence de sensilles olfactives réparties dans et autour de l'organe de Haller (Figure 17) (Josek et al. 2018). Ces sensilles correspondent à des structures épicuticulaires, abritant des neurones récepteurs olfactifs (ORN = olfactory receptor neurons) conférant aux arthropodes leur sensibilité et sélectivité face aux stimuli (Keil 2012; Syed 2015).

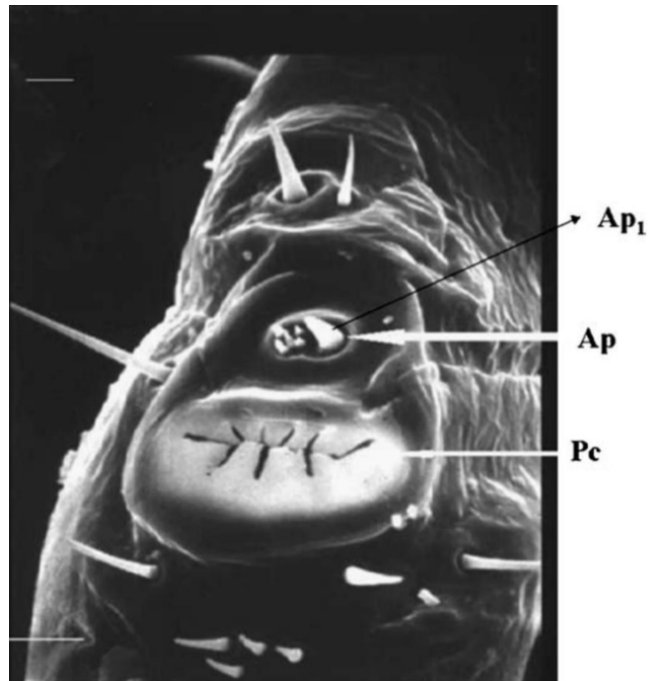
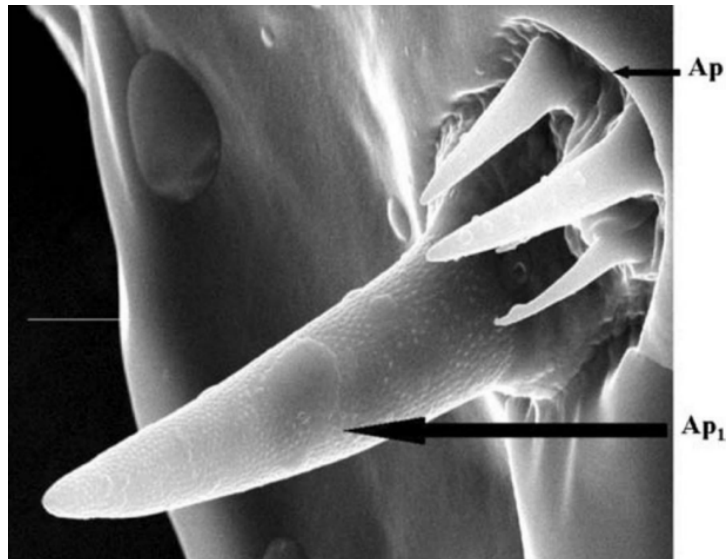


Figure 17 : Observation du tarse de la patte I de *Dermacentor variabilis* montrant l'organe de Haller et les sensilles olfactives au microscope électronique (Sonenshine 2004)

**Légende fig. 17 :** Ap = fosse antérieure ; Ap1 = sensilles olfactives ; Pc = capsule postérieure

Ces sensilles olfactives disposent d'une paroi unique et sont composées d'une multitude de pores minuscules sur toute leur surface. Ces pores s'ouvrent directement dans la cavité lymphatique au sein des sensilles. De ce fait, les composés de l'atmosphère absorbés à la surface de la sensille migrent vers l'intérieur et stimulent les dendrites des neurones présents, permettant la production d'impulsions nerveuses. La majorité des tiques *Metastrata* étudiées possèdent six à sept sensilles sétiformes au sein de la capsule antérieure parmi lesquelles une ou deux sensilles de grande taille se distinguent, correspondant aux sensilles olfactives à paroi unique (Figure 18). Ces sensilles multiporeuses interviennent par exemple dans la détection de phéromones sexuelles, comme le 2,6-dichlorophénol, ainsi que d'autres phénols substitués (Sonenshine 2004).



*Figure 18 : Observation de la grande sensille olfactive (Ap1), entourées d'autres sensilles, situées dans la fosse antérieure de l'organe de Haller (Ap) au microscope électronique à balayage (Sonenshine 2004)*

## **ii) Sensilles gustatives**

Les sensilles gustatives se situent au niveau du tarse de la patte I, avec une partie localisée dans l'organe de Haller, ainsi que sur les segments terminaux des palpes. Elles ne possèdent qu'un seul pore à leur extrémité et leurs parois sont lisses (Sonenshine 2004). Phillips et Sonenshine ont mis en évidence que les tiques mâles utilisaient ces sensilles pour détecter les phéromones sexuelles, notamment les esters de cholestérol, pendant les comportements d'accouplement (Phillips et al. 1993).

Il existe trois paires de sensilles au niveau de l'extrémité du tarse de la patte I. La paire de sensille ventrale est uniquement mécanosensorielle, tandis que les paires dorsale et médiane sont mécanogustatives (Figure 19). Les segments terminaux des palpes possèdent également de petites sensilles, participant au sens gustatif et/ou mécanogustatif et permettant de détecter les composés présents sur la peau (Sonenshine 2004).

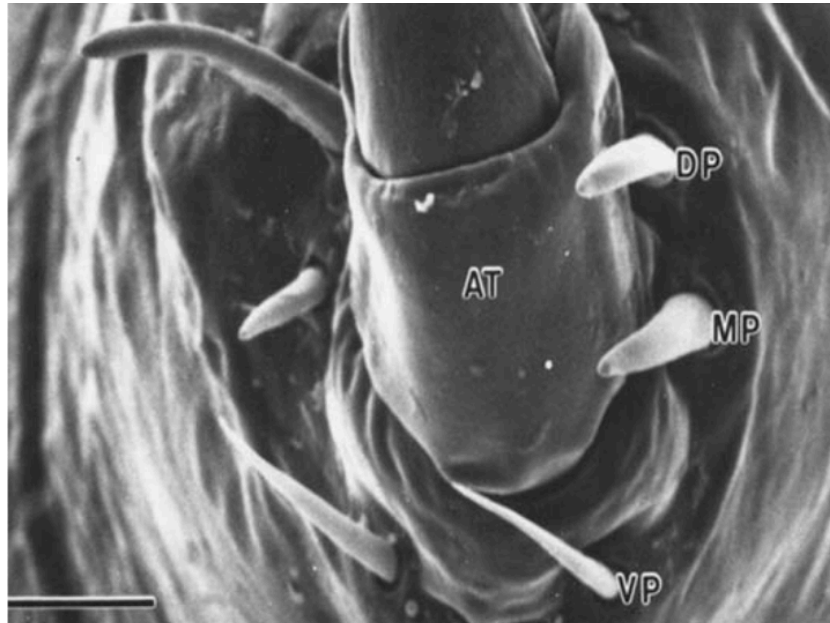


Figure 19 : Observation des trois paires de sensilles gustatives à la base de la griffe du tarse de la patte I d'une tique *Dermacentor variabilis* mâle au microscope électronique à balayage (Phillips et al. 1993)

**Légende fig. 19 :** DP = paire dorsale ; MP = paire médiane ; VP = paire ventrale

### c) Ocelles

Les ocelles sont des yeux simples, sensibles aux variations lumineuses. Ils ne sont pas présents chez toutes les tiques. Les Metastriata en possèdent, contrairement aux Prostriata, exception faite des tiques du genre *Haemaphysalis* (Pérez-Eid 2007). Les ocelles sont formés d'un corps cristallin à cuticule transparente, qui est en liaison avec des cellules sensorielles connectées au nerf optique. Ils sont localisés sur la surface dorso-latérale, au-dessus de la deuxième paire de pattes (Figure 20) (Mitchell et al. 2017).

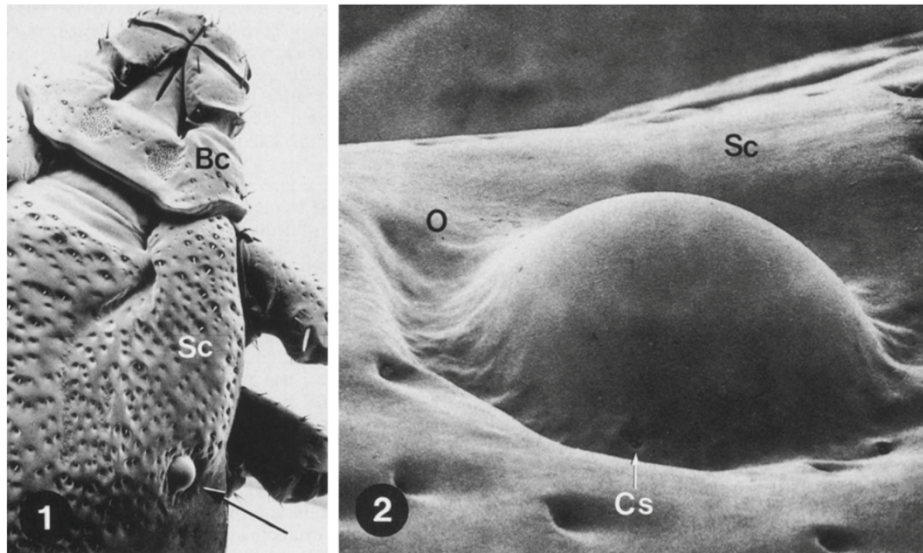


Figure 20 : Observation de l'œil d'une tique adulte *Rhipicephalus evertsi mimeticus* au microscope électronique à balayage (Gothe et al. 1990)

**Légende fig. 20 :** 1) Œil droit (indiqué par la flèche) situé sur le bord latéral du scutum (Bc = base du capitulum ; Sc = scutum) (x40). 2) Délimitation de l'œil à partir du niveau de la surface scutale (Sc = scutum) par un orbita (O) avec des brins semblables à des crêtes et un sensillum (Cs) (x410).

## 2. Description des différents stimuli perçus

### a) Stimuli visuels et détection des infrarouges

Les stimuli visuels sont captés grâce aux ocelles. En effet, ils permettent à la tique de détecter la taille, la forme, la mobilité et le contraste avec l'arrière-plan de l'hôte (Edman et al. 1988). Les ocelles sont donc utiles dans la recherche d'hôtes et l'évitement de prédateurs. L'efficacité de la recherche d'hôtes par les tiques peut être diminuée dans le cas où les hôtes herbivores se regroupent. Dans ce cas, les tiques ne perçoivent plus qu'un amas d'hôtes sous forme d'une tache unique, ce qui attire donc moins de tiques que des hôtes espacés et individualisés (Chanourdie 2001).

Une étude de 2017 s'est intéressée à la perception de la lumière infrarouge par les tiques de l'espèce *Dermacentor variabilis* et à l'implication de l'organe de Haller dans ce phénomène. En effet, Bruce émettait l'hypothèse en 1971 que la paire de pattes avant des acariens jouait un rôle dans la détection de la lumière infrarouge

(Bruce 1971). Les résultats de Mitchell et Robert suggèrent que *D. variabilis* détecte la lumière grâce aux ocelles, tandis que les infrarouges sont captés par l'organe de Haller ou les structures sensorielles qui lui sont étroitement associées (Mitchell et al. 2017). En 2019, Carr et Salgado se sont également interrogés sur le rôle de l'organe de Haller en tant que capteur de chaleur. En effet, les hôtes émettent de la chaleur radiante qui peut être détectée et utilisée lors de la recherche de l'hôte (Figure 21). Afin de déterminer la sensibilité à la chaleur, ainsi que l'organe responsable, des tiques de l'espèce *Amblyomma americanum* et *Dermacentor variabilis* ont été soumises à des tests de thermotaxie. Les résultats de l'étude suggèrent que les tiques *A. americanum* et *D. variabilis* ont la capacité de localiser un humain situé à plusieurs mètres de distance grâce à la chaleur rayonnante qu'il émet. Ce rayonnement infrarouge thermique semble détecté par la capsule de l'organe de Haller. La détection des infrarouges grâce à la capsule de l'organe de Haller joue donc un rôle dans la localisation des hôtes. Cependant, les répulsifs tels que le N,N-diéthyl-méta-toluamide (DEET), la picaridine, le citronellal et la nootkatone peuvent altérer le comportement de thermotaxie (Carr et al. 2019).



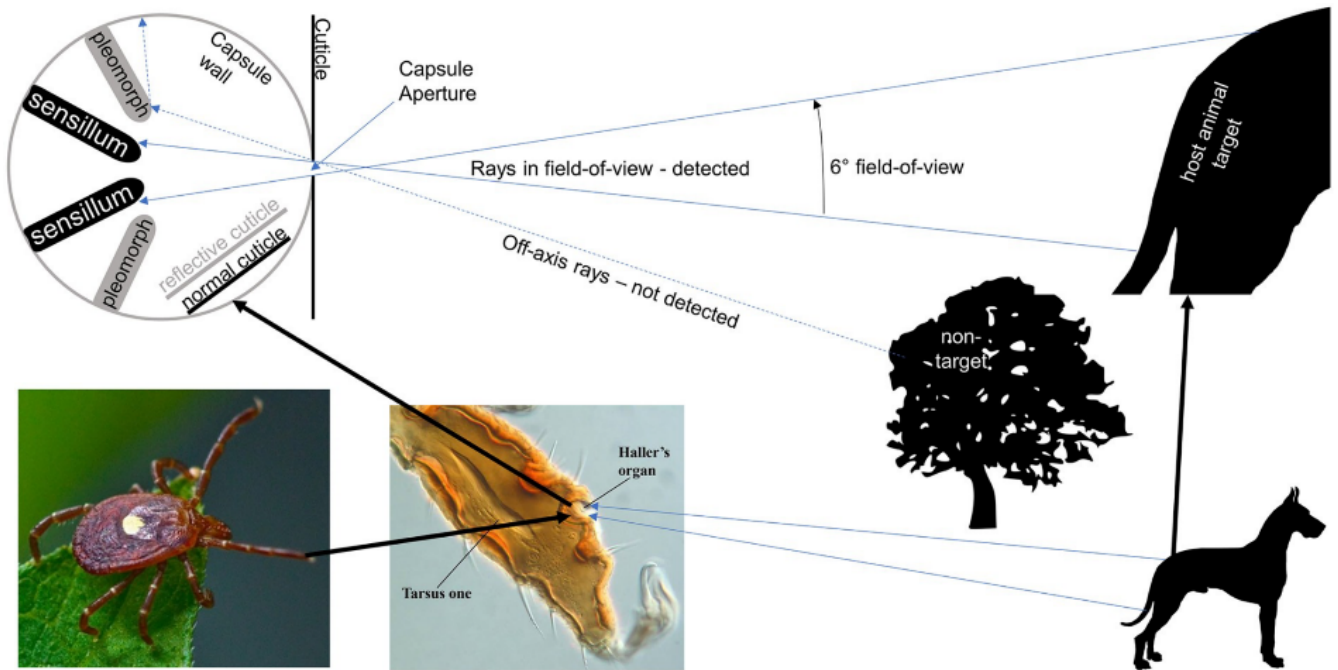


Figure 21 : Fonction supposée de la capsule de l'organe de Haller en tant que capteur de chaleur  
(Carr et al. 2019)

Lorsque la capsule de l'organe de Haller, situé sur le tarse de la première paire de pattes, se retrouve dirigée vers une cible chaude, le rayonnement infrarouge émis par cet animal hôte passe à travers l'ouverture étroite de la capsule jusqu'à atteindre les sensilles. Ces dernières seront alors réchauffées à température moyenne. Les éléments non ciblés émettent des rayons hors axe qui n'atteignent pas les sensilles, car ils sont bloqués au niveau des pléomorphes réfléchissantes et des parois de la capsule qui les isolent. La cuticule normale est de couleur noire, tandis que la cuticule réfléchissante est de couleur grise.

### b) Stimuli sonores

Une étude de 1977 s'est intéressée à l'intérêt du son comme signal dans le processus de détection de l'hôte chez des tiques molles de l'espèce *Ornithodoros concanensis* (Webb et al. 1977). En effet, certaines mouches de la famille des Tachinidae utilisent des signaux acoustiques dans la recherche de l'hôte, car elles disposent d'organes auditifs tympanaux (Edgecomb et al. 1995). Webb et al. suggèrent que les nymphes d'*O. concanensis* répondent positivement aux stimuli sonores et les utilisent pour la localisation et l'orientation vers leurs hôtes, notamment les hirondelles à front blanc. Il semblerait que les récepteurs sonores soient portés par la première paire de pattes, car ces dernières se contractent de manière synchrone

avec les pulses sonores émis lors de l'expérience (Webb et al. 1977). Cependant, d'autres études sont nécessaires pour mieux caractériser le système auditif des tiques.

### **c) Stimuli olfactifs**

Une analyse réalisée en 2017 a généré le premier transcriptome spécifique à l'organe de Haller, afin d'étudier son rôle dans l'olfaction. Les auteurs se sont servis du séquençage de nouvelle génération et ont comparé les transcriptomes de la première paire de pattes, portant l'organe de Haller et de la quatrième paire de pattes de *Dermacentor variabilis*. Leurs analyses suggèrent que l'organe de Haller joue un rôle dans l'olfaction, sans intervenir dans la gustation. Cette analyse n'a pas permis de mettre en évidence de protéines de liaison odorantes, de lipocalines chimiosensorielles ou de mécanismes olfactifs typiques connus, comme ceux retrouvés chez les insectes. L'étude des données transcriptomiques permet d'émettre l'hypothèse de la présence d'une cascade de signaux récepteurs couplés aux protéines G olfactives (GPCR) unique à l'organe de Haller. Par ailleurs, après analyse de l'expression génétique des transcriptions olfactives avant et après la prise d'un repas sanguin, un lien semble exister entre l'olfaction et l'attraction pour l'hôte (Carr et al. 2017).

### **d) Stimuli chimiques**

Le comportement des tiques est influencé par des composés sécrétés dans l'environnement, appelées produits sémiologiques. Cette signalisation chimique est la forme de communication dominante chez de nombreuses espèces. Les substances sémiologiques se définissent par le type de comportement qu'elles entraînent. Elles se divisent en phéromones, allomones et kairomones, et sont principalement perçues au niveau de l'organe de Haller (Sonenshine 2004).

### **i) Allomones**

Les allomones sont des substances conférant un avantage à l'émetteur en affectant le comportement de prédation des individus d'autres espèces 27/11/2022 19:02:00. La production individuelle de produits sémiachimiques modifie ainsi le niveau d'infestation par les tiques (Pickett et al. 2010; Weldon 2013; Bunnell et al. 2011). Au sein d'une même espèce, les différentes races ne produisent pas les mêmes composés sémiachimiques. De Oliveira et ses collègues ont observé ce phénomène pour les chiens de race Beagle, moins sensibles aux infestations des tiques de l'espèce *Rhipicephalus sanguineus* que les Cockers anglais. Cette attractivité moindre des tiques pour les Beagles serait due à leur production accrue de 2-hexanone et de benzaldéhyde, qui exercent une action de répulsifs contre les tiques (de Oliveira Filho et al. 2017). Les tiques sont donc sensibles aux composés volatils émis par certaines espèces hôtes, perturbant leur comportement.

### **ii) Kairomones**

Les kairomones sont utilisées pour la recherche et la localisation de l'hôte. Ce sont des volatils produits par les hôtes vertébrés et perçus par les invertébrés comme attractifs (Sbarbati et al. 2006). Il s'agit, par exemple, de composés volatils comme le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'ammoniac, l'acide lactique ou encore les sécrétions glandulaires du cerf (Sonenshine 2004). En effet, il a été montré que le CO<sub>2</sub> possède un effet attractif pour les tiques (Pérez-Eid 2007; Carnohan et al. 2017).

Une étude de 2013 a mis en évidence un lien entre le CO<sub>2</sub> et les phéromones. En effet, les tiques de l'espèce *Rhipicephalus sanguineus* étaient alertées de la présence de l'hôte grâce au CO<sub>2</sub> et les phéromones attiraient les tiques vers des hôtes en particulier (Ranju et al. 2013). Le CO<sub>2</sub> agit donc comme un excitant non spécifique des tiques se trouvant dans l'environnement. Elles semblent ensuite guidées par les phéromones émises par les autres tiques se trouvant sur l'hôte (Sonenshine 2004).

### iii) Pheromones

Les pheromones sont impliquees dans la communication intraspécifique. Elles se divisent en pheromones d'assemblage (ou d'arrêt), pheromones d'attraction-agrégation-attachement et pheromones sexuelles (Sonenshine 2004). Il s'agit de substances chimiques émises à faible concentration et provoquant des réactions comportementales spécifiques chez les individus de la même espèce (Sonenshine 1991).

Les pheromones d'assemblage sont principalement constituées de purines, correspondant à des molécules azotées abondantes dans les excréments de tiques. Ces pheromones permettent le rassemblement de tiques sous forme de grappes dans l'environnement et provoquent un comportement dit « d'arrêt », puisque les tiques cessent alors de se déplacer (Cardé et al. 1984; Sonenshine 2004). Par exemple, les matières fécales (composées de guanine, xanthine, acide urique et 8-azaguanine) des tiques *Ixodes ricinus* venant de muer font réagir les autres tiques quel que soit leur sexe et provoquent des réponses d'arrêt (Grenacher et al. 2001).

Les pheromones sexuelles correspondent à des composés ou mélange de composés sécrétés par les individus d'un sexe, dans le but d'attirer les individus du sexe opposé. Ces pheromones interviennent donc dans le processus de parade nuptiale aboutissant à l'accouplement (Sonenshine 2004).

Les pheromones d'attraction-agrégation-attachement sont sécrétés lors de l'alimentation des mâles adultes et permettent d'attirer les tiques de la même espèce des deux sexes. En effet, elles sont émises par les tiques se nourrissant à proximité et agissent en synergie avec les kairomones pour orienter les tiques à jeun vers l'hôte. Ces pheromones ne sont produites que par un sous-ensemble d'espèces du genre *Amblyomma*, présentant une préférence pour les grands ongulés. Elles sont majoritairement constituées d'un à deux acides gras phénoliques (Maranga et al. 2003; Sonenshine 2006; Carr et al. 2016). Lorsqu'elles sont combinées au CO<sub>2</sub> produit par l'hôte, cela crée un mélange bioactif capable d'attirer les tiques en quête d'un hôte sur une distance allant de 5 à 10 mètres (Norval et al. 1992).

### C. Les caractéristiques physico-chimiques de la peau et les sites préférentiels de fixation sur les équidés

Les chevaux se trouvant au pré ou en balade peuvent se retrouver confrontés aux tiques. Ces dernières vont se fixer préférentiellement sur certaines zones de l'équidé, notamment la crinière, les oreilles, le fourreau ou scrotum, l'ars et les plis inguinaux. Elles vont souvent préférer les zones à peau fine, bien qu'elles puissent être retrouvées à d'autres endroits. L'activité des grands mammifères joue également un rôle dans la répartition des tiques. En effet, lorsqu'ils broutent, les tiques ont essentiellement accès à la tête et aux membres. À l'inverse, lorsqu'ils sont couchés, les tiques accèdent à une zone plus étendue de leurs corps (Edman et al. 1988).

Une étude menée en 2021 aux États-Unis, dans l'État de l'Oklahoma, s'est intéressée aux sites préférentiels d'attachement sur les chevaux, ainsi qu'à la saisonnalité des tiques nord-américaines les plus communes. Il s'agit d'*Amblyomma americanum*, *Dermacentor albipictus* et *Ixodes scapularis*. En tout, 88 chevaux répartis dans huit fermes ont été intégrés dans l'étude et ont conduit à la collecte de 2731 tiques. *Amblyomma americanum* se retrouvait majoritairement en région inguinale, tandis qu'*I. scapularis* et *D. albipictus* se situaient le plus souvent au niveau du poitrail et en région axillaire (Sundstrom et al. 2021). Les tiques peuvent donc se retrouver sur différentes régions des chevaux, nécessitant d'examiner de manière complète les équidés lorsqu'on s'intéresse avec précision aux infestations de tiques.

Plusieurs facteurs semblent influencer sur cette répartition des tiques sur les équidés, notamment les caractéristiques physico-chimiques de la peau (Chanourdie 2001).

## 1. Épaisseur de la peau

Les tiques possèdent différents types de rostre, appareil buccal leur permettant de pénétrer les tissus de l'hôte. Elles peuvent être « longirostres », c'est-à-dire possédant un rostre plus long que large. À l'inverse, les tiques « brévirostres » se caractérisent par un rostre court et large (McCoy et al. 2017). Le pouvoir de pénétration des tiques est ainsi lié aux capacités de leur rostre et peut s'avérer être un facteur limitant pour la fixation dans certaines régions du corps. D'après Sundstrom, les tiques se fixent en général sur les zones à peau fine (Sundstrom et al. 2021). Les espèces brévirostres présentent des préférences pour certains territoires cutanés chez les bovins. En effet, différentes espèces à rostre court ont été retrouvées sur des sites précis tels que la tête et la partie antérieure de l'échine des bovins pour *Rhipicephalus turanicus*. Les formes immatures de *Rhipicephalus bursa* se trouvaient majoritairement sur l'échine, les cuisses et la queue, alors que les adultes étaient préférentiellement fixés au niveau du pis et de la marge anale. À l'inverse, les espèces longirostres comme *Hyalomma marginatum*, *Hyalomma excavatum*, *Hyalomma lusitanicum* et *Ixodes ricinus* choisissaient des sites de fixation plus variés comme le pis, le scrotum, le périnée, la région péri-anale ou encore au niveau du ventre et des cuisses comme l'épaisseur de la peau ne constitue pas un facteur limitant pour ces espèces (Yousfi-Monod et al. 1986).

Certaines études mettraient en évidence une différence au niveau de l'épaisseur de peau des animaux selon les races. En effet, les génisses afrikaners présentaient une peau plus épaisse que les génisses charolaises. Parmi ces deux races, une différence significative du nombre de tiques a également été observée, avec un nombre de tiques plus important sur les génisses charolaises à la peau plus fine que sur les génisses afrikaners dont la peau est plus épaisse (Foster et al. 2013). Toutefois, dans une autre étude, aucune différence significative entre l'épaisseur de peau des races de bovins Nguni et Bonsmara n'a été observée, alors que les génisses Bonsmara présentaient un nombre de tiques plus important que les génisses Nguni (Marufu et al. 2011). Des études supplémentaires sont donc nécessaires pour évaluer s'il existe des différences d'épaisseur de peau significatives entre les individus et donc une corrélation entre cette épaisseur de peau et une préférence du site de fixation pour les tiques.

## **2. Composition de la peau**

Différentes études suggèrent un lien entre l'expression génique des composants de la matrice extracellulaire de la peau et la résistance de l'hôte à l'infestation par les tiques (Wang et al. 2007; Piper et al. 2008). En effet, la variation de facteurs de croissance épidermique, de collagène et d'autres composants de la matrice comme un protéoglycane, le Lumican contribuent à la variation de la résistance de l'hôte à l'infestation par les tiques (Jonsson et al. 2014).

## **3. Densité du pelage**

Plusieurs études émettent l'hypothèse que les caractéristiques du pelage tels que la longueur des poils et le score de pelage influencent la fixation des tiques chez les bovins (Veríssimo et al. 2002; Martinez et al. 2006; Foster et al. 2013). Le score de pelage correspond à une évaluation subjective des pelages. Chez les bovins, le pelage peut être extrêmement lisse à très laineux (Taylor et al. 1995). Marufu et ses collègues se sont intéressés au lien entre les caractéristiques du pelage et la charge de tiques chez des génisses des races Nguni et Bonsmara. Ils ont observé que les génisses Nguni avaient un nombre de tiques inférieur aux génisses Bonsmara. Le pelage plus lisse et les poils plus courts des bovins de la race Nguni pourraient expliquer cette différence d'infestation (Marufu et al. 2011). En effet, un pelage plus long ou plus laineux fournit des conditions favorables aux tiques, ainsi qu'un abri pour se protéger lors de l'auto-toilettage notamment (Machado et al. 2010). Les poils plus courts exposent plus les tiques aux conditions climatiques et aux prédateurs (Taylor et al. 1995). Foster affirme également que les animaux à pelage plus lisse présentent moins de tiques que les pelages plus laineux chez les bovins (Foster et al. 2013). Cela pourrait être dû à une sécrétion plus importante de sébum ayant un effet dissuasif sur la fixation des tiques (Bonsma 1980).

## **4. Rôle du microbiote et des sécrétions de l'hôte**

Le microbiome correspond à une communauté microbienne et leurs gènes occupant un habitat bien défini et possédant des propriétés physico-chimiques distinctes. Il comprend les micro-organismes impliqués, mais aussi leur « théâtre

d'activité », interagissant avec des structures microbiennes, des métabolites, des éléments génétiques mobiles et ADN relique, le tout formant des niches écologiques spécifiques. Le microbiote se définit quant à lui comme l'ensemble des micro-organismes appartenant à différents règnes (Procaryotes, Eucaryotes), vivant dans un environnement spécifique chez un hôte ou une matière (Berg et al. 2020).

Chez les hôtes vertébrés, l'activité du microbiote sur les acides aminés, les acides gras à chaînes courtes ou sur les sécrétions corporelles comme la sueur, le sébum, la salive, l'urine ou les matières fécales peut générer des substances chémiochimiques (Amann et al. 2014; Fischer et al. 2015). Cette production chimique diffère donc selon les individus et peut entraîner des différences d'attractivité pour les tiques (Benson et al. 2010; Prokop-Prigge et al. 2015). Plusieurs études mettent en évidence que les différences de composition des microbiotes et de composés organiques volatils distincts produits par des taureaux de races distinctes (*Bos taurus indicus* et *Bos taurus taurus*) peuvent être liées aux degrés d'infestation contrastés mis en évidence chez ces animaux (Dowd et al. 2008; Borges et al. 2015; Ferreira et al. 2015; Mao et al. 2015; Tabor et al. 2017). Des recherches supplémentaires sont cependant encore nécessaires pour définir les interrelations entre le microbiote, la production de composés organiques volatils et la charge parasitaire.

## **D. Les caractéristiques de l'hôte**

### **1. La taille**

L'abondance de tiques chez les hôtes vertébrés est influencée par la taille du corps de l'hôte. En effet, les mammifères les plus grands possèdent une surface externe plus grande offrant aux tiques un meilleur accès aux ressources (Kuris et al. 1980; Poulin 1995). La diversité des espèces de tiques et la richesse des assemblages de tiques augmenteraient avec la taille de l'hôte en ce qui concerne les tiques adultes (Esser et al. 2016). Cette relation de proportionnalité n'a pas été vérifiée pour les tiques immatures. Cela suggère donc que les tiques adultes parasitent préférentiellement les hôtes de plus grande taille, alors que les tiques immatures n'adoptent pas cette stratégie (Esser et al. 2016).



Le comportement de toilettage qui influence la charge parasitaire de l'hôte est à mettre en lien avec la taille des individus. En effet, les hôtes de taille plus petite se toilettent plus que les individus de plus grande taille chez les impalas (Mooring et al. 1997), les wapitis (Mooring et al. 1998) et les bisons (Mooring et al. 1998). Ce constat est à mettre en lien avec le fait que les individus de plus faible taille présentent un rapport surface/masse plus élevé et peuvent encourir des coûts plus élevés pour une densité donnée d'infestation par les tiques par rapport aux individus de plus grande taille (Hart et al. 1992).

## **2. La masse corporelle et le score d'état corporel**

Lindenfors et ses collègues ont mis en évidence que la masse corporelle était positivement corrélée avec la charge et la richesse parasitaire chez les carnivores sauvages (Lindenfors et al. 2007). Kiffner et ses confrères ont fait le même constat en montrant une proportion et une relation positive entre la masse corporelle de chevreuils et leur abondance en tiques (Kiffner et al. 2011). Certaines hypothèses suggèrent que cette relation de proportionnalité s'explique par une exposition accrue aux parasites, tandis que d'autres sont en faveur d'une plus grande disponibilité des ressources exploitables sur des hôtes de taille et de masse plus importantes (Kiffner et al. 2013).

Concernant le score d'état corporel, Anderson a mis en évidence que des buffles africains présentant de mauvais états corporels présentaient des charges de tiques plus importantes. Cependant, il est difficile de conclure si les faibles scores d'états corporels rendaient les hôtes plus sensibles aux tiques ou si les tiques étaient à l'origine de cette perte d'état suite à leur fixation sur l'hôte (Anderson et al. 2013).

## **3. Le sexe**

Une étude s'est intéressée à la dynamique d'infestation des tiques sur vingt-quatre chevaux pur-sang arabes dans le nord-ouest de la Tunisie. 120 tiques adultes de trois espèces ont été récoltées, à savoir *Hyalomma scupense*, *Hyalomma marginatum* et *Hyalomma excavatum*. Une différence significative dans la distribution des tiques entre les hôtes mâles et femelles était remarquable. En effet, les juments portaient 65% des tiques, tandis que les mâles n'en totalisaient que 35% (Hart et al.

1992). Par ailleurs, une collecte de tiques réalisée au Pakistan de novembre 2018 à octobre 2019 sur 404 équidés a permis de rassembler 550 tiques de cinq espèces différentes : *Rhipicephalus microplus*, *Rhipicephalus haemaphysaloides*, *Rhipicephalus turanicus*, *Rhipicephalus sanguineus* et *Hyalomma anatolicum*. Cette étude a également mis en évidence une différence significative de répartition de tiques selon le sexe de l'équidé, mais contrairement aux résultats précédents, les mâles étaient plus infestés que les femelles (Ali et al. 2021). Des études ont été menées sur d'autres espèces, notamment sur des chevreuils, où les mâles étaient alors légèrement plus infestés que les femelles (Kiffner et al. 2011). Harrison a également démontré que les mulots sylvestres *Apodemus sylvaticus* mâles présentaient des charges de tiques plus élevées que les femelles. Deux hypothèses sont suggérées pour expliquer cette charge parasitaire plus élevée chez les mâles. La première est liée à la taille corporelle, qui est plus importante chez les mâles, représentant ainsi une cible plus importante pour les parasites. La seconde hypothèse suggère que les individus masculins présentent une immunocompétence moindre par rapport aux femelles, à cause des effets immunodépresseurs de la testostérone. Harrison et al. défendent ainsi l'hypothèse selon laquelle la masse joue un rôle dans la charge parasitaire quel que soit le sexe de l'individu (Harrison et al. 2010).

#### 4. L'âge

Une étude a été menée sur la dynamique des tiques *Hyalomma scupense* en Tunisie dans trois élevages bovins. Une corrélation positive entre la charge parasitaire de tiques adultes et l'âge des animaux a été mise en évidence (Gharbi et al. 2013). De la même façon, une étude concernant l'infestation de tiques sur 404 équidés au Pakistan a révélé que les hôtes âgés de 4 à 6 ans présentaient une charge parasitaire plus importante que ceux âgés de 1 à 3 ans (Ali et al. 2021). Anderson a montré que les buffles les plus âgés se retrouvaient également avec plus de tiques que les buffles plus jeunes. Il émet l'hypothèse que cela peut être dû à la taille plus importante des buffles adultes qui présentent donc plus de surface pour accueillir les tiques ou au fait que le toilettage des jeunes effectué par la mère permet de diminuer leur charge parasitaire (Anderson et al. 2013). Edman et Spielman suggèrent quant à eux que les

hôtes plus jeunes sont plus petits et émettent moins de signaux attractifs envers les tiques (Edman et al. 1988).

## **E. Race de l'hôte et lien avec la génétique**

Une étude menée entre 2018 et 2020 s'est intéressée à la différence d'infestation par les tiques chez des ovins de races variées. Quatre cent trente-neuf brebis des races Barbarine et Queue Fine de l'Ouest ont été incluses dans l'étude. Les ovins de race Queue Fine de l'Ouest présentaient une infestation moindre par les tiques que ceux de race Barbarine. De plus, aucune brebis Queue Fine de l'Ouest n'était positive aux piroplasmose contrairement aux brebis Barbarine, alors que les conditions environnementales et de conduite du troupeau étaient similaires. Ainsi, la race ovine Queue Fine de l'Ouest semble disposer d'une résistance génétique accrue aux tiques et à l'infection par les piroplasmose par rapport aux ovins de la race Barbarine (Khamassi Khbou et al. 2021). Plusieurs études ont été menées sur des bovins de patrimoines génétiques différents afin de comparer leur différence d'infestation. Les bovins de race pure ou croisée *Bos taurus indicus* se sont avérés plus résistants aux tiques et aux agents pathogènes transmis que les bovins *Bos taurus taurus* de race pure (Tabor et al. 2017). Le phénotype de résistance aux tiques semble donc héréditaire, bien que d'autres facteurs liés à l'environnement ou à l'animal soient à considérer (Råberg et al. 2007; Robbertse et al. 2017).

## **F. Le statut reproducteur**

Anderson a constaté qu'un groupe de buffles africains femelles gravides avait une charge de tiques plus importantes que les femelles non gestantes dans l'échantillon de juillet de son étude (Anderson et al. 2013). Certaines études suggèrent que les femelles gravides réalisent un compromis entre la fonction immunitaire et la reproduction et qu'elles régulent donc à la baisse leur immunité (Friedl et al. 2005; French et al. 2007). Cependant, les observations d'Anderson ne se sont pas répétées pour le troupeau de femelles gestantes d'octobre (Anderson et al. 2013). Des études supplémentaires sont donc nécessaires pour conclure quant à l'impact de la gestation sur la charge parasitaire.

### **III. Influence de l'hôte sur le maintien des tiques**

#### **A. Action mécanique grâce au comportement de toilettage**

Le toilettage est un comportement courant pour de nombreux mammifères. Il constitue un élément majeur de l'activité sociale en aidant les mammifères à établir des relations d'affiliation (Kimura 1998). Il remplit également des fonctions liées à la santé, en permettant aux animaux de se nettoyer et d'éliminer les ectoparasites présents. Une étude a été menée sur des impalas empêchés de se toiletter grâce à un harnais pendant trois semaines. À l'issue de ces trois semaines, ils présentaient vingt fois plus de tiques adultes et engorgées que les impalas pouvant se toiletter normalement (Mooring et al. 1996). En 2013, une étude s'est également intéressée à l'effet du comportement de toilettage sur l'infestation de babouins adultes sauvages par les tiques. Les animaux recevant plus de toilettage présentaient une charge parasitaire moindre et la présence de parasites jouait un rôle dans la stimulation du toilettage (Akinyi et al. 2013).

Chez une grande partie des ongulés, la première méthode pour se débarrasser des tiques est un toilettage buccal. Il consiste à passer la langue ou les incisives inférieures sur les épaules et le tronc lorsque les tiques se déplacent sur les membres et les épaules en direction des zones ensuite inaccessibles lors de ce toilettage buccal (Hart et al. 2018). Le comportement de toilettage influence donc la répartition des sites de fixation des tiques chez les grands mammifères. Les régions mammaire et abdominale pourraient ainsi être des sites favorisés par les tiques, car ils ne sont que partiellement accessibles lors du toilettage (Edman et al. 1988).

Par ailleurs, le comportement d'auto-toilettage semble influencer la résistance des animaux aux tiques. En effet, Koudstaal et al. ont constaté que les animaux présentant une plus grande résistance passaient plus de temps à se toiletter lors d'une infestation que les animaux ayant une moindre résistance (Koudstaal et al. 1978). Il existe en effet un lien entre le comportement de grattage et la sensation de prurit, induite par les réactions du système immunitaire (Wilson 2014). La sensation de prurit est médiée par une population de fibres C polymodales à conduction lente

amyéliniques. Elles diffèrent des fibres transmettant la douleur (Han et al. 2013). De nombreux ligands peuvent se lier aux récepteurs et stimuler les terminaisons périphériques des fibres dans la peau pour provoquer la sensation de démangeaison. Les ligands principaux induisant une sensation de prurit sont l'histamine, la sérotonine et la tryptase mastocytaire libérée par les mastocytes. Elles provoquent des démangeaisons en se liant aux récepteurs H1, H4 ou 5HT-2 (Kim et al. 2008; Rossbach et al. 2011). Il y a donc un lien entre la sensation de prurit et le système immunitaire (Wilson 2014).

## **B. La réponse immunitaire de l'hôte face aux tiques**

Lors d'une infestation par les tiques, des défenses immunitaires innée et acquise, faisant intervenir un certain nombre de mécanismes et d'effecteurs du système immunitaire, se mettent en place chez l'hôte (Maharana et al. 2011; Wilson 2014; McCoy et al. 2017). Johnston et al. ont suggéré pour la première fois en 1918 qu'il existait différents degrés de résistance aux tiques chez les bovins (Johnston et al. 1918). La compréhension des mécanismes de résistance est importante, notamment pour le développement de moyens de lutte en complément ou en remplacement des acaricides.

### **1. L'immunité innée**

Anderson et al. ont mis en évidence que, dans une population de buffles africains en liberté, les buffles présentant une immunité innée plus forte avaient une charge de tiques moindre. Un test de destruction bactérienne mesurant la compétence bactéricide du sang contre une souche d'*Escherichia coli* a permis d'évaluer l'immunité innée des buffles. En effet, la destruction bactérienne se réalisant dans le sang fait intervenir principalement le système du complément, ainsi que des neutrophiles et des macrophages du système immunitaire innée. Plus la destruction bactérienne est importante, plus l'immunité innée est efficace. L'immunité innée de l'hôte semble donc jouer un rôle central dans l'abondance de tiques sur l'hôte (Anderson et al. 2013).

Par ailleurs, les tiques présentent une activité immunomodulatrice, notamment grâce à leur salive et à ses composants, perturbant le système immunitaire inné de l'hôte et permettant de pérenniser leur fixation et la réalisation complète de leur repas sanguin (Beechler et al. 2012; Anderson et al. 2013). Les protéines salivaires des tiques ont des fonctions d'altération de la réponse immunitaire, d'inhibition de la coagulation et de l'activation du complément, ainsi que d'induction de la vasodilatation (Das et al. 2001; Francischetti et al. 2005; Ramamoorthi et al. 2005; Dai et al. 2010; Schuijt et al. 2011).

### **a) Rôle des différents effecteurs de l'immunité**

#### **i) Les neutrophiles**

Les granulocytes neutrophiles ou polynucléaires neutrophiles sont le type de cellules le plus abondant des globules blancs chez les mammifères. Ils constituent une partie essentielle du système immunitaire. Le rôle des neutrophiles dans la résistance aux tiques n'est pas clairement établi. En effet, plusieurs études ont mis en évidence une augmentation du taux de neutrophiles au niveau du site de fixation des tiques (Tatchell et al. 1968; Binta et al. 1984; Brown et al. 1984; Walker et al. 1986). Dans l'étude de Constantinoiu et al., ces infiltrations de granulocytes étaient variables, mais ont augmenté rapidement et persisté plus longtemps chez *Bos taurus taurus* que chez *Bos taurus indicus*. Des vésicules épidermiques constituées quasiment exclusivement de neutrophiles avec infiltrations cutanées massives de neutrophiles ont été mises en évidence d'abord chez *B. t. taurus*, puis plus tard chez *B. t. indicus* (Constantinoiu et al. 2010). Plusieurs hypothèses ont été formulées concernant ces vésicules épidermiques. Elles pourraient empêcher le repas sanguin des tiques en favorisant le comportement de toilettage (Schleger et al. 1976). Par ailleurs, les neutrophiles participeraient à la formation de lésions tissulaires au niveau du site d'alimentation des tiques (Tatchell et al. 1970).

## ii) Les éosinophiles

Les granulocytes éosinophiles sont des cellules sanguines appartenant à la lignée des globules blancs et jouant un rôle dans l'immunité innée. Ils interviennent en particulier dans les phénomènes d'allergies et d'infections parasitaires, notamment helminthiques. Les éosinophiles ont pour fonction principale de produire des protéines granulaires cytotoxiques, telles que la protéine basique majeure et la protéine cationique éosinophilique ayant une activité contre les parasites (Stone et al. 2010). Des études récentes suggèrent que les éosinophiles pourraient jouer d'autres rôles dans la fonction immunitaire, telle que la suppression des réponses Th1 et Th17 par la régulation des cellules dendritiques. Ils pourraient également activer la dégranulation des basophiles (Wen, Rothenberg 2016).

Des taux d'éosinophiles différents ont été observés entre des races résistantes et des races sensibles de bovins. En effet, Marufu et al. ont mis en évidence un nombre accru d'éosinophiles chez les bovins de la race Bonsmara, sensibles aux tiques (Marufu et al. 2013), alors que d'autres études ont constaté un nombre d'éosinophiles plus élevé chez des bovins résistants aux tiques notamment chez les races Néloure au Brésil et *Australian Illawarra Shorthorn* en Australie (Schleger et al. 1976; Carvalho et al. 2010). En 2017, Franzin et al. ont quant à eux montré qu'un plus grand nombre d'éosinophiles était observable chez des bovins sensibles lors de la première infestation par les tiques, mais également chez des bovins résistants au niveau des sites de fixation des nymphes et des tiques adultes (Franzin et al. 2017). La réponse des bovins résistants aux tiques pourrait être corrélée à la suppression des réponses Th1, intervenant essentiellement dans les réactions de type cellulaire, par les éosinophiles (Levrey et al. 1998; Tabor et al. 2017). En effet, les éosinophiles secrètent des cytokines, présentent des antigènes et expriment l'indolamine 2,3 dioxygénase entraînant la production de kynurénine ayant une activité anti-Th1 (Stone et al. 2010).

## **b) Le système du complément**

Le système du complément fait intervenir plusieurs molécules et joue un rôle primordial dans le système immunitaire pour l'élimination des cellules étrangères à l'organisme (Nesargikar et al. 2012). Plusieurs études ont décrit l'implication de la cascade du complément lors de la fixation de tiques chez des bovins de races sensibles et résistantes (Wang et al. 2007; Piper et al. 2010; Carvalho et al. 2014). Wikel et Allen ont constaté que l'infestation de cobayes résistants appauvris en complément par des tiques *Dermacentor andersoni* favorisait l'augmentation du nombre et du poids des larves engorgées, ainsi que la diminution du nombre de basophiles recrutés au site de fixation (Wikel et al. 1977). Wang et al. ont mis en évidence la régulation à la hausse de l'expression génique du composant C1qA du complément chez des bovins résistants aux tiques (Wang et al. 2007) et Piper et al. l'ont constaté pour le composant 3 du complément chez des bovins sensibles (Piper et al. 2010). Cependant, une régulation à la baisse du complément a également été constatée chez des animaux sensibles (Carvalho et al. 2014). Ainsi les mécanismes d'implication de la cascade du complément dans la résistance aux tiques ne sont pas clairement établis et nécessitent d'être approfondis (Robbertse et al. 2017).

## **2. La résistance acquise aux tiques**

Trager a été le premier à mettre en évidence le phénomène de résistance acquise aux tiques en 1939, sur des cobayes infestés de tiques de l'espèce *Dermacentor variabilis*. Plusieurs études se sont alors intéressées à cette résistance acquise aux tiques ou « Acquired Tick Resistance » (ATR). D'après Karasuyama et al., il implique des hôtes se retrouvant infestés de tiques à plusieurs reprises, provoquant alors une réaction inflammatoire rapide au site de la morsure chez les hôtes immunisés. Cela conduit à la diminution du poids et du nombre de tiques engorgées, voire à leur mort. Ce phénomène a notamment été observé chez des bovins, des lapins, des cobayes et des souris (Karasuyama et al. 2020; Kitsou et al. 2021).



### a) Rôle des basophiles

Les basophiles constituent une population mineure de globules blancs circulant dans le sang et se retrouvent rarement dans les tissus périphériques à l'état d'équilibre. Wada et al. se sont intéressés aux mécanismes moléculaires et cellulaires pouvant expliquer le phénomène de résistance acquise aux tiques *Haemaphysalis longicornis* chez des souris. Ils ont alors mis en évidence une accumulation de basophiles au niveau de la lésion cutanée provoquée par la tique, mais seulement lors de la deuxième infestation par les tiques et non lors de la première (Figures 22 et 23). De plus, ils ont constaté que les souris traitées avec des anticorps appauvrissant les basophiles perdaient leur résistance acquise aux tiques. Il semblerait donc que les basophiles jouent un rôle important dans l'immunité acquise, médiée par les anticorps contre les tiques (Wada et al. 2010). Cette infiltration de basophiles a été constatée chez d'autres espèces animales après réinfestation par des tiques, notamment chez les bovins, les cobayes et les lapins (Wada et al. 2010; Karasuyama et al. 2018).

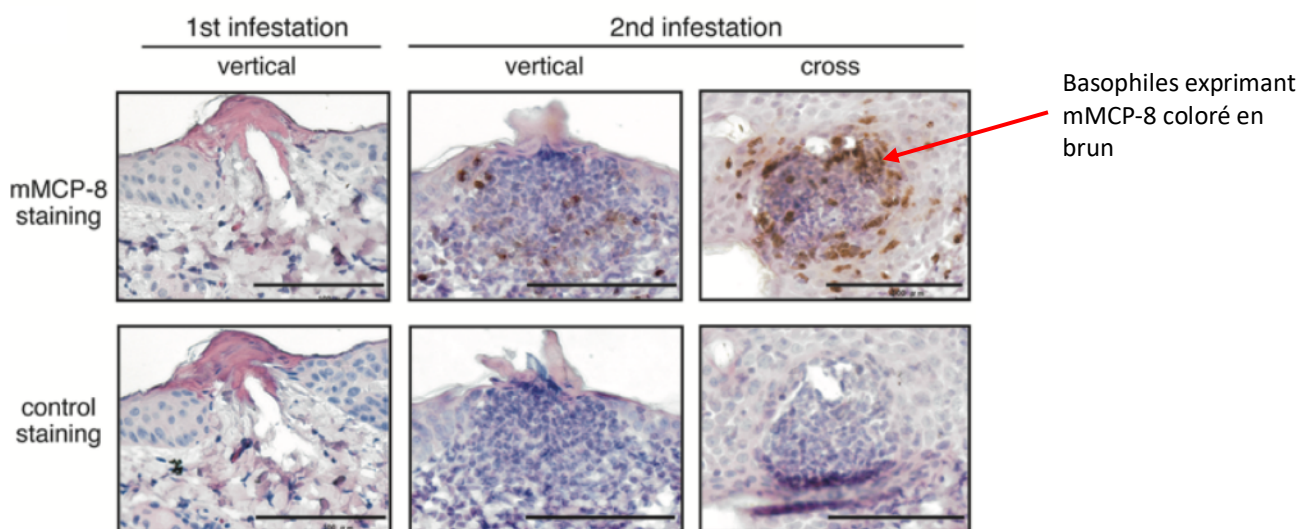


Figure 22 : Mise en évidence des lésions cutanées et de l'infiltration de basophiles au site de fixation des tiques après la première et la deuxième infestation grâce à un examen immunohistochimique à l'aide d'anticorps anti-mMCP-8 (Wada et al. 2010)

### ***b) Rôle des immunoglobulines E, de leur récepteur FcεRI et des lymphocytes CD4+***

Les immunoglobulines sont des glycoprotéines aussi appelées anticorps. Elles sont sécrétées par les plasmocytes provenant des lymphocytes B matures, activés et différenciés. Elles se subdivisent en cinq classes différentes, dont les immunoglobulines E (IgE). Les IgE et leur récepteur FcεRI sont essentiels pour la mise en place de l'ATR. En effet, lors de la première infestation par les tiques, les cellules présentatrices d'antigène s'emparent des antigènes de la salive de tiques pour ensuite migrer au nœud lymphatique drainant la zone. Elles présentent alors l'antigène aux cellules T naïves. Les lymphocytes T CD4+ naïfs concernés prolifèrent et se différencient en lymphocytes T CD4+ effecteurs. Une partie de ces lymphocytes T CD4+ devient des cellules productrices d'interleukine 4 (IL-4), notamment les lymphocytes Th2 ou les lymphocytes T auxiliaires folliculaires. Cette sécrétion d'IL-4 aide les cellules B à produire des IgE réactives aux antigènes salivaires des tiques. Ces IgE migrent dans la circulation sanguine et se lient aux basophiles grâce à leur récepteur FcεRI (Figure 23) (Wada et al. 2010; Karasuyama et al. 2018; Karasuyama et al. 2020; Yoshikawa et al. 2021).

Lorsqu'une nouvelle infestation se produit, les basophiles associés aux IgE sont rapidement recrutés sur le site d'infestation et stimulés par les antigènes salivaires de la tique. Ils libèrent alors de l'histamine (Wada et al. 2010; Karasuyama et al. 2018; Yoshikawa et al. 2021).

### ***c) Implication de l'histamine***

L'histamine semble être une molécule clé impliquée dans les mécanismes de résistance aux tiques. En effet, l'injection d'histamine aux sites de fixation des tiques conduit au détachement de certaines larves (Kemp et al. 1980). Cette constatation met donc en avant l'implication directe de l'histamine dans la résistance aux tiques, en plus de leur rôle dans la réaction inflammatoire générale (Kemp et al. 1980). En effet, l'histamine libérée par les basophiles exerce une action sur les kératinocytes (Figure 23), ce qui favorise l'hyperplasie épidermique et conduit à la réduction du repas sanguin des tiques et au détachement des larves à courtes pièces buccales (Yoshikawa et al. 2021).

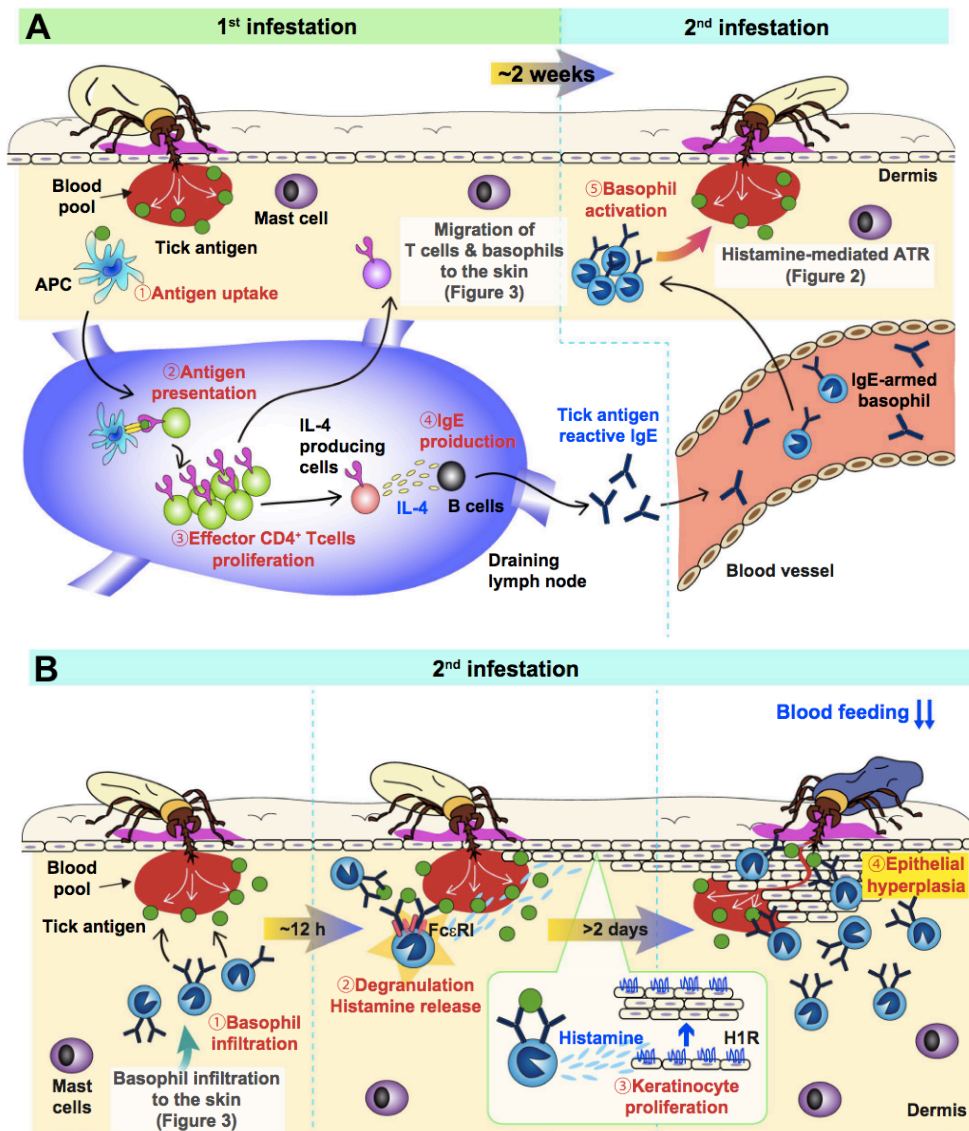


Figure 23 : Mécanismes intervenant dans la mise en place de la résistance acquise aux tiques (Yoshikawa et al. 2021)

**A)** Lors de la première infestation par les tiques, des antigènes salivaires sont émis au niveau du site de fixation. Les cellules présentatrices de l'antigène (APC) capturent ces antigènes (1), avant de migrer vers les nœuds lymphatiques locorégionaux, pour présenter ces antigènes aux lymphocytes T naïfs (2). Les lymphocytes T prolifèrent alors et se différencient en lymphocytes T CD4<sup>+</sup> (3), dont certains deviennent des cellules Th2 ou lymphocytes T auxiliaires folliculaires, sécrétant d'IL-4 et aidant les cellules B à produire des IgE réactives aux antigènes de la tique (4). Ces antigènes rejoignent la circulation sanguine et se lient aux basophiles grâce à leur récepteur FcεRI (5).

**B)** Lors d'une infestation ultérieure, les basophiles associés aux IgE sont directement recrutés au niveau du site d'infestation (1) et stimulés par les antigènes de salive de la tique. Cela permet aux basophiles de dégranuler et de libérer de l'histamine (2). Il y a alors prolifération des kératinocytes sous l'action de l'histamine (3) qui favorise l'hyperplasie épidermique au niveau du site d'alimentation de la tique (4), entraînant la réduction du repas sanguin.

#### ***d) Rôle des mastocytes***

Tabakawa et al. se sont intéressés au rôle des basophiles ainsi qu'à celui des mastocytes dans l'ATR chez les souris. Ils ont mis en évidence que les basophiles s'accumulaient autour des pièces buccales de tiques suite à la seconde infestation par les tiques, alors que les mastocytes étaient plus éloignés, éparpillés et se trouvaient préférentiellement dans le derme. Cette constatation peut expliquer que l'histamine dérivée des basophiles est plus efficace que celle ayant pour origine les mastocytes. Le rôle des mastocytes dans les mécanismes de l'ATR reste donc encore à préciser (Tabakawa et al. 2018).

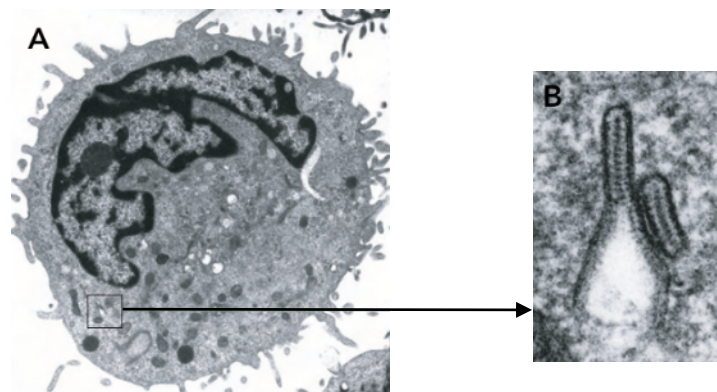
#### ***e) Rôle des immunoglobulines G***

La salive de tique entrant en contact avec l'hôte lors du repas sanguin contient des protéines de liaison aux immunoglobulines conduisant à la production d'anticorps dirigés contre ces antigènes salivaires chez l'hôte (Kashino et al. 2005; Pruett et al. 2006; Garcia et al. 2017). Cruz et al. ont démontré qu'il existait une grande variation dans les niveaux d'anticorps, notamment les immunoglobulines G (IgG), entre les individus mais aussi selon les niveaux d'infestation par les tiques (Cruz et al. 2008). La majorité des études s'accordent à dire que les animaux résistants à l'infestation par les tiques et les animaux sensibles (c'est-à-dire ceux ayant des charges importantes en tiques et dont les femelles ont une forte fécondité) ne présentent pas le même profil en immunoglobulines lors des infestations. En effet, les animaux sensibles à l'infestation par les tiques ont tendance à présenter une augmentation du taux d'immunoglobulines spécifiques aux tiques (Tabor et al. 2017). Piper et al. et Garcia et al. ont constaté que des bovins sensibles exposés aux tiques ont eu des taux en IgG1 significativement accrus par rapport aux bovins résistants. La réponse en IgG2 suite à l'infestation par les tiques est cependant très variable entre les groupes de bovins résistants et sensibles, ainsi qu'entre les individus d'un même groupe d'après Piper et al., alors que Garcia et al. ont également mis en évidence une augmentation du taux d'IgG2 chez les bovins sensibles (Garcia et al. 2017; Piper et al. 2017). De ce fait, Piper et al. suggèrent que les animaux sensibles aux tiques sont capables de reconnaître et de réagir plus rapidement aux antigènes de tiques, mais que soit l'augmentation du taux d'anticorps n'intervient pas dans les mécanismes de résistance

aux tiques, soit elle participe à développer la sensibilité à l'infestation (Piper et al. 2017). Cependant, les travaux de Kashino et ses collègues vont à l'encontre de ce résultat, puisqu'il a mis en évidence une suppression des IgG suite à l'infestation de tiques sur des bovins sensibles (Kashino et al. 2005). Les animaux résistants ont quant à eux présenté des profils en immunoglobulines plus constants, avec très peu de variations lors des infestations (Tabor et al. 2017). Des études complémentaires sont nécessaires pour comprendre pleinement le rôle des IgG dans les mécanismes de résistance aux tiques.

### ***f) Implication des cellules de Langerhans***

Les cellules de Langerhans sont des cellules dendritiques à un stade immature de leur vie (Romani et al. 1989). Elles représentent 2 à 4% de la population de cellules épidermiques et sont localisées dans les couches basales et suprabasales de l'épiderme. Elles se différencient par leur noyau lobulé et leur cytoplasme contenant des granules de Birbeck (Figure 24) (Birbeck et al. 1961). Ces cellules participent au développement de l'hypersensibilité de contact. Elles reconnaissent les antigènes de la salive de tique et jouent le rôle de cellules présentatrices de l'antigène aux lymphocytes au niveau du nœud lymphatique drainant la zone concernée. Des anticorps circulants sont alors produits et participent à la résistance acquise (Fivaz 1989; Brossard et al. 1997).



*Figure 24 : Observation d'une cellule de Langerhans (A) et de granules de Birbeck (B) au microscope électronique (Valladeau 2006, clichés du Dr Colette Dezutter-Dambuyant)*

### 3. Le complexe majeur d'histocompatibilité

Le complexe majeur d'histocompatibilité (CMH) correspond à un ensemble de glycoprotéines membranaires de la superfamille des immunoglobulines, impliquées dans la présentation d'antigènes aux lymphocytes T. Il en existe deux types, à savoir le CMH-I et le CMH-II (Edwards et al. 1998). L'étude du CMH équin, aussi appelé antigène leucocytaire équin, a permis de mettre en évidence que la chaîne DR  $\alpha$  présentait un intérêt majeur, car elle code le domaine de liaison à l'antigène responsable de la reconnaissance des peptides étrangers. Ce locus présente un grand polymorphisme chez les équidés, contrairement aux autres vertébrés pour lesquels il est moins diversifié par rapport aux autres gènes classiques du CMH (Takada et al. 1998; Wagner et al. 1999; Janova et al. 2009; Kamath et al. 2011). Le CMH présente ainsi un important polymorphisme probablement dû à une sélection d'équilibrage induite par les agents pathogènes et permettant de maintenir la diversité génétique du CMH. Cette association entre des allèles spécifiques du CMH et la résistance aux parasites a été démontrée chez les ongulés (Hedrick 1999; Paterson et al. 1998; Sommer 2005). Par ailleurs, plusieurs études ont mis en évidence des liens entre le CMH et l'abondance des ectoparasites. Oliver et al. ont démontré que les campagnols terrestres (*Arvicola terrestris*) hétérozygotes du CMH présentaient une charge parasitaire moindre et ce pour plusieurs parasites, dont les nymphes de tiques *Ixodes ricinus*, par rapport aux individus homozygotes du CMH (Oliver et al. 2009; Schad et al. 2012). Kamath et al. ont quant à eux trouvé peu de preuves suggérant également un avantage des hétérozygotes dans une population de Zèbre des plaines (*Equus quagga*), mais ont démontré que les gènes du CMH variaient selon les types de parasites auxquels étaient exposés les animaux. Des effets antagonistes d'un gène du CMH faisant varier la sensibilité et la résistance à différents parasites ont été mis en évidence, en excluant la possibilité d'une compétition directe des parasites (Kamath et al. 2014).

#### 4. Le système immunitaire cutané

La peau représente l'organe le plus vaste des vertébrés et est de ce fait la cible privilégiée de nombreux arthropodes hématophages. La morsure et la fixation des tiques sur un hôte entraînent plusieurs réactions cutanées. Franzin et al. se sont intéressés aux profils des réponses inflammatoires produites par des morsures de tiques chez des races bovines résistante et sensible, ayant subi des infestations primaires de larves et de nymphes de *Rhipicephalus microplus*. Les bovins sensibles aux infestations par les tiques exprimaient plus de transcrits codant pour des enzymes détoxifiant les tissus au niveau de leur peau que les bovins résistants. Ces enzymes sont également à l'origine de composés odoriférants volatils, attirant d'avantage les larves de tiques chez les bovins sensibles. Ainsi la production de composés volatils cutanés varie entre les hôtes sensibles et résistants et influent le degré d'attractivité des tiques. Par ailleurs, les bovins résistants exposent les tiques à une réponse inflammatoire plus précoce entraînant chez les tiques une expression plus faible des gènes codant pour les protéines salivaires visant à altérer les mécanismes de défenses de l'hôte (Franzin et al. 2017).

Kongsuwan et al. ont étudié l'expression de plusieurs composants de la différenciation épidermique pendant la fixation de larves de *R. microplus* chez des bovins à haute et à faible résistance aux tiques. Une expression plus élevée des kératines épidermiques basales KRT5 et KRT14, de la protéine de transformation des lipides, de la lipocaline 9 (LCN9), de l'enzyme transglutaminase 1 (TGM1) et de la protéine 1 de maturation induite par les lymphocytes B régulateur de la transcription (Blimp1) a été mise en évidence dans la peau des hôtes résistants aux tiques (Figure 25). Les kératines KRT5 et KRT14 sont les principaux produits protéiques de structure synthétisés par les kératinocytes basaux subissant ensuite une différenciation. Le rôle de la lipocaline 9 est encore mal connu. Ces protéines sembleraient jouer un rôle dans la résistance aux tiques. Les gènes codant pour l'enzyme catalytique TGM1 et le régulateur transcriptionnel Blimp1 jouent un rôle fondamental dans l'établissement de la barrière de perméabilité épidermique. L'expression de ces deux gènes semble sensible à l'exposition aux tiques. Cette étude suggère donc que la peau, plus précisément la modification de la structure physique des couches épidermiques, peut

constituer la première ligne de défense contre l'infestation des tiques en conduisant à leur détachement (Kongsuwan et al. 2010).

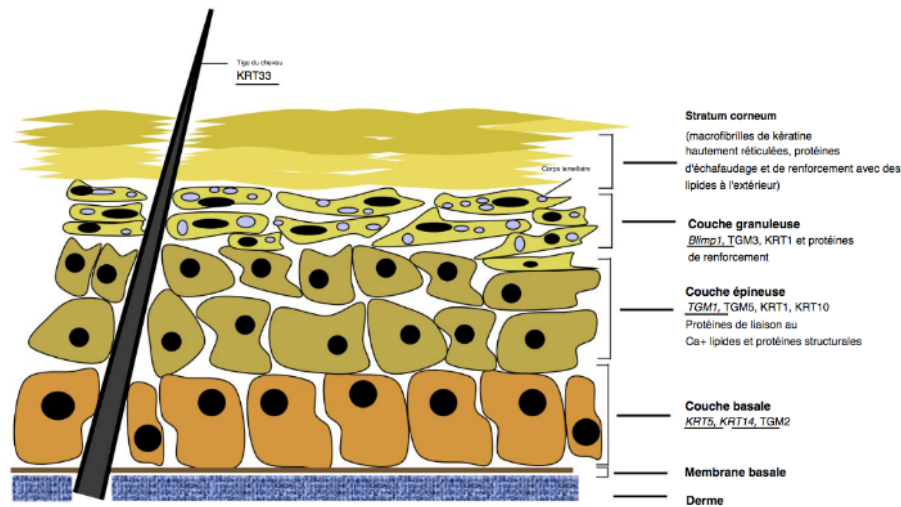


Figure 25 : Représentation schématique de la structure de l'épiderme présentant les différentes étapes de différenciation des kératinocytes et les emplacements des composants de la barrière épidermique (Kongsuwan et al. 2010)

Les protéines soulignées sont celles se trouvant régulées à la hausse après exposition aux tiques.

## 5. Rôle du calcium intracellulaire dans les mécanismes de résistance aux tiques

Les modifications de concentration intracellulaire en ion calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) constituent des signaux dynamiques participant à divers processus cellulaires. Bagnall et al. ont mis en évidence que les gènes de la voie de la régulation intracellulaire de l'ion calcium sont régulés positivement dans le cas d'une infestation de tiques. Ces découvertes suggèrent que la voie du calcium pourrait être impliquée dans l'immunité de l'hôte suite à son exposition aux tiques. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer le rôle du calcium intracellulaire dans les mécanismes de résistance aux tiques. D'une part, l'augmentation de l'afflux de  $\text{Ca}^{2+}$  pourrait participer à la dégranulation des mastocytes suite à leur activation après la rencontre avec les antigènes du parasite. D'autre part, une étude a démontré que les modifications du  $\text{Ca}^{2+}$  intracellulaire retardent la prolifération des kératinocytes et provoquent leur différenciation, participant ainsi au renouvellement du *stratum corneum* (Yuspa et al. 1989). Cela



aiderait donc à constituer une barrière épidermique efficace contre les tiques. Cependant, les mécanismes ne sont pas encore clairement définis et nécessitent des travaux supplémentaires (Bagnall et al. 2009).

## **6. Le métabolisme lipidique**

Carvalho et al. ont démontré qu'il existe des gènes exprimés différemment chez les bovins, suggérant un rôle clé du métabolisme des lipides dans le contrôle de l'inflammation et la résistance à l'infestation par les tiques chez les bovins résistants. Une activité du métabolisme lipidique élevée pourrait être liée à des processus impliquant l'inflammation, la phagocytose et la chimiotaxie. Le métabolisme des lipides semble jouer un rôle dans l'amélioration de la signalisation d'activation cellulaire par des voies pro-inflammatoires, permettant ainsi l'activation de la voie du complément et de la réponse en phase aiguë contre les tiques de manière efficace. L'étude montre également que la réponse en phase aiguë semble être altérée chez les bovins sensibles. Cependant, le rôle du métabolisme lipidique dans l'interaction tique-hôte n'est pas encore clairement défini (Carvalho et al. 2014).

## C. Conclusion

Dans cette étude bibliographique, il apparaît clairement que de nombreux facteurs influencent l'abondance des tiques sur leur hôte et que des travaux de recherche complémentaires sont nécessaires pour avancer dans cette compréhension. Ayant une phase de vie libre, les tiques sont tributaires de l'environnement et des conditions climatiques. Elles sont sensibles à de nombreux stimuli, qu'ils soient visuels, sonores, olfactifs ou chimiques. Leur perception oriente la tique dans son processus de recherche d'hôte. Une fois l'hôte trouvé, la tique doit pouvoir se fixer avant de pouvoir débiter son repas sanguin. Le choix du lieu de fixation dépend des caractéristiques physico-chimiques de la peau de l'hôte. Par ailleurs, les hôtes mâles semblent plus infestés par les tiques, de la même manière que les hôtes de plus grande taille, de masse corporelle plus importante ou encore les individus ayant un mauvais état corporel. Le maintien de la tique fixée sur l'hôte dépend également du comportement de toilettage et des profils immunitaires et génétiques de l'hôte, qui peut être résistant ou sensible aux tiques.

Lors de cette étude bibliographique, nous nous sommes ainsi concentrés uniquement sur les facteurs propres à l'individu. Cependant, l'attraction et la fixation d'une tique sur un cheval dépendent également des nombreuses interactions entre l'hôte et l'individu dans un contexte donné impliquant notamment des facteurs environnementaux eux-mêmes influençant à différentes échelles la répartition des tiques.

# DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE EXPERIMENTALE – MISE EN ÉVIDENCE DE L'INÉGALE ABONDANCE DE TIQUES SUR ÉQUIDÉS ET RECHERCHE DE FACTEURS EXPLICATIFS

## I. Objectifs de l'étude

Ce projet vise à objectiver et chercher à comprendre l'inégale abondance de tiques sur les équidés. Pour objectiver l'inégale abondance des tiques entre équidés dans un même pré, des collectes de tiques présentes sur les chevaux d'un même groupe ont été réalisées sur la base du volontariat grâce à des particuliers, propriétaires d'équidés ou s'occupant de chevaux. Suite à cette collecte, un comptage des tiques, ainsi qu'une identification des espèces recueillies ont été effectués. Pour comprendre et chercher des facteurs explicatifs de cette différence d'abondance, un questionnaire est adressé à des particuliers disposant de groupe d'équidés vivant au pré et ayant constaté cette variation d'abondance, afin de renseigner différentes caractéristiques des chevaux présents dans le groupe. Dans la suite de l'étude, nous qualifierons le cheval ayant le plus de tiques de cheval « Têtatic ».

Cette étude s'inscrit dans le programme Têtatic du projet PiroGoTick porté par le Dr Laurence Malandrin, chargée de Recherches à l'INRAE au sein de l'UMR INRAE-Oniris BIOEPAR à Nantes. Il s'agit d'un projet scientifique national évolutif, faisant appel à la science participative. Les éleveurs professionnels, les particuliers propriétaires d'équidés, les associations autour des chevaux ou encore les vétérinaires peuvent y prendre part. Le projet a vu le jour et a gagné en notoriété grâce au soutien de différents acteurs tels que le CISCO (Centre International de Santé du Cheval d'Oniris à Nantes), le RESPE (Réseau d'Épidémiologie Surveillance en Pathologie Équine), la FNC (Fédération Nationale du Cheval), ainsi que l'Association pour le développement des sciences équinnes. PiroGoTick est financé par l'Ifce, Fonds Eperon et France Futur Élevage, même si Têtatic est un programme récent non inclus dans le projet initial, développé en réponse à des questionnements soulevés par les propriétaires d'équidés.

## **II. Mise en évidence expérimentale de l'inégale abondance de tiques sur les chevaux**

### **A. Matériel et méthodes**

#### **1. Critères d'inclusion et d'exclusion**

Les chevaux inclus dans l'étude sont des chevaux vivant au pré, en France métropolitaine. Ils doivent vivre en groupe comptant deux à cinq chevaux dans une même pâture. Le recrutement s'est effectué sur la base du volontariat de particuliers, propriétaires d'équidés ou s'en occupant. Ils ont postulé suite à une annonce réalisée sur le réseau social Facebook du projet PiroGoTick, et une sélection a été réalisée lors d'un entretien téléphonique. Les chevaux ayant été inclus précédemment dans le programme PiroSentinel ont été exclus, afin de ne pas mélanger les programmes.

#### **2. Mise à jour des informations sur le site du projet PiroGoTick**

L'étude Têtatic faisant partie du projet PiroGoTick, le site internet de l'INRAE a été mis à jour avec un onglet correspondant à cette étude, à l'adresse <https://www6.inrae.fr/pirogotick/Tetatic>. De ce fait, les participants volontaires pouvaient y trouver les informations concernant l'étude, ses objectifs et les conditions de participation. De la même manière, le projet PiroGoTick dispose d'une page Facebook (<https://www.facebook.com/profile.php?id=100036933501597>) sur laquelle ont été publiées différentes informations sur le programme Têtatic, afin d'en accroître la visibilité et de cibler un public le plus large possible.

#### **3. Recrutement des volontaires**

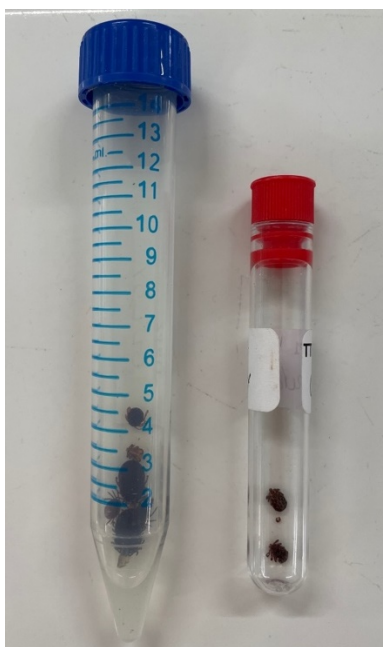
Le recrutement des candidats s'est effectué grâce au réseau Facebook PiroGoTick. Les personnes intéressées nous ont contactées par mail. Des entretiens téléphoniques étaient ensuite organisés afin de leur préciser les modalités de collecte et de confirmer que leurs chevaux répondaient à tous les critères pour être intégrés dans l'étude. Un protocole de collecte était également fourni (Annexe 1).

#### 4. Préparation et envoi du matériel de collecte

Un kit de collecte a été envoyé à chaque participant. Ces kits contenaient :

- Des tubes préparés avec de l'alcool pour conserver les tiques collectées, dont deux grands tubes de 15 mL pour contenir les tiques du cheval ayant le plus de tiques (nommé le cheval « Têtatic »), ainsi que huit petits tubes pour contenir les tiques collectées séparément sur chacun des autres chevaux du groupe (Figure 26)
- Des tire-tiques
- Une fiche de suivi
- Un protocole de collecte
- Des étiquettes pour identifier les tubes
- Une boîte d'envoi retour pré-adressée et pré-affranchie.

La fiche de suivi permettait de renseigner le nom des équidés, ainsi que leurs principales caractéristiques (sexe, âge, taille, race...). Les périodes de collecte et les fréquences approximatives de collecte y étaient également indiquées (Annexe 2).



*Figure 26 : Tubes utilisés pour la conservation des tiques*

**Légende fig. 26 :** Tube avec bouchon bleu = tube contenant les tiques du cheval ayant le plus de tiques.  
Tube avec bouchon rouge = tube utilisé pour les tiques de chacun des autres chevaux du groupe.

## 5. Protocole de collecte

Une fois les kits reçus, les candidats étaient libres de choisir la date à laquelle ils commençaient la collecte de tiques, ainsi que la fréquence à laquelle ils inspectaient leurs chevaux. Le point essentiel était d'examiner tous les équidés du groupe de la même manière et au même moment. La collecte prenait fin lorsqu'une de ces deux conditions était remplie :

- Le plus grand des tubes contenant les tiques collectées sur le cheval ayant le plus de tiques était rempli
- Une différence importante entre les quantités de tiques collectées sur le cheval ayant le plus de tiques et celles récoltées sur les autres chevaux du pré était observable.

Lorsqu'une collecte de tiques était terminée rapidement, une seconde pouvait être commencée. Elles étaient respectivement nommées P1 et P2.

Lors du processus de pansage, les participants devaient minutieusement inspecter les chevaux dans leur intégralité, en portant une attention particulière à la tête (auge, ganache), à la crinière et à la queue, au poitrail, aux ars et à l'intérieur des cuisses. Les grands tubes servaient à réunir toutes les tiques récoltées sur le cheval « tête à tiques », tandis que les autres tubes étaient chacun attribués à un des autres chevaux du pré, sans les mélanger. Ainsi, un tube correspondait à un cheval. Chaque tube est étiqueté avec les abréviations « TTX », X renvoyant au numéro du participant ainsi anonymisé, et « P1 » ou « P2 » correspondant respectivement à la première ou à la deuxième collecte réalisée. Les participants y ajoutaient le nom du cheval de façon manuscrite (Figure 27).



Figure 27 : Tubes identifiés utilisés pour conserver les tiques

La date limite de collecte des tiques a été fixée à juin 2022. Une fois toutes les collectes terminées, les participants utilisaient une boîte pré-affranchie en fonction du poids, afin d'envoyer les tiques et la fiche de suivi au laboratoire de parasitologie de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse.

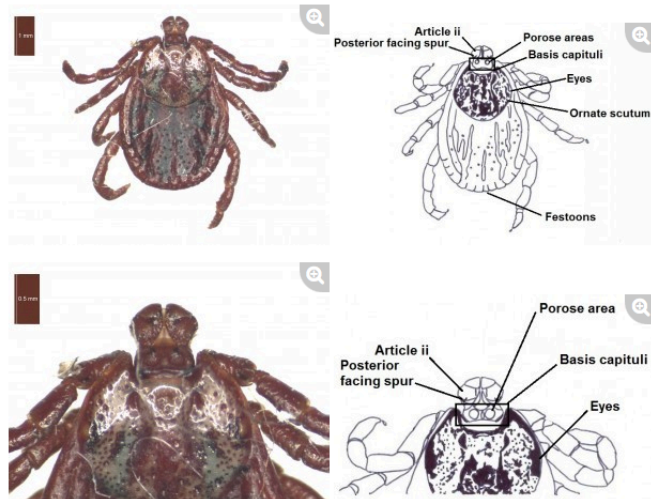
## 6. Comptage et identification des tiques

Les tiques recueillies ont été dénombrées et identifiées à la loupe binoculaire afin de déterminer leur espèce. L'identification des tiques a été réalisée avec l'aide du site de l'Université de Bristol (Wall et al. 2016), mettant à disposition en ligne un guide photographique, ainsi que des descriptions des différentes espèces de tiques. Le site laisse ainsi la possibilité de sélectionner les espèces de tiques et détaille ensuite toutes les caractéristiques, à savoir celles des femelles et des mâles, en vue ventrale et en vue dorsale, associées à des photographies et schémas annotés (Figure 28).

### Description

#### Adult female dorsal features

- Porose area is broad and oval in shape
- Article ii of palps has a posterior facing spur
- Basis capituli is rectangular in shape and broader than long
- Overall length unfed: 3.8-4.2mm
- Length of engorged female: 10mm

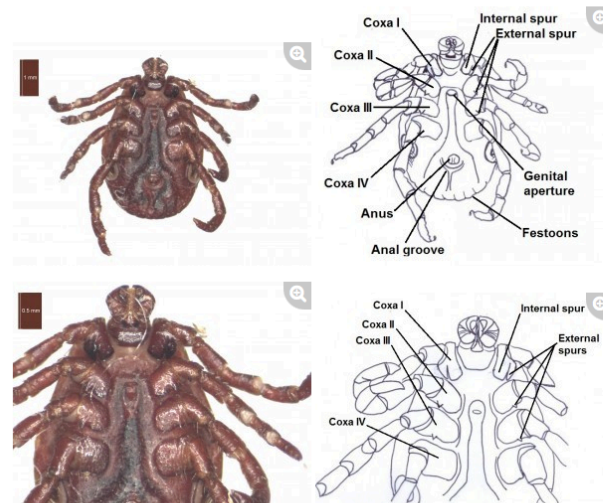


Adult female dorsal view and adult female close up of gnathosoma.

A

#### Adult female ventral features

- Coxae I: external and internal spur present, gap between each is considered narrow
- Genital aperture forms a broad 'U' shape



Adult female ventral view and adult female close up of coxae/ventral gnathosoma.

B

Figure 28 : Exemple de description d'une femelle *Dermacentor reticulatus* en vue dorsale (A) et en vue ventrale (B) sur le site de l'Université de Bristol (Wall et al. 2016)

Par ailleurs, l'équipe PiroGoTick a fourni plusieurs échantillons de tiques identifiées permettant de les observer et de les comparer aux tiques collectées (Figure 29).

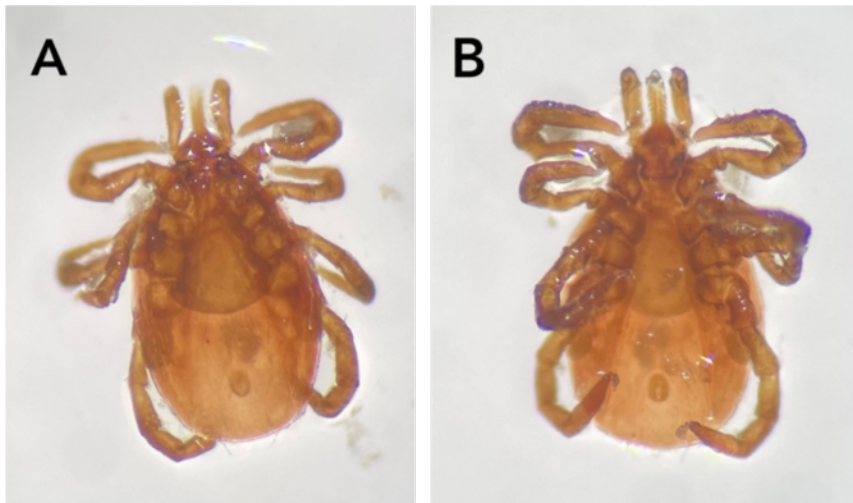


Figure 29 : Photographies de nymphes non gorgées d'*Ixodes ricinus* fournies par l'équipe PiroGoTick (observation à la loupe binoculaire)

**Légende fig. 29 :** A = vue dorsale, B = vue ventrale

## B. Résultats

### 1. Nombre de chevaux, caractéristiques et origines

Au total, 46 chevaux ont été inclus dans l'étude, répartis en 14 groupes :

- 5 groupes de 2 chevaux
- 3 groupes de 3 chevaux
- 3 groupes de 4 chevaux
- 3 groupes de 5 chevaux.

Ces chevaux étaient âgés de 1 à 31 ans. Concernant le sexe des chevaux, nous avons une majorité de juments avec 23 individus, suivies par les hongres avec 21 individus et enfin 2 mâles entiers (Figure 30).



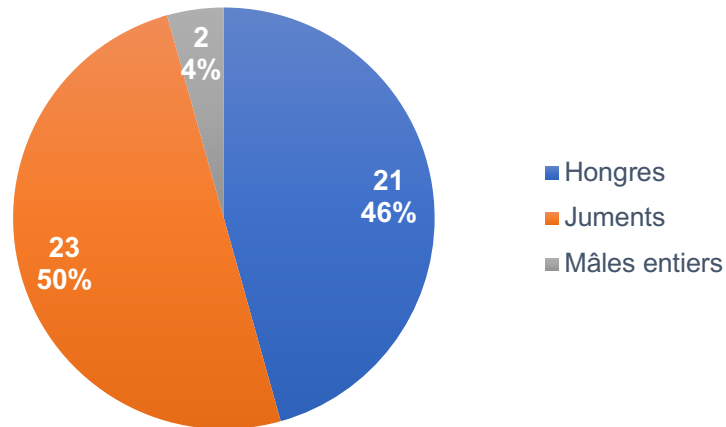


Figure 30 : Répartition des individus selon leur sexe (n = 46)

Tous ces chevaux vivent en France métropolitaine. Seules quatre collectes ont été effectuées dans la moitié nord de la France métropolitaine. La majorité des collectes ont été réalisées dans les régions Auvergne Rhône-Alpes et Nouvelle-Aquitaine (Figure 31).



Figure 31 : Répartition géographique des participants de l'étude Tétatic (Google Maps)

## 2. Localisation des tiques collectées

Grâce à la fiche de suivi, les participants pouvaient préciser la partie du corps du cheval sur laquelle ils collectaient le plus de tiques. Différentes régions ont été mentionnées, à savoir la crinière, le toupet, l'auge, l'encolure, le poitrail, les ars, les pâturons, la queue, l'intérieur des cuisses et le fourreau.

## 3. Comptage des tiques

Suite aux entretiens téléphoniques réalisés, 22 colis étaient attendus, mais seulement 14 ont été renvoyés. Parmi ces 14 groupes de chevaux, 6 groupes ont réalisé deux périodes de récolte de tiques. Dans le cas du colis 14, les tiques des deux périodes ont été collectées dans les mêmes tubes, ne permettant pas de distinguer les tiques de la première période de celles de la seconde. Les durées de collecte s'étendaient de 4 jours à 67 jours. Les fréquences de collecte variaient entre tous les jours, un jour sur deux ou trois ou encore une à deux fois par semaine. Dans 6 cas, les fréquences de collecte n'ont pas été renseignées (Tableau 3).

Au total, 829 tiques ont été récoltées sur les 46 chevaux inclus dans l'étude. Les résultats du comptage par cheval selon son groupe sont retranscrits dans le tableau disponible en annexe (Annexe 3).

Tableau 3 : Dates, durées et fréquences des collectes de tiques réalisées

Colis	Dates de collecte		Durée de collecte (en jours)		Fréquence de collecte	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Colis 1	14/03/22 au 18/03/22	03/05/22 au 06/05/22	5	4	1 jour sur 2	1 jour sur 3
Colis 2	01/05/22 au 30/06/22		61		Non renseignée	
Colis 3	16/03/22 au 01/04/22	01/05/22 au 15/06/22	17	46	Non renseignée	Non renseignée
Colis 4	28/04/22 au 01/07/22		65		Quasi quotidienne	
Colis 5	08/05/22 et 28/05/22	09/06/22 au 30/06/22	21	22	Tous les 2 à 3 jours	Tous les 2 à 3 jours
Colis 6	01/03/22 au 31/03/22		31		Non renseignée	
Colis 7	02/05/22 au 21/05/22	01/06/22 au 21/06/22	20	21	Non renseignée	Non renseignée
Colis 8	15/03/22 au 20/05/22		67		Quotidienne	
Colis 9	15/05/22 au 09/06/22		26		Non renseignée	
Colis 10	19/04/22 au 07/06/22		50		2 fois par semaine	
Colis 11	30/04/22 au 07/05/22	28/05/22 au 05/06/22	8	9	2 fois par semaine	2 fois par semaine
Colis 12	24/03/22 au 30/04/22		7		Quotidienne	
Colis 13	01/05/22 au 01/06/22		32		1 fois par semaine	
Colis 14	15/03/22 au 15/04/22	01/05/22 au 01/06/22	32	32	Non renseignée	Non renseignée

Les résultats du comptage de tiques par équidé au sein de chaque groupe sont présentés dans l'histogramme ci-dessous (Figure 32). Concernant les groupes 1, 2, 6, 8, 10, 11, 12 et 13, nous observons qu'un des chevaux présente une quantité de tiques nettement supérieure aux quantités de tiques récoltées sur les autres chevaux. En effet, ce cheval « Têtatic » a présenté plus de deux fois le nombre de tiques récoltées sur les autres chevaux du groupe. Cependant, les effectifs de tiques collectées étaient parfois faibles. Par exemple au sein du groupe 11, seulement neuf tiques ont été collectées sur le cheval « Têtatic », mais aucune tique n'a été récoltée sur les autres chevaux du groupe. Pour le groupe 3, les quantités de tiques récoltées sont limitées et la différence de tiques entre le cheval « Têtatic » et les autres chevaux est moins marquée (neuf tiques pour le cheval « Têtatic », six et deux tiques pour les autres chevaux). Au sein du groupe 14, deux chevaux ont été infestés par de nombreuses tiques (70 et 51 tiques), alors que les deux autres chevaux du groupe n'en ont amassé que 25 et 7. La deuxième période de collecte ne concernant que 6 groupes, les résultats sont disponibles en annexe (Annexe 4). Par ailleurs, pour les groupes 4, 7 et 14, le cheval « Têtatic » n'a pas été celui auquel les propriétaires s'attendaient au vue de leurs observations passées.

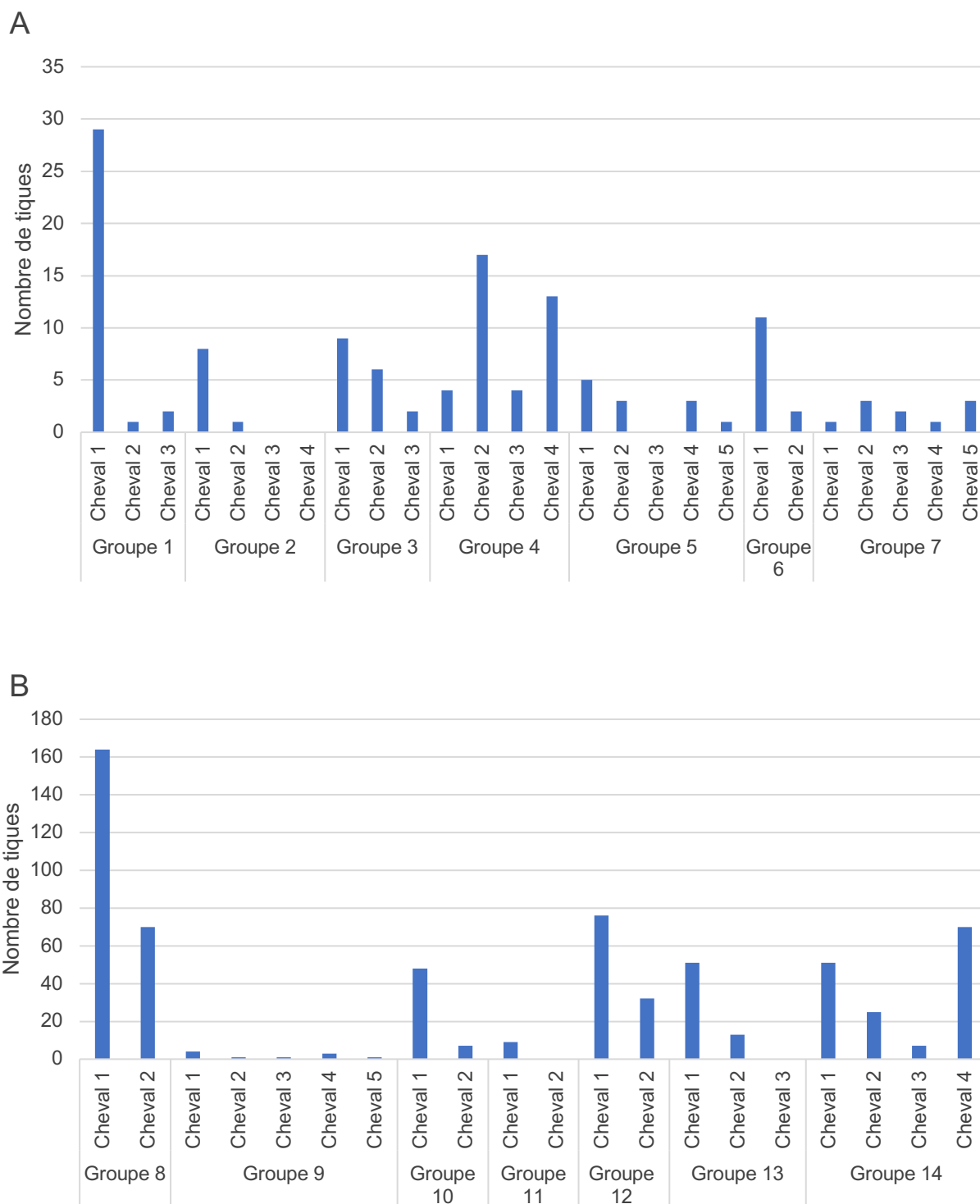


Figure 32 : Nombre de tiques collectées par cheval au sein d'un groupe pendant la première période de collecte

**Légende fig. 32 :** A = groupes 1 à 7 ; B = groupes 8 à 14

De manière générale, nous observons qu'il y a souvent un cheval avec une quantité de tiques plus importante que les autres chevaux au sein d'un même groupe de chevaux, bien que les effectifs de tiques collectées soient parfois faibles.

#### 4. Identification des tiques

Les espèces de tiques identifiées sont *Dermacentor reticulatus*, *Dermacentor marginatus*, *Rhipicephalus bursa*, *Hyalomma marginatum*, *Ixodes ricinus* et *Haemaphysalis concinna*. Au total, 823 tiques ont pu être identifiées, tandis que 6 tiques étaient trop abimées pour être identifiées. *Dermacentor reticulatus* est l'espèce la plus représentée avec 349 tiques, suivie d'*Ixodes ricinus* avec 279 tiques, *Hyalomma marginatum* avec 109 tiques et *Dermacentor marginatus* avec 82 tiques. *Rhipicephalus bursa* et *Haemaphysalis concinna* sont très peu représentées avec seulement deux tiques de chaque espèce (Figure 33). Les différentes espèces de tiques identifiées ne sont pas réparties de manière uniforme entre les différents groupes de chevaux et parfois une espèce peut être unique et en quantité (Tableau 4). Par exemple, le colis 8 totalise quatre espèces et 234 tiques, dont 200 identifiées comme étant *Dermacentor reticulatus*. De même, 108 tiques *Hyalomma marginatum* ont été identifiées dans le colis 12 et aucune autre espèce (Tableau 4).

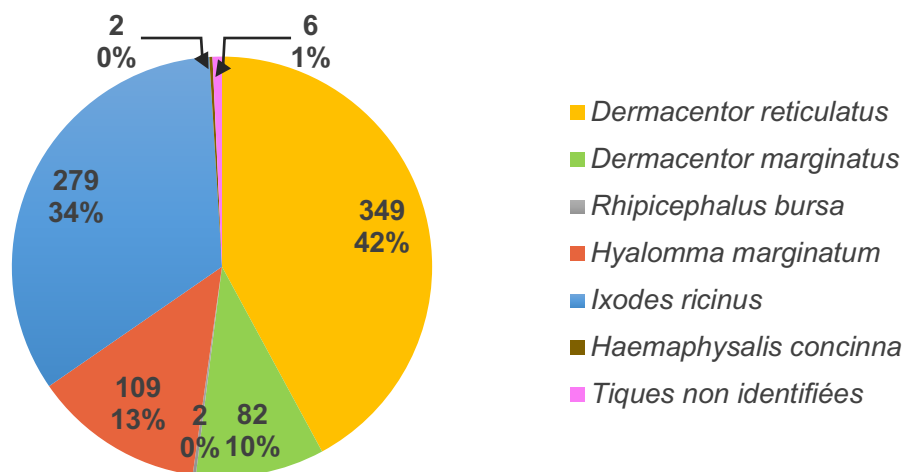


Figure 33 : Répartition des tiques identifiées selon leur espèce (n = 829)

Tableau 4 : Composition en espèces de tiques de chaque participant

Participant \ Espèces de tiques	<i>Dermacentor reticulatus</i>	<i>Dermacentor marginatus</i>	<i>Rhipicephalus bursa</i>	<i>Hyalomma marginatum</i>	<i>Ixodes ricinus</i>	<i>Haemaphysalis punctata</i>	<i>Haemaphysalis concinna</i>	Tiques non identifiées
Colis 1	38	6	0	0	10	0	0	3
Colis 2	0	9	0	0	0	0	0	0
Colis 3	5	20	1	1	0	0	0	0
Colis 4	0	1	0	0	37	0	0	0
Colis 5	0	3	0	0	23	0	0	0
Colis 6	5	8	0	0	0	0	0	0
Colis 7	0	1	1	0	21	0	0	0
Colis 8	200	16	0	0	16	0	2	0
Colis 9	7	0	0	0	3	0	0	0
Colis 10	0	0	0	0	55	0	0	0
Colis 11	3	1	0	0	8	0	0	0
Colis 12	0	0	0	108	0	0	0	0
Colis 13	44	14	0	0	6	0	0	0
Colis 14	47	3	0	0	100	0	0	3

## 5. Répartition géographique des tiques collectées

Au sein de chaque collecte effectuée, une espèce de tiques se retrouvait majoritairement représentée. Nous constatons ainsi que les tiques de l'espèce *Ixodes ricinus* se retrouvent sur l'ensemble du territoire français. *Dermacentor reticulatus* est largement répartie en France métropolitaine et a été collectée au centre de la France et dans le sud-est. *Dermacentor marginatus* se retrouve à l'Ouest, sur le pourtour méditerranéen, ainsi que dans le département du Rhône. À l'inverse, *Hyalomma marginatum* est peu représentée et a été collectée exclusivement dans le sud, au niveau du pourtour méditerranéen (Figure 34).



Figure 34 : Répartition géographique des tiques majoritairement collectées (Google Maps)

De plus, la composition détaillée en espèces de tiques collectées sur chaque équidé nous permet de constater qu’au sein d’un même groupe de chevaux, les mêmes espèces de tiques sont retrouvées sur les différents équidés. Par exemple, dans le groupe 12, seules des tiques de l’espèce *Hyalomma marginatum* ont été récoltées, que ce soit sur le cheval « Têtatic » (qui en comptait 76) ou sur le cheval vivant au pré avec lui (qui en totalisait 32). De la même manière, seules des tiques *Ixodes ricinus* ont été identifiées pour le cheval « Têtatic » et pour l’autre cheval du groupe 10, qui en comptaient respectivement 48 et 7. Cette constatation est d’autant plus marquée pour les participants ayant récolté de nombreuses tiques. Ce phénomène s’observe également pour les groupes de chevaux d’effectif plus important, comme le groupe 14, au sein duquel une majorité de tiques *Ixodes ricinus* ont pu être identifiées sur les quatre chevaux, suivis par les tiques de l’espèce *Dermacentor reticulatus*. Nous constatons ainsi que l’inégale abondance de tiques sur les équidés s’observe quelle que soit l’espèce de tiques lorsque différentes espèces sont présentes, comme pour les colis 8, 13 et 14 (Tableau 5).

Tableau 5 : Composition en espèces de tiques récoltées sur chaque équidé

Participant	Période de collecte	Cheval	<i>Dermacentor reticulatus</i>	<i>Dermacentor marginatus</i>	<i>Rhipicephalus bursa</i>	<i>Hyalomma marginatum</i>	<i>Ixodes ricinus</i>	<i>Haemaphysalis punctata</i>	<i>Haemaphysalis concinna</i>	Tiques non identifiées	Total
Colis 1	P1	Cheval 1	21	5			2			1	29
		Cheval 2	1								1
		Cheval 3	1				1				2
	P2	Cheval 1	15	1			3			1	20
		Cheval 2					2				2
		Cheval 3				2			1	3	
Colis 2	P1	Cheval 1		8							8
		Cheval 2		1							1
Colis 3	P1	Cheval 1	2	7							9
		Cheval 2	1	5							6
		Cheval 3		2							2
	P2	Cheval 1	1	4	1	1					7
		Cheval 2	1	2							3
		Cheval 3								0	
Colis 4	P1	Cheval 1		1			16				17
		Cheval 2					4				4
		Cheval 3					4				4
		Cheval 4					13				13
Colis 5	P1	Cheval 1					5				5
		Cheval 2					3				3
		Cheval 3									0
		Cheval 4		2			1				3
	Cheval 5		1							1	
	P2	Cheval 1					11				11
		Cheval 2									0
Cheval 3										0	
		Cheval 4				3				3	
		Cheval 5								0	
Colis 6	P1	Cheval 1	3	8							11
		Cheval 2	2								2
Colis 7	P1	Cheval 1					3				3
		Cheval 2		1							1
		Cheval 3					2				2
		Cheval 4					1				1
	Cheval 5					3				3	
	P2	Cheval 1					4				4
		Cheval 2					5				5
Cheval 3				1		1				2	
		Cheval 4				1				1	
		Cheval 5				1				1	
Colis 8	P1	Cheval 1	137	13			12		2		164
		Cheval 2	63	3			4				70
Colis 9	P1	Cheval 1	4								4
		Cheval 2	1								1
		Cheval 3					1				1
		Cheval 4	1				2				3
		Cheval 5	1								1
Colis 10	P1	Cheval 1					48				48
		Cheval 2					7				7
Colis 11	P1	Cheval 1	3	1			5				9
		Cheval 2									0
	P2	Cheval 1					3				3
		Cheval 2								0	
Colis 12	P1	Cheval 1				76					76
		Cheval 2				32					32
Colis 13	P1	Cheval 1	34	12			5				51
		Cheval 2	10	2			1				13
		Cheval 3									0
Colis 14	P1	Cheval 1	22	1			46			1	70
		Cheval 2	4				20			1	25
		Cheval 3	2				5				7
		Cheval 4	19	2			29			1	51



## C. Conclusion

Les collectes de tiques réalisées ont permis de mettre en évidence que dans plusieurs cas, un cheval se distingue du groupe, avec une quantité de tiques fixées sur lui plus importante que sur les autres chevaux. Cependant, cette observation n'est pas faite pour tous les participants, les collectes ne sont pas représentatives de l'ensemble de territoire français et surtout concernent souvent de trop faibles effectifs de tiques pour en tirer des conclusions. Les propriétaires des groupes de chevaux ont souvent mentionné qu'ils constataient une abondance de tiques moindre sur les chevaux contrairement aux années passées. Cette observation pourrait être à mettre en lien avec les dates auxquelles ont été réalisées les collectes. En effet, la plupart ont eu lieu aux mois de mai et juin, qui ont été particulièrement chauds en 2022 et ont ainsi pu être défavorables aux tiques.

Malgré le nombre de collectes limité, le phénomène s'observe dans plusieurs régions de France, avec différentes espèces de tiques. Cette inégale abondance de tiques sur équidés ne semblerait donc pas être liée à l'origine géographique, ni à l'espèce de tique concernée. La suite de l'étude vise ainsi à rechercher les facteurs propres au cheval pouvant expliquer cette inégale abondance de tiques sur les chevaux.

### **III. Recherche de facteurs explicatifs**

Malgré l'effectif limité de l'échantillon précédent, une inégale abondance de tiques sur les équidés d'un même groupe a pu être observée. La suite de l'étude consiste en l'élaboration et l'analyse d'un questionnaire afin d'essayer de mettre en évidence les facteurs liés au cheval « Têtatic » et qui pourraient expliquer cette infestation de tiques plus importante.

#### **A. Matériels et méthodes**

##### **1. Critères d'inclusion et d'exclusion**

Le questionnaire était à destination de propriétaires de groupes d'équidés, allant de deux à cinq chevaux, vivant dans un même pré et pour lesquels le propriétaire a observé de manière subjective qu'un des chevaux présentait une abondance de tiques supérieure aux autres chevaux du groupe.

##### **2. Réalisation du questionnaire**

Le questionnaire a été réalisé grâce à l'outil Google Forms, permettant la création de formulaires en ligne. Il a été élaboré suite à un appel à hypothèses explicatives sur ce phénomène observé par les propriétaires d'équidés, appel réalisé via la page Facebook PiroGoTick, et complété par des hypothèses complémentaires que nous avons jugées opportunes d'ajouter au vue de la bibliographie.

Il se subdivise en six parties distinctes. La première section concernait le propriétaire, tandis que les rubriques 2 à 6 correspondaient chacune à un cheval du groupe. La section 2 concernait le cheval qui a été le plus infesté par les tiques, tandis que les sections 3 à 6 correspondaient aux chevaux 2, 3, 4 et 5 du groupe. Les questions étaient les mêmes pour tous les chevaux, afin de rassembler toutes leurs caractéristiques. Chaque partie comportait vingt-sept questions. À la fin des sections 3 à 5, il était demandé si le propriétaire disposait d'un autre cheval. Dans le cas d'une réponse négative, le questionnaire prenait fin. Si la réponse était positive, une nouvelle

rubrique de questions similaires se présentaient pour recueillir les données sur cet autre cheval (Annexe 5).

Le lien du questionnaire a été publié sur la page Facebook PiroGoTick, ainsi que sur le site de l'INRAE (<https://www6.inrae.fr/pirogotick/Tetatic>). Le questionnaire a été publié le 20 janvier 2022. Les participants ont répondu entre le 20 janvier et le 29 juin 2022.

### ***a) Informations concernant le propriétaire et le groupe de chevaux***

La première partie du questionnaire regroupaient les informations concernant le propriétaire des chevaux ou de la personne s'en occupant : nom, prénom, adresse postale, numéro de téléphone et adresse mail. Le nombre de chevaux dans le groupe, ainsi que leur lieu de vie géographique étaient également à préciser.

### ***b) Sexe, âge, taille***

Ensuite, les premières questions de chaque partie recueillaient les informations concernant l'identité des chevaux, avec leur sexe (hongre, jument ou mâle entier), leur âge (en années) et leur taille (en cm). L'âge et la taille constituaient des questions à réponse libre.

### ***c) Race et robe***

Concernant les questions de race et de robe, des menus déroulants permettaient de proposer un large choix de réponses aux participants. Au total, cinquante-deux races différentes étaient proposées, ainsi qu'une option « Ne sais pas ». Dans le cas où les chevaux étaient issus de croisement, les propriétaires avaient la possibilité de sélectionner la réponse « Croisement de races » et de spécifier ce croisement en réponse ouverte ensuite.

De nombreuses robes étaient suggérées : alezan, alezan brûlé, aubère, bai, bai cerise, bai clair, bai foncé, blanc, café au lait, chocolat, crème, gris, isabelle, noir, pangaré, palomino, pie, rouan et souris. Pour les chevaux de robe pie, les participants devaient ensuite préciser la couleur associée (alezan, bai, noir), ainsi que la répartition

des taches (sabino, overo, tobiano, tovero, balzan). Des explications accompagnaient chaque proposition :

- « Sabino : tête majoritairement blanche, contour des plages très mélangé, déchiqueté et irrégulier »
- « Overo : tête majoritairement blanche, membres souvent colorés, pas de plage blanche sur la ligne du dessus »
- « Tobiano : tête majoritairement colorée, membres souvent blancs, au moins une plage blanche sur la ligne du dessus »
- « Tovero : ensemble quasiment blanc avec quelques places colorées (haut de tête, flancs et/ou base de la queue) »
- « Balzan : tête, ventre et membres blancs, tout le reste coloré ».

Des photographies ont également été mises en ligne sur le site de l'INRAE, à l'adresse <https://www6.inrae.fr/pirogotick/Tetatic#Illustrations>, auxquelles les participants pouvaient se référer grâce à un lien hypertexte disponible dans la question du Google Forms (Figure 35).

### Illustrations pour aider à la description

Voici des photos pour vous aider à décrire la répartition des tâches, la densité des fanons et de la crinière dans le questionnaire.

#### Répartition des tâches



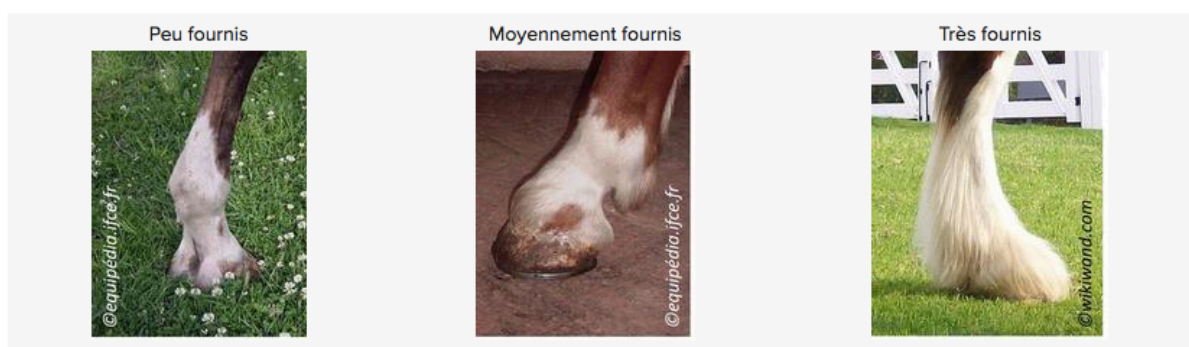
Figure 35 : Explications fournies dans la partie « Tétatic » sur le site de l'INRAE concernant la répartition des tâches des chevaux pie (<https://www6.inrae.fr/pirogotick/Tetatic#Illustrations>)

#### **d) Couleur et épaisseur de la peau, longueur et densité des fanons et de la crinière**

Pour les données concernant la couleur de peau, sept propositions étaient formulées : « blanche », « claire », « champagne (peau rose avec de petites taches noires) », « foncée », « noire », « rose », « autre ou ne sais pas ». L'épaisseur de la peau était à évaluer au niveau de l'encolure du cheval afin de déterminer de manière assez subjective si elle était « fine », « normale » ou « épaisse ».

La longueur de la crinière et celle des fanons constituaient deux questions ouvertes où les participants devaient préciser ces valeurs en centimètres. Pour la densité de la crinière et des fanons, trois réponses étaient possibles : « peu fournis », « moyennement fournis », « très fournis ». Ces questions étant subjectives, un lien hypertexte était fourni dans la question et permettait d'accéder à des photographies en ligne, à la même adresse que celle précisée précédemment (Figure 36).

##### **Densité des fanons**



##### **Densité de la crinière**

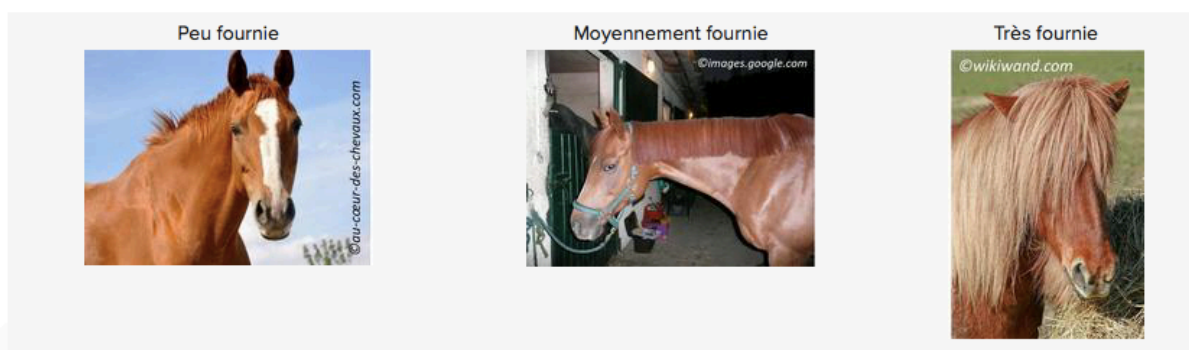


Figure 36 : Photographies montrant différentes densités de crinières et de fanons, disponible dans la partie Têtatic du site internet de l'INRAE (<https://www6.inrae.fr/pirogotick/Tetatic#Illustrations>)

### **e) Nombre de balzanes, marques blanches sur la tête**

Le nombre de balzanes, allant de 0 à 4, était à préciser. Les marques blanches sur la tête du cheval étaient également à renseigner grâce aux propositions suivantes : « Pelote en-tête (marque blanche sur le front », « liste (marque blanche localisée sur le chanfrein) » ou « rien ».

### **f) Problème de santé générale, problèmes dermatologiques, traitement médical et vermifuge**

L'état de santé du cheval constituait un des points importants du questionnaire, qui ne pouvait être qu'une évaluation assez subjective faite par le propriétaire connaissant bien ses équidés depuis longtemps. On s'intéressait ainsi aux problèmes de santé « générale » comme relief de l'état immunitaire général, ainsi qu'aux pathologies dermatologiques pouvant être le signe d'une immunité cutanée différente ou d'un type de peau particulier. Les participants devaient indiquer la fréquence des problèmes de santé affectant le cheval : « jamais », « rares », « fréquents ». Les pathologies ou symptômes devaient ensuite être précisés parmi plusieurs propositions :

- « Syndrome métabolique équin »
- « Syndrome de Cushing »
- « Piroplasmose »
- « Anaplasmosse »
- « Maladie de Lyme »
- « Myopathie par surcharge en polysaccharides »
- « Asthme »
- « Coliques »
- « Boiteries »
- « Amaigrissement »
- « Obésité »
- « Autre ou aucun ».

De la même façon, plusieurs propositions étaient disponibles pour les problèmes dermatologiques :

- « Teigne »
- « Pyodermite superficielle »
- « Dermatophilose (gale de boue) »
- « Allergie aux pollens »
- « Phtyriose (infestation par les poux) »
- « Dermite estivale récidivante »
- « Autre ou aucun ».

Il fallait également préciser si le cheval était vermifugé ou recevait un quelconque traitement et les préciser en cas de réponse positive.

### **g) Parasitisme**

Les propriétaires devaient indiquer si le cheval était sujet aux ectoparasites ou aux insectes, tels que les mouches, les mouches plates, les taons, les moucherons, les moustiques, les poux ou d'autres. Pour cela un tableau permettait d'indiquer la fréquence d'infestation entre « 0 », « + », « ++ » et « +++ » pour chacun de ces parasites (Tableau 6). Une autre question portait sur les réactions du cheval face aux parasites. Deux propositions étaient faites, à savoir « calme » et « réagit fortement ».

*Tableau 6 : Tableau permettant de renseigner les degrés d'infestations des chevaux par différents insectes et ectoparasites dans le questionnaire « Tétatic »*

	0	+	++	+++
Mouches	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mouches plates	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Taons	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Moucherons	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Moustiques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Poux	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Autre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### ***h) Caractère***

Le caractère du cheval était à décrire grâce à de multiples propositions (plusieurs réponses étaient possibles) :

- « Dominant »
- « Dominé »
- « Solitaire »
- « Calme »
- « Stressé, angoissé »
- « Peureux »
- « Téméraire »
- « Curieux »
- « Joueur »
- « Souvent couché »
- « Peu couché ».

### **3. Extraction des données**

L'outil Google Forms permet d'extraire les données sous forme d'un tableau Excel regroupant toutes les réponses. Chaque ligne correspondait à un participant, tandis que chaque colonne correspondait à une des questions du questionnaire (Annexe 6).

### **4. Analyse statistique**

L'ensemble des tests et analyses statistiques ont été réalisés avec les logiciels Microsoft® Excel (version 16.16.27) et R® (version R 3.3.3 GUI 1.69 Mavericks build (7328)).



## B. Résultats du questionnaire

### 1. Nombre de participants et de groupes de chevaux

Cent quatre-vingt-onze questionnaires correspondant à 191 groupes de chevaux ont été remplis, regroupant en tout 567 chevaux. Les groupes de deux chevaux étaient majoritaires, avec 85 groupes sur 191, suivis par 50 groupes de trois chevaux, 33 groupes de quatre chevaux et enfin 23 groupes de 5 chevaux (Figure 37).

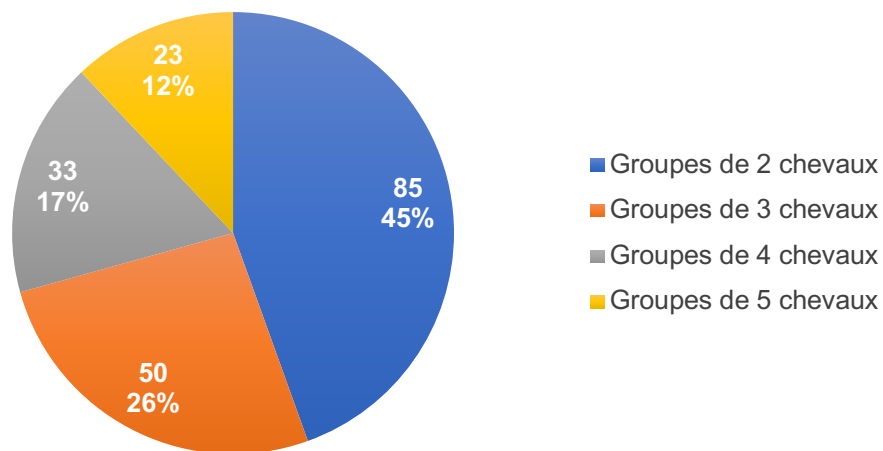


Figure 37 : Répartition des groupes de chevaux ( $n = 191$ ) selon l'effectif total dans le groupe (de 2 à 5 chevaux)

### 2. Description des chevaux étudiés

#### a) Sexe

Parmi les 567 chevaux étudiés, 291 juments, 264 hongres et 12 mâles entiers ont été dénombrés. Nous avons une majorité de juments avec 291 individus, suivies par les hongres avec 264 individus. Les mâles entiers ne constituent qu'une minorité avec 12 individus (Figure 38).

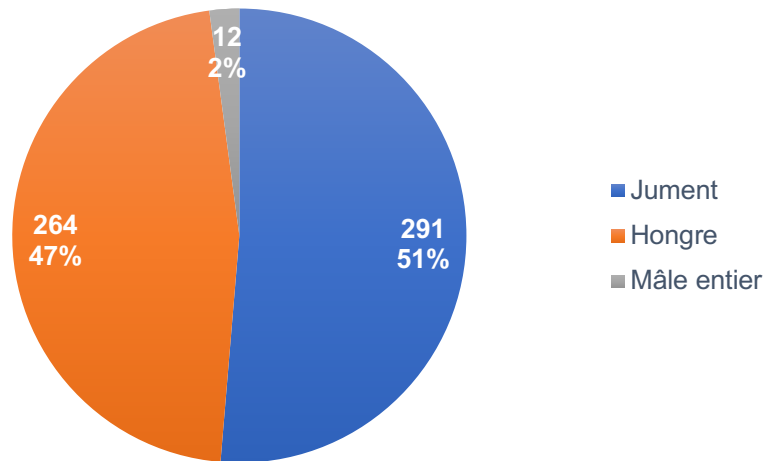


Figure 38 : Répartition des individus selon leur sexe (n = 567)

### b) Âge

L'âge des chevaux inclus dans cette étude s'étendait de moins d'un an à 35 ans, avec une moyenne à 13,7 ans, une médiane à 13 ans, un premier et un troisième quartile respectivement à 7 et 19 ans (Figure 39).

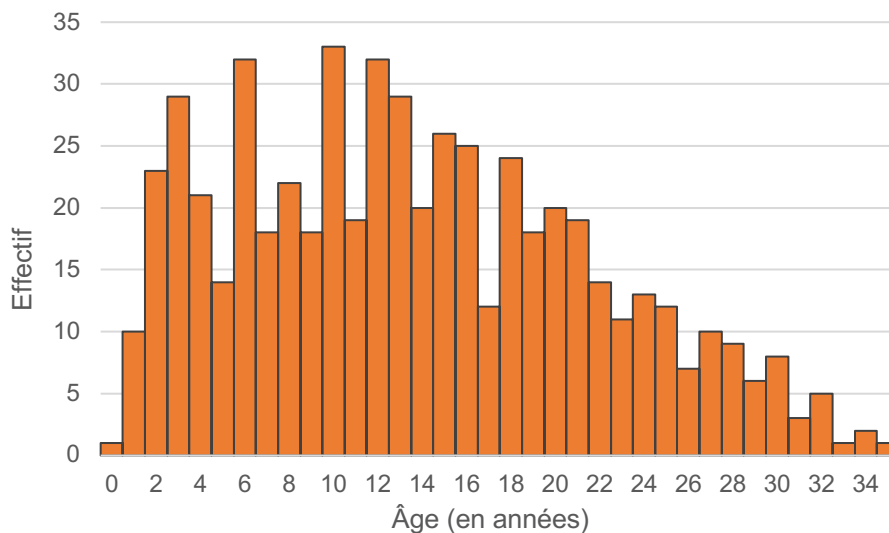


Figure 39 : Distribution des âges de la population étudiée (n = 567)

Afin de simplifier l'analyse statistique par la suite, nous regrouperons les chevaux par catégorie d'âge, en fonction de la médiane, du premier et du troisième quartile :

- Les chevaux âgés de 0 à 7 ans
- Les chevaux âgés de 8 à 13 ans
- Les chevaux âgés de 14 à 19 ans
- Les chevaux âgés de 20 à 35 ans.

### c) Races

Les données de race étaient très variables. Au sein de notre population d'étude, 53 races d'équidés étaient représentées. Cependant, les individus ne sont pas répartis de façon équivalente entre ces différentes races. En effet, le Selle Français est très représenté avec 74 individus sur 567. Les chevaux ONC (Origine Non Constatée) sont quant à eux majoritairement représentés avec 122 individus sur 567. Quarante et un individus sont des Trotteurs français. À l'inverse, de nombreuses races ne sont que très peu représentées, avec un individu voire aucun, tels que les chevaux Holstein, les *Koninklijk Warmbloed Paard Nederland* (KWPN) ou encore les Percherons (Annexe 7). Les races sous-représentées ont été rassemblées sous la dénomination « autre », afin de faciliter l'analyse statistique réalisée ultérieurement. Ainsi toutes les races regroupant moins de 20 individus ont été regroupées dans la catégorie « autre » (Figure 40).

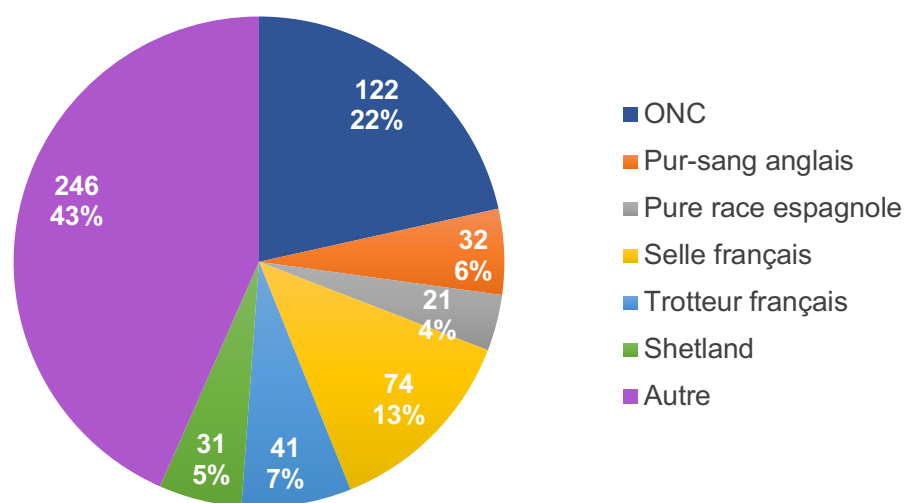


Figure 40 : Répartition des individus de l'étude selon leur race (n = 567)

#### d) Robes

Au sein du questionnaire, dix-neuf robes étaient proposées, ainsi qu'une option « Autre ». Concernant les robes « alezan », « bai » et « noir », elles étaient subdivisées en de nombreuses déclinaisons. Lors de l'analyse, les robes « alezan » et « alezan brûlé » ont été regroupées sous la dénomination « alezan », les robes « bai », « bai cerise », « bai clair » et « bai foncé » sous la dénomination « bai » et les robes « noir » et « noir pangaré » sous l'appellation « noir ». Il apparaît ainsi que la robe « bai » était la plus représentée, avec 158 individus sur 567, suivi de la robe « alezan » avec 111 individus et de la robe « gris » avec 81 individus (Figure 41). Sept des robes proposées sont sous-représentées, avec moins de quinze individus (Annexe 8). Ces robes sont donc regroupées sous la dénomination « autre ».

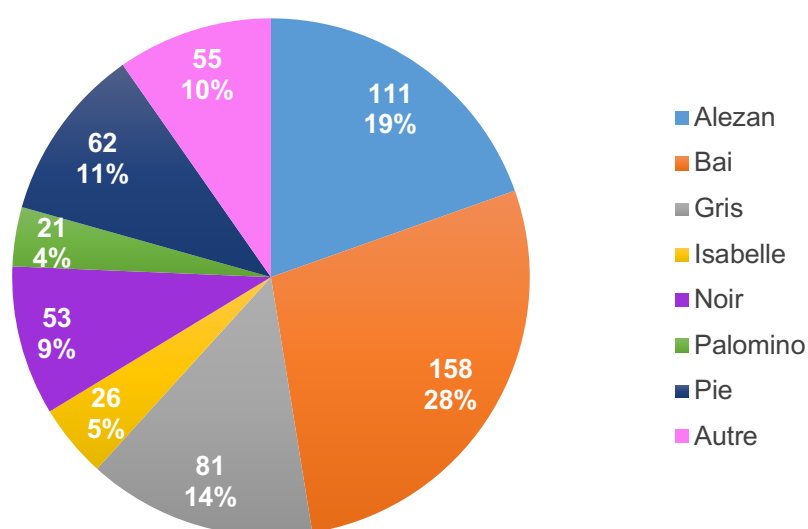


Figure 41 : Répartition des individus selon leur robe (n = 567)

#### e) Taille

Les chevaux inclus dans l'étude mesuraient de 80 à 180 cm au garrot. Leur hauteur moyenne était de 149,4 cm, avec une médiane de 154 cm, un premier et un troisième quartile respectivement de 145 et 161 cm.

### 3. Répartition géographique des chevaux

Les chevaux étudiés se répartissent sur l'ensemble du territoire français métropolitain, avec une majorité de chevaux dans le quart Sud-Est de la France (Figure 42).



Figure 42 : Répartition des lieux de vie des chevaux recensés dans le questionnaire (Google Maps)

## C. Résultats

### 1. Description de l'échantillonnage

Lors de l'analyse statistique du questionnaire, les chevaux ayant une infestation de tiques plus importante ont été appelés les chevaux « Têtatic », tandis que les autres chevaux du groupe sont numérotés de 2 à 5 et regroupés sous le terme « Autres chevaux ».

Les histogrammes empilés à 100% permettent d'objectiver les contributions relatives des chevaux « Têtatic » par rapport aux autres chevaux pour les variables qualitatives. L'approche des variables quantitatives continues s'est faite à l'aide de diagrammes en boîte.

### a) Variables qualitatives

#### i) Sexe, race et robe

Concernant le sexe des chevaux, la part de juments et de hongres sont relativement similaires que ce soit pour les chevaux « Têtatic » ou les autres chevaux. Seuls les mâles entiers semblent plus représentés chez les autres chevaux, cependant les pourcentages respectifs sont faibles, puisqu'ils constituent 2,7% de l'effectif total des autres chevaux et 1% de l'effectif total des chevaux « Têtatic » (Figure 43).

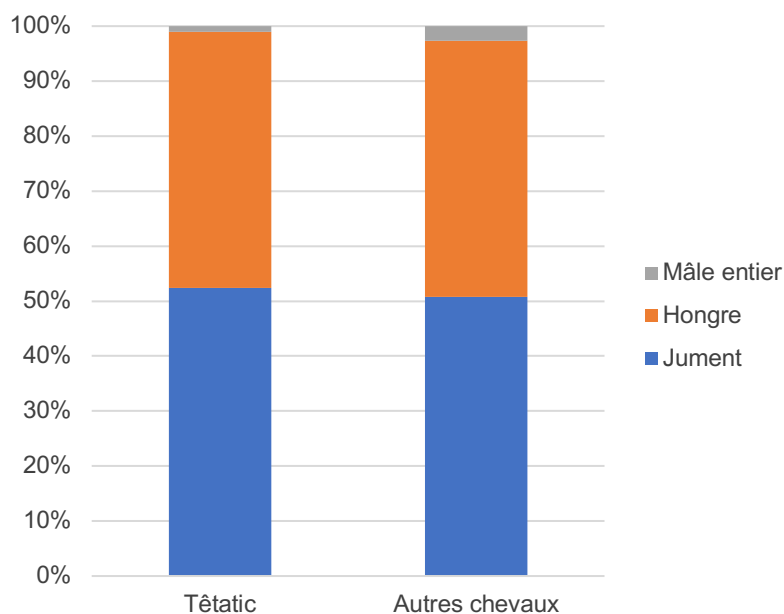


Figure 43 : Proportion relative du sexe des chevaux chez les chevaux « Têtatic » et les autres chevaux

La répartition des races de chevaux entre les chevaux « Têtatic » et les autres chevaux est également relativement similaire. En effet, les pourcentages de Selle français, de Trotteurs français et de chevaux pure race espagnole au sein des deux populations étudiées sont quasiment identiques. Les pourcentages de chevaux ONC et de chevaux appartenant à la catégorie « Autre » sont également proches pour les

chevaux « Têtatic » et les autres chevaux. Les chevaux « Têtatic » semblent cependant compter moins de Shetlands (3,7% contre 6,4%), mais plus de Pur-sang anglais (7,3% contre 4,8%) (Figure 19).

La proportion de chevaux de robe bai est un peu plus importante chez les chevaux « Têtatic » avec 31,9%, que chez les autres chevaux qui en comptent 25,8%. À l'inverse, il y a plus de chevaux alezans chez les autres chevaux que chez les chevaux « Têtatic » (respectivement 21% et 16,8%). Les robes pie, palomino, noir, isabelle et gris sont réparties de manière assez similaire chez les deux populations de chevaux (Figure 44).

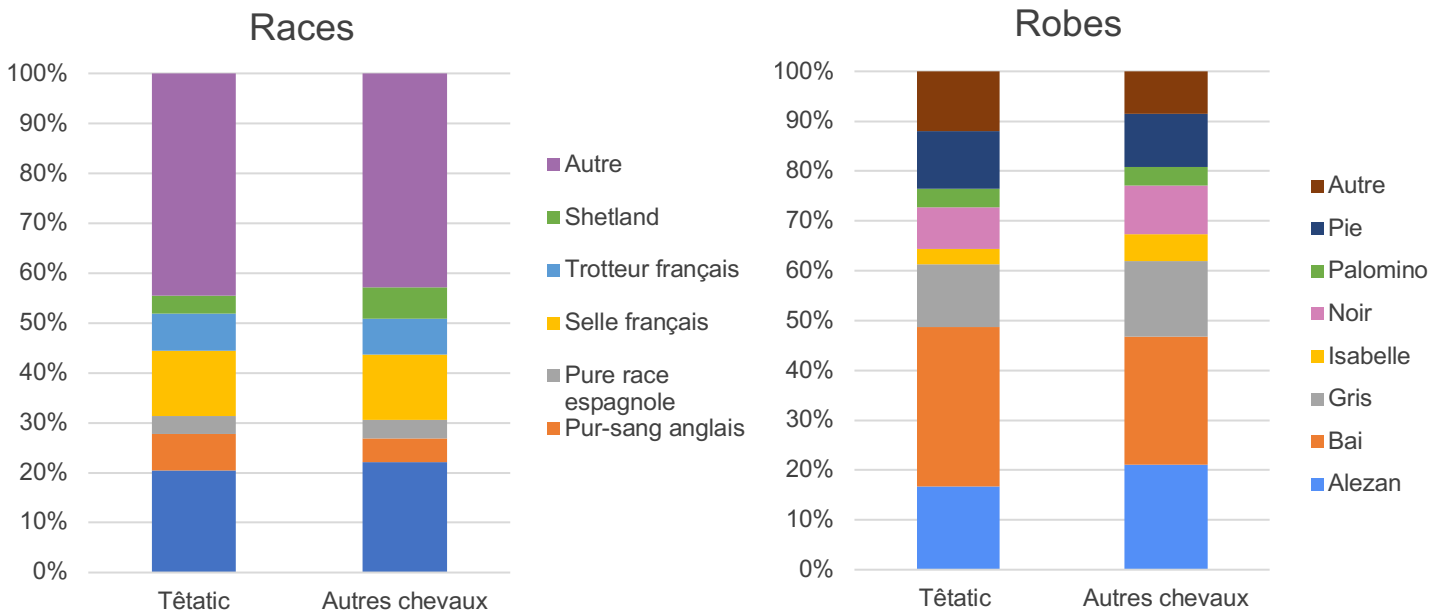


Figure 44 : Proportion relative des différentes races et robes chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux

## ii) Couleur et épaisseur de la peau

Les chevaux « Têtatic » ont un pourcentage d'individus à la peau claire supérieur à celui des autres chevaux (respectivement 27,3% et 22,2%). Cependant, ils ne représentent qu'une minorité, puisque la majorité des individus ont la peau foncée (Figure 45).

Concernant l'épaisseur de la peau, la plupart des chevaux présentent une épaisseur de peau considérée comme normale. Les chevaux « Têtatic » semblent avoir d'avantage d'individus à la peau fine et moins à la peau épaisse que les autres chevaux. En effet, seulement 11,7% des chevaux « Têtatic » ont la peau épaisse, contre 20,8% pour les autres chevaux (Figure 45).

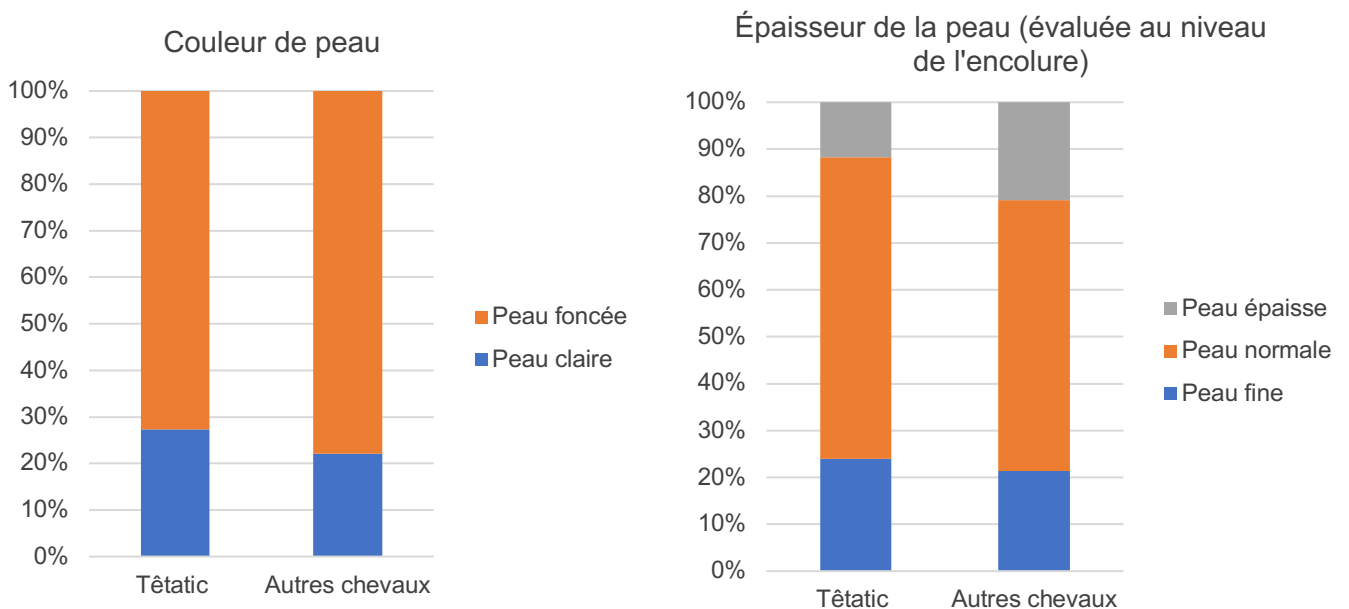


Figure 45 : Proportion relative de la couleur et de l'épaisseur de peau chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux



### iii) Les particularités des robes

La proportion de chevaux « Têtatic » n'ayant aucune balzane est similaire à celle des autres chevaux (respectivement 49,2% et 48,1%). La répartition du nombre de balzanes au sein des deux populations étudiées apparaît assez semblable, laissant supposer que le nombre de balzanes n'influe pas sur l'infestation par les tiques. Il en va de même pour l'absence ou la présence de marques blanches sur la tête des chevaux (Figure 46).

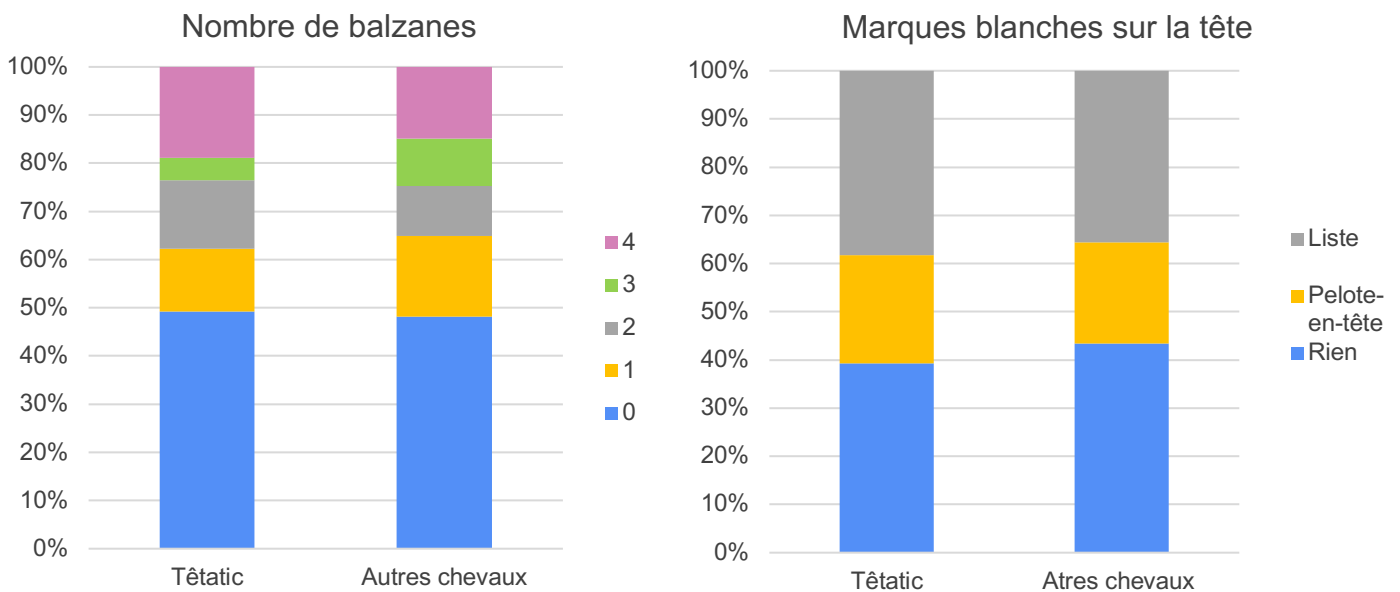


Figure 46 : Proportion relative du nombre de balzanes et de marques blanches sur la tête chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux

#### iv) Densité de la crinière et des fanons

Les densités de la crinière et des fanons ont l'air d'être réparties de manière assez similaire chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux. Ces caractères ne semblent donc pas influencer sur l'abondance des tiques au sein de groupes de chevaux (Figure 47).

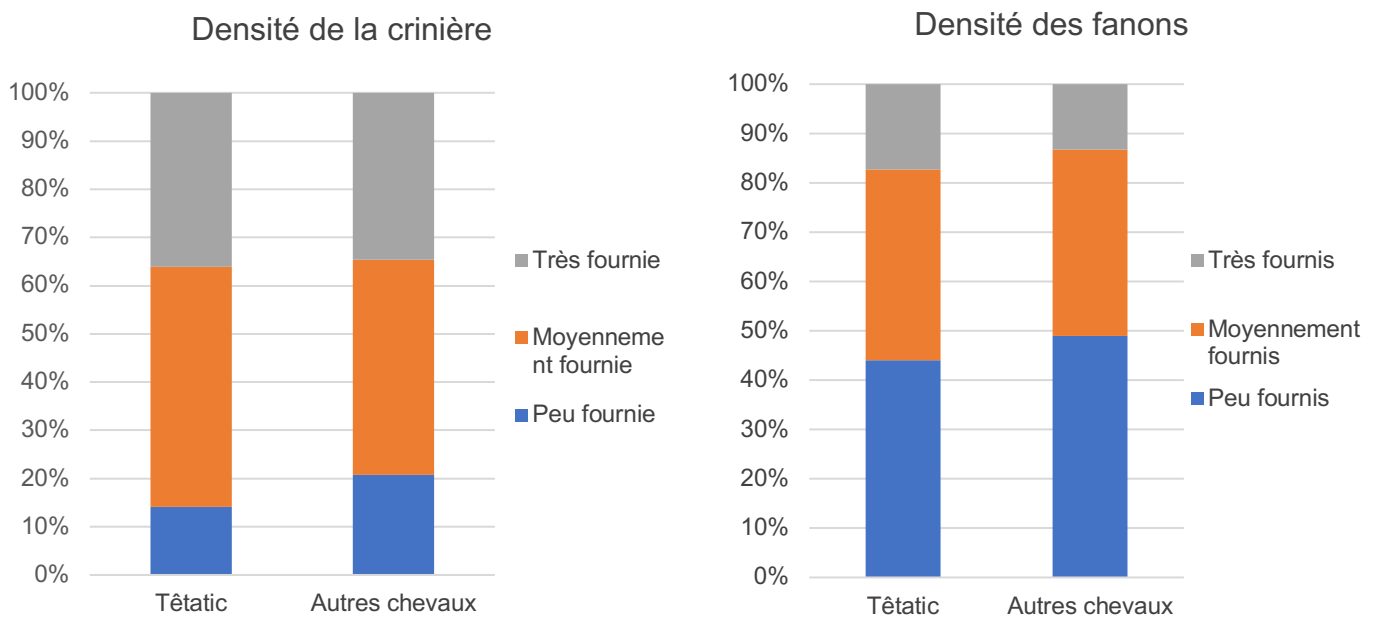


Figure 47 : Proportion relative des différentes densités de crinières et de fanons chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux

## v) État de santé des chevaux

Les chevaux « Têtatic » semblent plus sujets aux problèmes de santé générale, ainsi qu'aux problèmes dermatologiques que les autres chevaux. En effet, 56,6% des chevaux « Têtatic » présentent des problèmes de santé générale de manière fréquente ou occasionnelle (contre 45,7% pour les autres chevaux) et 45% des chevaux « Têtatic » sont affectés par des problèmes dermatologiques (contre 37% pour les autres chevaux) (Figure 48). Les différents symptômes et pathologies affectant les chevaux de l'étude sont relatés en annexe (Annexe 9).

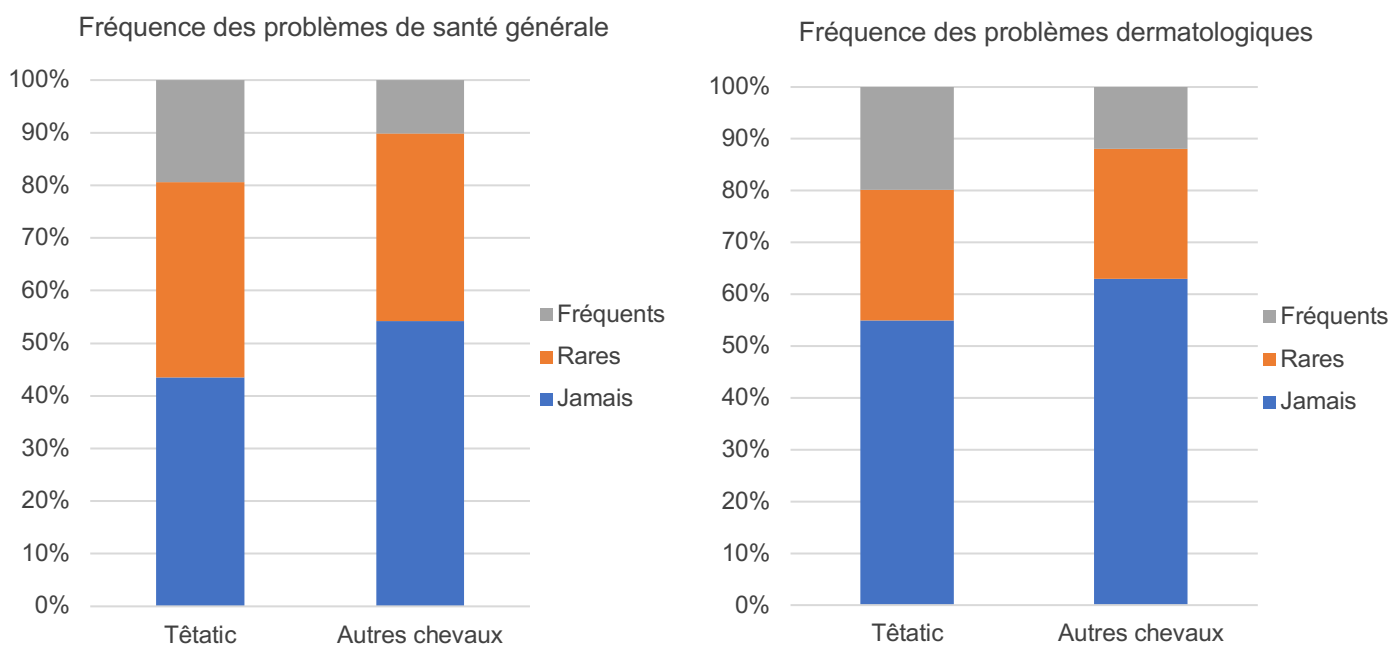


Figure 48 : Proportion relative des fréquences des problèmes de santé générale et dermatologiques chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux

## b) Variables quantitatives continues

### i) Âge

Concernant les chevaux « Têtatic », la moyenne d'âge est de 13 ans, la médiane est de 12 ans, le premier et le troisième quartile sont respectivement de 6 et 18 ans. Pour les autres chevaux, la moyenne d'âge est égale à 14,1 ans, la médiane à 13 ans, le premier quartile à 8 ans et le troisième quartile à 20 ans. Les chevaux « Têtatic » semblent légèrement plus jeunes que les autres chevaux. En effet, 25% de la population « Têtatic » à moins de 6 ans, tandis que 25% de la population des autres chevaux ont moins de 8 ans (Figure 49).

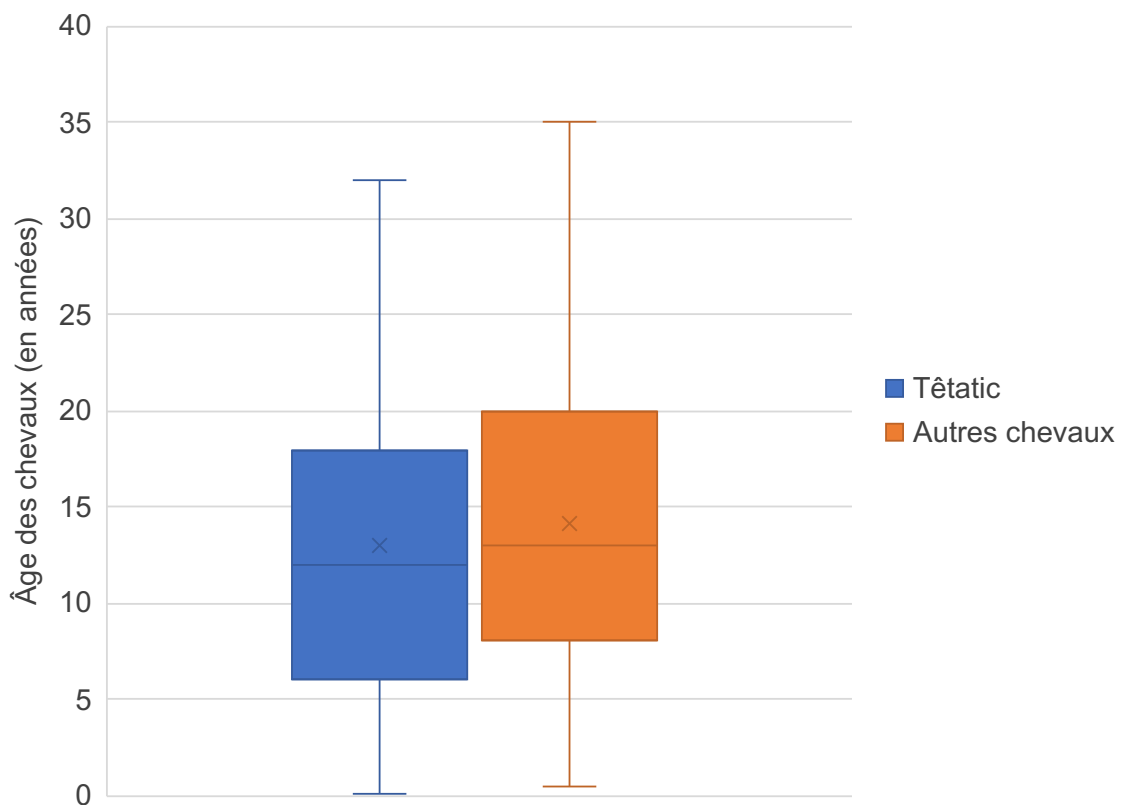


Figure 49 : Distribution de l'âge des chevaux « Têtatic » et des autres chevaux

## ii) Taille

Les chevaux « Têtatic » présentent une taille moyenne de 152,2 cm contre 147,9 cm pour les autres chevaux. La valeur médiane de la taille des équidés « Têtatic » est de 155 cm, le premier quartile de 147 cm et le troisième quartile de 164,5 cm. Concernant les autres chevaux, leur taille médiane est de 152 cm et le premier et le troisième quartile sont respectivement de 142 et 160 cm. Les chevaux « Têtatic » semblent ainsi légèrement plus grands que les autres chevaux (Figure 50).

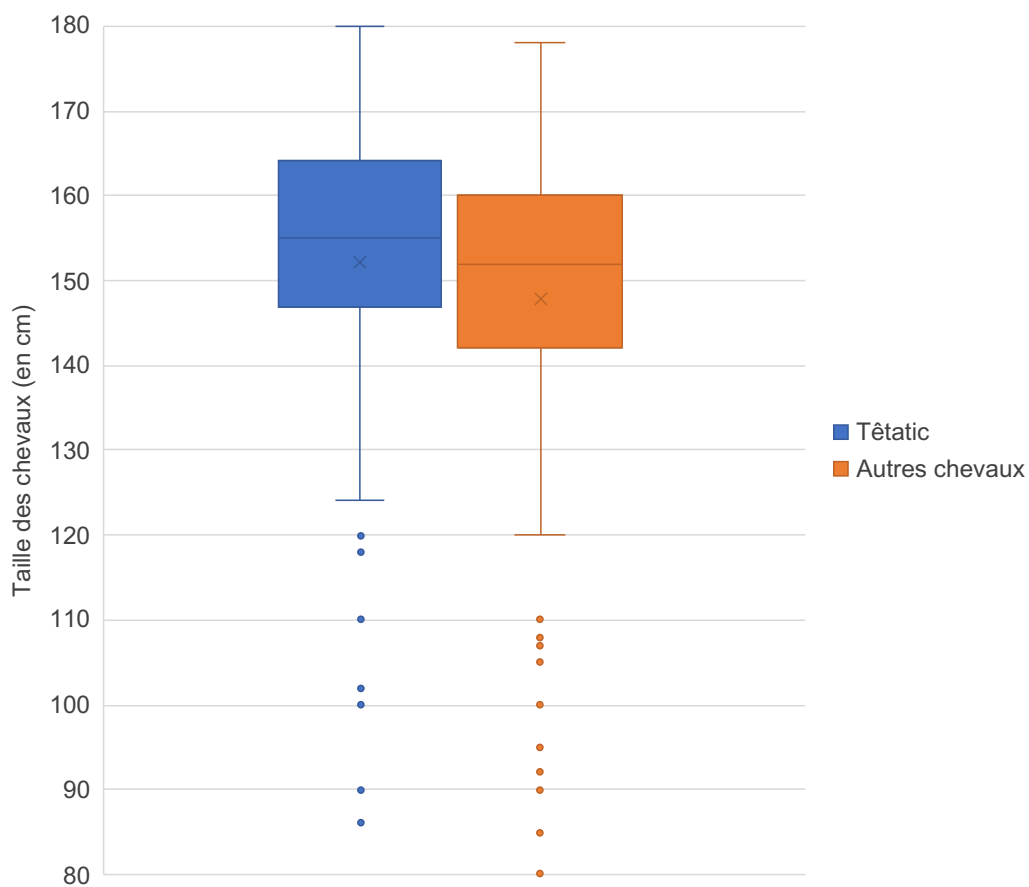


Figure 50 : Distribution de la taille des chevaux « Têtatic » et des autres chevaux

### iii) Longueur de la crinière

Les chevaux « Têtatic » semblent avoir une crinière légèrement plus longue que les autres chevaux, avec des moyennes respectives à 28,4 et 24,9 cm. Cependant, les deux populations ont une médiane et un premier quartile similaires, respectivement égaux à 25 cm et 15 cm. Par ailleurs, les chevaux « Têtatic » présentent un troisième quartile égal à 35 cm, alors qu'il est de 30 cm pour les autres chevaux. Les valeurs de la longueur de crinière des autres chevaux sont moins dispersées que celles des chevaux « Têtatic », avec d'avantage de valeurs proches de la médiane (Figure 51).

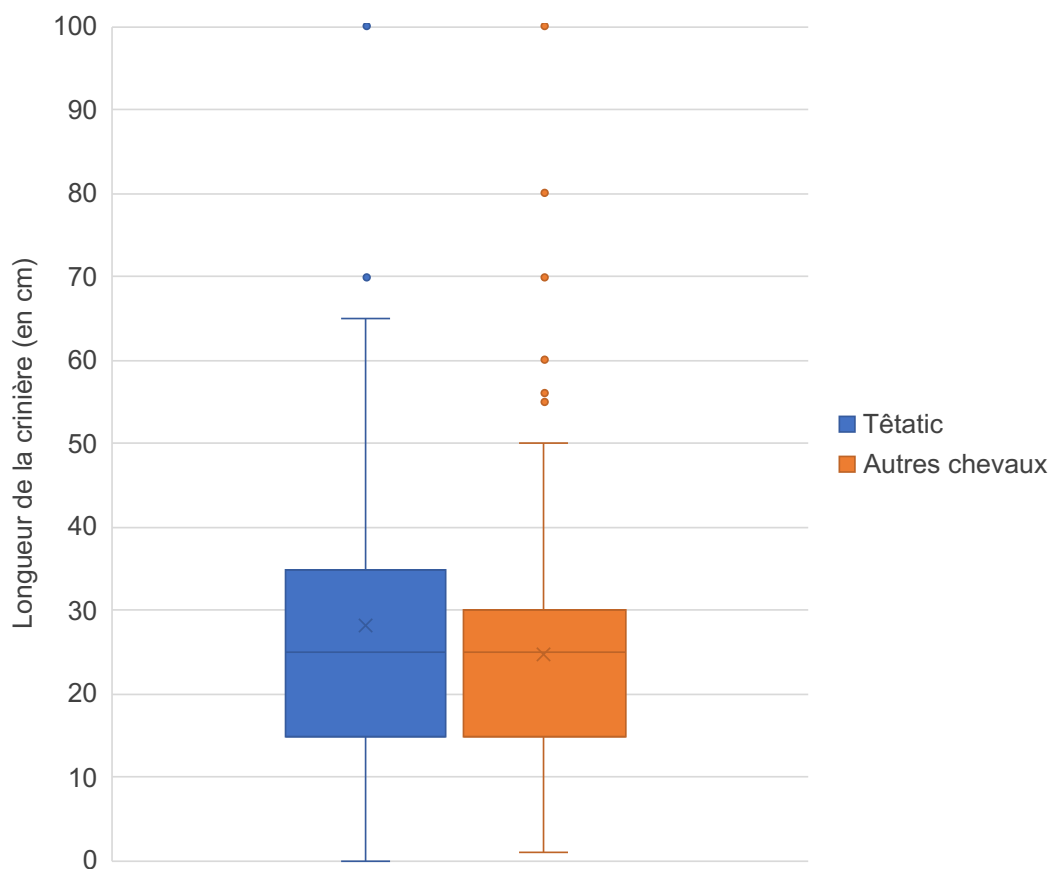


Figure 51 : Distribution de la longueur de la crinière chez les chevaux « Têtatic » et chez les autres chevaux

## 2. Analyse statistique

Cette analyse statistique a été réalisée dans le but d'identifier d'éventuelles variables explicatives de la différence d'abondance de tiques sur les chevaux. Les *p-values* notées en gras sont significatives (*p-value* < 0,05).

### **a) Variables qualitatives**

Pour les variables qualitatives, nous avons utilisé le test du Khi 2 d'indépendance, ainsi que le test exact de Fisher lorsque les effectifs étaient faibles. Une correction de Bonferroni a parfois été nécessaire dans le cas de comparaisons multiples.

#### **i) Sexe, race, robe**

En premier lieu, nous avons voulu tester le lien entre les chevaux ayant une abondance de tiques supérieure par rapport aux autres chevaux et leur sexe, race et robe. Pour les données de race et de robe, nous avons utilisé le test du Khi 2, tandis que pour les données concernant le sexe, un test de Fisher a été nécessaire (Tableau 7).

Tableau 7 : Lien entre sexe, race et robe du cheval et son degré d'infestation par les tiques

		Têtatic	Autres chevaux	<i>p-value</i>
Sexe	Jument	100	191	0,526
	Hongre	89	175	
	Mâle entier	2	10	
Race	ONC	39	83	0,654
	Pur-sang anglais	14	18	
	Pure race espagnole	7	14	
	Selle français	25	49	
	Trotteur français	14	27	
	Shetland	7	24	
Robe	Bai	61	97	0,406
	Alezan	32	79	
	Gris	24	57	
	Noir	16	37	
	Pie	23	40	

Il n'y a pas de lien significatif entre le sexe des chevaux et leur degré d'infestation par les tiques, entre leur race et leur degré d'infestation, ainsi qu'entre leur robe et leur degré d'infestation.



## ii) Couleur et épaisseur de la peau

Nous avons ensuite cherché s'il existait un lien entre la couleur de la peau des chevaux, l'épaisseur de leur peau (évaluée au niveau de l'encolure) et leur degré d'infestation par les tiques. Toutes ces données ont été analysées à l'aide du test de Khi 2 (Tableau 8).

Tableau 8 : Lien entre couleur de la peau, épaisseur de la peau des chevaux et leur degré d'infestation par les tiques

		Têtatic	Autres chevaux	p-value
Couleur de la peau	Claire	48	80	0,231
	Foncée	128	281	
Épaisseur de la peau	Fine	41	76	<b>0,037</b>
	Normale	110	205	
	Épaisse	20	74	

Il n'y a pas de lien significatif entre la couleur de la peau des chevaux et leur degré d'infestation par les tiques. L'épaisseur de peau du cheval semble significativement liée au fait d'avoir une abondance de tiques différente ( $p\text{-value} < 0,05$ ). Cependant, l'étude du lien entre l'épaisseur de la peau du cheval et son degré d'infestation par les tiques correspond à des comparaisons multiples. Afin de vérifier s'il existe un vrai lien, nous appliquons la correction de Bonferroni pour corriger le seuil de significativité. Le nouveau seuil appliqué est alors de 0,017 (Tableau 9).

Tableau 9 : Lien entre épaisseur de la peau du cheval et son degré d'infestation par les tiques dans le cadre de comparaison multiples

Épaisseur de la peau	Têtatic	Autres chevaux	p-value
Fine	41	76	1
Normale	110	205	
Fine	41	76	0,041
Épaisse	20	74	
Normale	110	205	0,018
Épaisse	20	74	

Les *p-values* calculées sont toutes supérieures à 0,017, il n'y aurait donc pas de lien significatif entre l'épaisseur de peau des chevaux et leur degré d'infestation par les tiques en appliquant la correction de Bonferroni très restrictive. Nous pouvons noter toutefois une tendance à une plus faible infestation par les tiques lorsque la peau est épaisse en comparaison des chevaux à peau d'épaisseur normale.

### iii) Les particularités des robes

Dans le questionnaire, les participants précisait quels types de marques blanches les chevaux possédaient sur le chanfrein, ainsi que le nombre exact de balzanes. Lors de l'analyse statistique, nous nous intéressons à la présence ou à l'absence de ces deux caractères. L'analyse a été réalisée grâce au test du Khi 2 (Tableau 10).

Tableau 10 : Lien entre présence de marques blanches sur la tête, de balzanes et degré d'infestation par les tiques

		Têtatic	Autres chevaux	p-value
Marques blanches sur la tête	Oui	116	213	0,400
	Non	75	163	
Balzanes	Oui	97	195	0,878
	Non	94	181	

Dans l'échantillon étudié, le nombre d'individus possédant des marques blanches, ainsi que ceux possédant des balzanes parmi les chevaux « Têtatic » n'était pas significativement différent du nombre d'individus possédant des marques blanches ou des balzanes parmi les autres chevaux. Les caractères « marques blanches sur la tête » et « balzanes » ne semblent donc pas influencer sur l'abondance de tiques, les *p-values* étant respectivement de 0,400 et 0,878.

#### iv) Densité de la crinière et des fanons

Nous avons également testé le lien entre l'abondance de tiques chez les chevaux et la densité de leurs crinières et fanons. Nous avons utilisé le test exact de Fisher pour étudier ces données (Tableau 11).

Tableau 11 : Lien entre densité de la crinière et des fanons et degré d'infestation par les tiques

		Têtatic	Autres chevaux	<i>p-value</i>
Densité de la crinière	Peu fournie	27	78	0,152
	Moyennement fournie	95	168	
	Très fournie	69	130	
Densité des fanons	Peu fournis	84	184	0,357
	Moyennement fournis	74	142	
	Très fournis	33	50	

Il ne semble pas y avoir de lien significatif entre la densité de la crinière des chevaux et leur niveau d'infestation par les tiques, ainsi qu'entre la densité des fanons des chevaux et leur degré d'infestation par les tiques.

## v) État de santé des chevaux et prise de vermifuge

Nous avons testé le lien entre l'état de santé du cheval et le fait qu'il porte plus de tiques que les autres chevaux, ainsi que le lien entre la prise de vermifuge et le degré d'infestation par les tiques grâce au test du Khi 2 (Tableau 12).

Tableau 12 : Lien entre prise de vermifuge, fréquence des problèmes de santé générale et des problèmes dermatologiques et degré d'infestation par les tiques

		Têtatic	Autres chevaux	<i>p-value</i>
Vermifuge	Oui	178	346	0,741
	Non	13	30	
Fréquence des problèmes de santé	Jamais	83	204	<b>0,004</b>
	Rares	71	134	
	Fréquents	37	38	
Fréquence des problèmes dermatologiques	Jamais	105	237	<b>0,033</b>
	Rares	48	94	
	Fréquents	38	45	

Il ne semble pas y avoir de lien significatif entre la prise de vermifuge et l'abondance de tiques sur les équidés. La fréquence des problèmes de santé et la fréquence des problèmes dermatologiques semblent significativement liées au fait d'avoir un degré d'infestation par les tiques différent ( $p\text{-value} < 0,05$ ). Cependant, l'étude du lien entre ces fréquence et l'abondance de tiques sur les chevaux correspond à des comparaisons multiples. Afin de vérifier s'il existe un vrai lien, nous appliquons la correction de Bonferroni pour corriger le seuil de significativité. Le nouveau seuil appliqué est alors de 0,0167 (Tableau 13).

Tableau 13 : Lien entre fréquence des problèmes de santé générale, fréquence des problèmes dermatologiques et abondance de tiques sur les chevaux dans le cadre de comparaisons multiples

		Têtatic	Autres chevaux	<i>p-value</i>
Fréquence des problèmes de santé	Jamais	83	204	0,212
	Rares	71	134	
	Jamais	83	204	<b>0,001</b>
	Fréquents	37	38	
	Rares	71	134	0,036
	Fréquents	37	38	
Fréquences de problèmes dermatologiques	Jamais	105	237	0,575
	Rares	48	94	
	Jamais	105	237	<b>0,013</b>
	Fréquents	38	45	
	Rares	48	94	0,100
	Fréquents	38	45	

Il semble y avoir un lien significatif entre la fréquence des problèmes de santé et le degré d'infestation des chevaux par les tiques. En effet, les chevaux « Têtatic » ont plus fréquemment des problèmes de santé générale, ainsi que des problèmes dermatologiques que les autres chevaux.

## vi) Comportement et caractère

Enfin, nous avons voulu vérifier s'il existait un lien entre la position du cheval, son comportement face aux parasites externes et son degré d'infestation par les tiques. Pour cela, nous avons utilisé le test du Khi 2 (Tableau 14).

Tableau 14 : Lien entre la position du cheval, son comportement face aux parasites externes et son degré d'infestation par les tiques

		Têtatic	Autres chevaux	<i>p-value</i>
Position du cheval	Souvent couché	43	82	0,836
	Peu couché	67	118	
Comportement face aux parasites externes	Calme	139	268	0,783
	Réagit fortement	52	108	

Il ne semble pas y avoir de lien significatif entre la position du cheval et son degré d'infestation par les tiques, ni entre son comportement face aux parasites externes et son degré d'infestation par les tiques.

### ***b) Variables quantitatives continues***

Afin de simplifier l'analyse statistique des variables quantitatives continues, des classes ont été formées afin de regrouper les chevaux par catégorie. L'analyse statistique a ensuite été réalisée grâce au test du Khi 2 et au test exact de Fisher lorsque les effectifs étaient faibles.

### i) Âge

Nous avons voulu tester le lien entre les chevaux ayant une abondance de tiques supérieure par rapport aux autres chevaux et leur âge. Pour cela, nous avons utilisé le test du Khi 2 (Tableau 15).

Tableau 15 : Lien entre âge du cheval et son degré d'infestation par les tiques

		Têtatic	Autres chevaux	<i>p-value</i>
Âge (en années)	[0-7]	58	90	0,274
	[8-13]	50	103	
	[14-19]	43	82	
	[20-35]	40	101	

Il ne semble pas y avoir de lien significatif entre l'âge des chevaux et leur degré d'infestation par les tiques.

### ii) Taille

Nous nous sommes ensuite intéressés au lien entre la taille du cheval et son degré d'infestation par les tiques, grâce à un test du Khi 2 (Tableau 16).

Tableau 16 : Lien entre taille du cheval et son degré d'infestation par les tiques

		Têtatic	Autres chevaux	<i>p-value</i>
Taille (en cm)	[80-145]	42	126	<b>0,041</b>
	[146-154]	45	81	
	[155-161]	51	80	
	[162-180]	52	88	

La taille du cheval semble être significativement liée à son infestation par les tiques ( $p\text{-value} < 0,05$ ) (Tableau 16). Cependant, l'étude du lien entre la taille du cheval et la présence de tiques sur son corps correspond à des comparaisons multiples. Afin de vérifier s'il existe un vrai lien, nous appliquons la correction de Bonferroni pour



corriger le seuil de significativité. Le nouveau seuil appliqué est alors de 0,013 (Tableau 17).

Tableau 17 : Lien entre taille du cheval et son degré d'infestation par les tiques dans le cadre de comparaisons multiples

Taille (cm)	Têtatic	Autres chevaux	<i>p-value</i>
[80-145]	42	126	0,063
[146-154]	45	81	
[80-145]	42	126	0,014
[155-161]	51	80	
[80-145]	42	126	0,029
[162-180]	52	88	
[146-154]	45	81	0,686
[155-161]	51	80	
[146-154]	45	81	0,909
[162-180]	52	88	
[155-161]	51	80	0,859
[162-180]	52	88	

Les *p-values* trouvées sont toutes supérieures à 0,013, il n'y a donc pas de lien statistique significatif entre la taille des chevaux et leur degré d'infestation par les tiques (Tableau 17).

### iii) Longueur de la crinière et des fanons

Nous avons également testé le lien entre l'abondance de tiques plus élevée chez les chevaux et la longueur de leurs crinières et fanons. Nous avons pour cela utilisé le test du Khi 2 (Tableau 18).

Tableau 18 : Lien entre longueur de la crinière et des fanons et degré d'infestation par les tiques

		Têtatic	Autres chevaux	<i>p-value</i>
Longueur de la crinière	[0-25]	91	206	0,120
	[26-50]	78	137	
	[51-75]	10	9	
	[76-100]	3	3	
Longueur des fanons	[0-10]	152	329	0,308
	[11-20]	16	21	
	[21-30]	2	2	
	[31-40]	0	2	

Il ne semble pas y avoir de lien significatif entre la longueur de la crinière des chevaux et leur degré d'infestation par les tiques, ni entre la longueur des fanons des chevaux et leur degré d'infestation par les tiques.

### 3. Bilan

Le questionnaire « Têtatic » a permis de rassembler de nombreuses informations sur l'ensemble des chevaux étudiés. Pour résumer, deux variables sont statistiquement liées à la présence d'une quantité de tiques plus importantes sur les chevaux :

- Les problèmes de santé générale : les chevaux ayant fréquemment des problèmes de santé générale ont plus de tiques que les autres chevaux.
- Les problèmes dermatologiques : les chevaux ayant fréquemment des problèmes dermatologiques ont plus de tiques que les autres chevaux.

## IV. Discussion

### A. Collecte et identification des tiques

Le recrutement des candidats a demandé beaucoup de temps pour être réalisé correctement. Certains participants n'ont donc été contactés que tardivement, ce qui a repoussé le début des collectes de tiques. La période de collecte ne pouvait de plus pas être étendue au-delà de fin juin 2022 pour des contraintes liées à la thèse.

Par ailleurs, les durées de collectes ont été très variables selon les participants, conduisant à des échantillons plus ou moins riches en tiques, également en lien avec les dates auxquelles elles ont eu lieu. La fréquence de collecte était choisie librement par le participant. Afin d'être plus précis, cette dernière aurait pu être imposée, mais aurait pu limiter le nombre de participants de par la contrainte imposée.

Seule une minorité de participants a réalisé une seconde collecte. Il aurait été bénéfique de disposer de deux collectes de tiques pour tous les groupes de chevaux, afin d'observer si l'inégale abondance de tiques sur les chevaux se répétait sur des périodes différentes, avec éventuellement d'autres espèces de tiques, et si le cheval « Têtatic » restait inchangé. Cette observation a néanmoins été faite pour le groupe 1 de chevaux, pour lequel le cheval « Têtatic » demeurait le même et ce malgré des collectes espacées de presque deux mois.

Les échantillons étaient quelques fois pauvres en tiques, ce qui a limité l'analyse statistique. La période de collecte parfois tardive, associée à une météorologie peu encline à la présence de tiques, avec des températures plus chaudes que d'accoutumées, ont pu limiter la présence de tiques, comme les participants l'ont souvent mentionné. En effet, le mois de mai 2022 a été enregistré comme le plus chaud en France depuis l'après-guerre. Un excédent thermique de +2,7°C a pu être relevé (Séchet et al. 2022a). De la même manière, le mois de juin 2022 a permis d'enregistrer une anomalie de +2,3°C par rapport aux températures moyennes enregistrées entre 1991 et 2020 (Séchet et al. 2022b).

Concernant la répartition géographique des chevaux inclus dans l'étude, la moitié nord du territoire français n'a été que peu couverte, contrairement à la moitié sud de la France et notamment aux régions du centre. D'autres participations auraient été utiles afin de couvrir au mieux le territoire français métropolitain. Cependant, malgré un échantillonnage restreint, nous constatons que les proportions des différentes espèces identifiées sont les mêmes que celles comptabilisées lors de l'étude PiroSentinel, dont le but était de collecter, identifier et cartographier les espèces tiques présentes sur les chevaux en France. Les résultats obtenus suite aux collectes effectuées sur 204 sites lors de ce projet sont similaires aux proportions des différentes espèces de tiques collectées sur les 14 sites de notre étude. Nous avons donc pu couvrir la diversité de tiques existantes en France métropolitaines malgré le faible nombre de collectes réalisées. Seule *Haemaphysalis punctata* n'a pu être retrouvée lors de notre étude, mais les résultats du projet PiroSentinel nous indique qu'elle n'est que peu présente en France, avec seulement 1,5% (Tableau 19) (Malandrin et al. 2022). Une quantité minimale de tiques s'est retrouvée non identifiables dans notre étude car les échantillons étaient trop abimés.

Tableau 19 : Comparaison des proportions des différentes espèces de tiques récoltées et identifiées lors des projets Tétatic et PiroSentinel

	Tétatic n = 829 – 14 sites	PiroSentinel n = 76 133 – 204 sites
<i>D. reticulatus</i>	42,1%	47,3%
<i>I. ricinus</i>	33,7%	26,2%
<i>D. marginatus</i>	9,9%	14,4%
<i>H. marginatum</i>	13,1%	8,5%
<i>R. bursa</i>	0,2%	1,1%
<i>H. concinna</i>	0,2%	1%
<i>H. punctata</i>	0%	1,5%

D'autre part, le cheval « Têtatic » était identifié dès le départ par le propriétaire, suivant ses observations et sentiment passés. Néanmoins, certaines collectes ont permis de constater que les impressions du propriétaire ne correspondaient pas toujours à la réelle abondance de tiques sur les différents chevaux. Cela pourrait s'expliquer notamment par une durée de collecte trop courte avec trop peu de tiques récoltées, ou alors par le changement de cheval « Têtatic » au sein d'un groupe. Ce constat nous permet de suspecter un biais dans certaines réponses fournies au questionnaire, dans le cas où le cheval « Têtatic » n'aurait pas été correctement identifié.

## **B. Construction du questionnaire**

Le questionnaire a peu évolué après sa publication. Une seule question a été rajoutée afin de compléter les informations concernant le propriétaire des équidés, à savoir son adresse mail, permettant de le contacter plus facilement si nous avons besoin d'informations supplémentaires.

Dans un premier temps, l'élaboration du questionnaire a nécessité un appel aux propriétaires de groupes d'équidés, afin qu'ils nous fassent part de leurs hypothèses concernant les différences d'abondance de tiques sur leurs chevaux. Les recherches bibliographiques ont permis de compléter le contenu du questionnaire avec ce qui nous semblait pouvoir agir sur l'infestation des chevaux par les tiques. Cependant, la bibliographie ne renseignait que peu sur les facteurs reproductibles ayant une influence significative, l'ensemble des questions a donc été établi de manière à être le plus large possible. Certaines précisions ont tout de même été oubliées, telles que laisser la possibilité aux participants de renseigner le type de pathologies dont souffrait leur cheval lorsqu'ils choisissaient la réponse « autre » à la question correspondante. Les questions avec menus déroulants ont été privilégiées afin de limiter les questions ouvertes. Concernant la question sur la race de l'équidé, malgré le large panel de races proposées, certaines ont été omises.

Différentes informations auraient pu permettre de gagner en précision. En effet, les déplacements et localisations de chaque cheval au sein du pré pourraient influencer la quantité de tiques fixées, étant donné que ces dernières ne semblent pas réparties dans l'espace de manière uniforme. En effet, Agoulon et ses collègues ont constaté que la répartition et la densité des tiques de l'espèce *Ixodes ricinus* étaient significativement liées à l'indice de végétation (Agoulon et al. 2012). L'utilisation de colliers de repérage GPS (*Global Positioning System*) ou VHF (*Very High Frequency*) pourraient permettre de fournir des informations spatiales et temporelles précises concernant le déplacement des chevaux, permettant d'identifier s'ils fréquentent des zones avec des densités de tiques plus importantes (Collins et al. 2014). Ne pouvant recueillir de telles données, nous nous sommes uniquement intéressés au fait qu'un cheval reste couché plus ou moins longtemps. En effet, Stachurski a mis en évidence que les tiques de l'espèce *Amblyomma variegatum* infestant les bovins d'Afrique de l'Ouest gagnaient leurs sites de prédilection lorsque les bovins étaient couchés. Les tiques pouvaient alors se déplacer des pieds de l'animal vers des sites où elles se fixaient définitivement (Stachurski 2000).

Il aurait également pu être instructif de savoir à quelle fréquence les chevaux se toillaient. Comme mentionné dans la littérature, le comportement de toilettage peut moduler la quantité d'ectoparasites fixés (Stachurski 2000). Le toilettage mutuel dépend également de la place du cheval au sein du groupe, de la composition du groupe et des liens sociaux établis (Sigurjónsdóttir et al. 2003), ainsi un cheval plus isolé au sein d'un groupe pourrait moins bénéficier de toilettage mutuel.

Par ailleurs, le cheval « Têtatic » était désigné par le propriétaire, de manière subjective. Afin d'améliorer l'exactitude de ces informations, il aurait été intéressant d'avoir des données quantitatives concernant les tiques présentes sur chaque cheval, de la même manière que dans la première partie de notre étude. Néanmoins, il aurait été compliqué d'intégrer cette demande au sein du questionnaire.

## C. Réponses au questionnaire

Les participants étaient obligés de répondre à toutes les questions, cependant certaines interrogations laissaient la possibilité de répondre « autre » ou « ne sais pas », lorsque les propriétaires n'étaient pas en mesure d'apporter la réponse adéquate. Certaines données étaient donc manquantes.

Un des premiers problèmes constatés est que le nombre de chevaux dans le groupe renseigné dans la première section du questionnaire ne correspondait parfois pas au nombre de sections remplies par cheval, nécessitant de vérifier manuellement la correspondance entre ces données.

Les questions à réponse libre se sont révélées difficiles à exploiter. Par exemple, concernant la prise de vermifuges, les participants pouvaient renseigner le nom du vermifuge administré au cheval. Néanmoins les réponses étaient très disparates, car certains candidats précisaient la dernière molécule administrée, alors que d'autres mentionnaient la fréquence d'administration ou encore l'ensemble des molécules données sur l'année. Pour les questions demandant la longueur de la crinière et des fanons en centimètres, quelques réponses mentionnaient des longueurs « courtes », « longues » ou « normales », rendant l'exploitation de la donnée impossible, car une donnée numérique était attendue. Malgré le large panel de races proposé, certaines races, comme le Pottok, ont été oubliées. Les participants l'ont cependant spécifié dans la question concernant les croisements de races. Par ailleurs, lorsque le cheval était issu d'un croisement, les précisions apportées par les propriétaires étaient très variées et ne permettaient pas forcément de prendre en considération ces données dans l'analyse. D'autres informations, telles que le caractère du cheval ou son degré d'infestation par différents parasites externes se sont révélées difficilement exploitables.

## **D. Démarche statistique**

Lors de notre étude, nous avons décidé d'utiliser des tests univariés, à savoir le test du Khi 2 et le test exact de Fisher lorsque les effectifs étaient trop faibles. Lors de comparaisons multiples donnant lieu à un résultat significatif, la correction de Bonferroni était appliquée afin d'ajuster le seuil de significativité pour chacune des corrélations.

L'avantage de ces tests est leur facilité d'utilisation et d'interprétation, car ils permettent de mettre en exergue les tendances statistiques fortes entre la variable à expliquer et les différentes variables explicatives étudiées. Néanmoins, ils ne permettent pas d'étudier les liens entre les différentes variables et de mettre en évidence d'éventuelles corrélations entre ces variables, une étude des corrélations entre variables aurait pu apporter davantage d'informations.

Par ailleurs, afin de faciliter l'analyse statistique, certaines variables ont dû être simplifiées. Par exemple, les robes et races de chaque cheval étaient détaillées, mais les effectifs étant parfois faibles, nous avons décidé de regrouper les catégories peu représentées dans une catégorie « autre ». Il en va de même pour la couleur de peau des chevaux, ainsi que pour le nombre de balzanes et la description des marques blanches sur la tête. Ces deux dernières données ont été analysées sous forme de deux variables, « présence » ou « absence » de balzanes d'une part et de marques blanches d'autre part. Les variables quantitatives continues, telles que l'âge, la taille et la longueur de la crinière ont été regroupées par classe afin de faciliter l'analyse.

## **E. Analyses descriptives**

Afin de décrire au mieux la population étudiée, plusieurs graphiques ont été utilisés. Des histogrammes empilés à 100% ont été réalisés dans le cadre des variables qualitatives, afin d'opposer les chevaux « Têtatic » aux autres chevaux. Concernant les variables quantitatives, des diagrammes en boîte ont été proposés. Ainsi, l'utilisation de toutes les données récoltées a conduit à la réalisation de



nombreux graphiques. Cependant, peu de critères significatifs sont ressortis distinctement, suite à cette première étude des données.

Notre analyse a opposé tous les chevaux « Têtatic » d'un côté à tous les autres chevaux de l'autre. Ainsi, nous n'avons pas pu opposer un cheval « Têtatic » à ses propres compagnons de pré, d'autant plus que les groupes n'étaient pas composés du même nombre de chevaux. Cela peut donc constituer un biais dans l'analyse, qu'il serait intéressant d'investiguer par la suite. Par ailleurs, un cheval « Têtatic » ne le serait peut-être pas s'il était changé de groupe et donc de compagnons de pré.

De plus, nous constatons que les deux populations étudiées, d'un côté les 191 chevaux « Têtatic », de l'autre les 376 autres chevaux, sont finalement assez similaires malgré le nombre important de critères renseignés et la diversité des combinaisons possibles. L'échantillonnage réalisé et les données collectées semblent donc satisfaisants et corroborent nos résultats statistiques. Afin de se libérer des contraintes liées aux critères physiques, il pourrait être envisageable de mener une étude similaire au sein d'un élevage de chevaux de races pures, disposant donc de morphologies similaires et évoluant dans un même environnement, au sein duquel des chevaux « Têtatic » pourraient être identifiés. Cela permettrait de réduire le nombre de critères étudiés, en se concentrant notamment sur les aspects génétiques.

Par ailleurs, lors de la collecte de tiques réalisée précédemment, nous avons mis en évidence plusieurs espèces de tiques, aux caractéristiques différentes. Nous ne pouvons assurer que ces différentes espèces soient toutes sensibles aux mêmes stimuli du cheval, ainsi qu'aux mêmes critères morphologiques. Par exemple, certaines espèces de tiques sont brévirostres, tandis que d'autres sont longirostres. Les espèces brévirostres présentent des préférences pour certains territoires cutanés chez les bovins (Yousfi-Monod et al. 1986). Nous pouvons donc supposer que selon l'épaisseur de la peau du cheval, la fixation des différentes espèces de tiques ne se fait pas de la même manière. Ainsi des espèces longirostres comme *Hyalomma marginatum* ou *Ixodes ricinus* peuvent choisir des sites de fixation plus variés sans être limitées par l'épaisseur de la peau (Yousfi-Monod et al. 1986). Nous avons observé cette tendance, toutes espèces de tiques confondues, mais la différence ne s'est pas avérée significative. Deux raisons peuvent être avancées : il n'y a pas eu de

distinction suivant le type de tiques (brévirostrès ou longirostrès) et nous avons utilisé la correction de Bonferroni très conservatrice mais d'emploi aisé. Il serait ainsi intéressant de croiser les informations concernant les caractéristiques propres du cheval aux espèces de tiques majoritaires présentes dans l'environnement du cheval.

## **F. Facteurs de risques mis en évidence grâce à l'analyse univariée**

Seules deux variables ont pu être liées statistiquement à l'inégale abondance de tiques sur les chevaux, à savoir la fréquence des problèmes de santé générale et la fréquence des problèmes dermatologiques. Cependant, nous n'avons pas eu la possibilité de mettre en évidence quels étaient les problèmes médicaux affectant le plus les chevaux qui attirent davantage de tiques. Les réponses au questionnaire semblent cependant indiquer que les chevaux « Têtatic » sont plus enclins à être porteurs de maladies dues aux agents pathogènes transmis par les tiques. En effet, 13,5% des chevaux « Têtatic » sont atteints de la piroplasmose, contre 5,3% pour les autres chevaux. Il en va de même pour l'anaplasmose, qui touche 3% des chevaux « Têtatic » et seulement 0,5% des autres chevaux, ainsi que pour la maladie de Lyme qui atteint 3,4% des chevaux « Têtatic » et 1,5% des autres chevaux (Annexe 9).

Bunnell et ses collègues ont mis en évidence que les hérissons *Erinaceus europaeus* malades étaient infestés par un nombre significativement plus élevé de tiques *Ixodes hexagonus* que les hérissons sains. Leur étude a révélé que les tiques avaient une attirance accrue pour l'odeur fécale des hérissons malades, qui présentaient des niveaux plus élevés d'indole, un composé hétérocyclique aromatique volatil, dans leurs matières fécales (Bunnell et al. 2011). Ainsi, les matières fécales fournissent des informations sur l'état de santé d'un animal (Patton et al. 1986) et pourraient donc entraîner une attraction différentielle des tiques pour les chevaux. Concernant le système immunitaire cutané, Franzin et al. ont mis en évidence qu'une production de composés odoriférants volatils attirant d'avantage les larves de tiques avait lieu au niveau cutané chez les bovins sensibles aux infestations de tiques (Franzin et al. 2017). Nous pouvons faire l'hypothèse qu'un animal ayant des problèmes dermatologiques pourrait avoir une production de composés volatils

cutanés différente de celle d'un animal sain, ce qui pourrait accroître l'attraction des tiques pour cet hôte. Il serait ainsi intéressant d'étudier les composés volatils produits chez un équidé malade en comparaison à ceux dégagés par un cheval sain.

De surcroît, les problèmes de santé fréquents peuvent être le reflet d'un système immunitaire affaibli et peuvent donc avoir un effet sur la fixation mais surtout sur le maintien des tiques sur les équidés après fixation. Par exemple, un cheval présentant une immunité affaiblie ne sera pas nécessairement en mesure de mettre en place les différents mécanismes empêchant la tique de se fixer, notamment une réponse inflammatoire précoce au niveau cutané (Franzin et al. 2017). En effet, les tiques disposent de composés salivaires ayant pour fonction d'altérer la réponse immunitaire de l'hôte et de pérenniser leur fixation (Das et al. 2001; Francischetti et al. 2005; Ramamoorthi et al. 2005; Dai et al. 2010; Schuijt et al. 2011). Dans le cadre d'un système immunitaire déjà affaibli, nous pouvons supposer que les mécanismes mis en place par les tiques afin de déjouer les défenses immunitaires de l'hôte sont d'autant plus efficaces, ce qui permettrait à la tique de se fixer plus aisément et de se maintenir fixée. Par ailleurs, nous avons vu précédemment que les hôtes faisant face à des infestations répétées par les tiques développaient une résistance acquise aux tiques (Karasuyama et al. 2020; Kitsou et al. 2021). Nous pouvons faire l'hypothèse qu'un cheval ayant un système immunitaire affaibli aura plus de difficultés à développer une résistance acquise aux tiques.

Notre analyse ne tient pas compte de l'environnement, mais uniquement des caractéristiques propres à l'individu. Ces facteurs sont cependant indissociables dans le cadre de l'analyse de la répartition des tiques, se dispersant différemment sur le territoire selon l'habitat, la saisonnalité et la localisation géographique.

## Conclusion

L'inégale abondance de tiques sur les animaux est un phénomène couramment observé, mais encore peu étudié chez les équidés (Soundararajan et al. 2018; Tirosh-Levy et al. 2018). Notre étude visait donc, dans un premier temps, à mettre en évidence cette différence d'infestation par les tiques chez les chevaux, puis à en rechercher les facteurs explicatifs. Grâce à des collectes de tiques effectuées au sein de groupes de chevaux vivant dans un même pré, nous avons pu constater que, parfois, un cheval se retrouvait effectivement infesté par davantage de tiques que les autres équidés du groupe. Cependant, cette observation mérite d'être validée de façon plus nette sur des collectes plus longues permettant de recueillir des données plus significatives. Ce phénomène a toutefois été observé dans plusieurs régions du territoire français métropolitain et pour différentes espèces de tiques. Un questionnaire d'enquête à destination de propriétaires de groupes d'équidés, a alors été soumis, afin de récolter diverses informations concernant les équidés d'un même groupe, au sein duquel un cheval se démarquait de par son degré d'infestation par les tiques.

L'analyse du questionnaire a permis de mettre en évidence deux facteurs influençant l'abondance de tiques sur les chevaux, à savoir la fréquence des problèmes de santé générale et la fréquence des problèmes dermatologiques. Ainsi, les chevaux fréquemment malades ont davantage de tiques que les autres chevaux. Nous ne nous attendions pas à ce que des facteurs ressortent spécifiquement, puisque l'attraction d'une tique pour un cheval résulte d'un ensemble de facteurs probablement interdépendants. Cependant, la mise en évidence de cette donnée, nous prouve que s'intéresser plus spécifiquement aux caractéristiques des chevaux malades, tels que la nature des composés volatils produits ou encore leur capacité à mettre en place une réponse inflammatoire précoce ou à développer une résistance aux tiques, pourrait apporter des réponses quant à cette inégale abondance de tiques sur les équidés. D'autres données telles que les déplacements et localisations des chevaux au sein des pâtures, les espèces de tiques impliquées ou encore l'étude de groupes de chevaux morphologiquement similaires pourraient fournir d'autres informations nécessaires à la compréhension de la différence d'abondance de tiques sur les chevaux.

# Annexes

## Annexe 1 : Protocole de collecte

### Protocole Têtatic

Vous avez plusieurs chevaux/poneys dans le même pré et l'un d'eux a beaucoup plus de tiques que les autres. Ce protocole vise à mettre des chiffres sur ces observations que vous avez faites !! On vous explique tout !!

#### Le matériel :

- Des tubes préparés avec de l'alcool pour mettre les tiques collectées, dont :
  - \* Deux grands tubes pour contenir les tiques du cheval tête à tiques (2 séries de collecte)
  - \* Plusieurs petits tubes pour contenir les tiques des autres chevaux
- Des tire-tiques,
- Une fiche de suivi,
- Des étiquettes,
- Une boîte d'envoi retour pré-adressée et pré-affranchie.

#### Le principe de la collecte :

Vous êtes libres de déterminer la date à laquelle vous démarrez la collecte, ainsi que la fréquence à laquelle vous inspectez vos chevaux, l'essentiel étant de **les inspecter tous le même jour et de la même manière.**

Lors du processus de pansage, il est nécessaire de bien contrôler toutes les parties de vos chevaux. Les tiques ont des préférences : certaines espèces préfèrent la tête, d'autres aiment se cacher sous les cuisses et l'ars, mais vous savez généralement où elles se cachent.

Le grand tube servira à réunir toutes les tiques récoltées sur votre cheval tête à tiques. Les autres tubes seront chacun attribués à un compagnon de pré de la tête à tiques, sans les mélanger. Ainsi, **un tube = un cheval.**

#### La fréquence des collectes :

Vous êtes libre de déterminer à quelle fréquence vous inspectez les chevaux, le plus important étant de tous les faire au même moment.

#### La durée de la collecte :

La collecte prend fin lorsqu'une de ces 2 conditions est remplie :

- Vous avez rempli le grand tube avec les tiques provenant du cheval tête à tiques
- Vous observez une différence significative entre la quantité de tiques collectées sur le cheval tête à tiques et celles collectées sur ses compagnons de pré.

#### Deux périodes de collecte espacées (si possible)

Si votre récolte de tiques se termine rapidement, vous pourrez démarrer une seconde collecte environ 3 semaines après la fin de la première. Les espèces de tiques auront peut-être changé.

#### La fiche de suivi et les étiquettes

- Vous indiquez le nom des Équidés que vous inspectez sur les étiquettes et sur la fiche.
- Vous indiquez les périodes de collecte : du XX au XX et la fréquence approximative des collectes (quotidien, une, deux, trois fois / semaine) sur la fiche.
- Si vous faites deux périodes de collecte que nous appellerons P1 et P2, **n'oubliez pas de l'indiquer sur les étiquettes**, pour qu'on compare les P1 ensemble, puis les P2 ensemble.

#### Le renvoi des tubes

La date limite de collecte des tiques est fixée à fin mai / fin juin 2022.

Une fois toutes les collectes terminées, vous utilisez la boîte d'envoi retour afin de nous les faire parvenir. Nous avons estimé le poids final de votre envoi, et affranchi en fonction. Mais vérifiez que vous ne dépassez pas trop.

1 timbre → 20g

2 timbres → 100g

3 ou 4 timbres → 250 g

Pour toute question ou information complémentaire, vous pouvez nous contacter à l'adresse mail : [tetatick2021@gmail.com](mailto:tetatick2021@gmail.com) ou [pirogotick@inrae.fr](mailto:pirogotick@inrae.fr)

#### L'accès à vos résultats

Vous avez un numéro TT sur vos étiquettes et sur vos fiches de suivi. Il vous permettra de retrouver anonymement vos résultats sur notre site internet dans la rubrique Nos Actus sur <https://www6.inrae.fr/pirogotick/Nos-actus>. Nous mettrons à votre disposition un exemplaire en format PDF de la thèse de Manon pour que vous ayez une vue d'ensemble des données obtenues en plus de vos résultats personnels.

**Merci infiniment de votre participation**

## TT1

### Fiche de suivi

**Nom de vos chevaux/poneys inspectés pour le programme et descriptif rapide et distinctif pour le retrouver sur le questionnaire (âge, taille, robe etc)**

Tête à tiques :

Compagnon 1 :

Compagnon 2 :

Compagnon 3 :

Compagnon 4 :

#### **Périodes de collecte**

P1 période 1 : du                      au

P2 période 2 : du                      au

#### **Commentaires (localisation tiques sur chevaux, traitements...)**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

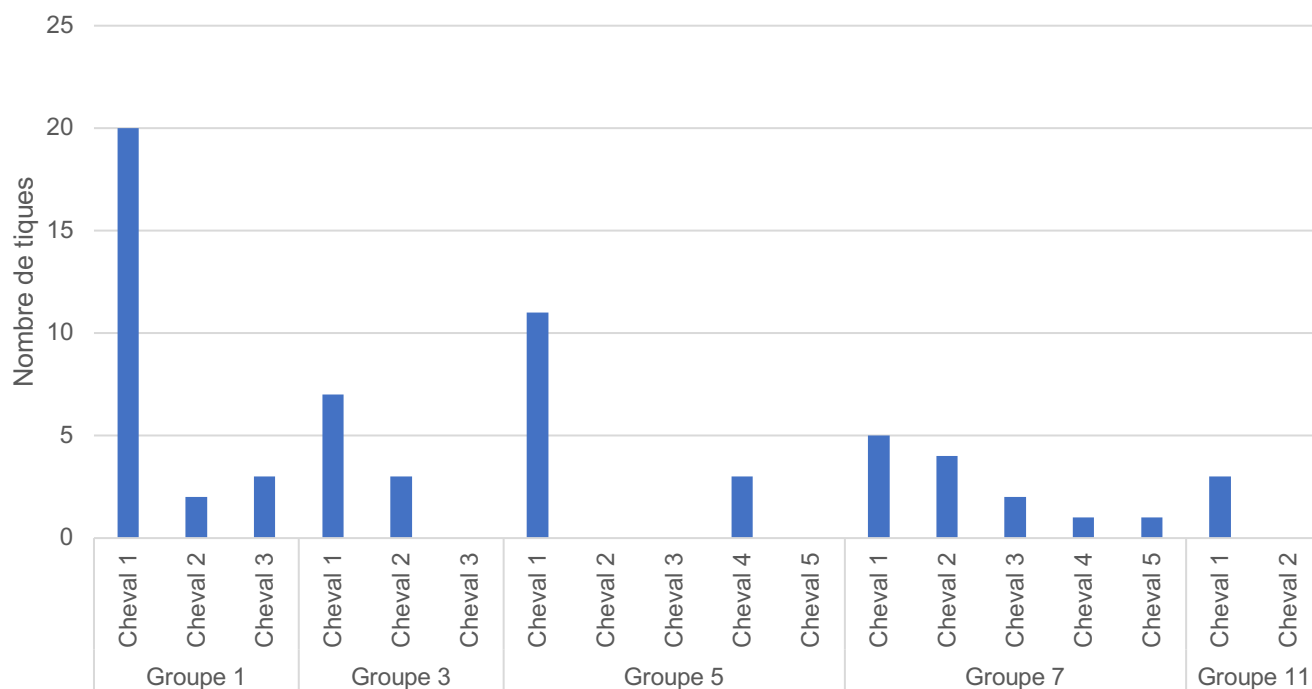
.....

.....

Annexe 3 : Récapitulatif du comptage de tiques par équidé

Périodes Colis \ Cheval	P1					P2				
	Cheval 1	Cheval 2	Cheval 3	Cheval 4	Cheval 5	Cheval 1	Cheval 2	Cheval 3	Cheval 4	Cheval 5
Colis 1	29	1	2			20	2	3		
Colis 2	8	1	0	0						
Colis 3	9	6	2			7	3	0		
Colis 4	4	17	4	13						
Colis 5	5	3	0	3	1	11	0	0	3	0
Colis 6	11	2								
Colis 7	1	3	2	1	3	5	4	2	1	1
Colis 8	164	70								
Colis 9	4	1	1	3	1					
Colis 10	48	7								
Colis 11	9	0				3	0			
Colis 12	76	32								
Colis 13	51	13	0							
Colis 14	51	25	7	70						

Annexe 4 : Nombre de tiques collectées par cheval au sein d'un groupe pendant la seconde période de collecte





## Annexe 5 : Questionnaire Têtatic (sections 1 et 2)

### Questionnaire Têtatic

Ce questionnaire concerne le cheval le plus mordu par les tiques, ainsi que ses compagnons de pré. Il a pour objectif de rechercher les facteurs d'attractivité pour les tiques qui font que certains chevaux sont plus fréquemment ou plus abondamment mordus que d'autres

Il s'adresse aux propriétaires de 2 à 5 chevaux vivant dans le même pré. Si plusieurs chevaux vivent dans le même pré mais n'ont pas les mêmes propriétaires, il est également possible pour la personne s'occupant de ces chevaux de répondre à ce questionnaire avec accord des propriétaires.

Il est subdivisé en section qui concerne à chaque fois un cheval.

Ne répondez pas aux questions concernant un troisième, quatrième ou cinquième cheval que vous n'auriez pas dans le groupe.

Cheval n°1 : cheval le plus mordu par les tiques, c'est-à-dire la Tête à Tiques.

Chevaux n°2-3-4-5 : les compagnons de pré du cheval n°1

---

**\*Obligatoire**

1. Nom et prénom du propriétaire \*

\_\_\_\_\_

2. Adresse postale \*

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. Numéro de téléphone

\_\_\_\_\_

4. Lieu de vie des chevaux (code postal et commune) \*

---

---

---

---

---

5. Accepteriez-vous de collecter des tiques sur votre groupe d'Équidés pour valider vos impressions avec des chiffres ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Oui  
 Non

6. Nombre de chevaux dans le groupe \*

*Une seule réponse possible.*

- 2  
 3  
 4  
 5

Cheval le plus mordu par les tiques (cheval n°1)

Vous trouverez ici des questions permettant de regrouper les caractéristiques de votre cheval le plus touché par les tiques.

7. Sexe du cheval le plus mordu par les tiques \*

*Une seule réponse possible.*

- Jument  
 Hongre  
 Mâle entier

8. Âge du cheval le plus mordu par les tiques (en années) \*

---

9. Taille au garrot du cheval le plus mordu par les tiques (en cm) \*

---

10. Race du cheval le plus mordu par les tiques \*

*Une seule réponse possible.*

- Appaloosa
- AQPS (Autre Que Pur-Sang)
- Ardennais
- Auxois
- Barbe
- Boulonnais
- Breton
- BWP (Cheval de Sang Belge)
- Camarguais
- Cheval corse
- Cheval de sport belge
- Cheval islandais
- Cob normand
- Comtois
- Connemara
- Croisement de races
- Demi-sang arabe
- Falabella
- Fjord
- Franche montagne
- Frison
- Haflinger
- Half quarter
- Hanovrien
- Henson
- Holstein
- Irish cob
- KWPN
- Lipizzan
- Lusitanien
- Merens
- Morgans

- Mustang
- ONC (Origine Non Constatée)
- Paint horse
- Percheron
- Poney de selle
- Poney français de selle
- Poney New Forest
- Poney Welsh
- Pur-sang anglais
- Pur-sang arabe
- Pure race espagnole
- Quarter horse
- Selle français
- Shetland
- Tennessee Walker
- Trait belge
- Trait du Nord
- Trakehner
- Trotteur américain
- Trotteur français
- Welsh cob
- Ne sais pas

11. Si votre cheval le plus mordu par les tiques est issu de croisements de races, précisez ces dernières. Sinon, ne répondez pas à cette question.

---

12. Robe du cheval le plus mordu par les tiques \*

*Une seule réponse possible.*

- Alezan
- Alezan brûlé
- Aubère
- Bai
- Bai cerise
- Bai clair
- Bai foncé
- Blanc
- Café au lait
- Chocolat
- Crème
- Gris
- Isabelle
- Noir
- Noir pangaré
- Palomino
- Pie
- Rouan
- Souris
- Autre ou ne sais pas

13. Si le cheval le plus mordu par les tiques est pie, précisez la couleur associée.  
Sinon, ne répondez pas à la question.

*Une seule réponse possible.*

- Alezan
- Bai
- Noir

14. Si le cheval le plus mordu par les tiques est pie, précisez la répartition des taches. Sinon, ne répondez pas à la question. Pour objectiver cette répartition des taches, des photographies sont disponibles sur le site du projet Pirogotick, section "Tétatic", à l'adresse :  
<https://www6.inrae.fr/pirogotick/Tetatic#Illustrations>

*Une seule réponse possible.*

- Sabino (tête majoritairement blanche, contour des plages très mélangé, déchiqueté et irrégulier)
- Overo (tête majoritairement blanche, membres souvent colorés, pas de plage blanche sur la ligne du dessus)
- Tobiano (tête majoritairement colorée, membres souvent blancs, au moins une plage blanche sur la ligne du dessus)
- Tovero (ensemble quasiment blanc avec quelques plages colorées (haut de tête, flancs et/ou base de la queue)
- Balzan (tête, ventre et membres blancs, tout le reste coloré)

15. Couleur de peau du cheval le plus mordu par les tiques \*

*Une seule réponse possible.*

- Blanche
- Claire
- Champagne (peau rose avec de petites taches noires)
- Foncée
- Noire
- Rose
- Autre ou ne sais pas

16. Épaisseur de la peau au niveau de l'encolure du cheval le plus mordu par les tiques \*

*Une seule réponse possible.*

- Fine
- Normale
- Épaisse
- Ne sais pas

17. Longueur des fanons du cheval le plus mordu par les tiques (en cm) \*

\_\_\_\_\_

18. Densité des fanons du cheval le plus mordu par les tiques. Pour objectiver cette densité, des photographies sont disponibles sur le site du projet Pirogotick, section "Têtatic", à l'adresse :

<https://www6.inrae.fr/pirogotick/Tetatic#Illustrations>

*Une seule réponse possible.*

- Peu fournis
- Moyennement fournis
- Très fournis

19. Longueur de la crinière du cheval le plus mordu par les tiques (en cm) \*

\_\_\_\_\_



20. Densité de la crinière du cheval le plus mordu par les tiques. Pour objectiver cette densité, des photographies sont disponibles sur le site du projet Pirogotick, section "Têtatic", à l'adresse : <https://www6.inrae.fr/pirogotick/Tetatic#Illustrations> \*

*Une seule réponse possible.*

- Peu fournie  
 Moyennement fournie  
 Très fournie

21. Nombre de balzanes du cheval le plus mordu par les tiques \*

*Une seule réponse possible.*

- 1  
 2  
 3  
 4  
 0

22. Marques blanches sur la tête du cheval le plus mordu par les tiques \*

*Une seule réponse possible.*

- Rien  
 Pelote en-tête (marque blanche sur le front)  
 Liste (marque blanche localisée sur le chanfrein)

23. Problèmes de santé générale affectant le cheval le plus mordu par les tiques \*

*Une seule réponse possible.*

- Jamais  
 Rares  
 Fréquents

24. Types de pathologies affectant le cheval le plus mordu par les tiques s'il est sujet à des problèmes de santé \*

*Plusieurs réponses possibles.*

- Syndrome métabolique équin
- Syndrome de Cushing
- Piroplasmose
- Ehrlichiose
- Maladie de Lyme
- PSSM (myopathie par surcharge en polysaccharides)
- Asthme
- Coliques
- Boiteries
- Amaigrissement
- Obésité
- Autre
- Aucun

25. Problèmes dermatologiques affectant le cheval le plus mordu par les tiques \*

*Une seule réponse possible.*

- Jamais
- Rares
- Fréquents

26. Types de problèmes dermatologiques affectant le cheval le plus mordu par les tiques \*

*Plusieurs réponses possibles.*

- Teigne
- Pyodermite superficielle
- Dermatophilose (gale de boue)
- Allergie aux pollens
- Phytiose (infestation par les poux)
- Dermite estivale récidivante
- Autre
- Aucun

27. Le cheval le plus mordu par les tiques reçoit-il un traitement actuellement ? \*  
(hors vermifuge)

*Une seule réponse possible.*

- Oui  
 Non

28. Si oui, quel traitement le cheval le plus mordu par les tiques reçoit-il ? Préciser \*  
"aucun" s'il ne reçoit pas de traitement.

---

---

---

---

---

29. Le cheval le plus mordu par les tiques est-il vermifugé ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Oui  
 Non

30. Si le cheval le plus mordu par les tiques reçoit un vermifuge, précisez de quel vermifuge il s'agit. Sinon, ne répondez pas à la question.

---

31. Le cheval le plus mordu par les tiques est-il sujet à ces ectoparasites (poux) ou insectes ? \*

*Plusieurs réponses possibles.*

	0	+	++	+++
<b>Mouches</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Mouches plates</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Taons</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Moucheron</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Moustiques</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Poux</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Autre</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

32. Caractère du cheval le plus mordu par les tiques (plusieurs critères possibles) \*

*Plusieurs réponses possibles.*

- Dominant
- Dominé
- Solitaire
- Calme
- Stressé, angoissé
- Peureux
- Téméraire
- Curieux
- Joueur
- Souvent couché
- Peu couché

33. Comportement du cheval le plus mordu par les tiques vis-à-vis des insectes \*

*Une seule réponse possible.*

- Calme
- Réagit fortement

Annexe 6 : Extraction des données du questionnaire sous forme de tableau Excel

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Horodateur	Nom et prénom du propriétaire	Adresse postale	Numéro de téléphone	Lieu de vie des chevaux (code postal et commune)	Accepteriez-vous de collecter des liques sur votre groupe d'Équidés pour valider vos impressions avec des chiffres ?	Nombre de chevaux dans le groupe	Sexe du cheval le plus mordu par les liques	Âge du cheval le plus mordu par les liques (en années)	Taille au garrot du cheval le plus mordu par les liques (en cm)	Race du cheval le plus mordu par les liques	Si votre cheval le plus mordu par les liques est issu de croisements de races, précisez ces dernières. Sinon, ne répondez pas à cette question.
1	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	Magny cours 58	Oui	2	Hongre	12	165	AOPS (Autre Que Pur-Sang)	
2	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	20230 taglio isolaccio	Oui	2	Hongre	13	169	AOPS (Autre Que Pur-Sang)	
3	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	07440 st Syvestre	Oui	3	Jument	4	150	Irish cob	
4	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	64120 meharn	Oui	4	Jument	6	150	Croisement de races	Merens / halfinger
5	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	63440 Marcellat	Oui	4	Jument	16	160	ONC (Origine Non Constatée)	si une pure sang anglais mais non déclarée à
6	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	36620 MERLAS	Oui	4	Jument	7	165	Comtois	
7	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	87300 Bellac	Oui	4	Jument	8	175	Pur-sang anglais	
8	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	29790 Mahalon	Non	5	Hongre	12	157	Poney français de selle	Selle Français x Poney français de selle
9	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	45570 Ouzouer sur Loire	Oui	5	Jument	3	102	Shetland	
10	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	57640 vreny	Oui	4	Hongre	30	100	Shetland	
11	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	95270 seugy	Oui	4	Hongre	14	167	Frison	
12	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	SI sauveur 21270	Oui	2	Jument	13	165	Selle français	Hoisteiner/ anglo arabe
13	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	63210 CEYSAT	Oui	3	Jument	19	165	ONC (Origine Non Constatée)	Selle Français
14	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	07360 Saint Michel de Chabrianoux	Oui	2	Jument	32	155	Croisement de races	Trotteur français x pur sang arabe
15	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	Domes (65390)	Oui	5	Jument	14 ans	149	Commemara	
16	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	65350 DOURS	Oui	3	Hongre	9	160	Quarter horse	Quarter x PRE
17	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	10190 Chenney - Le Valdreux	Oui	3	Hongre	12	170	Selle français	
18	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	79100	Oui	4	Hongre	10	143	Appaloosa	
19	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	26120 Montvendre	Non	2	Hongre	15	150	Merens	
20	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	11400 Villeneuve la Comptail	Oui	2	Hongre	12	161	Selle français	
21	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	43300 Siauxgues St Marie	Oui	5	Jument	13	150	Poney français de selle	
22	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	69550 Ampépus	Oui	4	Hongre	29	155	ONC (Origine Non Constatée)	
23	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	69650 Saint martin en haut	Oui	4	Jument	2	120	ONC (Origine Non Constatée)	Croisements avec du shetland
24	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	idem	Oui	4	Hongre	20	146	ONC (Origine Non Constatée)	
25	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	07400 le Teil	Oui	4	Hongre	12	156	Trotteur français	Père pure race espagnol, mère double poney
26	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	74200 Armo	Oui	2	Jument	7	149	ONC (Origine Non Constatée)	
27	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	34140 LOUPIAN	Oui	3	Hongre	26	145	ONC (Origine Non Constatée)	
28	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	63340 Saint germain lembron	Oui	2	Jument	28	150	Lusitanien	
29	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	Louhans-71500 pré hier /La Frette-71206 pré été	Oui	2	Hongre	10 ans-2011	173cm	Pur-sang anglais	
30	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	45600 Sully-sur-Loire	Oui	2	Jument	16	161	Breton	
31	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	26300 Châteaufort sur sere	Oui	2	Hongre	5ans	160cm	AOPS (Autre Que Pur-Sang)	
32	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	87230 Les Cars	Oui	4	Hongre	15	172	Selle français	
33	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	71570 st amour bellevue	Non	3	Jument	14 mois	140cm	Frison	
34	Confidentiel	Confidentiel	Confidentiel	38380 Parnay, Amblainville	Non	2	Hongre	30	152	Trotteur français	

Réponses au formulaire 1

Annexe 7 : Répartition des chevaux de l'étude selon leur race (n = 567)

Races	Effectif	Pourcentage
Anglo-Arabe	6	1,1%
Appaloosa	12	2,1%
AQPS (Autre Que Pur-Sang)	6	1,1%
Arabo-frison	4	0,7%
Ardennais	1	0,2%
Auxois	0	0,0%
Barbe	2	0,4%
Boulonnais	4	0,7%
Breton	4	0,7%
BWP (Cheval de Sang Belge)	1	0,2%
Camarguais	4	0,7%
Cheval corse	1	0,2%
Cheval de sport belge	1	0,2%
Cheval du Vercors de Barraquand	1	0,2%
Cheval islandais	3	0,5%
Cob normand	0	0,0%
Comtois	4	0,7%
Connemara	18	3,2%
Dartmoor	1	0,2%
Demi-sang arabe	14	2,5%
Falabella	0	0,0%
Fjord	8	1,4%
Franche montagne	1	0,2%
Frison	4	0,7%
Haflinger	4	0,7%
Half quarter	1	0,2%
Hanovrien	2	0,4%
Henson	2	0,4%
Holstein	0	0,0%
Irish cob	10	1,8%
Irish Sport Horse	1	0,2%
Konik	1	0,2%
KWPN	2	0,4%

Races	Effectif	Pourcentage
Landais	1	0,2%
Lipizzan	0	0,0%
Lusitanien	12	2,1%
Merens	7	1,2%
Morgans	0	0,0%
Mustang	0	0,0%
ONC (Origine Non Constatée)	122	21,5%
Paint horse	12	2,1%
Percheron	1	0,2%
Poney de selle	8	1,4%
Poney français de selle	18	3,2%
Poney New Forest	4	0,7%
Poney Welsh	4	0,7%
Pottok	6	1,1%
Pur-sang anglais	32	5,6%
Pur-sang arabe	12	2,1%
Pure race espagnole	21	3,7%
Quarter horse	6	1,1%
Selle français	74	13,1%
Shetland	31	5,5%
Tennessee Walker	0	0,0%
Trait belge	0	0,0%
Trait du Nord	0	0,0%
Trait Poitevin	3	0,5%
Trakehner	0	0,0%
Trotteur américain	0	0,0%
Trotteur français	41	7,2%
Trotteur suédois	1	0,2%
Welsh cob	9	1,6%
Wielkopolski	1	0,2%
Zangersheide	1	0,2%
Ne sait pas	17	3,0%
<b>TOTAL</b>	<b>567</b>	<b>100%</b>

*Annexe 8 : Répartition des chevaux étudiés selon leur robe (n = 567)*

<b>Robes</b>	<b>Effectifs</b>	<b>Pourcentage</b>
Alezan	96	16,9%
Alezan brûlé	15	2,6%
Aubère	2	0,4%
Bai	82	14,5%
Bai cerise	20	3,5%
Bai clair	10	1,8%
Bai foncé	46	8,1%
Blanc	13	2,3%
Café au lait	2	0,4%
Chocolat	7	1,2%
Crème	7	1,2%
Gris	81	14,3%
Isabelle	26	4,6%
Noir	31	5,5%
Noir pangaré	22	3,9%
Palomino	21	3,7%
Pie	62	10,9%
Rouan	6	1,1%
Souris	1	0,2%
Autre	17	3,0%

Annexe 9 : Pathologies et symptômes affectant les chevaux « Têtatic » et les autres chevaux

		Têtatic	Autres chevaux
Problèmes de santé générale	Syndrome métabolique équin	1,5%	2,4%
	Syndrome de Cushing	3,0%	2,0%
	Piroplasmose	13,5%	5,3%
	Anaplasmosse	3,0%	0,5%
	Maladie de Lyme	3,4%	1,5%
	PSSM (myopathie par surcharge en polysaccharides)	1,5%	0,4%
	Asthme	3,0%	4,2%
	Coliques	2,2%	2,9%
	Boiteries	7,9%	9,3%
	Amaigrissement	8,2%	5,7%
	Obésité	7,9%	8,6%
	Autre	15,0%	7,1%
Aucun	30,0%	50,0%	
Problèmes dermatologiques	Teigne	2,7%	0,7%
	Pyodermite superficielle	3,6%	4,2%
	Dermatophilose (gale de boue)	14,1%	13,7%
	Allergie pollens	2,7%	2,6%
	Phtiriose (poux)	3,2%	2,3%
	Dermatite estivale récidivante	8,6%	14,1%
	Autre	16,4%	12,4%
	Aucun	48,6%	50,0%



## Bibliographie

- AGOULON, Albert, MALANDRIN, Laurence, LEPIGEON, Florent, VÉNISSE, Maxime, BONNET, Sarah, BECKER, Claire AM, HOCH, Thierry, BASTIAN, Suzanne, PLANTARD, Olivier et BEAUDEAU, François, 2012. A Vegetation Index qualifying pasture edges is related to *Ixodes ricinus* density and to *Babesia divergens* seroprevalence in dairy cattle herds. *Veterinary parasitology* 185(2-4):101-109. DOI 10.1016/j.vetpar.2011.10.022.
- AKINYI, Mercy Y., TUNG, Jenny, JENEY, Maamun, PATEL, Nilesh B., ALTMANN, Jeanne et ALBERTS, Susan C., 2013. Role of grooming in reducing tick load in wild Baboons (*Papio cynocephalus*). *Animal Behaviour* 85(3):559-568. DOI 10.1016/j.anbehav.2012.12.012.
- ALI, Abid, ZAHID, Hafsa, ZEB, Ismail, TUFAIL, Muhammad, KHAN, Sulaiman, HAROON, Muhammad, TUFAIL, Muhammad, BILAL, Muhammad, HUSSAIN, Majid, ALOUFFI, Abdulaziz S., MUÑOZ-LEAL, Sebastián et LABRUNA, Marcelo B., 2021. Risk factors associated with tick infestations on equids in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, with notes on *Rickettsia massiliae* detection. *Parasites & Vectors* 14(1):363. DOI 10.1186/s13071-021-04836-w.
- AMANN, Anton, COSTELLO, Ben de Lacy, MIEKISCH, Wolfram, SCHUBERT, Jochen, BUSZEWSKI, Bogusław, PLEIL, Joachim, RATCLIFFE, Norman et RISBY, Terence, 2014. The human volatilome: volatile organic compounds (VOCs) in exhaled breath, skin emanations, urine, feces and saliva. *Journal of Breath Research* 8(3):034001. DOI 10.1088/1752-7155/8/3/034001.
- ANDERSON, John F. et MAGNARELLI, Louis A., 2008. Biology of ticks. *Infectious Disease Clinics of North America* 22(2):195-215. DOI 10.1016/j.idc.2007.12.006.
- ANDERSON, Kadie, EZENWA, Vanessa O. et JOLLES, Anna E., 2013. Tick infestation patterns in free ranging African buffalo (*Syncercus caffer*): Effects of host innate immunity and niche segregation among tick species. *International Journal for Parasitology. Parasites and Wildlife* 2:1-9. DOI 10.1016/j.ijppaw.2012.11.002.
- ATWELL, R. B. et CAMPBELL, F. E., 2001. Reactions to tick antitoxin serum and the role of atropine in treatment of dogs and cats with tick paralysis caused by *Ixodes holocyclus*: a pilot survey. *Australian Veterinary Journal* 79(6):394-397. DOI 10.1111/j.1751-0813.2001.tb12980.x.

BAGNALL, N., GOUGH, J., CADOGAN, L., BURNS, B. et KONGSUWAN, K., 2009. Expression of intracellular calcium signalling genes in cattle skin during tick infestation. *Parasite Immunology* 31(4):177-187. DOI 10.1111/j.1365-3024.2008.01092.x.

BAKKEN, J. S., KRUEH, J., TILDEN, R. L., DUMLER, J. S. et KRISTIANSEN, B. E., 1996. Serological evidence of human granulocytic ehrlichiosis in Norway. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases* 15(10):829-832. DOI 10.1007/BF01701530.

BARLOUGH, J E, MADIGAN, J E, DEROCK, E, DUMLER, J S et BAKKEN, J S, 1995. Protection against *Ehrlichia equi* is conferred by prior infection with the human granulocytotropic *Ehrlichia* (HGE agent). *Journal of Clinical Microbiology* 33(12):3333-3334. DOI 10.1128/jcm.33.12.3333-3334.1995.

BEECHLER, Brianna R., BROUGHTON, Heather, BELL, Austin, EZENWA, Vanessa O. et JOLLES, Anna E., 2012. Innate immunity in free-ranging African buffalo (*Syncerus caffer*): associations with parasite infection and white blood cell counts. *Physiological and biochemical zoology* 85(3):255-264. DOI 10.1086/665276.

BELOZEROV, V. N., 1982. Diapause and biological rhythms in ticks. In : OBENCHAIN, FREDERICK D. et GALUN, RACHEL (éd.), *Physiology of Ticks* [en ligne]. Pergamon. pp. 469-500. [Consulté le 1 mai 2022]. ISBN 978-0-08-024937-7. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080249377500184>

BENSON, Andrew K., KELLY, Scott A., LEGGE, Ryan, MA, Fangrui, LOW, Soo Jen, KIM, Jaehyoung, ZHANG, Min, OH, Phaik Lyn, NEHRENBURG, Derrick, HUA, Kunjie, KACHMAN, Stephen D., MORIYAMA, Etsuko N., WALTER, Jens, PETERSON, Daniel A. et POMP, Daniel, 2010. Individuality in gut microbiota composition is a complex polygenic trait shaped by multiple environmental and host genetic factors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107(44):18933-18938. DOI 10.1073/pnas.1007028107.

BERG, Gabriele, RYBAKOVA, Daria, FISCHER, Doreen, CERNAVA, Tomislav, VERGÈS, Marie-Christine Champomier, CHARLES, Trevor, CHEN, Xiaoyulong, COCOLIN, Luca, EVERSOLE, Kellye, CORRAL, Gema Herrero, KAZOU, Maria, KINKEL, Linda, LANGE, Lene, LIMA, Nelson, LOY, Alexander, MACKLIN, James A., MAGUIN, Emmanuelle, MAUCHLINE, Tim, MCCLURE, Ryan, MITTER, Birgit, RYAN, Matthew, SARAND, Inga, SMIDT, Hauke, SCHELKLE, Bettina, ROUME, Hugo, KIRAN, G. Seghal, SELVIN, Joseph, SOUZA, Rafael Soares Correa de, VAN OVERBEEK, Leo, SINGH, Brajesh K., WAGNER, Michael, WALSH, Aaron,

SESSITSCH, Angela et SCHLOTTER, Michael, 2020. Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome* 8(1):103. DOI 10.1186/s40168-020-00875-0.

BEUGNET, F., FAYET, G., GUILLOT, J., GRANGE, E., DESJARDINS, I. et DANG, H., 2005. Abrégé de parasitologie clinique des équidés. *Parasitoses et mycoses internes*. 2:1-321. P.01.05-BEU-A(2)

BINTA, M. G. et CUNNINGHAM, M. P., 1984. Cutaneous responses of cattle to extracts from *Rhipicephalus appendiculatus* larvae. *Veterinary Parasitology* 15(1):67-73. DOI 10.1016/0304-4017(84)90111-0.

BIRBECK, Michael S, BREATHNACH, Aodán S et EVERALL, John D, 1961. An Electron microscope study of basal melanocytes and high-level clear cells (Langerhans Cells) in vitiligo. *Journal of Investigative Dermatology* 37(1):51-64. DOI 10.1038/jid.1961.80.

BONNET, Sarah I., NIJHOF, Ard M. et DE LA FUENTE, José, 2018. Editorial: Tick-Host-Pathogen Interactions. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 8:194. DOI 10.3389/fcimb.2018.00194.

BONSMA, Jan, 1980. *Breeding tick-repellent cattle* [en ligne]. Pretoria: The University of Pretoria. [Consulté le 7 juin 2022]. <https://repository.up.ac.za/handle/2263/82605>

BORGES, LÍgia Miranda Ferreira, DE OLIVEIRA FILHO, Jaires Gomes, FERREIRA, Lorena Lopes, LOULY, Carla Cristina Braz, PICKETT, John A. et BIRKETT, Michael A., 2015. Identification of non-host semiochemicals for the brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato (Acari: Ixodidae), from tick-resistant beagles, *Canis lupus familiaris*. *Ticks and Tick-Borne Diseases* 6(5):676-682. DOI 10.1016/j.ttbdis.2015.05.014.

BROSSARD, M. et WIKEL, S. K., 1997. Immunology of interactions between ticks and hosts. *Medical and Veterinary Entomology* 11(3):270-276. DOI 10.1111/j.1365-2915.1997.tb00406.x.

BROWN, S. J., BARKER, R. W. et ASKENASE, P. W., 1984. Bovine resistance to *Amblyomma americanum* ticks: an acquired immune response characterized by cutaneous basophil infiltrates. *Veterinary Parasitology* 16(1-2):147-165. DOI 10.1016/0304-4017(84)90016-5.

BRUCE, William A., 1971. Perception of infrared radiation by the spiny rat mite *Laelaps echidnina* (Acari: Laelapidae)1. *Annals of the Entomological Society of America*. 64(4):925-931. DOI 10.1093/aesa/64.4.925.

BUNNELL, Toni, HANISCH, Kerstin, HARDEGE, Jörg D. et BREITHAUPT, Thomas, 2011. The fecal odor of sick hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) mediates olfactory attraction of the tick *Ixodes hexagonus*. *Journal of Chemical Ecology* 37(4):340. DOI 10.1007/s10886-011-9936-1.

CADORE, J.-L., DELERUE, M., MALANDRIN, L., MARCILLAUD PITEL, C. et PITEL, P.-H., 2020. Piroplasmoses. *Respe - Réseau d'Epidémiologie-Surveillance en Pathologie Équine* [en ligne]. 2020. [Consulté le 2 septembre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://respe.net/maladie-equine/piro-like/piroplasmose/>

CARDÉ, Ring T. et BAKER, Thomas C., 1984. Sexual Communication with Pheromones. In : BELL, William J. et CARDÉ, Ring T. (éd.), *Chemical Ecology of Insects* [en ligne]. Boston, MA : Springer US. pp. 355-383. [Consulté le 26 mai 2022]. ISBN 978-1-4899-3368-3. Disponible à l'adresse : [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3368-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3368-3_13)

CARNOHAN, Lucas P., KAUFMAN, Phillip E., ALLAN, Sandra A., GEZAN, Salvador A. et WEEKS, Emma N. I., 2017. Laboratory and field evaluation of brown dog tick behavioral responses to potential semiochemicals. *Ticks and Tick-Borne Diseases* 8(2):226-234. DOI 10.1016/j.ttbdis.2016.11.003.

CARR, Ann L., MITCHELL, Robert D., DHAMMI, Anirudh, BISSINGER, Brooke W., SONENSHINE, Daniel E. et ROE, R. Michael, 2017. Tick Haller's Organ, a new paradigm for Arthropod olfaction: how ticks differ from insects. *International Journal of Molecular Sciences* 18(7):e1563. DOI 10.3390/ijms18071563.

CARR, Ann L. et ROE, Michael, 2016. Acarine attractants: Chemoreception, bioassay, chemistry and control. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 131:60-79. DOI 10.1016/j.pestbp.2015.12.009.

CARR, Ann L. et SALGADO, Vincent L., 2019. Ticks home in on body heat: A new understanding of Haller's organ and repellent action. *PloS One* 14(8):e0221659. DOI 10.1371/journal.pone.0221659.

CARVALHO, Wanessa Araújo, DOMINGUES, Robert, DE AZEVEDO PRATA, Marcia Cristina, DA SILVA, Marcos Vinícius G. B., DE OLIVEIRA, Guilherme Corrêa, GUIMARÃES, Simone Eliza Facioni et MACHADO, Marco Antônio, 2014. Microarray analysis of tick-infested skin in resistant and susceptible cattle confirms the role of inflammatory pathways in immune activation and larval rejection. *Veterinary Parasitology* 205(1-2):307-317. DOI 10.1016/j.vetpar.2014.07.018.

CARVALHO, Wanessa Araújo, MARUYAMA, Sandra Regina, FRANZIN, Alessandra

Mara, ABATEPAULO, Antônio Roberto Rodrigues, ANDERSON, Jennifer M., FERREIRA, Beatriz Rossetti, RIBEIRO, José Marcos Chaves, MORÉ, Daniela Dantas, AUGUSTO MENDES MAIA, Antonio, VALENZUELA, Jesus G., GARCIA, Gustavo Rocha et DE MIRANDA SANTOS, Isabel K. Ferreira, 2010. *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: clotting time in tick-infested skin varies according to local inflammation and gene expression patterns in tick salivary glands. *Experimental Parasitology* 124(4):428-435. DOI 10.1016/j.exppara.2009.12.013.

CHANOURDIE, Eric, 2001. *Les tiques: relations morsure-rôle vecteur*. Diffusion/Distribution : Nantes. TH4-2001-038

COLLINS, Gail H., PETERSEN, Steven L., CARR, Craig A. et PIELSTICK, Leon, 2014. Testing VHF/GPS collar design and safety in the study of free-roaming horses. *PloS One* 9(9):e103189. DOI 10.1371/journal.pone.0103189.

CONSTANTINOIU, C. C., JACKSON, L. A., JORGENSEN, W. K., LEW-TABOR, A. E., PIPER, E. K., MAYER, D. G., VENUS, B. et JONSSON, N. N., 2010. Local immune response against larvae of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in *Bos taurus indicus* and *Bos taurus taurus* cattle. *International Journal for Parasitology* 40(7):865-875. DOI 10.1016/j.ijpara.2010.01.004.

COOPER, B. J. et SPENCE, I., 1976. Temperature-dependent inhibition of evoked acetylcholine release in tick paralysis. *Nature*. 263(5579):693-695. DOI 10.1038/263693a0.

CROOKS, Emily et RANDOLPH, Sarah E., 2006. Walking by *Ixodes ricinus* ticks: intrinsic and extrinsic factors determine the attraction of moisture or host odour. *The Journal of Experimental Biology* 209(Pt 11):2138-2142. DOI 10.1242/jeb.02238.

CRUZ, A. P. R., SILVA, S. S., MATTOS, R. T., DA SILVA VAZ, I., MASUDA, A. et FERREIRA, C. a. S., 2008. Comparative IgG recognition of tick extracts by sera of experimentally infested bovines. *Veterinary Parasitology* 158(1-2):152-158. DOI 10.1016/j.vetpar.2008.08.016.

CUPP, Eddie W., 1991. Biology of Ticks. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* 21(1):1-26. DOI 10.1016/S0195-5616(91)50001-2.

DAI, Jianfeng, NARASIMHAN, Sukanya, ZHANG, Lili, LIU, Lei, WANG, Penghua et FIKRIG, Erol, 2010. Tick histamine release factor is critical for *Ixodes scapularis* engorgement and transmission of the lyme disease agent. *PLoS pathogens* 6(11):e1001205. DOI 10.1371/journal.ppat.1001205.

DAS, S., BANERJEE, G., DEPONTE, K., MARCANTONIO, N., KANTOR, F. S. et

FIKRIG, E., 2001. Salp25D, an *Ixodes scapularis* antioxidant, is 1 of 14 immunodominant antigens in engorged tick salivary glands. *The Journal of Infectious Diseases* 184(8):1056-1064. DOI 10.1086/323351.

DE LA FUENTE, José, ALMAZÁN, Consuelo, BLOUIN, Edmour F., NARANJO, Victoria et KOCAN, Katherine M., 2006. Reduction of tick infections with *Anaplasma marginale* and *A. phagocytophilum* by targeting the tick protective antigen subolesin. *Parasitology Research* 100(1):85-91. DOI 10.1007/s00436-006-0244-6.

DE OLIVEIRA FILHO, Jaires Gomes, FERREIRA, Lorena Lopes, SARRIA, André Lucio Franceschini, PICKETT, John A., BIRKETT, Michael A., MASCARIN, Gabriel Moura, DE LEÓN, Adalberto A. Pérez et BORGES, Lígia Miranda Ferreira, 2017. Brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato, infestation of susceptible dog hosts is reduced by slow release of semiochemicals from a less susceptible host. *Ticks and Tick-borne Diseases* 8(1):139-145. DOI 10.1016/j.ttbdis.2016.10.010.

DE WAAL, D. T., 1992. Equine piroplasmiasis: a review. *The British Veterinary Journal* 148(1):6-14. DOI 10.1016/0007-1935(92)90061-5.

DOUBE, B. M., 1975. Cattle and the paralysis tick *Ixodes holocyclus*. *Australian Veterinary Journal* 51(11):511-515. DOI 10.1111/j.1751-0813.1975.tb06901.x.

DOWD, Scot E., CALLAWAY, Todd R., WOLCOTT, Randall D., SUN, Yan, MCKEEHAN, Trevor, HAGEVOORT, Robert G. et EDRINGTON, Thomas S., 2008. Evaluation of the bacterial diversity in the feces of cattle using 16S rDNA bacterial tag-encoded FLX amplicon pyrosequencing (bTEFAP). *BMC microbiology* 8:125. DOI 10.1186/1471-2180-8-125.

DUMLER, J. S., DOTEVALL, L., GUSTAFSON, R. et GRANSTRÖM, M., 1997. A population-based seroepidemiologic study of human granulocytic ehrlichiosis and Lyme borreliosis on the west coast of Sweden. *The Journal of Infectious Diseases* 175(3):720-722. DOI 10.1093/infdis/175.3.720.

DZIĘGIEL, Beata, ADASZEK, Łukasz, KALINOWSKI, Marcin et WINIARCZYK, Stanisław, 2013. Equine granulocytic anaplasmosis. *Research in Veterinary Science* 95(2):316-320. DOI 10.1016/j.rvsc.2013.05.010.

EDGECOMB, R. S., ROBERT, D., READ, M. P. et HOY, R. R., 1995. The tympanal hearing organ of a fly: phylogenetic analysis of its morphological origins. *Cell and Tissue Research* 282(2):251-268. DOI 10.1007/BF00319116.

EDLOW, Jonathan A. et MCGILLICUDDY, Daniel C., 2008. Tick paralysis. *Infectious*

*Disease Clinics of North America* 22(3):397-413, vii. DOI 10.1016/j.idc.2008.03.005.

EDMAN, John D. et SPIELMAN, Andrew, 1988. Blood-Feeding by vectors: Physiology, ecology, behavior, and vertebrate defense. In : *The Arboviruses: Epidemiology and Ecology*. CRC Press. ISBN 978-0-429-28022-1.

EDWARDS, S. V. et HEDRICK, P. W., 1998. Evolution and ecology of MHC molecules: from genomics to sexual selection. *Trends in Ecology & Evolution* 13(8):305-311. DOI 10.1016/s0169-5347(98)01416-5.

ESSER, Helen J., FOLEY, Janet E., BONGERS, Frans, HERRE, Edward Allen, MILLER, Matthew J., PRINS, Herbert H. T. et JANSEN, Patrick A., 2016. Host body size and the diversity of tick assemblages on Neotropical vertebrates. *International Journal for Parasitology. Parasites and Wildlife* 5(3):295-304. DOI 10.1016/j.ijppaw.2016.10.001.

ESTRADA-PEÑA, A., 2015. Ticks as vectors: taxonomy, biology and ecology. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*. 34(1):53-65. DOI 10.20506/rst.34.1.2345.

EUZÉBY, Jacques, 2008. *Grand dictionnaire illustré de parasitologie médicale et vétérinaire*. Paris : Tec & Doc. ISBN 978-2-7430-1044-7. QX 4 EUZ, P.01.00-EUZ-G, 616.96 EUZ

FERREIRA, Lorena Lopes, SOARES, Sara Fernandes, DE OLIVEIRA FILHO, Jaires Gomes, OLIVEIRA, Thaynara Tatielly, PÉREZ DE LEÓN, Adalberto A. et BORGES, Lígia Miranda Ferreira, 2015. Role of *Rhipicephalus microplus* cheliceral receptors in gustation and host differentiation. *Ticks and Tick-Borne Diseases* 6(3):228-233. DOI 10.1016/j.ttbdis.2014.12.008.

FISCHER, Sina, TREFZ, Phillip, BERGMANN, Andreas, STEFFENS, Markus, ZILLER, Mario, MIEKISCH, Wolfram, SCHUBERT, Jochen S., KÖHLER, Heike et REINHOLD, Petra, 2015. Physiological variability in volatile organic compounds (VOCs) in exhaled breath and released from faeces due to nutrition and somatic growth in a standardized caprine animal model. *Journal of Breath Research* 9(2):027108. DOI 10.1088/1752-7155/9/2/027108.

FIVAZ, B. H., 1989. Immune suppression induced by the brown ear tick *Rhipicephalus appendiculatus* Neumann, 1901. *The Journal of Parasitology* 75(6):946-952.

FÖLDVÁRI, Gábor, ŠIROKÝ, Pavel, SZEKERES, Sándor, MAJOROS, Gábor et SPRONG, Hein, 2016. *Dermacentor reticulatus*: a vector on the rise. *Parasites & Vectors* 9(1):314. DOI 10.1186/s13071-016-1599-x.

FONTAINE, Albin, DIOUF, Ibrahima, BAKKALI, Nawal, MISSÉ, Dorothee, PAGÈS, Frédéric, FUSAI, Thierry, ROGIER, Christophe et ALMERAS, Lionel, 2011. Implication of haematophagous arthropod salivary proteins in host-vector interactions. *Parasites & Vectors* 4(1):187. DOI 10.1186/1756-3305-4-187.

FOSTER, L., FOURIE, Petrus, NESER, Frederick et FAIR, Michael, 2013. Differences in physical traits such as coat score and hide-thickness together with tick burdens and body condition score in four breeds in the Southern Free State. *Journal for New Generation Sciences* 11(1):66-73.

FOURIE, L. J., VAN DER LINGEN, F. et KOK, D. J., 1995. Improvement of field sampling methods for adult Karoo paralysis ticks, *Ixodes rubicundus* (Acari: Ixodidae), through addition of host odour. *Experimental & Applied Acarology* 19(2):93-101. DOI 10.1007/BF00052549.

FRANCISCHETTI, Ivo M. B., 2010. Platelet aggregation inhibitors from hematophagous animals. *Toxicon* 56(7):1130-1144. DOI 10.1016/j.toxicon.2009.12.003.

FRANCISCHETTI, Ivo M. B., MATHER, Thomas N. et RIBEIRO, José M. C., 2004. Penthalaris, a novel recombinant five-Kunitz tissue factor pathway inhibitor (TFPI) from the salivary gland of the tick vector of Lyme disease, *Ixodes scapularis*. *Thrombosis and Haemostasis* 91(5):886-898. DOI 10.1160/TH03-11-0715.

FRANCISCHETTI, Ivo M. B., MATHER, Thomas N. et RIBEIRO, José M. C., 2005. Tick saliva is a potent inhibitor of endothelial cell proliferation and angiogenesis. *Thrombosis and Haemostasis* 94(1):167-174. DOI 10.1160/TH04-09-0566.

FRANCISCHETTI, Ivo M. B., SA-NUNES, Anderson, MANS, Ben J., SANTOS, Isabel M. et RIBEIRO, Jose M. C., 2009. The role of saliva in tick feeding. *Frontiers in Bioscience* 14(6):2051-2088. DOI 10.2741/3363.

FRANCISCHETTI, Ivo M. B., VALENZUELA, Jesus G., ANDERSEN, John F., MATHER, Thomas N. et RIBEIRO, José M. C., 2002. Ixolaris, a novel recombinant tissue factor pathway inhibitor (TFPI) from the salivary gland of the tick, *Ixodes scapularis*: identification of factor X and factor Xa as scaffolds for the inhibition of factor VIIa/tissue factor complex. *Blood* 99(10):3602-3612. DOI 10.1182/blood-2001-12-0237.

FRANZIN, Alessandra Mara, MARUYAMA, Sandra Regina, GARCIA, Gustavo Rocha, OLIVEIRA, Rosane Pereira, RIBEIRO, José Marcos Chaves, BISHOP, Richard, MAIA, Antônio Augusto Mendes, MORÉ, Daniela Dantas, FERREIRA, Beatriz Rossetti et



SANTOS, Isabel Kinney Ferreira de Miranda, 2017. Immune and biochemical responses in skin differ between bovine hosts genetically susceptible and resistant to the cattle tick *Rhipicephalus microplus*. *Parasites & Vectors* 10(1):51. DOI 10.1186/s13071-016-1945-z.

FRENCH, Susannah S., DENARDO, Dale F. et MOORE, Michael C., 2007. Trade-offs between the reproductive and immune systems: facultative responses to resources or obligate responses to reproduction? *The American Naturalist* 170(1):79-89. DOI 10.1086/518569.

FRIEDL, Thomas W. P. et EDLER, Ralf, 2005. Stress-dependent trade-off between immunological condition and reproductive performance in the polygynous Red Bishop (*Euplectes orix*). *Evolutionary Ecology* 19(3):221-239. DOI 10.1007/s10682-005-0509-z.

GARCIA, Gustavo Rocha, MARUYAMA, Sandra Regina, NELSON, Kristina T., RIBEIRO, José Marcos Chaves, GARDINASSI, Luiz Gustavo, MAIA, Antonio Augusto Mendes, FERREIRA, Beatriz Rossetti, KOOYMAN, Frans N. J. et DE MIRANDA SANTOS, Isabel K. F., 2017. Immune recognition of salivary proteins from the cattle tick *Rhipicephalus microplus* differs according to the genotype of the bovine host. *Parasites & Vectors* 10(1):144. DOI 10.1186/s13071-017-2077-9.

GARCÍA-BOCANEGRA, Ignacio, ARENAS-MONTES, Antonio, HERNÁNDEZ, Esther, ADASZEK, Lukasz, CARBONERO, Alfonso, ALMERÍA, Sonia, JAÉN-TÉLLEZ, Juan Antonio, GUTIÉRREZ-PALOMINO, Pedro et ARENAS, Antonio, 2013. Seroprevalence and risk factors associated with *Babesia caballi* and *Theileria equi* infection in equids. *Veterinary Journal* 195(2):172-178. DOI 10.1016/j.tvjl.2012.06.012.

GHARBI, M., DRISSI, G. et DARGHOUTH, M.-A., 2018. Population dynamics of ticks infesting horses in north-west Tunisia. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)* 37(3):837-841. DOI 10.20506/rst.37.3.2890.

GHARBI, Mohamed, HAYOUNI, Mohamed Ettaïeb, SASSI, Limam, DRIDI, Walid et DARGHOUTH, Mohamed Aziz, 2013. *Hyalomma scupense* (Acari, Ixodidae) in northeast Tunisia: seasonal population dynamics of nymphs and adults on field cattle. *Parasite* 20:12. DOI 10.1051/parasite/2013012.

GRATTAN-SMITH, P. J., MORRIS, J. G., JOHNSTON, H. M., YIANNIKAS, C., MALIK, R., RUSSELL, R. et OUVRIER, R. A., 1997. Clinical and neurophysiological features of tick paralysis. *Brain: A Journal of Neurology* 120 (Pt 11):1975-1987. DOI 10.1093/brain/120.11.1975.

GRENACHER, S., KRÖBER, T., GUERIN, P. M. et VLIMANT, M., 2001. Behavioural and chemoreceptor cell responses of the tick, *Ixodes ricinus*, to its own faeces and faecal constituents. *Experimental & Applied Acarology* 25(8):641-660. DOI 10.1023/a:1016145805759.

GRIBBLE, D. H., 1969. Equine ehrlichiosis. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 155(2):462-469.

GUZMAN, Nilmarie, YARRARAPU, Siva Naga S. et BEIDAS, Sary O., 2022. *Anaplasma phagocytophilum*. In : *StatPearls* [en ligne]. Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing. [Consulté le 22 avril 2022].  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513341/NBK513341>

HAN, Liang, MA, Chao, LIU, Qin, WENG, Hao-Jui, CUI, Yiyuan, TANG, Zongxiang, KIM, Yushin, NIE, Hong, QU, Lintao, PATEL, Kush N., LI, Zhe, MCNEIL, Benjamin, HE, Shaoqiu, GUAN, Yun, XIAO, Bo, LAMOTTE, Robert H. et DONG, Xinzong, 2013. A subpopulation of nociceptors specifically linked to itch. *Nature Neuroscience* 16(2):174-182. DOI 10.1038/nn.3289.

HARRISON, A., SCANTLEBURY, M. et MONTGOMERY, W. I., 2010. Body mass and sex-biased parasitism in wood mice *Apodemus sylvaticus*. *Oikos* 119(7):1099-1104. DOI 10.1111/j.1600-0706.2009.18072.x.

HART, Benjamin L. et HART, Lynette A., 1992. Reciprocal allogrooming in impala, *Aepyceros melampus*. *Animal Behaviour* 44(6):1073-1083. DOI 10.1016/S0003-3472(05)80319-7.

HART, Benjamin L. et HART, Lynette A., 2018. How mammals stay healthy in nature: the evolution of behaviours to avoid parasites and pathogens. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 373(1751):20170205. DOI 10.1098/rstb.2017.0205.

HEDRICK, Kim, 1999. Genetics of complex polymorphisms: parasites and maintenance of MHC variation. *Evolutionary Genetics from Molecules to Morphology* [en ligne]. 1999. [Consulté le 27 juillet 2022]. Disponible à l'adresse : <https://cir.nii.ac.jp/crid/1570572700436474112>

HORAK, Ivan G., CAMICAS, Jean-Louis et KEIRANS, James E., 2002. The Argasidae, Ixodidae and Nuttalliellidae (Acari: Ixodida): a world list of valid tick names. *Experimental & Applied Acarology* 28(1-4):27-54. DOI 10.1023/a:1025381712339.

IOVINELLA, Immacolata, BAN, Liping, SONG, Limei, PELOSI, Paolo et DANI, Francesca Romana, 2016. Proteomic analysis of castor bean tick *Ixodes ricinus*: a

focus on chemosensory organs. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 78:58-68. DOI 10.1016/j.ibmb.2016.09.004.

ISLAM, M. Khyrul, TSUJI, Naotoshi, MIYOSHI, Takeharu, ALIM, M. Abdul, HUANG, Xiaohong, HATTA, Takeshi et FUJISAKI, Kozo, 2009. The Kunitz-Like modulatory protein Haemangin is vital for hard tick blood-feeding success. *PLOS Pathogens* 5(7):e1000497. DOI 10.1371/journal.ppat.1000497.

JANOVA, Eva, MATIASOVIC, Jan, VAHALA, Jiri, VODICKA, Roman, VAN DYK, Enette et HORIN, Petr, 2009. Polymorphism and selection in the major histocompatibility complex DRA and DQA genes in the family Equidae. *Immunogenetics* 61(7):513-527. DOI 10.1007/s00251-009-0380-0.

JOHNSTON, Thomas Harvey et MACKERRAS, Mabel Josephine, 1918. A tick-resistant condition in cattle. In : Royal Society of Queensland. 1918.

JONGEJAN, F. et UILENBERG, G., 2004. The global importance of ticks. *Parasitology*. 129:S3-14. DOI 10.1017/s0031182004005967.

JONSSON, N. N., PIPER, E. K. et CONSTANTINOIU, C. C., 2014. Host resistance in cattle to infestation with the cattle tick *Rhipicephalus microplus*. *Parasite Immunology* 36(11):553-559. DOI 10.1111/pim.12140.

JOSEK, Tanya, ALLAN, Brian F. et ALLEYNE, Marianne, 2018. Morphometric Analysis of chemoreception organ in male and female ticks (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology* 55(3):547-552. DOI 10.1093/jme/tjx232.

JOSEK, Tanya, SPERRAZZA, Jared, ALLEYNE, Marianne et SYED, Zainulabeuddin, 2021. Neurophysiological and behavioral responses of blacklegged ticks to host odors. *Journal of Insect Physiology* 128:104175. DOI 10.1016/j.jinsphys.2020.104175.

KAMATH, Pauline L. et GETZ, Wayne M., 2011. Adaptive molecular evolution of the Major Histocompatibility Complex genes, DRA and DQA, in the genus *Equus*. *BMC evolutionary biology* 11:128. DOI 10.1186/1471-2148-11-128.

KAMATH, Pauline L., TURNER, Wendy C., KÜSTERS, Martina et GETZ, Wayne M., 2014. Parasite-mediated selection drives an immunogenetic trade-off in plains zebras (*Equus quagga*). *Proceedings Biological Sciences* 281(1783):20140077. DOI 10.1098/rspb.2014.0077.

KARASUYAMA, Hajime, MIYAKE, Kensuke et YOSHIKAWA, Soichiro, 2020. Immunobiology of acquired resistance to ticks. *Frontiers in Immunology* 11:601504. DOI 10.3389/fimmu.2020.601504.

KARASUYAMA, Hajime, TABAKAWA, Yuya, OHTA, Takuya, WADA, Takeshi et

YOSHIKAWA, Soichiro, 2018. Crucial role for basophils in acquired protective immunity to tick infestation. *Frontiers in Physiology* 9:1769. DOI 10.3389/fphys.2018.01769.

KASHINO, Suely S., RESENDE, Janaína, SACCO, Ana Maria S., ROCHA, Clarisse, PROENÇA, Laila, CARVALHO, Wanessa A., FIRMINO, Alexandre A., QUEIROZ, Rosevaldo, BENAVIDES, Magda, GERSHWIN, Laurel J. et DE MIRANDA SANTOS, Isabel K. F., 2005. *Boophilus microplus*: the pattern of bovine immunoglobulin isotype responses to high and low tick infestations. *Experimental Parasitology* 110(1):12-21. DOI 10.1016/j.exppara.2005.01.006.

KAZIMÍROVÁ, Mária et ŠTIBRÁNIOVÁ, Iveta, 2013. Tick salivary compounds: their role in modulation of host defences and pathogen transmission. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 3:43. DOI 10.3389/fcimb.2013.00043.

KEIL, Thomas A., 2012. Sensory cilia in arthropods. *Arthropod Structure & Development* 41(6):515-534. DOI 10.1016/j.asd.2012.07.001.

KEMP, D. H. et BOURNE, A., 1980. *Boophilus microplus*: the effect of histamine on the attachment of cattle-tick larvae--studies in vivo and in vitro. *Parasitology* 80(3):487-496. DOI 10.1017/s0031182000000950.

KHAMASSI KHBOU, Médiha, ROUATBI, Mariem, ROMDHANE, Rihab, SASSI, Limam, JDIDI, Mohamed, HAILE, Aynalem, REKIK, Mourad et GHARBI, Mohamed, 2021. Tick infestation and piroplasm infection in Barbarine and Queue Fine de l'Ouest autochthonous sheep breeds in Tunisia, North Africa. *Animals* 11(3):839. DOI 10.3390/ani11030839.

KIFFNER, C., LÖDIGE, C., ALINGS, M., VOR, T. et RÜHE, F., 2011. Body-mass or sex-biased tick parasitism in roe deer (*Capreolus capreolus*)? A GAMLSS approach. *Medical and Veterinary Entomology* 25(1):39-45. DOI 10.1111/j.1365-2915.2010.00929.x.

KIFFNER, Christian, STANKO, Michal, MORAND, Serge, KHOKHLOVA, Irina S., SHENBROT, Georgy I., LAUDISOIT, Anne, LEIRS, Herwig, HAWLENA, Hadas et KRASNOV, Boris R., 2013. Sex-biased parasitism is not universal: evidence from rodent-flea associations from three biomes. *Oecologia* 173(3):1009-1022. DOI 10.1007/s00442-013-2664-1.

KIM, Dae-Kwon, KIM, Hyoung-June, KIM, Hyuk, KOH, Jae-Young, KIM, Kwang-Mi, NOH, Min-Soo, KIM, Jung-Ju et LEE, Chang-Hoon, 2008. Involvement of serotonin receptors 5-HT1 and 5-HT2 in 12(S)-HPETE-induced scratching in mice. *European*

*Journal of Pharmacology* 579(1-3):390-394. DOI 10.1016/j.ejphar.2007.11.005.

KIMURA, Rikako, 1998. Mutual grooming and preferred associate relationships in a band of free-ranging horses. *Applied Animal Behaviour Science* 59(4):265-276. DOI 10.1016/S0168-1591(97)00129-9.

KITSOU, Chrysoula, FIKRIG, Erol et PAL, Utpal, 2021. Tick host immunity: vector immunomodulation and acquired tick resistance. *Trends in Immunology* 42(7):554-574. DOI 10.1016/j.it.2021.05.005.

KOCAN, Katherine M., BLOUIN, Edmour et DE LA FUENTE, José, 2011. RNA interference in ticks. *Journal of Visualized Experiments: JoVE* 47:2474. DOI 10.3791/2474.

KONGSUWAN, Kritaya, JOSH, Peter, COLGRAVE, Michelle L., BAGNALL, Neil H., GOUGH, Joanne, BURNS, Brian et PEARSON, Roger, 2010. Activation of several key components of the epidermal differentiation pathway in cattle following infestation with the cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *International Journal for Parasitology* 40(4):499-507. DOI 10.1016/j.ijpara.2009.10.013.

KOUAM, Marc K., KANTZOURA, Vaia, GAJADHAR, Alvin A., THEIS, Jerold H., PAPADOPOULOS, Elias et THEODOROPOULOS, Georgios, 2010. Seroprevalence of equine piroplasms and host-related factors associated with infection in Greece. *Veterinary Parasitology* 169(3-4):273-278. DOI 10.1016/j.vetpar.2010.01.011.

KOUDSTAAL, D., KEMP, D. H. et KERR, J. D., 1978. *Boophilus microplus*: rejection of larvae from British breed cattle. *Parasitology* 76(3):379-386. DOI 10.1017/s0031182000048241.

KURIS, Armand M., BLAUSTEIN, Andrew R. et ALIO, Jose Javier, 1980. Hosts as Islands. *The American Naturalist* 116(4):570-586. DOI 10.1086/283647.

LEBLOND, A., PRADIER, S., PITEL, P. H., FORTIER, G., BOIREAU, P., CHADOEUF, J. et SABATIER, P., 2005. An epidemiological survey of equine anaplasmosis (*Anaplasma phagocytophilum*) in southern France. *Revue Scientifique Et Technique (International Office of Epizootics)* 24(3):899-908.

LEVREY, H., MORNEX, J. F. et BELLON, G., 1998. Polarisation Th2 de la réaction inflammatoire dans les réactions allergiques chez l'enfant : mécanismes et implications dans le développement de nouvelles thérapeutiques. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique* 38(9):789-796. DOI 10.1016/S0335-7457(98)80195-0.

LINDENFORS, Patrik, NUNN, Charles L., JONES, Kate E., CUNNINGHAM, Andrew

A., SECHREST, Wes et GITTLEMAN, John L., 2007. Parasite species richness in carnivores: effects of host body mass, latitude, geographical range and population density. *Global Ecology and Biogeography* 16(4):496-509. DOI 10.1111/j.1466-8238.2006.00301.x.

MACHADO, Marco Antonio, S AZEVEDO, Ana Luisa, TEODORO, Roberto L., PIRES, Maria A., CD PEIXOTO, Maria Gabriela, DE FREITAS, Célio, PRATA, Márcia Cristina A., FURLONG, John, DA SILVA, Marcos Vinicius GB, GUIMARÃES, Simone EF, REGITANO, Luciana CA, COUTINHO, Luiz L., GASPARIN, Gustavo et VERNEQUE, Rui S., 2010. Genome wide scan for quantitative trait loci affecting tick resistance in cattle (*Bos taurus* × *Bos indicus*). *BMC Genomics* 11(1):280. DOI 10.1186/1471-2164-11-280.

MADIGAN, J. E. et PUSTERLA, N., 2000. Ehrlichial diseases. *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice* 16(3):487-499, ix. DOI 10.1016/s0749-0739(17)30091-3.

MAHARANA, Biswa, BAITHALU, Rubina, ALLAIE, Idrees et SAMAL, Chinmoy, 2011. Mechanism of immunity to tick infestation in livestock. *Veterinary World* pp. 131. DOI 10.5455/vetworld.2011.131-135.

MALANDRIN, Laurence, OLLIVIER, Lucie, HACHE, Margaux, BAROSI, Roxanne, BASTIAN, Suzanne et AGOULON, Albert, 2022. Les tiques des équidés : situation actuelle en France métropolitaine et méthodes de lutte. *Pratique Vétérinaire Équine* 214:59-67.

MALIK, R. et FARROW, B. R., 1991. Tick paralysis in North America and Australia. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice* 21(1):157-171. DOI 10.1016/s0195-5616(91)50016-4.

MAO, Shengyong, ZHANG, Mengling, LIU, Junhua et ZHU, Weiyun, 2015. Characterising the bacterial microbiota across the gastrointestinal tracts of dairy cattle: membership and potential function. *Scientific Reports* 5:16116. DOI 10.1038/srep16116.

MARANGA, R. O., HASSANALI, A., KAAAYA, G. P. et MUEKE, J. M., 2003. Attraction of *Amblyomma variegatum* (ticks) to the attraction-aggregation-attachment-pheromone with or without carbon dioxide. *Experimental & Applied Acarology* 29(1-2):121-130. DOI 10.1023/a:1024265529030.

MARTINEZ, M. L., MACHADO, M. A., NASCIMENTO, C. S., SILVA, M. V. G. B., TEODORO, R. L., FURLONG, J., PRATA, M. C. A., CAMPOS, A. L., GUIMARÃES,

M. F. M., AZEVEDO, A. L. S., PIRES, M. F. A. et VERNEQUE, R. S., 2006. Association of BoLA-DRB3.2 alleles with tick (*Boophilus microplus*) resistance in cattle. *Genetics and molecular research* 5(3):513-524.

MARUFU, M. C., CHIMONYO, M., MANS, B. J. et DZAMA, K., 2013. Cutaneous hypersensitivity responses to *Rhipicephalus* tick larval antigens in pre-sensitized cattle. *Ticks and Tick-Borne Diseases* 4(4):311-316. DOI 10.1016/j.ttbdis.2012.12.001.

MARUFU, Munyaradzi C., QOKWENI, Luxolo, CHIMONYO, Michael et DZAMA, Kennedy, 2011. Relationships between tick counts and coat characteristics in Nguni and Bonsmara cattle reared on semiarid rangelands in South Africa. *Ticks and Tick-Borne Diseases* 2(3):172-177. DOI 10.1016/j.ttbdis.2011.07.001.

MAURER, F. D., 1962. Equine piroplasmiasis--another emerging disease. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 141:699-702.

MCCOY, Karen D. et BOULANGER, Nathalie, 2017. *Tiques et maladies à tiques: biologie, écologie évolutive, épidémiologie*. Marseille : IRD Éditions. ISBN 978-2-7099-2101-5.

MEHLHORN, Heinz, 2001. *Encyclopedic Reference of Parasitology: Biology, Structure, Function*. Springer Science & Business Media. ISBN 978-3-540-66819-0.

M'GHIRBI, Youmna, YAÏCH, Hèla, GHORBEL, Abderazek et BOUATTOUR, Ali, 2012. *Anaplasma phagocytophilum* in horses and ticks in Tunisia. *Parasites & Vectors* 5:180. DOI 10.1186/1756-3305-5-180.

MITCHELL, Robert D., ZHU, Jiwei, CARR, Ann L., DHAMMI, Anirudh, CAVE, Grayson, SONENSHINE, Daniel E. et ROE, R. Michael, 2017. Infrared light detection by the haller's organ of adult american dog ticks, *Dermacentor variabilis* (Ixodida: Ixodidae). *Ticks and Tick-Borne Diseases* 8(5):764-771. DOI 10.1016/j.ttbdis.2017.06.001.

MOORING, M. S., MCKENZIE, A. A. et HART, B. L., 1996. Grooming in impala: role of oral grooming in removal of ticks and effects of ticks in increasing grooming rate. *Physiology & Behavior* 59(4-5):965-971. DOI 10.1016/0031-9384(95)02186-8.

MOORING, Michael S. et HART, Benjamin L., 1997. Self grooming in impala mothers and lambs: testing the body size and tick challenge principles. *Animal Behaviour* 53(5):925-934. DOI 10.1006/anbe.1996.0341.

MOORING, Michael et SAMUEL, 1998. Tick defense strategies in Bison: the role of grooming and hair coat. *Behaviour* 135:693-718. DOI 10.1163/156853998792640413.

MOORING, Michael et SAMUEL, W.M., 1998. Tick-removal grooming by elk (*Cervus*

*elaphus*): Testing the principles of the programmed-grooming hypothesis. *Canadian Journal of Zoology* 76:740-750. DOI 10.1139/cjz-76-4-740.

NESARGIKAR, P. N., SPILLER, B. et CHAVEZ, R., 2012. The complement system: history, pathways, cascade and inhibitors. *European Journal of Microbiology & Immunology* 2(2):103-111. DOI 10.1556/EuJMI.2.2012.2.2.

NORVAL, R. A., PETER, T., SONENSHINE, D. E. et BURRIDGE, M. J., 1992. Responses of the ticks *Amblyomma hebraeum* and *A. variegatum* to known or potential components of the aggregation-attachment pheromone. III. Aggregation. *Experimental & Applied Acarology* 16(3):237-245. DOI 10.1007/BF01193806.

OLIVER, M. K., TELFER, S. et PIERTNEY, S. B., 2009. Major histocompatibility complex (MHC) heterozygote superiority to natural multi-parasite infections in the water vole (*Arvicola terrestris*). *Proceedings Biological Sciences*. 276(1659):1119-1128. DOI 10.1098/rspb.2008.1525.

ONYICHE, ThankGod E., SUGANUMA, Keisuke, IGARASHI, Ikuo, YOKOYAMA, Naoaki, XUAN, Xuenan et THEKISOE, Oriel, 2019. A review on equine piroplasmiasis: epidemiology, vector ecology, risk factors, host immunity, diagnosis and control. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(10):e1736. DOI 10.3390/ijerph16101736.

PATERSON, S., WILSON, K. et PEMBERTON, J. M., 1998. Major histocompatibility complex variation associated with juvenile survival and parasite resistance in a large unmanaged ungulate population. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 95(7):3714-3719. DOI 10.1073/pnas.95.7.3714.

PATTON, Sharon, RABINOWITZ, Alan, RANDOLPH, Steve et JOHNSON, Sandra Strawbridge, 1986. A Coprological Survey of Parasites of Wild Neotropical Felidae. *The Journal of Parasitology* 72(4):517-520. DOI 10.2307/3281500.

PÉREZ-EID, Claudine, 2007. *Les tiques : identification, biologie, importance médicale et vétérinaire*. Lavoisier. ISBN 978-2-7430-1956-3.

PHILLIPS, James S. et SONENSHINE, Daniel E., 1993. Role of the male claw sensilla in perception of female mounting sex pheromone in *Dermacentor variabilis*, *Dermacentor andersoni* and *Amblyomma americanum*. *Experimental & Applied Acarology*. 17(9):631-653. DOI 10.1007/BF00058504.

PICKETT, John A., BIRKETT, Michael A., DEWHIRST, Sarah Y., LOGAN, James G., OMOLO, Maurice O., TORTO, Baldwyn, PELLETIER, Julien, SYED, Zainulabeuddin et LEAL, Walter S., 2010. Chemical Ecology of Animal and Human Pathogen Vectors



in a Changing Global Climate. *Journal of Chemical Ecology* 36(1):113-121. DOI 10.1007/s10886-010-9739-9.

PIPER, E. K., JONSSON, N. N., GONDRO, C., VANCE, M. E., LEW-TABOR, A. et JACKSON, L. A., 2017. Peripheral cellular and humoral responses to infestation with the cattle tick *Rhipicephalus microplus* in Santa Gertrudis cattle. *Parasite Immunology* 39:1. DOI 10.1111/pim.12402.

PIPER, Emily K., JACKSON, Louise A., BAGNALL, Neil H., KONGSUWAN, Kritaya K., LEW, Ala E. et JONSSON, Nicholas N., 2008. Gene expression in the skin of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle infested with the cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 126(1-2):110-119. DOI 10.1016/j.vetimm.2008.06.011.

PIPER, Emily K., JACKSON, Louise A., BIELEFELDT-OHMANN, Helle, GONDRO, Cedric, LEW-TABOR, Ala E. et JONSSON, Nicholas N., 2010. Tick-susceptible *Bos taurus* cattle display an increased cellular response at the site of larval *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* attachment, compared with tick-resistant *Bos indicus* cattle. *International Journal for Parasitology* 40(4):431-441. DOI 10.1016/j.ijpara.2009.09.009.

POULIN, Robert, 1995. Phylogeny, ecology, and the richness of parasite communities in vertebrates. *Ecological Monographs* 65(3):283-302. DOI 10.2307/2937061.

PROKOP-PRIGGE, Katharine A., MANSFIELD, Corrine J., PARKER, M. Rockwell, THALER, Erica, GRICE, Elizabeth A., WYSOCKI, Charles J. et PRETI, George, 2015. Ethnic/racial and genetic influences on cerumen odorant profiles. *Journal of Chemical Ecology* 41(1):67-74. DOI 10.1007/s10886-014-0533-y.

PRUETT, J. H., UNTALAN, P. M. et DAVEY, R. B., 2006. Identification and partial purification of serologically defined *Boophilus microplus* larval antigens by natural ectoparasite exposure. *Veterinary Parasitology* 140(1-2):148-157. DOI 10.1016/j.vetpar.2006.03.017.

QABLAN, Moneeb A., OBORNÍK, Miroslav, PETRŽELKOVÁ, Klára J., SLOBODA, Michal, SHUDIEFAT, Mustafa F., HOŘÍN, Petr, LUKEŠ, Julius et MODRÝ, David, 2013. Infections by *Babesia caballi* and *Theileria equi* in Jordanian equids: epidemiology and genetic diversity. *Parasitology* 140(9):1096-1103. DOI 10.1017/S0031182013000486.

RÅBERG, Lars, SIM, Derek et READ, Andrew F., 2007. Disentangling genetic variation for resistance and tolerance to infectious diseases in animals. *Science*

318(5851):812-814. DOI 10.1126/science.1148526.

RAMAMOORTHY, Nandhini, NARASIMHAN, Sukanya, PAL, Utpal, BAO, Fukai, YANG, Xiaofeng F., FISH, Durland, ANGUIA, Juan, NORGARD, Michael V., KANTOR, Fred S., ANDERSON, John F., KOSKI, Raymond A. et FIKRIG, Erol, 2005. The Lyme disease agent exploits a tick protein to infect the mammalian host. *Nature* 436(7050):573-577. DOI 10.1038/nature03812.

RANJU, R. S., LATHA, Bhaskaran Ravi, LEELA, V. et BASITH, S. Abdul, 2013. Field trials to attract questing stages of brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus* using tick pheromone–acaricide complex. *Journal of Parasitic Diseases* 37(1):84-87. DOI 10.1007/s12639-012-0136-x.

ROBBERTSE, Luise, RICHARDS, Sabine A. et MARITZ-OLIVIER, Christine, 2017. Bovine immune factors underlying tick resistance: integration and future directions. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 7:522. DOI 10.3389/fcimb.2017.00522.

ROMANI, N., LENZ, A., GLASSEL, H., STÖSSEL, H., STANZL, U., MAJDIC, O., FRITSCH, P. et SCHULER, G., 1989. Cultured human Langerhans cells resemble lymphoid dendritic cells in phenotype and function. *The Journal of Investigative Dermatology* 93(5):600-609. DOI 10.1111/1523-1747.ep12319727.

ROSSBACH, K., NASSENSTEIN, C., GSCHWANDTNER, M., SCHNELL, D., SANDER, K., SEIFERT, R., STARK, H., KIETZMANN, M. et BÄUMER, W., 2011. Histamine H1, H3 and H4 receptors are involved in pruritus. *Neuroscience* 190:89-102. DOI 10.1016/j.neuroscience.2011.06.002.

ROTHSCHILD, Chantal M., 2013. Equine Piroplasmiasis. *Journal of Equine Veterinary Science* 33(7):497-508. DOI 10.1016/j.jevs.2013.03.189.

SALEEM, Sehrish, IJAZ, Muhammad, FAROOQI, Shahid Hussain, GHAFAR, Awais, ALI, Ahmad, IQBAL, Kashif, MEHMOOD, Khalid et ZHANG, Hui, 2018. Equine granulocytic anaplasmosis 28 years later. *Microbial Pathogenesis* 119:1-8. DOI 10.1016/j.micpath.2018.04.001.

SBARBATI, A. et OSCULATI, F., 2006. Allelochemical communication in vertebrates: kairomones, allomones and synomones. *Cells Tissues Organs* 183(4):206-219. DOI 10.1159/000096511.

SCHAD, Julia, DECHMANN, Dina K. N., VOIGT, Christian C. et SOMMER, Simone, 2012. Evidence for the « good genes » model: association of MHC class II DRB alleles with ectoparasitism and reproductive state in the neotropical lesser bulldog bat, *Noctilio albiventris*. *PloS One* 7(5):e37101. DOI 10.1371/journal.pone.0037101.

SCHLEGER, A. V., LINCOLN, D. T., MCKENNA, R. V., KEMP, D. H. et ROBERTS, J. A., 1976. *Boophilus microplus*: cellular responses to larval attachment and their relationship to host resistance. *Australian Journal of Biological Sciences* 29(5-6):499-512. DOI 10.1071/bi9760499.

SCHUIJT, Tim J., COUMOU, Jeroen, NARASIMHAN, Sukanya, DAI, Jianfeng, DEPONTE, Kathleen, WOUTERS, Diana, BROUWER, Mieke, OEI, Anneke, ROELOFS, Joris J. T. H., VAN DAM, Alje P., VAN DER POLL, Tom, VAN'T VEER, Cornelis, HOVIUS, Joppe W. et FIKRIG, Erol, 2011. A tick mannose-binding lectin inhibitor interferes with the vertebrate complement cascade to enhance transmission of the lyme disease agent. *Cell Host & Microbe* 10(2):136-146. DOI 10.1016/j.chom.2011.06.010.

SCHULL, Daniel N., LITSTER, Annette L. et ATWELL, Richard B., 2007. Tick toxicity in cats caused by *Ixodes* species in Australia: a review of published literature. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 9(6):487-493. DOI 10.1016/j.jfms.2007.06.006.

SCOLES, Glen A. et UETI, Massaro W., 2015. Vector ecology of equine piroplasmiasis. *Annual Review of Entomology* 60:561-580. DOI 10.1146/annurev-ento-010814-021110.

SÉCHET, Guillaume et DZIADULA, Dorian, 2022a. Actualités météo: Bilan météo et climatique de mai 2022 : historiquement chaud et sec ! 04/06/2022. [en ligne]. juin 2022. [Consulté le 23 novembre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.meteo-paris.com/actualites/bilan-meteo-et-climatique-de-mai-2022-historiquement-chaud-et-sec>

SÉCHET, Guillaume et DZIADULA, Dorian, 2022b. Actualités météo: Bilan météo et climatique de juin 2022 : chaud mais extrêmement instable et orageux 02/07/2022. [en ligne]. 2 juillet 2022. [Consulté le 23 novembre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.meteo-paris.com/actualites/bilan-meteo-et-climatique-de-juin-2022-chaud-mais-extremement-instable-et-orageux>

SHIGETOMI, Hiroshi, ONOGI, Akira, KAJIWARA, Hirotaka, YOSHIDA, Shozo, FURUKAWA, Naoto, HARUTA, Shoji, TANASE, Yasuhito, KANAYAMA, Seiji, NOGUCHI, Taketoshi, YAMADA, Yoshihiko, OI, Hidekazu et KOBAYASHI, Hiroshi, 2010. Anti-inflammatory actions of serine protease inhibitors containing the Kunitz domain. *Inflammation Research* 59(9):679-687. DOI 10.1007/s00011-010-0205-5.

SIGURJÓNSDÓTTIR, Hrefna, SNORRASON, Sigurdur, DIERENDONCK, Machteld van et THÓRHALLSDÓTTIR, Anna, 2003. Social relationships in a group of horses

without a mature stallion. *Behaviour* 140(6):783-804. DOI 10.1163/156853903322370670.

SLOAN, C. A., 1968. Mortality in sheep due to *Ixodes* species. *Australian Veterinary Journal* 44(11):527. DOI 10.1111/j.1751-0813.1968.tb09018.x.

SOMMER, Simone, 2005. The importance of immune gene variability (MHC) in evolutionary ecology and conservation. *Frontiers in Zoology* 2:16. DOI 10.1186/1742-9994-2-16.

SONENSHINE, D. E., 2004. Pheromones and other semiochemicals of ticks and their use in tick control. *Parasitology* 129:S405-425. DOI 10.1017/s003118200400486x.

SONENSHINE, Daniel, 2014. The Biology of Ticks. In : *New York, Oxford University Press*.

SONENSHINE, Daniel E., 1991. *Biology of Ticks*. Oxford University Press. ISBN 978-0-19-505910-6.

SONENSHINE, Daniel E., 2006. Tick pheromones and their use in tick control. *Annual Review of Entomology* 51:557-580. DOI 10.1146/annurev.ento.51.110104.151150.

SONENSHINE, Daniel E. et ROE, R. Michael, 2013. *Biology of Ticks Volume 1*. OUP USA. ISBN 978-0-19-974405-3.

SOUNDARARAJAN, C., NAGARAJAN, K., MUTHUKRISHNAN, S. et ARUL PRAKASH, M., 2018. Tick infestation on sheep, goat, horse and wild hare in Tamil Nadu. *Journal of Parasitic Diseases: Official Organ of the Indian Society for Parasitology* 42(1):127-129. DOI 10.1007/s12639-018-0977-z.

STACHURSKI, F., 2000. Invasion of West African cattle by the tick *Amblyomma variegatum*. *Medical and Veterinary Entomology* 14(4):391-399. DOI 10.1046/j.1365-2915.2000.00246.x.

STONE, Kelly D., PRUSSIN, Calman et METCALFE, Dean D., 2010. IgE, mast cells, basophils, and eosinophils. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology* 125:S73-80. DOI 10.1016/j.jaci.2009.11.017.

SUNDSTROM, Kellee D., LINEBERRY, Megan W., GRANT, Amber N., DUNCAN, Kathryn T., IENTILE, Michelle M. et LITTLE, Susan E., 2021. Equine attachment site preferences and seasonality of common North American ticks: *Amblyomma americanum*, *Dermacentor albipictus*, and *Ixodes scapularis*. *Parasites & Vectors* 14(1):404. DOI 10.1186/s13071-021-04927-8.

SUPPAN, Johannes, ENGEL, Benedikt, MARCHETTI-DESCHMANN, Martina et NÜRNBERGER, Sylvia, 2018. Tick attachment cement - reviewing the mysteries of a

biological skin plug system: Tick attachment cement. *Biological Reviews* 93(2):1056-1076. DOI 10.1111/brv.12384.

SYED, Zainulabeuddin, 2015. Chemical ecology and olfaction in arthropod vectors of diseases. *Current Opinion in Insect Science* 10:83-89. DOI 10.1016/j.cois.2015.04.011.

TABAKAWA, Yuya, OHTA, Takuya, YOSHIKAWA, Soichiro, ROBINSON, Elisabeth J., YAMAJI, Kayoko, ISHIWATA, Kenji, KAWANO, Yohei, MIYAKE, Kensuke, YAMANISHI, Yoshinori, OHTSU, Hiroshi, ADACHI, Takahiro, WATANABE, Naohiro, KANUKA, Hirotaka et KARASUYAMA, Hajime, 2018. Histamine released from skin-infiltrating basophils but not mast cells is crucial for acquired tick resistance in mice. *Frontiers in Immunology* 9:1540. DOI 10.3389/fimmu.2018.01540.

TABOR, Ala E., ALI, Abid, REHMAN, Gauhar, ROCHA GARCIA, Gustavo, ZANGIROLAMO, Amanda Fonseca, MALARDO, Thiago et JONSSON, Nicholas N., 2017. Cattle Tick *Rhipicephalus microplus*-host interface: a review of resistant and susceptible host responses. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 7:506. DOI 10.3389/fcimb.2017.00506.

TAKADA, T., KIKKAWA, Y., YONEKAWA, H. et AMANO, T., 1998. Analysis of goat MHC class II DRA and DRB genes: identification of the expressed gene and new DRB alleles. *Immunogenetics* 48(6):408-412. DOI 10.1007/s002510050452.

TATCHELL, R. J. et MOORHOUSE, D. E., 1968. The feeding processes of the cattle tick *Boophilus microplus* (Canestrini). II. The sequence of host-tissue changes. *Parasitology* 58(2):441-459. DOI 10.1017/s0031182000069468.

TATCHELL, R. J. et MOORHOUSE, D. E., 1970. Neutrophils: their role in the formation of a tick feeding lesion. *Science* 167(3920):1002-1003. DOI 10.1126/science.167.3920.1002.

TAYLOR, G.J., SWANEPOEL, F.J.C. et BISHOP, J., 1995. Factors influencing coat type in Bonsmara cattle. [en ligne]. [Consulté le 2 juin 2022]. Disponible à l'adresse : [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Factors%20influencing%20coat%20type%20in%20Bonsmara%20cattle&publication\\_year=1995&author=G.J.%20Taylor&author=F.J.C.%20Swanepoel&author=J.%20Bishop](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Factors%20influencing%20coat%20type%20in%20Bonsmara%20cattle&publication_year=1995&author=G.J.%20Taylor&author=F.J.C.%20Swanepoel&author=J.%20Bishop)

TIROSH-LEVY, Sharon, GOTTLIEB, Yuval, APANASKEVICH, Dmitry A., MUMCUOGLU, Kosta Y. et STEINMAN, Amir, 2018. Species distribution and seasonal dynamics of equine tick infestation in two Mediterranean climate niches in Israel. *Parasites & Vectors* 11(1):546. DOI 10.1186/s13071-018-3093-0.

TRUMPP, Kelsey M., PARSLEY, Ashley L., LEWIS, Melissa J., CAMP, Joseph W. et TAYLOR, Sandra D., 2019. Presumptive tick paralysis in 2 American Miniature horses in the United States. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 33(4):1784-1788. DOI 10.1111/jvim.15540.

VALDÉS, James J., 2014. Antihistamine response: a dynamically refined function at the host-tick interface. *Parasites & Vectors*. 7):491. DOI 10.1186/s13071-014-0491-9.

VERÍSSIMO, Cecília, NICOLAU, C., CARDOSO, Vera et PINHEIRO, Maria da Graça, 2002. Haircoat characteristics and tick infestation on Gyr (Zebu) and crossbred (Holstein x GYR) cattle. *Archivos de zootecnia* 51(195):389-392.

VILLAR, Margarita, PACHECO, Iván, MERINO, Octavio, CONTRERAS, Marinela, MATEOS-HERNÁNDEZ, Lourdes, PRADO, Eduardo, BARROS-PICANÇO, Dina Karen, LIMA-BARBERO, José Francisco, ARTIGAS-JERÓNIMO, Sara, ALBERDI, Pilar, FERNÁNDEZ DE MERA, Isabel G., ESTRADA-PEÑA, Agustín, CABEZAS-CRUZ, Alejandro et DE LA FUENTE, José, 2020. Tick and host derived compounds detected in the cement complex substance. *Biomolecules* 10(4):555. DOI 10.3390/biom10040555.

WADA, Takeshi, ISHIWATA, Kenji, KOSEKI, Haruhiko, ISHIKURA, Tomoyuki, UGAJIN, Tsukasa, OHNUMA, Naotsugu, OBATA, Kazushige, ISHIKAWA, Ryosuke, YOSHIKAWA, Soichiro, MUKAI, Kaori, KAWANO, Yohei, MINEGISHI, Yoshiyuki, YOKOZEKI, Hiroo, WATANABE, Naohiro et KARASUYAMA, Hajime, 2010. Selective ablation of basophils in mice reveals their nonredundant role in acquired immunity against ticks. *The Journal of Clinical Investigation* 120(8):2867-2875. DOI 10.1172/JCI42680.

WAGNER, J. L., BURNETT, R. C. et STORB, R., 1999. Organization of the canine major histocompatibility complex: current perspectives. *The Journal of Heredity* 90(1):35-38. DOI 10.1093/jhered/90.1.35.

WALKER, A. R. et FLETCHER, J. D., 1986. Histological study of the attachment sites of adult *Rhipicephalus appendiculatus* on rabbits and cattle. *International Journal for Parasitology* 16(4):399-413. DOI 10.1016/0020-7519(86)90121-9.

WALKER, Jane B., KEIRANS, James E. et HORAK, Ivan G., 2005. The genus *Rhipicephalus* (Acari, Ixodidae): A Guide to the brown ticks of the world. Cambridge University Press. ISBN 978-1-316-58374-6.

WALL, Richard, MCGARRY, John, PHIPPS, Paul, MEDLOCK, Jolyon, BECCALONI, Janet, WALKER, Alan et ESTRADA-PENA, Augustin, 2016. Bristol University Tick ID.

[en ligne]. 2016. [Consulté le 21 novembre 2022]. Disponible à l'adresse : <http://www.bristoluniversitytickid.uk/>

WANG, YH, REVERTER, A., KEMP, D., MCWILLIAM, S., INGHAM, A., DAVIS, CA, MOORE, R. et LEHNERT, Sigrid, 2007. Gene expression profiling of Hereford Shorthorn cattle following challenge with. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47. DOI 10.1071/EA07012.

WEBB, J. P., GEORGE, J. E. et COOK, B., 1977. Sound as a host-detection cue for the soft tick *Ornithodoros concanensis*. *Nature* 265(5593):443-444. DOI 10.1038/265443a0.

WELDON, Paul J., 2013. Chemical aposematism. *Chemoecology* 23(4):201-202. DOI 10.1007/s00049-013-0140-3.

WEN, Ting et ROTHENBERG, Marc E., 2016. The regulatory function of eosinophils. *Microbiology Spectrum* 4(5). DOI 10.1128/microbiolspec.MCHD-0020-2015.

WIKEL, S. K. et ALLEN, J. R., 1977. Acquired resistance to ticks. iii. Cobra venom factor and the resistance response. *Immunology* 32(4):457-465.

WILSON, A. D., 2014. Immune responses to ectoparasites of horses, with a focus on insect bite hypersensitivity. *Parasite Immunology* 36(11):560-572. DOI 10.1111/pim.12142.

WISE, L. Nicki, PELZEL-MCCLUSKEY, Angela M., MEALEY, Robert H. et KNOWLES, Donald P., 2014. Equine piroplasmiasis. *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice* 30(3):677-693. DOI 10.1016/j.cveq.2014.08.008.

YOSHIKAWA, Soichiro, MIYAKE, Kensuke, KAMIYA, Atsunori et KARASUYAMA, Hajime, 2021. The role of basophils in acquired protective immunity to tick infestation. *Parasite Immunology* 43(5):e12804. DOI 10.1111/pim.12804.

YOUSFI-MONOD, R. et AESCHLIMANN, A., 1986. Studies on ticks (Acarina, Ixodidae), parasites of cattle in West Algeria. I. Systematic survey and seasonal activity. *Annales de parasitologie humaine et comparée* 61(3):341-358. DOI 10.1051/parasite/1986613341.

YUSPA, S. H., KILKENNY, A. E., STEINERT, P. M. et ROOP, D. R., 1989. Expression of murine epidermal differentiation markers is tightly regulated by restricted extracellular calcium concentrations in vitro. *The Journal of Cell Biology* 109(3):1207-1217. DOI 10.1083/jcb.109.3.1207.

ZAHLER, M. et GOTHE, R., 1995. Effect of temperature and humidity on egg hatch, moulting and longevity of larvae and nymphs of *Dermacentor reticulatus* (Ixodidae).

*Applied parasitology* 36(1):53-65.

ZAJĄC, Zbigniew, BARTOSIK, Katarzyna et WOŹNIAK, Aneta, 2020. Monitoring *Dermacentor reticulatus* host-seeking activity in natural conditions. *Insects* 11(5):E264. DOI 10.3390/insects11050264.

ZOBBA, Rosanna, ARDU, Mauro, NICCOLINI, Serena, CHESSA, Bernardo, MANNA, Laura, COCCO, Raffaella et PINNA PARPAGLIA, Maria Luisa, 2008. Clinical and laboratory findings in equine piroplasmiasis. *Journal of Equine Veterinary Science* 28(5):301-308. DOI 10.1016/j.jevs.2008.03.005.



**AGREMENT SCIENTIFIQUE**

**Pour autorisation d'impression de la thèse d'exercice en vue de l'obtention du  
diplôme d'Etat de docteur vétérinaire**

Je soussigné, Emmanuel LIENARD, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse d'EBERHART Manon, Marie, intitulée « Variations interindividuelles d'abondance des tiques sur équidés : mise en évidence et recherche de facteurs explicatifs » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 16/11/2022  
Enseignant-chercheur de l'Ecole Nationale  
Vétérinaire de Toulouse  
Docteur Emmanuel LIENARD



Vu :  
Le Directeur de l'École Nationale  
Vétérinaire de Toulouse  
M. Pierre SANS



Vu :  
Le Président du jury  
Professeur Alexis VALENTIN



Vu et autorisation de l'impression :  
Le Président de l'Université Paul  
Sabatier  
Monsieur Jean-Marc BROTO  
Par déléation, le Doyen de la faculté de  
Santé de Toulouse  
Monsieur Philippe POMAR



EBERHART Manon, Marie  
a été admis (e) sur concours en : 2017  
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 01/07/2021  
a validé l'ensemble des crédits ECTS relatifs à la préparation de la thèse d'exercice le : 09/06/2022



Université  
de Toulouse

Toulouse, 2022

**NOM** : EBERHART

**PRÉNOM** : Manon

**TITRE** : Variations interindividuelles d'abondance des tiques sur équidés : mise en évidence et recherche de facteurs explicatifs

**RÉSUMÉ** : L'inégale abondance des tiques sur équidés est un phénomène couramment observé, mais peu expliqué. En effet, de nombreux facteurs entrent en compte, à savoir l'environnement, les conditions météorologiques, la répartition des tiques dans le milieu, ainsi que les caractéristiques propres au cheval. Tous ces facteurs sont interdépendants et difficilement isolables. La réalisation de collectes de tiques a permis de valider qu'au sein d'un groupe de chevaux vivant au pré se distinguait souvent un cheval, porteur d'une quantité de tiques plus importante, et ce peu importe sa localisation géographique et l'espèce de tiques concernée. La réalisation d'un questionnaire d'enquête rassemblant des informations propres à chaque cheval a permis de montrer que les chevaux fréquemment sujets aux problèmes de santé générale ou aux problèmes dermatologiques sont plus enclins à être porteurs de tiques. De nombreux autres facteurs influent probablement, mais n'ont pu être mis en évidence.

**MOTS-CLÉS** : tiques, abondance, équidés, infestation, science participative

---

**TITLE**: Inter-individual variations in tick abundance on equids: identification and search for explanatory factors

**ABSTRACT**: The uneven abundance of ticks on horses is a commonly observed but poorly explained phenomenon. Indeed, many factors come into play, namely the environment, the weather conditions, the distribution of ticks in the environment, as well as the horse's own characteristics. All these factors are interdependent and difficult to isolate. The collection of ticks allowed us to validate that within a group of horses living in a meadow, one horse was often the carrier of a greater quantity of ticks, regardless of its geographical location and the species of ticks concerned. The completion of a survey questionnaire collecting horse-specific information showed that horses with frequent general health or dermatological problems are more likely to be tick carriers. Many other factors are probably involved, but could not be identified.

**KEYWORDS**: ticks, abundance, equidae, infestation, citizen science