TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX 4

LISTE DES FIGURES 5

LISTE DES PHOTOGRAPHIES 7

LISTE DES ABRÉVIATIONS 8

INTRODUCTION 9

PREMIERE PARTIE: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 11

1. L'AGENT PATHOGENE : *Salmonella enterica* subspecies *enterica* serovar Abortusovis 11

1.1. Taxonomie et nomenclature 11
1.2. Morphologie 12
1.3. Caractères culturaux 13
1.4. Caractères biochimiques 14
1.5. Capacité de survie dans l'environnement 15
1.6. Propriétés antigéniques 15
1.7. Pathogénie 15
1.7.1. Transmission et voies de contamination 15
1.7.2. Réponse immunitaire 16

2. LA SALMONELLOSE ABORTIVE OVINE 18

2.1. Définition 18
2.2. Historique et épidémiologie de la maladie 18
2.3. Symptomatologie 19
2.4. Lésions *post-mortem* 19
2.5. Démarche diagnostique et diagnostic différentiel face à des avortements chez les petits ruminants 20
2.6. Examens complémentaires 21
2.6.1. Isolement et identification 21
2.6.2. Réaction en Chaîne par Polymérase (PCR) 21
2.6.3. Séroagglutination 22
2.6.3. Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) 23
2.7. Traitements 23
2.8. Prophylaxie 24
2.8.1. Hygiène et prophylaxie sanitaire 24
2.8.2. Vaccination 24

3. IMPORTANCE DE LA SALMONELLOSE ABORTIVE OVINE CHEZ LES CAPRINI SAUVAGES 25
3.1. Quelques aspects généraux sur la conservation des espèces 25
3.1.1. Union Internationale pour la Conservation de la Nature 25
3.1.2. Législation 26
3.1.3. Plans d'élevages européens 27
3.2. Quelques éléments de zoologie, éthologie et zootechnie des Caprini sauvages. 28
3.3. Taxonomie, zoologie, biologie et conservation des Caprini sauvages. 29
3.3.1. *Pantholops* (Hodson, 1834) 30
3.3.2. *Ammotragus* (Blyth, 1840) 31
3.3.3. *Arabitragus* (Ropiquet & Hassanin, 2005) 31
3.3.4. *Rupicapra* (de Blainville, 1816) 32
3.3.5. *Budorcas* (Hodgson, 1850) 32
3.3.6. *Pseudois* (Hodgson, 1846) 33
3.3.7. *Capra* (Linnaeus, 1758) 34
3.3.8. *Hemitragus* (Hodgson, 1841) 35
3.3.9. *Oreamnos* (Rafinesque, 1817) 35
3.3.10. *Ovis* (Linnaeus, 1758) 38
3.3.11. *Ovibos* (de Blainville, 1816) 39
3.3.12. *Nemorhaedus* (C.H. Smith, 1827) 39
3.3.13. *Capricornis* (Ogilby, 1837) 40
3.3.14. *Nilgiritragus* (Ropiquet & Hassanin, 2005) 41
3.4. Etude de l'infection par *Salmonella* Abortusovis chez des Caprini 42
3.4.1. Etude de l'infection par *Salmonella* Abortusovis chez *Rupicapra rupicapra* 42
3.4.2. Etude de l'infection par Salmonella Abortusovis chez l'isard (*Rupicapra pyrenaica pyrenaica*) 43
3.4.3. Etude de l'infection par Salmonella Abortusovis chez le mouflon méditerranéen (*Ovis gmelini*) et le mouton domestique (*Ovis aries*) 44

DEUXIEME PARTIE: ETUDE DE LA SALMONELLOSE ABORTIVE OVINE CHEZ LES CAPRINI SAUVAGES EN CAPTIVITE 45

1. OBJECTIFS 46

2. MATERIELS ET METHODES 46

2.1. Description des échantillons 46
2.1.1 La Ménagerie du Jardin des Plantes 46
2.1.2. Le Parc zoologique et botanique de Mulhouse 47
2.1.3. L'enquête par questionnaire 47
2.2. Collecte des données 47
2.2.1. Informations sur les individus 47
2.2.2. Réalisation des prélèvements 47
2.2.3. Sérothèques 49

2.2.4. Acheminement des prélèvements pour analyses 51
2.2.5. L'enquête par questionnaire 51
2.3. Interprétation des données 51
3. RESULTATS 52
3.1. Ménagerie du Jardin des Plantes 52
3.1.1. Prélèvements réalisés en 2014 52
3.1.2. Etude rétrospective de 2003 à 2014 inclus 53
3.2. Parc zoologique et botanique de Mulhouse 56
3.2.1. Prélèvements réalisés en 2014 56
3.2.2. Etude rétrospective de 2003 à janvier 2015 inclus 57
3.3. Etude sur les deux parcs 59
3.4. L'enquête par questionnaire 61
4. DISCUSSION 61
4.1 Critique du protocole de l'étude sérologique 61
4.2. Séroprévalence de la maladie 62
4.3. Etude selon le sexe 62
4.4. Etude selon l'âge 63
4.5. Etude selon l'espèce 63
4.6. Etude selon les antécédents 64
4.7. Etude selon les années de prélèvement 65
4.8. Quelques cas particuliers 65
4.8.1 Groupe de Bharals (*Pseudois nayaur*) 65
4.8.2 Groupe de bouquetins de Sibérie (*Capra sibirica*) 66
5. CONCLUSIONS ET CONDUITES A TENIR 66
CONCLUSION 67
BIBLIOGRAPHIE 68
ANNEXE 1 71
ANNEXE 2 73
ANNEXE 3 75
ANNEXE 4 79
ANNEXE 5 81
ANNEXE 6 83

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractères biochimiques des différentes sous-espèces de *Salmonella enterica*..... 15

Tableau 2 : Symptômes et lésions macroscopiques pouvant être observés lors d'avortements chez les petits ruminants……...……...20

Tableau 3 : Postulats de Koch 21

Tableau 4 : Postulats d'Evans 22

Tableau 5 : Préparation et répartition des sérums et de l'antigène..... 22

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des différentes méthodes diagnostiques permettant la mise en évidence d'une infection à Salmonella Abortusovis……...….23

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des genres et espèces de Caprini 42

Tableau 8 : Effectifs des Caprini présents au sein de la MJP en 2014 et de 2003 à 2014 46

Tableau 9 : Effectifs des naissances et du nombre de juvéniles morts à un âge inférieur à 10 jours et mortinatalité entre 2003 et 2013 au sein des Caprini de la MJP……..46

Tableau 10 : Effectifs des Caprini présents au sein du parc zoologique et botanique de Mulhouse en janvier 2015 et de 2003 à janvier 2015……47

Tableau 11 : Résultats globaux des analyses sérologiques de la MJP en 2014..... 52

Tableau 12 : Résultats globaux des analyses sérologiques de la MJP de 2003 à 2014 inclus 54

Tableau 13 : Résultats globaux des analyses sérologiques du PZBM en janvier 2015..... 56

Tableau 14 : Résultats globaux des analyses sérologiques du PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus ... 57

Tableau 15 : Résultats globaux sur les 2 parcs de 2003 à janvier 2015 59

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Nomenclature du genre *Salmonella* 11

Figure 2 : Représentation schématique d'une entérobactérie 12

Figure 3 : Représentation schématique de la structure des enveloppes d'une bactérie Gram négative. 12

Figure 4 : Représentation schématique du LPS 13

Figure 5 : Représentation schématique du modèle d'infection d'une brebis par Salmonella Abortusovis……16

Figure 6 : Arbre phylogénétique de la tribu des Caprini reconstruit à partir d'un alignement du génome mitochondrial complet……...29

Figure 7 : Représentation schématique de la part de juvéniles décédant avant 10 jours d'âge entre 2003 et 2013 à la MJP……..45

Figure 8 : Répartition du nombre de *sera* recueillis à la MJP en 2014 selon l'âge et le sexe 47

Figure 9 : Répartition du nombre de *sera* recueillis à la MJP en 2014 selon l'espèce et le sexe 47

Figure 10 : Répartition du nombre de sera recueillis au PZBM en janvier 2015 selon l'âge et le sexe 47

Figure 11 : Répartition du nombre de sera recueillis au PZBM en janvier 2015 l'espèce et le sexe 47

Figure 12 : Répartition du nombre de sera recueillis à la MJP de 2003 à 2014 inclus selon l'espèce et le sexe……..50

Figure 13 : Répartition du nombre de sera recueillis au PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus selon l'âge et le sexe……..50

Figure 14 : Répartition du nombre de sera recueillis à la MJP de 2003 à 2014 inclus selon l'âge et le sexe……..50

Figure 15 : Répartition des sera recueillis au PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus selon l'espèce et le sexe 51

Figure 16 : Proportions des individus positifs et non négatifs suivant le sexe à la MJP en 2014 52

Figure 17 : Proportion des individus positifs et non-négatifs selon leur âge à la MJP en 2014 53

Figure 18 : Proportions des individus positifs et non-négatifs selon l'espèce à la MJP en 2014……...53

Figure 19 : Proportions des individus positifs et non négatifs selon le sexe à la MJP de 2003 à 2014 inclus……...54

Figure 20 : Proportion des individus positifs et non-négatifs selon leur âge à la MJP de 2003 à 2014 inclus……...54

Figure 21 : Proportions des individus positifs et non-négatifs selon l'espèce à la MJP de 2003 à 2014 inclus……...55

Figure 22 : Proportions des individus positifs et non-négatifs selon leurs la présence d'antécédents à la MJP de 2003 à la 2014 inclus……55

Figure 23 : Proportions des individus positifs et non-négatifs suivant l'année de prélèvement à la MJP de 2003 à 2014 inclus……..….56

Figure 24 : Proportions des individus positifs et non négatifs suivant le sexe au PZBM en janvier 2015.57

Figure 25 : Proportions des individus positifs et non négatifs selon le sexe au PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus……...57

Figure 26 : Proportion des individus positifs et non-négatifs selon leur âge au PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus……...58

Figure 27 : Proportions des individus positifs et non-négatifs selon l'espèce au PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus ……..58

Figure 28 : Proportions des individus positifs et non-négatifs suivant l'année de prélèvement au PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus……...58

Figure 29 : Proportions des individus positifs et non-négatifs selon leur provenance de 2003 à janvier 2015 inclus……...59

Figure 30 : Proportion des individus positifs et non-négatifs selon leur âge au sein des deux parcs de 2003 à janvier 2015……...…..60

Figure 31 : Proportion des individus positifs et non-négatifs selon le sexe au sein des deux parcs entre 2003 et janvier 2015……60

Figure 32 : Proportions des individus positifs et non-négatifs selon l'espèce au sein des deux parcs de 2003 à janvier 2015……61

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie 1 : Culture de *Salmonella* Abortusovis 14
Photographie 2 : Fœtus de brebis présentant de l'emphysème 19
Photographie 3 : Anatomie des molaires et prémolaires des mammifères 30
Photographie 4 : Un mâle chiru 30
Photographie 5 : Un aoudad de Barbarie et son petit 31
Photographie 6 : Un aoudad d'Oman accompagné de juvéniles 31
Photographie 7 : Un mâle chamois des Alpes 32
Photographie 8 : Takin du Sichuan et son petit 33
Photographie 9 : Un mâle Bharal de l'Himalaya 33
Photographie 10 : Un bouc sauvage mâle 34
Photographie 11 : Un couple de bouquetins du Caucase et leur petit 35
Photographie 12: Un mâle markhor 35
Photographie 13 : Groupe de bouquetins de Nubie 36
Photographie 14 : Un mâle bouquetin de Sibérie 36
Photographie 15 : Un mâle thar de l'Himalaya 37
Photographie 16 : Un couple de chèvres des rocheuses et son petit 37
Photographie 17 : Un groupe de femelles arkals 38
Photographie 18 : Un groupe de bœufs musqués luttant contre le blizzard 39
Photographie 19 : Un couple de gorals gris 40
Photographie 20 : Un mâle serow de Sumatra 40
Photographie 21 : Un mouflon des Nilgiri et son petit 41

Rapport-Gratuit.com

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADN : Acide désoxyribonucléique

AFVPZ : Association Française des Vétérinaires de Parcs Zoologiques

CDA : Citrate de désoxycholate

CITES : Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction)

CPA : Cellule Présentatrice d'Antigène

EAZA : European Association of Zoos and Aquaria (Association Européenne des Zoos et des Aquariums)

EEP : European Endangered species Programme (Programme Européen d'Elevage)

ELISA : Enzyme-linked immunosorbent Assay (Test immunoenzymatique)

IFN : Interféron

Ig *:* Immunoglobuline

IL : Interleukine

IUCN: International Union for Conservation of Nature (Union Internationale pour la Conservation de la Nature)

KCN : Cyanure de potassium

LNCR : Laboratoire National de Contrôle des Reproducteurs

LPS : Lipopolysaccharide

MJP : Ménagerie du Jardin des Plantes

NK : Natural Killer (Tueuse Naturelle)

ONPG : Ortho-nitrophényl-β-galactoside

PCR : Polymerase Chain Reaction (Réaction de Polymérisation en Chaîne)

PZBM : Parc Zoologique et Botanique de Mulhouse

SS : *Salmonella-Shigella*

Subsp: Subspecies

TNF : Tumoral Necrosis Factor (Facteur de Nécrose Tumorale)

TRACES : TRAde Control and Expert System (Système expert de contrôle des échanges)

ZIMS : Zoological Information Management System (Système de Gestion de l'Information Zoologique)

INTRODUCTION

La salmonellose abortive ovine, lorsqu'elle est présente au sein d'un troupeau, est une cause majeure d'avortements chez les ovins domestiques et dans une moindre mesure chez les caprins. *Salmonella enterica* subspecies *enterica* serovar Abortusovis est l'entérobactérie responsable de cette maladie. Cet agent pathogène n'est pas zoonotique contrairement à la majorité des bactéries de la même famille souvent responsables, en particulier, de toxi-infections alimentaires. Il rentre dans le diagnostic différentiel des avortements chez les petits ruminants domestiques.

Salmonella Abortusovis étant spécifique des petits ruminants, on peut raisonnablement s'attendre à un impact chez les Caprini sauvages, qui peuvent y être réceptifs voire même sensibles. Ainsi, suite à un épisode d'avortements au sein de groupes de Caprini de la Ménagerie du Jardin des Plantes de Paris (MJP) et au constat d'une mortinatalité de près de 30 % ces 10 dernières années, des tests sérologiques ont été réalisés qui ont mis en évidence la présence d'une infection par *Salmonella* Abortusovis chez certains individus.

La première partie fondée sur l'étude de la bibliographie présente dans un premier temps en détail l'agent pathogène et la maladie. Dans un second temps, les espèces sauvages de Caprini potentiellement réceptives et sensibles sont présentées, ainsi que les raisons et modalités de leur sauvegarde en parcs zoologiques.

La seconde partie présente un travail personnel, en collaboration avec l'équipe vétérinaire de la Ménagerie du Jardin des Plantes de Paris (MJP), dont les objectifs étaient (i) d'attester que *Salmonella* Abortusovis était responsable de troubles de la reproduction au sein du cheptel de la Ménagerie, (ii) de comparer les résultats avec ceux obtenus au sein du Parc Zoologique et Botanique de Mulhouse et (iii) d'interroger les vétérinaires de parcs zoologiques français au travers d'une enquête par questionnaire sur les problèmes reproducteurs qu'ils rencontrent et leur prise en charge.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

PREMIERE PARTIE:

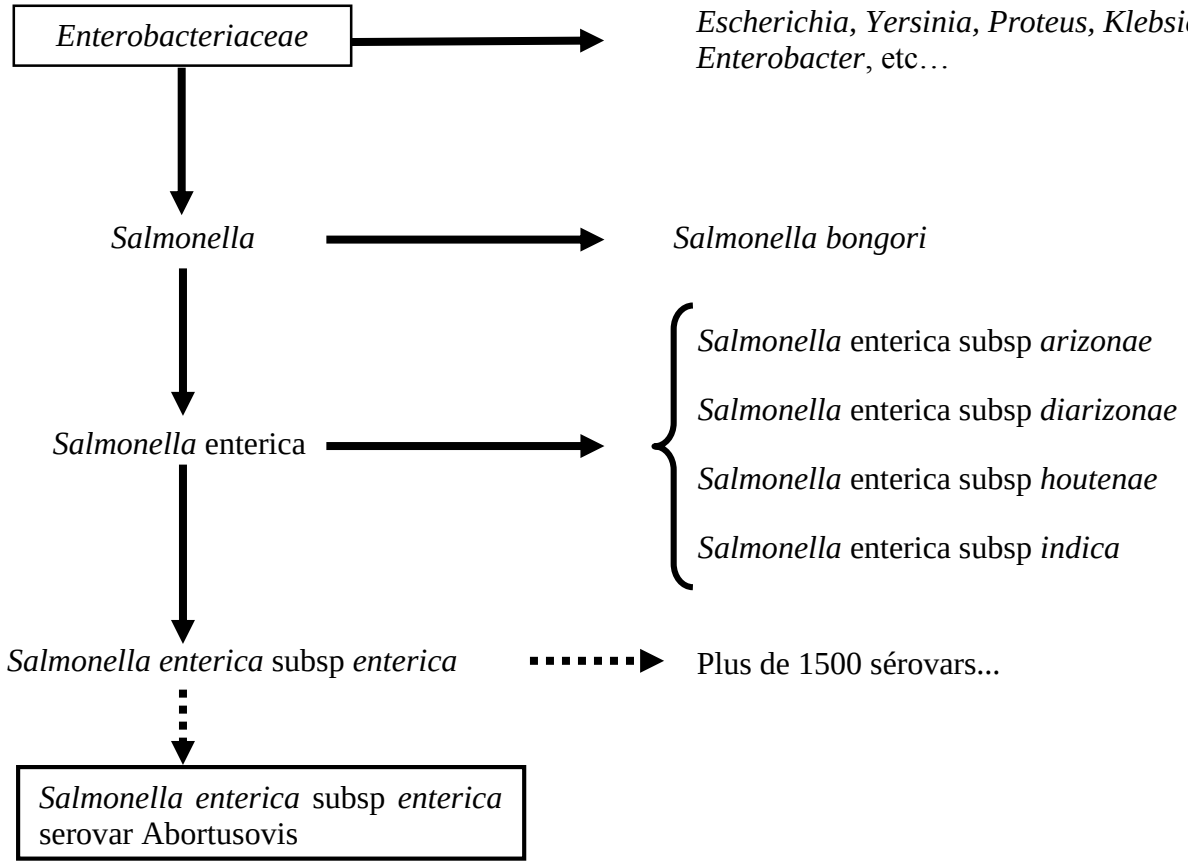
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. L'AGENT PATHOGENE : *Salmonella enterica* subspecies *enterica* serovar Abortusovis

1.1. Taxonomie et nomenclature

Les salmonelles sont des bactéries appartenant à la famille des *Enterobacteriaceae* (Euzéby, 2014 ; Pardon *et al.*, 1988). Au sein du genre *Salmonella*, on distingue seulement deux espèces que sont *enterica* et *bongori* (Dromigny, 2011 ; Euzéby, 2014 ; Tindall *et al.*, 2005). Notre bactérie d'intérêt est ici un serovar d'une sous-espèce de *Salmonella enterica: Salmonella enterica* subsp *enterica* serovar Abortusovis (Figure 1).

Figure 1: Nomenclature du genre *Salmonella*
(adaptée de Dromigny, 2011 ; Euzéby, 2014 ; Tindall *et al.*, 2005)



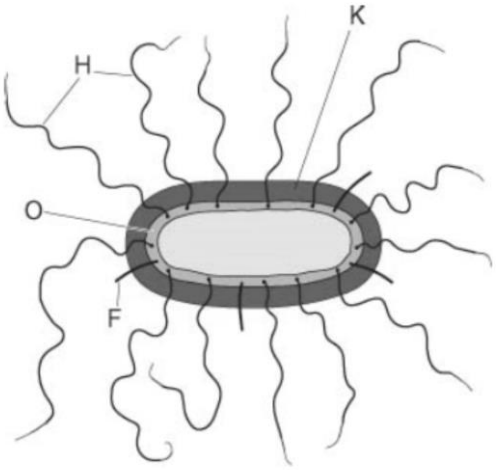
Les sérovars (terme désormais préféré à "sérotype" depuis la révision du code de la bactériologie en 1990 (Lapage *et al.*, 1992) sont caractérisés par leurs antigènes O somatiques et par leurs antigènes H flagellaires (Figure 2). Au sein de la classification des salmonelles, seuls les sérovars de la sous-espèce *enterica* portent un nom. Ainsi, on retrouvera des noms de sérovars divers tels que Abortusovis mais aussi Typhimurium, Enteritidis ou encore Ivrysurseine. On pourra alors désigner les sérovars sous une forme abrégée telle que le nom de genre figure en italique et comporte une majuscule (exemple : ***S**almonella*). Le serovar, quant à lui, comporte seulement une majuscule. *Salmonella enterica* subsp *enterica* serovar Abortusovis peut donc s'écrire *Salmonella* Abortusovis. Attention cependant, il est

interdit d'utiliser l'abréviation commune du nom de genre (*S.*) car elle implique que ce soit un nom d'espèce (et non un serovar) qui figure à sa suite ; *S.* Abortusovis n'est donc pas une écriture correcte (Dromigny, 2011). Une autre façon de dénommer une salmonelle consiste en la description de ses antigènes : les antigènes somatiques ou O sont désignés par un chiffre, la phase 1 des antigènes flagellaires par une lettre en minuscule, la phase 2 par un chiffre. Ainsi, la dénomination complète de *Salmonella* Abortusovis est : *Salmonella* Abortusovis 4,12 : c : 1,6 (Carter *et al.*, 2004 ; Grimont et Weill, 2007).

1.2. Morphologie (Camart-Périé, 2006 ; Carter *et al.*, 2004 ; Pardon *et al.*, 1988)

Les salmonelles sont des entérobactéries bacilles à Gram négatif, mobiles pour la plupart (ciliature péritriche) (Figure 2).

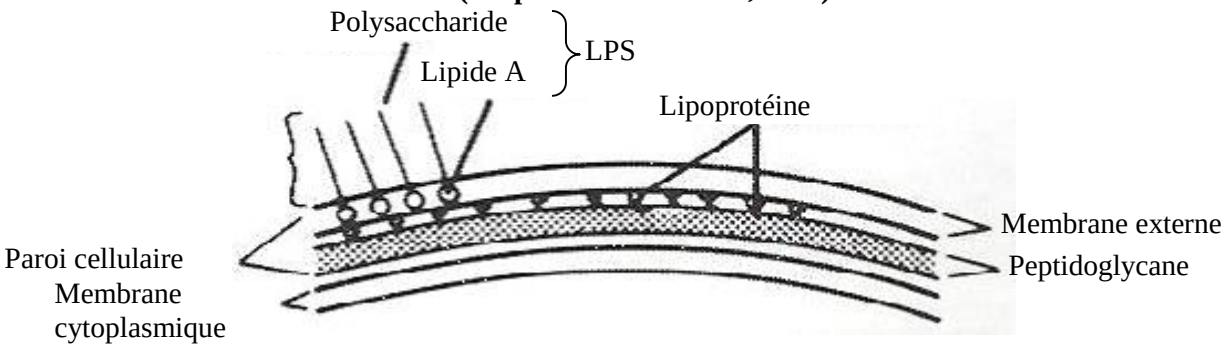
Figure 2 : Représentation schématique d'une entérobactérie (adapté de Carter *et al.*, 2004 et Grimont *et* Weill, 2007)



K : Capsule portant l'antigène K
O : Membrane externe portant antigène somatique O
H : Flagelle portant l'antigène H
F : fimbriae ou pili

Ces bactéries présentent un matériel génétique sous forme d'ADN chromosomique ainsi qu'un ou plusieurs plasmides. Du peptidoglycane entoure la membrane cytoplasmique lui-même entouré par la membrane externe qui porte les flagelles, les pili, le glycocalyx et le lipopolysaccharide (LPS) (Figure 3).

Figure 3 : Représentation schématique de la structure des enveloppes d'une bactérie Gram négative. (adapté de Carter *et al.*, 2004)



Ces structures sont essentielles à la survie et/ou au pouvoir pathogène de la bactérie :

Le glycocalyx, constitué de polysaccharides, joue un rôle de protection de la bactérie lorsqu'elle va se trouver dans un environnement inadéquat tel que dans le sol ou dans l'eau. Il va alors permettre une adhérence des bactéries entres elles afin de former des microcolonies mais il participe aussi, lors de l'infection, au mécanisme d'adhésion du micro-organisme à la cellule hôte.

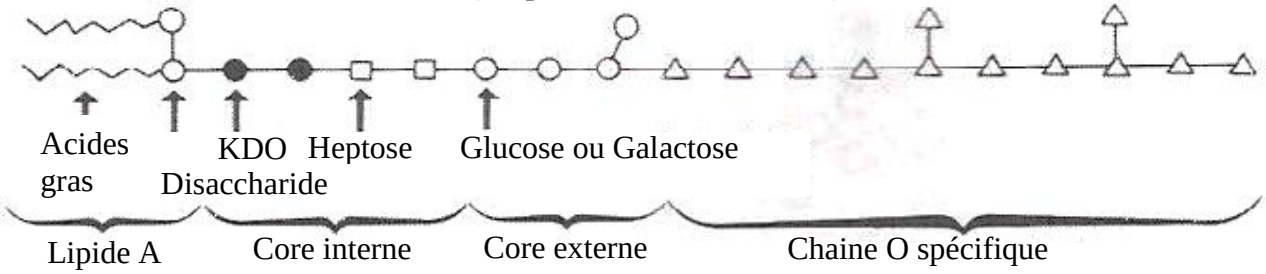
Les flagelles, constitués principalement de flagelline, permettent la mobilité de la bactérie par chimiotactisme. Ils sont également porteurs des antigènes H.

Salmonella possède également des *pili* (ou *fimbriae*) qui sont des appendices bactériens filamenteux formés de la répétition de sous-unités protéiques appelées pilines. Ces structures sont de

deux types : *pili* communs et *pili* sexuels. Les premiers sont très nombreux (100 à 200 par bactérie) et confèrent des propriétés hémagglutinantes. Ils ont également un rôle dans le pouvoir pathogène des salmonelles puisqu'ils vont permettre l'ancrage à l'épithélium cible *via* des adhésines permettant ainsi la colonisation des muqueuses. Les seconds sont issus de l'expression de certains plasmides et jouent un rôle de brassage génétique lors du phénomène de conjugaison bactérienne.

Le LPS est composé de trois parties (Figure 4) : le lipide A intégré à la membrane externe constitue l'endotoxine des entérobactéries ; le core est un oligosaccharide constant au sein d'une même espèce bactérienne ; il porte les chaînes latérales qui constitue l'antigène O (ou antigène somatique) source d'un fort pouvoir immunogène. Le LPS possède une forte charge électronégative permettant une bonne résistance aux sels biliaires, aux détergents, aux protéases, aux lipases, au lysozyme ainsi qu'à certains antibiotiques.

Figure 4 : Représentation schématique du LPS (adapté de Carter *et al*., 2004)



KDO : acide 2-keto-3-deoxyoctonique

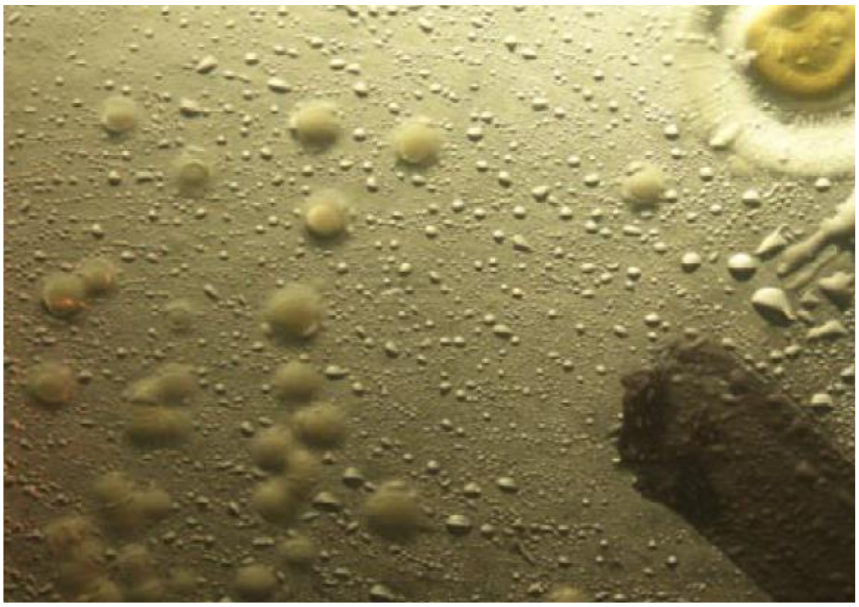
Salmonella est caractérisée par ses antigènes O et H qui seront recherchés au cours de son identification. Le LPS confère à la bactérie son pouvoir immunogène et sa résistance dans le milieu extérieur avec le glycocalyx. *Salmonella* Abortusovis est l'un des 1500 serovars de *Salmonella enterica* subsp *enterica.*

1.3. Caractères culturaux (Bonhomme, 2003)

Les salmonelles sont des germes mésophiles aéro-anaérobies et hygrophiles qui se présentent sous forme de bacilles de taille comprise entre 2 et 3 µm de long et 0,6 à 0,8 µm de large. Elles poussent sur des milieux ordinaires à base d'extraits de viande à un pH voisin de la neutralité et à une température optimale de croissance de 37°C ; les colonies sont généralement rondes, lisses à bords réguliers et ont un diamètre de 2 à 3 mm. Les salmonelles parviennent aussi à se développer, mais plus lentement, dans des conditions moins favorables de température (de 5 à 47°C) avec une croissance nettement ralentie pour les températures inférieures à 10°C. La réfrigération permet donc la survie des salmonelles. La congélation provoque un abaissement de leur nombre mais n'entraîne pas leur disparition complète, d'où la survie possible du germe dans l'environnement, même pendant l'hiver (Pardon *et al.*, 1988). Les salmonelles supportent une gamme de pH allant de 4,5 à 9, avec un optimum entre 6,5 et 7,5. Elles donnent des cultures homogènes après repiquage en bouillon. Il arrive exceptionnellement que des cultures de salmonelles soient isolées sous forme rugueuse, forme retrouvée notamment lors de la persistance dans le sol de *Salmonella* Abortusovis (Pardon *et al.*, 1988). La plupart des salmonelles sont capables de pousser sur milieu minimum, sans facteur de croissance. *Salmonella* Abortusovis est cultivée notamment sur un milieu MacConkey, DCA (Désoxycholate citrate), SS (*Salmonella-Shigella*), XLD (Xylose-Lysine-Désoxycholate) ou XLT4 (Xylose-Lysine-Tergitol 4) (Annexe 1).

Les colonies sur milieu non sélectif sont grisâtres, lisses, humides et de translucides à opaques (Photographie 1). La croissance est lente avec l'apparition de colonies entre 36 et 48h de culture entre 35 et 37°C. Des tests biochimiques permettent l'identification des colonies pures.

Photographie 1 : Culture de *Salmonella* Abortusovis
©C. Novella / Laboratoires des Pyrénées et des Landes



1.4. Caractères biochimiques (Bonhomme, 2003)

Des tests enzymatiques permettent la mise en évidence des caractères biochimiques des bactéries en objectivant leur capacité à réaliser certaines réactions chimiques.

Salmonella Abortusovis, faisant partie de la famille des *Enterobacteriaceae,* possède donc une nitrate-réductase et donne un résultat négatif au test à l'oxydase.

Les caractères permettant l'identification du genre *Salmonella* sont les réponses négatives aux tests uréase, tryptophane désaminase, indole, acétoïne, de fermentation du lactose, du saccharose, de l'inositol, de l'amygdaline, de l'adonitol et du 2-cétogluconate. Une réponse positive est observée aux tests de thiosulfate-réductase, de décarboxylation de la lysine, de l'ornithine et du citrate.

Les espèces *enterica* et *bongori* diffèrent par la non fermentation du sorbitol chez cette dernière, qui, de plus, pousse sur un milieu contenant du cyanure de potassium (KCN) contrairement à la plupart des souches appartenant à l'espèce *enterica*.

Les sous-espèces de *Salmonella enterica* peuvent être différenciées par les caractères biochimiques présentés dans le tableau 1. La détermination du serovar est ensuite effectuée par des méthodes simples (ex : agglutination sur lame) mais néanmoins réservées à des laboratoires spécialisés.

Tableau 1 : Caractères biochimiques des différentes sous-espèces de *Salmonella enterica* (Adapté de Bonhomme, 2003)

Caractères biochimiques	Subsp *enterica*	Subsp *salamae*	Subsp *arizonae*	Subsp *diarizonae*	Subsp *houtenae*	Subsp *indica*
ONPG* (2h)	-	-	+	+	-	v**
Gélatinase (36°C)	-	+	+	+	+	+
Culture sur milieu au KCN	-	-	-	-	+	-
Dulcitol (fermentation)	+	+	-	-	-	v**
Malonate (utilisation)	-	+	+	-	-	-
Glucuronidase	v**	v**	-	+	-	v**
Glutamyl transférase	v**	+	-	+	+	+
Lyse par le phage O1	+	+	-	+	-	+

*ONPG : **Ortho-nitrophényl-β-galactoside**
**v : variable

1.5. Capacité de survie dans l'environnement (Pardon *et al.*, 1988)

Salmonella Abortusovis connait un temps de survie dans l'eau de pluie d'une centaine de jours et de 50 à 90 jours dans les lisiers. Dans le sol, elle pourrait survivre plusieurs mois sous une forme rugueuse.

1.6. Propriétés antigéniques (Pardon *et al.*, 1988)

Comme toutes les *Enterobacteriaceae*, les salmonelles possèdent des antigènes somatiques O (situés dans la paroi) (figure 2). Il en existe 67, on distingue l'antigène O majeur caractérisant un groupe de *Salmonella* et l'antigène O mineur qui est accessoire. La délétion par mutation de l'antigène O entraîne une perte partielle ou totale du pouvoir pathogène.

Les Salmonelles possèdent également des antigènes flagellaires H (figure 2). Ils sont présents sous deux formes différentes (phases), soit sous les deux formes simultanément (diphasique) soit sous la forme d'une seule phase (monophasique). Ces deux phases sont codées par deux gènes différents mais très voisins, ils doivent provenir de la duplication d'un même gène ancestral.

Salmonella Abortusovis est cultivée sur différents milieux classiquement utilisés en bactériologie. Les colonies obtenues sont petites, grisâtres, lisses et humides. La croissance est lente avec une apparition des premières colonies entre 36 et 48h de culture. Les caractères biochimiques de la bactérie permettent d'identifier la sous-espèce alors que des tests d'agglutination sur lame sont nécessaires pour identifier le serovar en mettant en jeu les antigènes O puis H de la bactérie.

1.7. Pathogénie

1.7.1. Transmission et voies de contamination (Cagiola *et al.*, 2007 ; Pardon *et al.*, 1988, 1990)

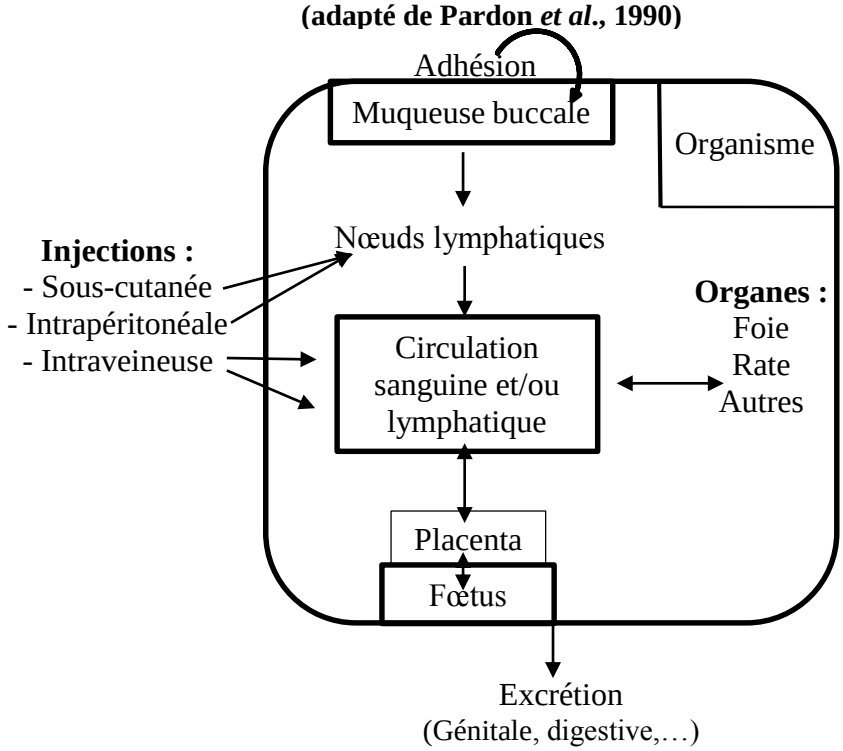
Salmonella Abortusovis contamine un groupe à partir de l'introduction d'un nouvel individu (souvent asymptomatique) lui-même porteur de la bactérie. Au cours de son existence, il va connaitre des phases d'excrétion de la bactérie notamment aux alentours d'une mise bas. La transmission peut alors avoir lieu par les voies respiratoires, les sécrétions buccales et conjonctivales. Les contaminations par voie vénérienne sont décrites mais semblent rarement à l'origine d'une infection.

On retrouve la bactérie en grande quantité dans les sécrétions vaginales, le placenta, les avortons et les nouveau-nés infectés. Cependant, les sécrétions vaginales ne sont hautement infectieuses que lors de la première semaine suivant l'avortement, leur infectiosité pouvant se prolonger jusqu'à 6 semaines. On peut également retrouver ce germe dans le lait et le colostrum. La bactérie est peu présente dans les fèces à l'exception du cas d'animaux septicémiques. La voie respiratoire sera infectieuse principalement pour les jeunes individus.

Différentes voies de contamination sont possibles. Les voies intra-vaginale et conjonctivale ne semblent pas être des voies de contamination *in vivo*. La voie orale en est une mais une contamination expérimentale intra-gastrique n'a pas provoqué, quant à elle, de façon systématique d'infection abortive. C'est donc bien la voie muqueuse (et notamment la voie muqueuse buccale) qui semble être la voie de pénétration principale de la bactérie dans l'organisme. La figure 5 représente les composants majeurs du modèle infectieux de *Salmonella* Abortusovis.

1.7.2. Réponse immunitaire

Figure 5 : Représentation schématique du modèle d'infection d'une brebis par *Salmonella* Abortusovis (adapté de Pardon *et al.*, 1990)



Les réactions immunitaires suite à une infection à *Salmonella* Abortusovis ont été peu étudiées. Des inoculations intra-conjonctivales et sous-cutanées de la souche vaccinale Rv6 ont permis de mettre en évidence 48 heures plus tard une hypertrophie des nœuds lymphatiques locorégionaux (Pardon *et al.*, 1983 ; Sanchis *et al.*, 1984). En 1994, Berthon *et al.* ont observé les réactions immunitaires siégeant au sein de cultures cellulaires de nœuds lymphatiques de mouton mises en contact avec l'agent pathogène.

Lors d'une réponse immunitaire primaire, on observe alors l'apparition d'IgM environ 8 jours après la mise en culture avec un pic le 12ème jour. A partir du 10ème jour après la mise en culture, on observe la formation en faible quantité d'IgG1. Lors d'une réponse immunitaire secondaire, on observe une formation massive d'immunoglobulines (Ig) M et G1. Très peu d'IgG2 sont détectés. De plus, alors qu'une faible charge bactérienne (1 à 10 bactéries par cellule) stimulera la production d'IgG1 ; une charge bactérienne plus importante (100 bactéries par cellule) stimulera plutôt la formation d'IgM. Enfin, les IgM semblent spécifiques du LPS alors que les IgG1 vont être spécifiques des autres antigènes bactériens.

Par ailleurs, les travaux de Gohin *et al.* menés en 1997 ont permis l'analyse *in vivo* de la réponse immunitaire induite par une inoculation sous-cutané dans la région drainée par le nœud lymphatique préscapulaire, à la fois de la souche vaccinale Rv6 de *Salmonella* Abortusovis mais aussi de la souche

virulente 15/5. Grâce à une canulation du canal efférent du nœud lymphatique préscapulaire de brebis, différentes données ont pu être récoltées.

La souche virulente a pu être détectée dès 4h après l'inoculation sous-cutanée mais en quantité jamais supérieure à 0,1 % de l'inoculum. Au troisième jour post-inoculation, on observe cinq fois plus de cellules lymphoblastiques produites (2.10^9 cellules/h) par le nœud lymphatique préscapulaire en comparaison avec les animaux témoins et la période pré-infectieuse. Il existe un pic à 5 jours au-delà duquel le pourcentage de cellules lymphoblastiques décroit. Des lymphocytes T CD5+ sont alors produits de façon importante avec un pic à 3 jours ($1,5.10^9$ cellules/h). Cependant, on observe, au jour 3, une baisse de 20 points du pourcentage de ces cellules dans la lymphe efférente chez les animaux inoculés mais aussi une baisse de 35 points du pourcentage de lymphocytes T CD4+ alors que l'on observe une augmentation de 20 points du pourcentage de lymphocytes B. La production de lymphocytes B est neuf fois supérieure à la normale chez les individus inoculés depuis 3 jours. On a donc activation conjointe de la réponse immunitaire à médiation cellulaire et de la réponse immunitaire à médiation humorale.

Concernant les titres en anticorps spécifiques anti-*Salmonella* Abortusovis, ils sont assez élevés pour lutter contre l'infection à partir de 4 jours après l'inoculation. Ils atteignent un plateau dès le 6ème jour et persistent ensuite. La cinétique de ces Ig observée ici est cohérente avec les travaux de Berthon *et al.* (1994) qui constatent une apparition dès le 4ème jour d'IgM suivie d'un pic à 6 jours puis l'apparition au 7ème jour d'IgG.

Concernant les cytokines produites, on constate une augmentation de la production d'interleukine (IL)-2, d'IL-4, d'IL-8 et d' IL-10 les jours 5 et 6, d'IL-1 β les jours 1 à 4, d'interféron γ (IFN-γ) à partir du jour 3, de TNFα durant toute la durée de l'étude ainsi qu'un pic de Monocyte Chemoattractant Protein-1 (MCP-1) très tôt après l'inoculation et qui décroit rapidement.

En premier lieu, la réponse immunitaire innée non spécifique est donc mise en jeu avec une séquestration bactérienne au sein du nœud lymphatique concerné. La faible quantité de bactéries observées dans la lymphe efférente s'explique également par la dissémination systémique de l'agent pathogène qui est retrouvé, en *post-mortem*, dans le foie, la rate ou encore le nœud lymphatique médiastinal.

Ensuite, on observe la phase de recrutement avec une production plus importante de cellules lymphoblastiques. Parmi les lymphocytes T, les CD4+ sont majoritaires dans la lymphe efférente révélant ainsi l'importance de leur mise en circulation, une fois sensibilisés, dans la réponse immunitaire cellulaire anti-*Salmonella* Abortusovis. Par ailleurs, la population de lymphocytes B connait une véritable explosion laissant entendre l'importance de la réaction immunitaire humorale face à cette infection.

La réponse immunitaire primaire se caractérise ici par l'apparition d'un taux d'IgM très supérieur aux taux d'IgG à une semaine post-inoculation.

Par ailleurs, des travaux réalisés en 2007 (Cagiola *et al.*, 2007) suggèrent fortement que l'IFN- γ joue un rôle central dans la réponse immunitaire mise en place contre *Salmonella* Abortusovis. En effet, les brebis incapables de répondre spécifiquement par une production d'IFN- γ suite à une infection expérimentale vont systématiquement avorter contrairement à celles qui en produiront. Cette réponse favoriserait l'activation des macrophages eux-mêmes capables d'opsoniser l'agent pathogène.

La principale voie d'entrée de la bactérie dans l'organisme est la muqueuse buccale *via* une contamination de l'eau par les produits d'avortements. En effet, l'excrétion se fait majoritairement par voie génitale. L'organisme déclenche alors une réponse immunitaire classiquement rencontrée lors d'infection bactérienne. Tout d'abord, a lieu une séquestration de l'agent pathogène au sein des nœuds lymphatiques locorégionaux drainant le point d'entrée de la bactérie dans l'organisme. La réponse immunitaire humorale se met en place environ 7 jours après l'infection.

Rapport-Gratuit.com

2. LA SALMONELLOSE ABORTIVE OVINE

2.1. Définition

La salmonellose abortive ovine est une maladie infectieuse provoquée par *Salmonella enterica* subsp *enterica* serovar Abortusovis. Elle concerne principalement les ovins mais aussi les caprins dans une moindre mesure (Pardon *et al.*, 1988). Elle est responsable d'avortements nombreux (30 à 60 % des brebis gravides) lorsqu'elle est présente au sein d'un troupeau causant alors une perte économique importante pour les éleveurs.

2.2. Historique et épidémiologie de la maladie

En 1925, *Salmonella* Abortusovis a été isolée au sein de troupeaux d'ovins atteints de troubles abortifs dans le Sud-Est de l'Angleterre. C'est cependant dans le Sud-Ouest de l'Angleterre et le pays de Galles qu'elle était la principale cause d'avortements entre 1950 et 1970 mais ce serovar n'a plus été isolé dans ces régions depuis 1977 alors qu'on observait, à l'inverse, une augmentation du nombre d'isolements du serovar Dublin. Dans les années 1970, c'est à partir d'une zone à forte densité d'ovins, située dans le sud-ouest de la France, que la maladie s'est répandue en tâche d'huile dans le pays. On a remarqué alors que la transmission de l'agent pathogène se faisait d'animal à animal et que l'extension de la maladie semblait majorée durant les périodes de mise-bas. De plus, on constatait que la contamination d'un troupeau sain était principalement due au contact direct avec un autre troupeau atteint *via* les pâtures ou les parcours, ou encore, *via* l'introduction d'un nouvel individu lui-même porteur asymptomatique. Suite à cette contamination, on observait dans un premier temps, une allure épizootique de la maladie qui prenait, dans un second temps, une allure enzootique avec la survenue d'avortements de manière sporadique par cycles plusieurs fois dans l'année. Enfin, la densité en ovins dans une région ainsi qu'un mode d'élevage reposant sur des mises-bas échelonnées dans le temps concourrait à la mise en contact des individus porteurs et des individus sensibles. (Pardon *et al.*, 1988)

Aujourd'hui, la maladie est essentiellement présente dans le Sud-Est et le Centre Ouest de la France (Champion *et al.*, 2013). Des cas ont été rapportés en 2006 dans le Sud de la Croatie (Habrun *et al.*, 2006). En Suisse, alors qu'aucun cas n'avait été rapporté entre 1976 et 2003, on a mesuré en 2007 une séroprévalence au sein du pays de 1,7 % avec 14 cantons sur 26 présentant des troupeaux séropositifs (Wirz-Dittus *et al.*, 2010b).

La maladie touche principalement les ovins dont la spécificité d'hôte est reconnue mais d'autres espèces sont réceptives tels les caprins et même les lapins chez qui on est parvenu à isoler la bactérie. L'infection expérimentale des souris et des lapins est possible et des anticorps ont été trouvés chez des cervidés (Spickler, 2005). Plusieurs études ont également émis l'hypothèse de la sensibilité des ruminants sauvages à cette infection et notamment du chamois, du mouflon des Pyrénées, de l'isard et du daim (Dupraz, 2004 ; Jourdain, 2003 ; Pioz, 2006 ; Pioz *et al.*, 2008a, 2008b ; Reynal, 2004).

Suivant le statut de l'animal lors de la primo-infection, la période d'incubation sera différente. En effet, une brebis infectée hors gestation ne présentera certainement pas de signes cliniques mais sera potentiellement porteuse et excrétrice asymptomatique. Cependant, un avortement pourra survenir si elle est infectée moins d'un mois avant la fécondation. Si une brebis est infectée à un mois de gestation, elle avortera environ 2 mois plus tard. Si une brebis est infectée lors du troisième mois de gestation, l'avortement aura lieu environ 20 jours plus tard (Sanchis *et al.*, 1984 ; Spickler, 2005).

A partir d'un troupeau nouvellement infecté, jusqu'à 60 % des brebis gravides pourront avorter avec une mortalité des agneaux pouvant atteindre les 20 %. Par la suite, la maladie peut prendre une forme enzootique avec la survenue d'avortements de manière sporadique. Seuls les jeunes et les animaux nouvellement introduits ont alors tendance à être affectés en raison de la bonne immunité acquise par les autres individus (Pardon *et al.*, 1988 ; Sanchis *et al.*, 1984 ; Spickler, 2005).

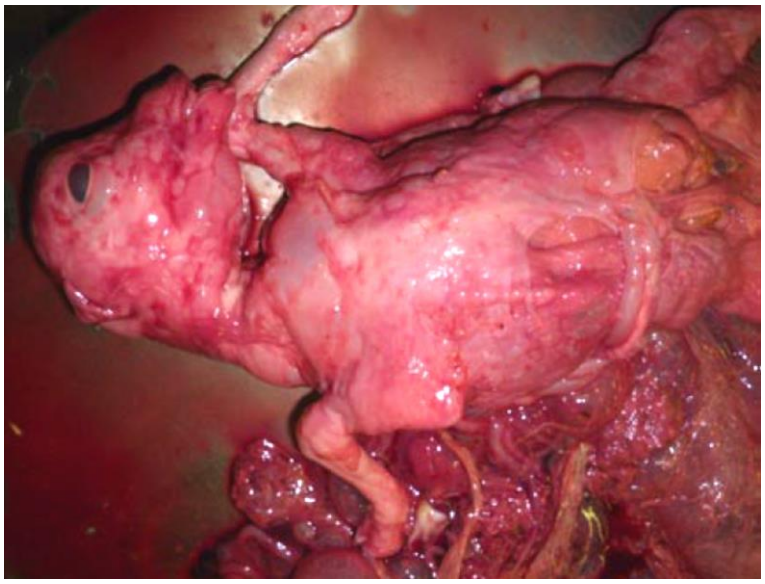
La salmonellose abortive ovine a beaucoup sévi à partir des années 1950 en Grande-Bretagne et ce pendant une vingtaine d'années. Alors qu'elle ne faisait plus parler d'elle Outre-Manche, des cas au sein des cheptels ovins du Sud-Ouest de la France sont apparus dans les années 1970.
La maladie a une allure enzootique avec des « crises » épizootiques. Les primo-infectées sont les plus touchées par la maladie qui peut faire avorter jusqu'à 60 % des brebis gravides au sein d'un troupeau. Aujourd'hui, la maladie est encore présente en France et en Suisse mais elle est désormais peu étudiée et peu de données épidémiologiques récentes sont disponibles.

2.3. Symptomatologie (Spickler, 2005)

Les signes cliniques sont frustes. En effet, le principal symptôme est la survenue d'avortements dans le troupeau entre 2,5 et 3 mois de gestation. On observe aussi la naissance d'agneaux dont la mort surviendra de quelques heures à trois semaines après la naissance généralement à cause d'une septicémie. Certains agneaux présentent de la diarrhée ou des affections pulmonaires. Certaines brebis présentent une hyperthermie transitoire mais la plupart sont totalement asymptomatiques. En période *post-partum*, on peut observer des brebis atteintes de métrite ou de péritonite.

2.4. Lésions *post-mortem* (Spickler, 2005)

Photographie 2 : Fœtus de brebis présentant de l'emphysème



L'avorton et le placenta sont d'apparence normale à autolysée. Parfois, on peut observer des signes de septicémie sur le placenta comme de l'œdème, des hémorragies sur la membrane chorio-allantoïdienne et des foyers de nécrose sur les cotylédons.

Le fœtus peut présenter une inflammation suppurative multifocale, de la nécrose, de l'œdème ou des foyers hémorragiques, parfois même de l'emphysème (Photographie 2). Le foie et la rate peuvent être hypertrophiés.

Chez l'agneau ou la brebis présentant de la diarrhée, on peut trouver des signes d'entérite et d'inflammation de la caillette avec une hypertrophie des nœuds lymphatiques drainant la région (nœuds lymphatiques rumino-abomasiques ou mésentériques). Les brebis atteintes de septicémie présentent souvent des lésions de métrite aiguë avec un utérus hypertrophié contenant un tissu nécrotique accompagnée d'un exsudat séreux et d'une rétention placentaire.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

2.5. Démarche diagnostique et diagnostic différentiel face à des avortements chez les petits ruminants (Rekiki et Rodolakis, 2004 ; Spickler, 2005)

La démarche diagnostique face à des avortements chez les petits ruminants va s'appuyer sur plusieurs éléments qui sont l'épidémiologie de l'affection considérée, les signes cliniques ainsi que les lésions observées.

En effet, alors que la période de gestation à laquelle survient l'avortement n'oriente pas clairement le diagnostic, une survenue plus importante en période hivernale et notamment à l'ouverture des silos orientera vers une listériose ou une intoxication par des mycotoxines à rechercher en premier lieu.

En fonction du ou des appareil(s) atteint(s) chez la mère, on suspectera certains agents pathogènes plutôt que d'autres. La présence de métrites orientera vers une infection à *Chlamydophila abortus*, à *Campylobacter fœtus,* à *Listeria monocytogenes*, à *Coxiella burnetii* ou à *Salmonella* Abortusovis. La présence de pneumonies concomitantes chez le même animal engendrera une suspicion d'une atteinte par *Chlamydophila abortus* ou *Coxiella burnetii*. Une atteinte digestive concomitante (diarrhées) orientera vers une infection à *Salmonella* spp. Une atteinte nerveuse peut également être causée par *Toxoplasma gondii* (jeunes) ou *Listeria monocytogenes* (jeunes et/ou adultes) (Tableau 3).

De plus, un agneau né chétif, présentant un retard de croissance, avec des difficultés à se tenir debout, des anomalies du squelette et/ou du système nerveux est évocateur de pestivirose ovine ou *Border disease*. Par ailleurs, la présence de fœtus momifiés et d'agneaux miniatures brun-chocolat évoque une toxoplasmose (Tableau 2).

Tableau 2 : Symptômes et lésions macroscopiques pouvant être observés lors d'avortements chez les petits ruminants (Rekiki et Rodolakis, 2004)

Affection Agents pathogènes	Signes cliniques	Lésions macroscopiques
Brucellose *Brucella melitensis* *Brucella abortus* *Brucella ovis*	Epididymites, orchites Arthrites Métrites (rares)	Placenta : lésions non spécifiques, placenta œdémateux avec zones de nécrose. Fœtus : œdème, pétéchies sur le nez, la bouche, la conjonctive et les organes internes.
Chlamydiose (ou chlamydophilose) *Chlamydophila abortus* Epididymites, orchites	Arthrites Pneumonies, conjonctivites. Métrites (rares) Encéphalomyélites	Placenta : lésions non spécifiques, cotylédons nécrosés. Fœtus : œdème, pétéchies sur le nez, la bouche, la conjonctive et les organes internes.
Fièvre Q *Coxiella burnetii*	Métrites Pneumonies Arthrites Conjonctivites	Placenta : lésions non spécifiques, cotylédons nécrosés. Fœtus : œdème, pétéchies sur le nez, la bouche, la conjonctive et les organes internes.
Campylobactériose *Campylobacter fœtus* *Campylobacter jejuni*	Septicémies Métrites (rares) Diarrhées dans le troupeau	Placenta : cotylédons mous et friables, foyers de nécrose jaune foncé recouverts d'enduit brun jaune. Fœtus : œdème, foyers de nécrose en forme de beignets sur le foie.
Leptospirose *Leptospira interrogans* serovars *pnomona, hardjobovis, hardjobovis monocytogenes*	Forme aiguë (jeunes) : ictère, anémie hémolytique fièvre Forme subaiguë (femelles allaitantes) : agalaxie	
Listériose *Listeria monocytogenes*	Consommation d'ensilage (hiver) Signes d'atteintes nerveuses (*Circling Disease*)	Placenta : foyers blancs sur cotylédons. Fœtus : autolyse fréquente, péricardite ou péritonite fibrineuse, hémorragies séreuses, foyers blancs sur le foie.
Salmonellose *Salmonella* Abortusovis	Fièvre, abattement, diarrhées possibles	
Toxoplasmose *Toxoplasma gondii*	Fœtus momifiés Petits agneaux brun-chocolat avec placenta miniature	Placenta : cotylédons rouges brillant à rouge sombre tachés de foyers de nécrose. Fœtus : œdème sous-cutané, momifié ou de petite taille.
Border Disease BDV	Naissance d'agneaux poilus, trembleurs	

2.6. Examens complémentaires

Les seuls examens disponibles à l'heure actuelle pour établir le diagnostic de salmonellose à *Salmonella* Abortusovis sont l'isolement et l'identification de la bactérie avec un éventuel typage au sein d'un laboratoire spécialisé et la séroagglutination. Le premier examen est le seul et unique permettant l'établissement d'un diagnostic de certitude, il devra donc être réalisé de manière systématique pour que l'on puisse évoquer par la suite une infection à *Salmonella* Abortusovis

2.6.1. Isolement et identification (Rekiki et Rodolakis, 2004 ; Spickler, 2005)

Il s'agit du seul examen complémentaire qui permettra de statuer sur le caractère causal de la bactérie comme le stipule le deuxième postulat de Koch (tableau 3).

Tableau 3 : Postulats de Koch
(Rekiki et Rodolakis, 2004)

1	Le micro-organisme est présent dans tous les cas de la maladie et dans les lésions provoquées au cours de la maladie.
2	L'organisme doit être isolé à partir de l'hôte infecté et multiplié dans des cultures pures.
3	Il est possible de reproduire la maladie par inoculation de cette culture pure.
4	Le micro-organisme doit être ré-isolé à partir des hôtes infectés expérimentalement.
5	Le micro-organisme n'est pas retrouvé dans d'autres maladies ou en tant que micro-organisme non pathogène.

Seulement, afin de pouvoir réaliser l'isolement du germe responsable de la maladie, encore faut-il effectuer le bon prélèvement et dans de bonnes conditions. Dans le cas de la survenue d'avortement(s), le prélèvement de choix est l'écouvillon vaginal car contrairement au prélèvement de placenta souvent retrouvé dans la litière, il peut être réalisé de façon stérile afin d'éviter les contaminations. Sur l'avorton, on prélèvera le contenu stomacal, le cerveau, le foie et la rate.

En pratique, les salmonelles sont isolées sans enrichissement préalable, préférentiellement à partir d'au moins deux organes de l'avorton ou d'un écouvillon vaginal. Bien que non indispensable, l'utilisation d'un milieu gélosé sélectif de type SS (*Salmonella-Shigella*) permet d'éviter la contamination par *Proteus* ou des bactéries Gram +. Les salmonelles ubiquistes, cultivées à 37°C sur ce milieu, forment alors en moins de 48h des colonies blanches à centre noir. En effet, elles ne dégradent pas le lactose mais produisent du sulfure d'hydrogène. (norme NF U47-102 janvier 2008). *Salmonella* Abortusovis forme de petites colonies, qui poussent lentement et peuvent être aisément confondues avec des contaminants.

Une fois isolées, ces colonies sont repiquées afin de subir les tests biochimiques décrits dans la partie 1.4.

Cependant, l'examen bactériologique n'est pas forcément réalisable en routine car le prélèvement doit être effectué dans les plus brefs délais après l'avortement pour pallier la diminution de la charge bactérienne. D'autre part, cet examen est vain dans le cadre de la mise en place préalable d'un traitement antibiotique. Enfin, il faut également réaliser le prélèvement dans des conditions correctes, et pouvoir faire parvenir le prélèvement dans de bonnes conditions (délai, température…) au laboratoire.

2.6.2. Réaction de Polymérisation en Chaîne (PCR)

La technique de PCR peut être utilisée de deux manières : soit comme moyen d'identifier la bactérie après sa culture et son isolement, soit comme moyen de mettre en évidence l'agent pathogène dans un contexte abortif clinique après un prélèvement de selles ou un écouvillonnage vaginal. Cette seconde utilisation de la technique a fait ses preuves en montrant une plus grande sensibilité et une plus grande rapidité de réponse de la technique en comparaison avec un isolement réalisé antérieurement et qui n'est pas forcément aisé de par les conditions de cultures difficiles pour *Salmonella* Abortusovis (Belloy *et al.,* 2009). Actuellement, les laboratoires ne proposent cependant pas la détection de *Salmonella* Abortusovis seule en routine mais seulement des PCR de genre qui ne discriminent donc pas les Salmonelles entre elles.

2.6.3. Séroagglutination

Lorsque le diagnostic direct par isolement bactérien n'est pas réalisable, il est possible de mettre en œuvre des examens indirects qui permettront la mise en évidence du passage du pathogène *via* la recherche d'anticorps spécifiques. Alfred Evans propose des postulats dans le tableau 4 permettant l'établissement d'une association entre une réponse sérologique et le passage d'un agent infectieux.

Tableau 4 : Postulats d'Evans
(Rekiki et Rodolakis, 2004)

1	Les anticorps sont régulièrement absents avant la maladie et l'exposition à l'agent
2	Les anticorps dirigés contre l'agent apparaissent régulièrement au cours de la maladie et correspondent aux deux classes d'IgG et IgM
3	La présence de l'anticorps contre l'agent traduit l'immunité vis-à-vis de la maladie clinique associée à l'infection primaire par l'agent
4	L'absence de l'anticorps contre l'agent traduit la sensibilité à l'infection et à la maladie produite par l'agent
5	Des anticorps contre d'autres agents ne sont pas associés de façon similaire avec la maladie sauf s'il s'agit de cofacteurs pour sa production.

Cependant, il est difficile de répondre au premier postulat dans le cadre de la salmonellose abortive ovine puisqu'on va régulièrement observer un portage sain de la bactérie une fois l'animal primo-infecté (Pardon *et al.*, 1988).

La séroagglutination lente des anticorps anti-antigène H (plus spécifiques que les agglutinines anti-O) est le test sérologique de référence pour le diagnostic de la salmonellose à *Salmonella* Abortusovis (AFNOR, 2000 ; Pardon *et al.*, 1988 ; Pioz *et al.*, 2008a, 2008b). Cette technique consiste à mettre en présence un antigène coloré inactivé avec des dilutions croissantes de sérums. L'antigène est une suspension de *Salmonella* Abortusovis inactivée et colorée. Les sérums faisant l'objet de la recherche antigénique sont dilués successivement au demi six fois, allant ainsi de dilutions de 1/80 à 1/2560. Des sérums de contrôles négatifs et positifs sont également inclus. Les dilutions sont effectuées dans une solution de chlorure de sodium à 8,5g/L. Les sérums et l'antigène sont ensuite préparés et répartis comme le montre le tableau 5 au sein de différents puits sur une plaque de micro-titrage. Celle-ci est alors recouverte et mise en incubateur pendant 16 à 20h à 37°C±2°C (AFNOR, 2000).

Tableau 5 : Préparation et répartition des sérums et de l'antigène
(D'après AFNOR, 2000)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Sérum 1/20	50µL	0	0	0	0	0
Solution NaCl 8,5g/L	50µL	50µL	50µL	50µL	50µL	50µL
Dilutions	1/40	1/80	1/160	1/320	1/640	1/1280
Antigène	50µL	50µL	50µL	50µL	50µL	50µL
Dilutions finales	1/80	1/160	1/320	1/640	1/1280	1/2560

La lecture permet d'apprécier une agglutination totale lorsqu'une nappe rosée uniforme est présente au fond des puits, une agglutination absente lors du dépôt d'une pastille couleur lie de vin en fond de cupule et l'avant dernière dilution du témoin positif permet de déterminer une agglutination ayant eu lieu à 50 %. Chaque série doit alors être validée par le sérum de contrôle négatif qui n'agglutine pas l'antigène, et par le sérum de contrôle positif qui présente 100 % d'agglutination aux premières dilutions et au moins 50 % au titre attendu. Les résultats sont ensuite exprimés en titre, le titre du sérum étant la dernière dilution présentant 50 % d'agglutination ou plus. Pour un cheptel domestique et dans le cadre de la norme NF U 47-014, on considère que le résultat est positif à partir d'un titre supérieur ou égal à 1/640, douteux pour un titre égal à 1/320 et négatif pour les titres inférieurs à 1/320. (AFNOR, 2000)

Cette technique détecte principalement des IgM présents jusqu'à 6 semaines après l'avortement (Wirz-Dittus *et al.*, 2010a).

Pour être valable, cette technique doit être mise en œuvre sur au moins une dizaine d'individus au sein d'un élevage: les individus ayant avorté dans les semaines précédant le prélèvement ou encore gestants. En effet, ces mesures sont nécessaires pour pallier le manque de spécificité de cette technique qui peut amener à la détection d'autres sérovars, tels que *Salmonella* Typhimurium ou *Salmonella* Dublin (Reynal, 2004).

2.6.3. Enzyme-linked immunosorbent Assay (ELISA) (Wirz-Dittus *et al.*, 2010a)

Ce test immuno-enzymatique est un outil diagnostique supplémentaire permettant la détection d'anticorps anti-*Salmonella* Abortusovis (principalement des IgG) jusqu'à 10 mois après l'avortement. Il est donc plus puissant que la technique de séroagglutination lente avec une sensibilité de 98 % et l'absence de réactions croisées avec d'autres sérovars de Salmonelles. Ainsi, ce test est adapté à un suivi de la maladie au sein d'une population d'individus sauvages.

Des plaques de microtitration sont recouvertes du LPS de *Salmonella* Abortusovis et sont incubées avec les échantillons collectés à tester. Durant cette phase d'incubation, les anticorps anti-*Salmonella* Abortusovis viennent se lier aux antigènes en formant des complexes immuns. Les anticorps en excès sont éliminer par rinçage et les complexes immuns sont détectés par l'ajout de globulines anti-IgG. Une incubation avec du 2,2'-azino-bis (acide 3- ethylbenzthiazoline-6-sulfonique) permet la révélation et la lecture de la plaque.

Actuellement, ce test n'est disponible dans aucun laboratoire.

Le tableau 6 ci-dessous récapitule les différentes méthodes diagnostiques permettant la mise en évidence d'une infection à *Salmonella* Abortusovis.

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des différentes méthodes diagnostiques permettant la mise en évidence d'une infection à *Salmonella* Abortusovis

Méthodes diagnostiques	Avantages	Inconvénients
Bactériologie	Diagnostic de certitude	Délai, réalisation et acheminement des prélèvements Durée
PCR	Meilleure sensibilité et rapidité que l'isolement Typage de la bactérie Facilité du prélèvement	Non disponible à ce jour Coût
Séroagglutination	Facile (sur sérum) Faible coût	Réactions croisées Nécessite le prélèvement d'une dizaine d'individu
ELISA	Détection des anticorps jusqu'à 10 mois après l'avortement Sensibilité = 98 % Absence de réactions croisées	Non disponible à ce jour Coût

2.7. Traitements

En tout premier lieu, il est impératif d'isoler l'animal ayant avorté et de détruire les produits d'avortements une fois ceux-ci prélevés. Ainsi, on éloigne la source de contamination des autres individus et plus particulièrement des femelles gestantes qui sont les plus à risque d'être infectées et de contracter la maladie (Champion *et al.*, 2013 ; Pardon *et al.*, 1988).

Concernant les femelles encore gestantes, un traitement antibiotique de première intention (avant les résultats bactériologiques et/ou sérologiques) peut être mis en place dans l'urgence avec de l'oxytétracycline longue action. Cependant, des résistances à cette molécule ont été rapportées. En seconde intention, le recours au florfénicol ou aux fluoroquinolones montre de bons résultats même si la réussite du traitement est liée au délai écoulé entre le début de l'infection et sa mise en place. Cette procédure est, d'une part, très couteuse, et, d'autre part, demande une utilisation de grandes quantités d'antibiotiques « d'importance critique » cités dans le plan EcoAntibio2017 (Champion *et al.*, 2013).

Enfin, il est nécessaire de procéder à un nettoyage et une désinfection des zones souillées par la femelle ayant avorté et par les produits d'avortement (Champion *et al.*, 2013 ; Pardon *et al.*, 1988 ;

« GDS 38 », 2015) Il est nécessaire avant toute chose d'évacuer les animaux, le fumier et le lisier du bâtiment. Ensuite, il faut décaper à haute pression (30 à 40 kg/cm^2) la totalité du bâtiment (sol, mur, barrières,…) après avoir effectué un trempage qui facilite souvent le décapage. Après avoir laissé sécher le bâtiment, on procède à la désinfection à proprement parler en utilisant un pulvérisateur à basse pression (5 à 10 kg/cm^2) en appliquant environ un litre de solution pour 5 m^2. Plusieurs désinfectants peuvent être utilisés mais il est préférable qu'ils aient un large spectre d'action. Ils doivent être non toxiques pour l'homme et les animaux et non corrosif pour le matériel. Les critères de bonne rémanence et de biodégradabilité sont importants. Ainsi, les dérivés oxygénés, les phénols de synthèse et les ammoniums quaternaires répondent à ces critères. (« GDS 38 »,2015)

2.8. Prophylaxie

2.8.1. Hygiène et prophylaxie sanitaire

En matière de mesures préventives, il s'agit de veiller à la propreté des locaux (litières, abreuvoirs,…), de recourir à une gestion de groupe permettant la mise à l'écart des femelles gestantes arrivant terme ainsi que de détruire rapidement les fœtus non viables et les placentas. Ces mesures sont souvent difficiles à appliquer en élevages de petits ruminants domestiques comme au sein de parcs zoologiques (Champion *et al.*, 2013 ; Pardon *et al.*, 1988). En effet, dans le cadre de ces derniers, les diagnostics de gestation ne sont pas toujours réalisables, les infrastructures présentes ne permettent pas toujours l'isolement des femelles gestantes et la gestion des groupes peut ne pas autoriser l'isolement d'individus risquant alors de déstabiliser la bonne cohésion du groupe.

D'autre part, il est également utile de veiller au statut sanitaire du groupe dont proviennent les nouveaux individus. Pour cela, il faut recourir à un examen sérologique (séroagglutination lente) sur une dizaine d'individus prélevés dans les semaines suivant leur mise-bas (Pardon *et al.*, 1988). Il est évident que cette mesure est difficilement applicable au sein des parcs zoologiques dans la mesure où il est nécessaire de recourir à une anesthésie pour prélever du sang chez un animal sauvage et que celle-ci met en péril la mère comme son petit. De plus, la taille des groupes n'est pas toujours très importante et ne compte pas autant de mises-bas par an. Cependant, lors d'un transfert, il pourrait être judicieux d'effectuer un test ELISA sur l'individu concerné s'il s'agit d'une femelle ayant reproduit dans les 10 derniers mois.

Enfin, il est utile de limiter toute forme de stress, qu'il s'agisse d'un stress climatique, alimentaire ou autre (Champion *et al.*, 2013). En parc zoologique, on veillera donc tout particulièrement à fournir aux animaux des zones leur permettant de se soustraire aux regards du public ainsi que de concevoir des enclos leur offrant un environnement le plus proche possible de celui de leur milieu naturel. En effet, le stress chronique peut engendrer une altération du système immunitaire pouvant favoriser l'expression de maladie(s).

2.8.2. Vaccination

En zone d'enzootie, le recours à la vaccination est possible. Bien qu'actuellement aucun vaccin ne soit disponible en France, il est possible, en cas de besoin, de l'importer notamment d'Espagne (Bedsavac®). Il s'agit ici d'un vaccin inactivé avec une valence *Salmonella* Abortusovis mais également deux autres valences : *Chlamydia psittaci* var *ovis* et *Chlamydia psittaci* var *capra*.

En 2005, Uzzau *et al.* (2005) ont montré l'efficacité et l'innocuité de trois vaccins atténués (Mutants *aroA, cya crp cdt*, souches sans plasmides) dirigés contre la souche sauvage de *Salmonella* Abortusovis chez la brebis. En 2007, Cagiola *et al.* (2007) ont montré que l'utilisation d'un vaccin inactivé induisait une forte réaction immunitaire humorale et une réponse cellulaire modérée objectivée par l'augmentation de la production d'interféron gamma, et dont l'action protectrice de la maladie a été également démontrée. Ainsi, bien qu'actuellement indisponibles par faute de commercialisation, les vaccins contre la Salmonellose Abortive Ovine pourraient être nombreux et leur efficacité est démontrée.

Les mesures médicales sont souvent vaines et couteuses. L'utilisation d'antibiotiques critiques en premier intention n'est pas recommandée. Les principales mesures à mettre en œuvre sont hygiéniques (nettoyage, désinfection, vide-sanitaire, isolement de la mère, destruction de l'avorton,…). Un vaccin existe mais n'est commercialisé qu'en Espagne.

3. IMPORTANCE DE LA SALMONELLOSE ABORTIVE OVINE CHEZ LES CAPRINI SAUVAGES

3.1. Quelques aspects généraux sur la conservation des espèces

3.1.1. Union Internationale pour la Conservation de la Nature (« UICN », 2015 ; « IUCN », 2015)

L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature est une association unique de membres. Elle est la première organisation environnementale mondiale créée en 1948. Au travers de plus de 1 200 organisations membres dans 140 pays dont 200 gouvernements ou organisations gouvernementales, et 800 organisations non gouvernementales, près de 11 000 scientifiques et spécialistes volontaires au sein de six Commissions et plus de 1 000 professionnels travaillant dans 45 bureaux dans le monde entier, cette association travaille pour la préservation de l'environnement et le développement durable. Elle développe et soutient la science de la conservation, particulièrement en ce qui concerne les espèces, les écosystèmes, la diversité biologique et leur impact sur les moyens de subsistance des êtres humains. Elle conduit des projets sur le terrain pour mieux gérer les environnements naturels.

Le programme de l'UICN sur les espèces en collaboration avec la commission de sauvegarde des espèces évalue le statut de conservation des espèces, sous-espèces et de sous-populations à l'échelle planétaire sur les cinquante dernières années afin de mettre en évidence certains taxons menaces d'extinction. Ainsi, la liste rouge de l'UICN a été créée afin de catégoriser les menaces et de recenser ces taxons. Il ne s'agit pas ici simplement du règne animal mais cette liste a également été établie pour les plantes et les champignons.

Les différentes catégories se définissent de la façon suivante (UICN, 2001):

- « ÉTEINT (EX) : un taxon est dit « éteint » lorsqu'il ne fait aucun doute que le dernier individu est mort. Un taxon est présumé « éteint » lorsque des études exhaustives menées dans son habitat connu et/ou présumé, à des périodes appropriées (rythme diurne, saisonnier, annuel), et dans l'ensemble de son aire de répartition historique n'ont pas permis de noter la présence d'un seul individu. Les études doivent être faites sur une durée adaptée au cycle et aux formes biologiques du taxon ;

- ÉTEINT À L'ÉTAT SAUVAGE (EW) : un taxon est dit « éteint à l'état sauvage » lorsqu'il ne survit qu'en culture, en captivité ou dans le cadre d'une population (ou de populations) naturalisée(s), nettement en dehors de son ancienne aire de répartition. Un taxon est présumé « éteint à l'état sauvage » lorsque des études détaillées menées dans ses habitats connus et/ou probables, à des périodes appropriées (rythme diurne, saisonnier, annuel), et dans l'ensemble de son aire de répartition historique n'ont pas permis de noter la présence d'un seul individu. Les études doivent être faites sur une durée adaptée au cycle et aux formes biologiques du taxon ;

- EN DANGER CRITIQUE (CR) : un taxon est dit « en danger critique » lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu'il remplit l'un des critères A à E correspondant à la catégorie « en danger critique » et, en conséquence, qu'il est confronté à un risque extrêmement élevé d'extinction à l'état sauvage ;

- EN DANGER (EN) : un taxon est dit « en danger » lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu'il remplit l'un des critères A à E correspondant à la catégorie « en danger » et, en conséquence, qu'il est confronté à un risque très élevé d'extinction à l'état sauvage ;

- VULNÉRABLE (VU) : un taxon est dit « vulnérable » lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu'il remplit l'un des critères A à E correspondant à la catégorie « vulnérable » et, en conséquence, qu'il est confronté à un risque élevé d'extinction à l'état sauvage ;

- QUASI MENACÉ (NT) : un taxon est dit « quasi menacé » lorsqu'il a été évalué d'après les critères et ne remplit pas, pour l'instant, les critères des catégories « en danger critique », « en danger » ou « vulnérable » mais qu'il est près de remplir les critères correspondant aux catégories du groupe « menacé » ou qu'il les remplira probablement dans un proche avenir ;

- PRÉOCCUPATION MINEURE (LC) : un taxon est dit de « préoccupation mineure » lorsqu'il a été évalué d'après les critères et ne remplit pas les critères des catégories « en danger critique », « en danger », « vulnérable » ou « quasi menacé ». Dans cette catégorie sont inclus les taxons largement répandus et abondants ;

- DONNÉES INSUFFISANTES (DD) : un taxon inscrit dans cette catégorie peut avoir fait l'objet d'études approfondies et sa biologie peut être bien connue, sans que l'on dispose pour autant de données pertinentes sur l'abondance et/ou la distribution. L'inscription d'un taxon dans cette catégorie indique qu'il est nécessaire de rassembler davantage de données et n'exclut pas la possibilité de démontrer, grâce à de futures recherches, que le taxon aurait pu être classé dans une catégorie « menacé ». Il est impératif d'utiliser pleinement toutes les données disponibles ;

- NON ÉVALUÉ (NE) : un taxon est dit « non évalué » lorsqu'il n'a pas encore été confronté aux critères. »

La gamme de critères utilisée pour établir cette liste est suffisamment large pour permettre l'inscription adéquate de n'importe quel type de taxon, à l'exception des micro-organismes. Le processus de catégorisation n'est appliqué qu'aux populations sauvages dans leur aire de répartition naturelle.

Une gamme de critères quantitatifs permet l'inscription dans les catégories « En danger critique », « En danger » ou « Vulnérable » ; chaque fois qu'un taxon remplit un de ces critères, il peut être classé dans la catégorie de menace correspondante. Chaque taxon est évalué en fonction de tous les critères. Il suffit qu'un seul critère soit rempli pour qu'il entre dans la catégorie correspondante.

En annexe 3, un tableau résumant les critères applicables à chaque catégorie est présenté.

3.1.2. Législation (« CITES », 2015 ; « EUROPA », 2011)

« La Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES) ou Convention de Washington, est un accord international entre états. Elle a pour but de veiller à ce que le commerce international des spécimens d'animaux et de plantes sauvages ne menace pas la survie des espèces auxquelles ils appartiennent. »

Aujourd'hui, on estime que le commerce international des espèces sauvages représente des milliards de dollars par an et qu'il porte sur des centaines de millions de spécimens de plantes et d'animaux. L'exploitation et le commerce intensifs de certaines espèces, auxquels s'ajoutent d'autres facteurs tels que la disparition des habitats, peuvent épuiser les populations et même conduire certaines espèces au bord de l'extinction. Plus de 35 000 espèces sauvages sont aujourd'hui protégées par la CITES.

La CITES a été rédigée en 1963 à une session de l'Assemblée générale de l'UICN. Le texte de la Convention a finalement été adopté lors d'une réunion de représentants de 80 pays tenue à Washington, Etats-Unis d'Amérique, le 3 mars 1973. Le 1er juillet 1975, la Convention entrait en vigueur. Les états qui acceptent d'être liés par la Convention sont tenus de l'appliquer. Aujourd'hui, elle compte 181 pays.

La CITES contrôle et réglemente le commerce international des spécimens des espèces inscrites à ses annexes. Toute importation, exportation ou introduction en provenance de la mer de spécimens des espèces couvertes par la Convention doit être autorisée dans le cadre d'un système de permis. Les espèces couvertes par la CITES sont inscrites à l'une des trois annexes de la Convention selon le degré de protection dont elles ont besoin :

- « L'Annexe I comprend toutes les espèces menacées d'extinction. Le commerce de leurs spécimens n'est autorisé que dans des conditions exceptionnelles ;
- L'Annexe II comprend toutes les espèces qui ne sont pas nécessairement menacées d'extinction mais dont le commerce des spécimens doit être réglementé pour éviter une exploitation incompatible avec leur survie ;

- L'Annexe III comprend toutes les espèces protégées dans un pays qui a demandé aux autres Parties à la CITES leur assistance pour en contrôler le commerce. »

Un spécimen d'une espèce CITES ne peut être importé dans un état Partie à la Convention ou en être exporté que si le document approprié a été obtenu et présenté au point d'entrée ou de sortie.

En Europe, il existe le système TRACES (TRAde Control and Expert System). Ce système permet de suivre les mouvements d'animaux et de produits d'origine animale tant à l'intérieur de l'Union européenne (UE) qu'en provenance de l'extérieur *via* une seule base de données centrale. Les établissements peuvent être intégrés dans TRACES. Lorsqu'ils souhaitent procéder à un transport d'animaux, ils remplissent un formulaire électronique qui contient toutes les informations appropriées concernant l'animal, la destination et les éventuelles étapes. Dans le cas d'échanges intra-européens d'animaux, ces informations sont transmises à l'autorité compétente de l'État membre d'origine. Après avoir vérifié le contenu du formulaire, celle-ci peut alors rejeter ou valider le transport. Le cas échéant, elle émet le certificat sanitaire et le plan de marche relatif au bien-être des animaux. L'établissement en question ne peut procéder au transport que s'il en a reçu l'autorisation. Le système TRACES remplace plusieurs systèmes antérieurs distincts, notamment ANIMO et SHIFT. Aujourd'hui, c'est la Commission européenne qui est responsable du contrôle du système TRACES, de son développement et de sa maintenance.

3.1.3. Plans d'élevages européens (« EAZA »,2015)

L'EAZA (European Association of Zoos and Aquaria), compte 345 institutions membres au sein de 41 pays. Fondée en 1992, la mission première de l'EAZA est de faciliter la coopération entres les zoos et aquariums européens au travers d'objectifs communs que son éducation, la recherche et la conservation. Cette association va notamment superviser la mise en place d'EEP. Un EEP est un programme d'élevage d'espèce en danger (ou EEP pour Europäiches Erhaltungszucht Programm, ou European Endangered species Programme). Il est créé pour la sauvegarde d'une espèce animale. Un tel programme a pour but d'encourager, de surveiller et de donner des conseils pour favoriser l'élevage d'une espèce menacée en lui conservant ses caractéristiques naturelles, avec pour finalité une éventuelle réintroduction dans la nature ou un renforcement de la population sauvage par l'adjonction de spécimens élevés en parcs zoologiques.

Un EEP suit tous les animaux d'une espèce présents dans les zoos européens, et pour ce faire, un coordinateur d'espèce est chargé de recenser tous les individus et de créer un registre contenant l'arbre généalogique de chaque animal, ainsi que toute information complémentaire nécessaire à la gestion et à la reproduction de l'espèce. Le coordinateur procède également à des analyses génétiques et démographiques. Afin d'éviter les problèmes de consanguinité, les parcs zoologiques procèdent à des échanges d'individus afin d'empêcher la reproduction de certains animaux trop consanguins, ou d'apporter une plus grande diversité au patrimoine génétique d'une espèce donnée.

Trois grandes instances permettent une gestion de la protection et de la conservation des espèces sauvages : l'UICN grâce à son travail de catégorisation des espèces menacées, la CITES en offrant un cadre légal aux états membres dans la gestion des échanges d'espèces sauvages *via,* en Europe, le système TRACES, et les programmes d'élevages tels les EEP supervisés par l'EAZA qui travaillent à la conservation du patrimoine génétique des espèces menacées (*ex-situ*) pour envisager par la suite leur réintroduction.

Rapport-gratuit.com

3.2. Quelques éléments de zoologie, éthologie et zootechnie des Caprini sauvages (Miller et Fowler, 2014)

La plupart des Caprini sont d'agiles sauteurs et grimpeurs. Ainsi, les enclos doivent être pourvus de fossés et/ou de clôtures suffisamment importants pour prévenir l'échappée. Des structures permettant de grimper au sein de l'enclos permettent l'expression de ce comportement naturel, contribuent au bien-être des animaux ainsi qu'à l'usure des onglons.

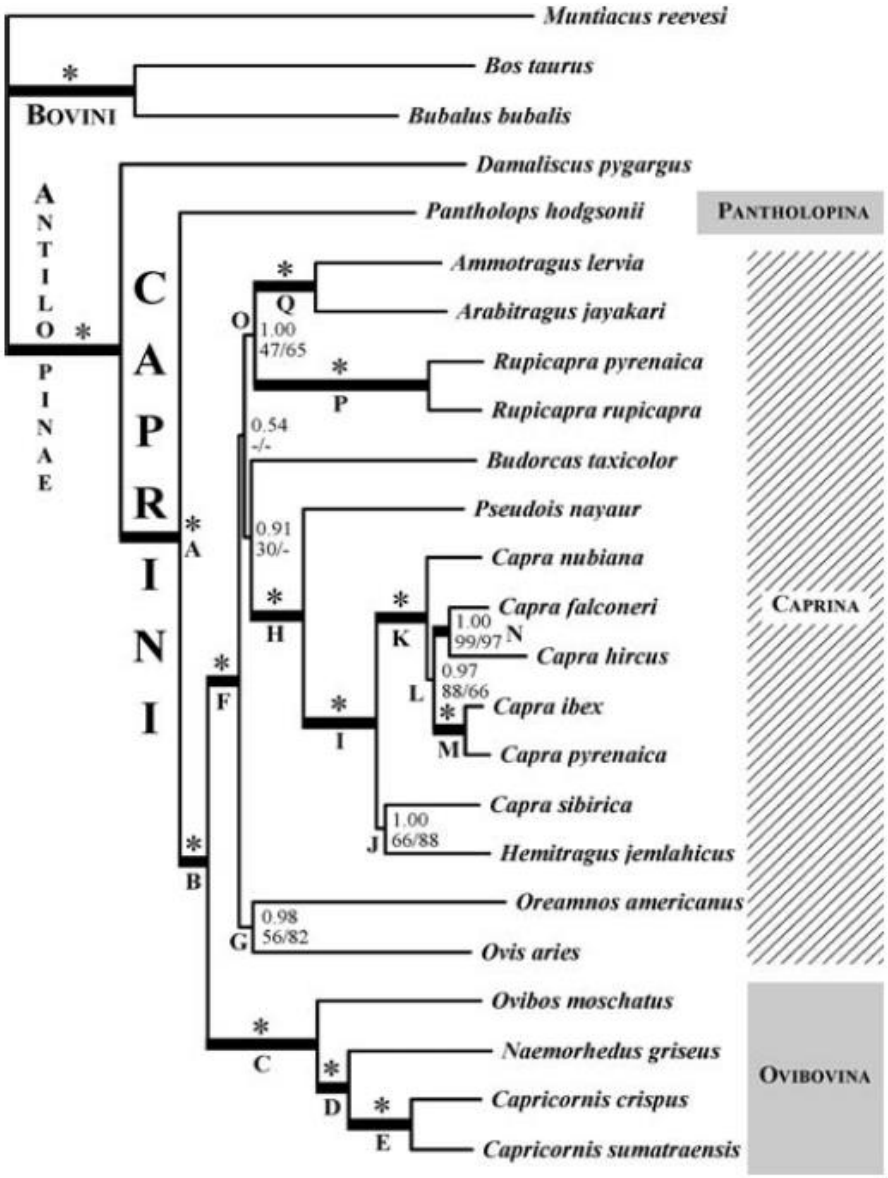
Les Caprini sont des ruminants, qui, dans la nature, peuvent être brouteurs, folivores ou herbivores généralistes. En captivité, leur alimentation est basée principalement sur l'apport de concentrés sous forme de granulés et de foin de la meilleure qualité possible. La distribution de l'alimentation doit être faite de manière à répartir au mieux la ration dans l'enclos afin de permettre aux individus les moins hauts dans la hiérarchie du groupe de s'alimenter normalement.

Concernant la reproduction, certaines espèces vont exprimer un comportement saisonnier, d'autres pas. Dans le cadre d'un programme de conservation (exemple : EEP), il peut être demandé aux parcs zoologiques de limiter la reproduction de certains individus. Ainsi, il est possible d'avoir recours à la contraception. L'usage de vaccin à base de zone pellucide porcine a déjà été un succès chez les Caprini. L'acétate de melengestrol donné par voie orale a déjà été utilisé au sein d'un groupe de gorals (*Naemorhedus*). L'objectif est d'obtenir une contraception réversible afin de pouvoir envisager une mise à la reproduction future avec de nouveaux individus. En captivité, on trouvera trois types de groupes d'individus : des groupes de mâles, des groupes de femelles et des groupes uni-mâle/multifemelles. Les groupes de mâles sont souvent constitués à cause de la surpopulation de mâles nés en captivité. En effet, un groupe stable dans la nature est composé d'un mâle dominant, de nombreuses femelles et de jeunes dont des jeunes mâles. Une sélection naturelle se fait par l'éviction des jeunes mâles du groupe à l'âge de la maturité sexuelle lors de combats durant la période de rut. Ces mâles peuvent former de petits groupes unisexes temporaires mais leur objectif est la plupart du temps de former ou de prendre possession d'une nouvelle harde. En captivité, les groupes de mâles sont parfois destiné à persister par défaut de place dans les établissements zoologiques. Les groupes de femelles sont, en général, formés dans le but d'arrêter la reproduction ou dans l'attente d'un mâle dont le patrimoine génétique est plus intéressant pour la dite espèce. Par exemple chez le markhor (*Capra falconeri)*, la harde est généralement dirigée par une femelle en dehors de la période de rut puis, à l'entrée en période de rut (novembre à janvier), les jeunes mâles et le mâle dominant entrent en compétition afin de s'accoupler aux femelles. Des combats ont également lieu entre femelles afin de remettre en cause la hiérarchie. Il est également rapporté la création de groupes de mâles et de groupes de femelles hors période de rut (Lacy *et al.*, 2010). En captivité, afin d'éviter les combats, les individus sont séparés en cas d'instabilité du groupe et certains sont choisis pour être mis à la reproduction. Les décisions de transfert de tel ou tel animal d'un parc zoologique à l'autre en Europe sont souvent prises par le coordinateur de l'EEP qui a comme rôle de favoriser la diversité génétique au sein de l'espèce qu'il coordonne. La plupart du temps, l'accouplement se fait par saillie naturelle lorsque le groupe est hiérarchiquement stable.

3.3. Taxonomie, zoologie, biologie et conservation des Caprini sauvages. (Groves et Grubb, 2011 ; Wilson et Mittermeier, 2011)

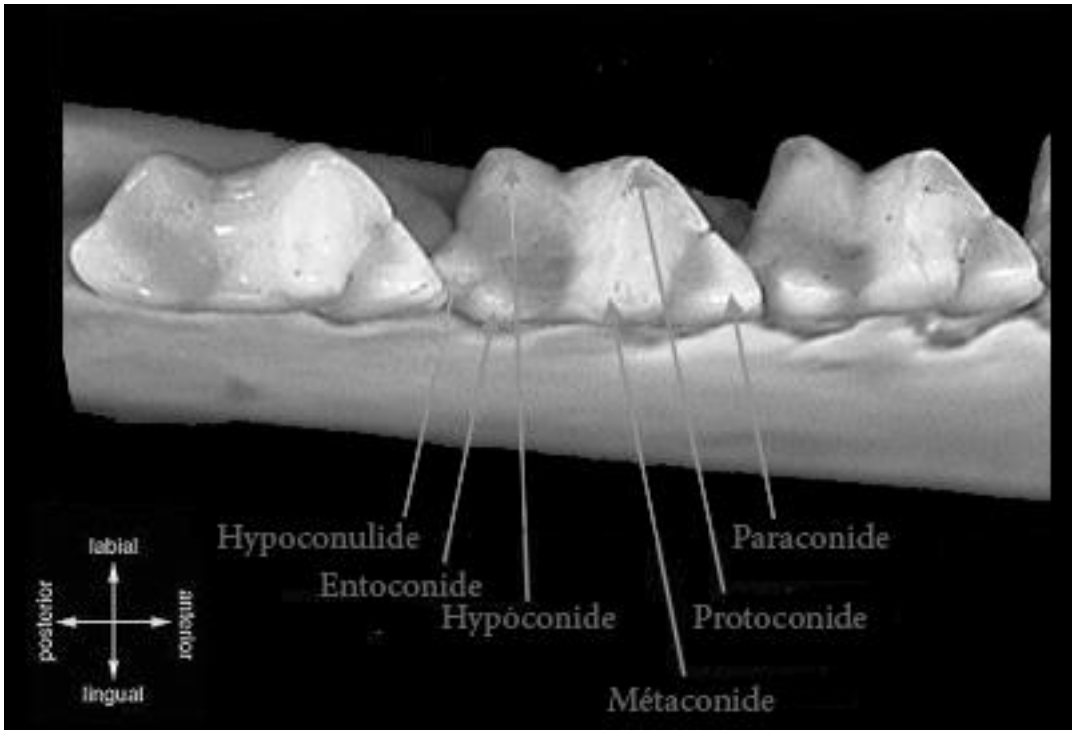
Les Caprini forment une tribu au sein de la sous-famille des *Antilopinae* appartenant elle-même à la famille des *Bovidae* (Groves et Grubb, 2011 ; Hassanin *et al.*, 2009 ; Wilson et Mittermeier, 2011) (Figure 6). Cette tribu regroupe 61 espèces en 14 genres. Un membre de la tribu des Caprini, outre la génomique, a des caractéristiques physiques précises qui ont pu être identifiées comme la présence d'un métapode (métacarpe et métatarse) court et comprimé de façon antéro-postérieure, des femelles presque toujours ornées de cornes, une dentition présentant une fusion du métaconide et de l'entoconide de la prémolaire inférieure ainsi que des mésostyles (limite entre le paraconide et le métaconide) saillants sur les molaires supérieures et de petites cavités au niveau de leur partie médiale (Photographie 3) (Groves et Grubb, 2011). Au cours de cette partie 3.1, les noms de genre dans les titres sont suivis du nom de l'inventeur et de l'année de description de la dîtes espèce entre parenthèses. Les photographies des animaux ont été choisies dans le but de les représenter au sein de leur milieu naturel.

Figure 6 : Arbre phylogénétique de la tribu des Caprini reconstruit à partir d'un alignement du génome mitochondrial complet (Hassanin *et al.*, 2009)



Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Photographie 3 : Anatomie des molaires et prémolaires des mammifères (« ADW », 2015)



L'ensemble des données suivantes dans cette partie sont issues des travaux de Wilson et Mittermeier (2011) et Groves et Grubb (2011) qui constituent les informations les plus récentes sur le sujet.

3.3.1. *Pantholops* (Hodson, 1834)

Le genre *Pantholops* ne possède que l'espèce *P.hodgsonii* (Photographie 4) (nom commun : Chiru ou Antilope du Tibet). Elle est endémique du plateau tibétain des provinces chinoises de Xinjang, Qinghai et Xizang mais une faible population est également présente au Nord-Ouest de l'Inde. Le Chiru vit dans les escarpements des chaines montagneuses tibétaines entre 3250 et 5500 mètres d'altitude.

Photographie 4 : Un mâle chiru
©Ernesto Cerra ; La Faune Ed Grange Batelière

3.3.2. *Ammotragus* (Blyth, 1840)

Le genre *Ammotragus* ne comporte que l'espèce *A.lervia* (Photographie 5) (nom commun : aoudad de Barbarie). Cependant, on différenciera jusqu'à six sous-espèces. Ces animaux vivent principalement en Afrique et suivant les sous-espèces, du Maroc à l'Egypte en passant par l'Algérie, la Tunisie, la Libye ou encore le Tchad et le Soudan. Ils évoluent aussi bien dans des milieux arides montagneux et rocheux que dans des paysages pastoraux et forestiers. L'aoudad de Barbarie est considéré comme vulnérable dans la liste rouge de l'IUCN avec une population estimée entre 5000 et 10 000 individus en Afrique. Il est victime de braconnage ainsi que de la destruction de son habitat par l'Homme due à l'augmentation de l'activité d'élevage.

Photographie 5 : Un aoudad de Barbarie et son petit
©FRANS LANTING/National Geographic Creative

3.3.3. *Arabitragus* (Ropiquet & Hassanin, 2005)

Le genre *Arabitragus* ne comporte que l'espèce *A. jayakari* (Photographie 6) (nom commun : aoudad d'Oman). Elle est endémique des montagnes Hajjar dans le Nord d'Oman et le Nord-Est des Emirats Arabes Unis. Elle évolue dans un environnement accidenté et rocailleux principalement entre 900 et 1800 mètres d'altitude. L'aoudad d'Oman est considéré comme en danger sur la liste rouge de l'IUCN avec une population totale estimée entre 2000 et 5000 individus. C'est notamment l'élevage de caprins domestiques qui menace cette espèce, par la destruction de son habitat ainsi que par la transmission de maladies.

Photographie 6 : Un aoudad d'Oman accompagné de juvéniles
©Courtesy : Management of Nature Conservation

3.3.4. *Rupicapra* (de Blainville, 1816)

Le genre *Rupicapra* est composé de 6 espèces : *R. pyrenaica, R. ornata, R. parva, R. rupicapra, R. carpatica* et *R. asiatica*. Aucune de ces espèces n'est présente à la MJP.

Rupicapra rupicapra est le chamois des Alpes (Photographie 7), espèce emblématique de ce genre. Suivant ses sous espèces, il peut vivre en France, en Autriche, en Allemagne, en Suisse, dans le Liechtenstein, en Italie, en Slovénie, en Bosnie Herzégovine, en Serbie, au Monténégro, en Albanie, au Kosovo, en Macédoine, comme en Bulgarie. Il peut vivre jusqu'à une altitude de 3000 mètres et il évolue sur un terrain accidenté, composé de prairies et de contreforts ainsi que de forêts de plus basse altitude. Ses prédateurs sont le loup gris (*Canis lupus*) et le lynx *(Lynx lynx).* En effet, un lynx pourrait tuer jusqu'à une centaine de chamois par an. Le chamois est catégorisé au sein des considérations mineures de la liste rouge de l'IUCN, cependant la sous-espèce *R. rupicapra tatrica* est classée comme en danger critique et *R. rupicapra cartusiania* est considérée comme vulnérable. Alors que *R. rupicapra tatrica* est représenté par seulement 505 individus et *R. rupicapra cartusiania* par 2000 individus, l'Europe compte un total de 485 000 chamois des Alpes. Les menaces majeures sont la fragmentation des territoires compromettant la rencontre des populations, la croissance démographique humaine, le tourisme, la compétition avec le bétail pour les pâtures ainsi que l'hybridation des diverses sous espèces entres elles.

Photographie 7 : Un mâle chamois des Alpes
© KONRAD WOTHE/MINDEN PICTURES/National Geographic Creative

3.3.5. *Budorcas* (Hodgson, 1850)

Le genre *Budorcas* regroupe 4 espèces : *B. tibetana, B. taxicolor, B. whitei, B. bedfordi.* Seul *B. tibetana* (Photographie 8) (nom commun : Takin du Sichuan) est présent à la Ménagerie du Jardin des Plantes (MJP). Il connait une aire de répartition située au centre de la Chine dans laquelle il vit en altitude entre 1500 et 3000 mètres au sein de forêts mixtes de conifères et de feuillus, de rhododendrons et de bambous. Cette espèce est classée comme vulnérable au sein de la liste rouge de l'IUCN (International Union for Conservation of Nature). La population totale est estimée à quelques milliers d'individus. C'est principalement la destruction de son habitat par l'Homme pour des raisons touristiques et agricoles qui met cette espèce en danger.

Photographie 8 : Takin du Sichuan et son petit
©ZHINONG XI/MINDEN PICTURES/National Geographic

3.3.6. *Pseudois* (Hodgson, 1846)

Le genre *Pseudois* comporte deux espèces ; *P. schaeferi* et *P.nayaur*. Cette dernière est présentée à la MJP. Son nom commun est Bharal de l'Himalaya (Photographie 9). Il vit en Chine, au nord du Pakistan, au nord de l'Inde, au Népal et au Bhoutan. Son habitat est situé entre 1200 et 5500 mètres d'altitude et composé de prés riches en végétation ainsi que des espaces ouverts plus arides et vallonnés. Ses prédateurs principaux sont la panthère des neiges (*Panthera uncia*), le loup gris (*Canis lupus*), le léopard (*Panthera pardus*) et le dhole (*Cuon alpinus*). Le Bharal de l'Himalaya est classé comme préoccupation mineure dans la liste rouge de l'IUCN. Il est probablement l'ongulé sauvage majoritaire vivant dans l'ouest chinois. Du fait de la faible préoccupation dont il fait l'objet, on peut cependant craindre à long terme une compétition trop importante entre cette espèce et le bétail dans ces régions où le développement de l'élevage intensif est en plein essor.

Photographie 9 : Un mâle Bharal de l'Himalaya
© STEVE WINTER-National Geographic Creative

3.3.7. *Capra* (Linnaeus, 1758)

Le genre *Capra* comprend 9 espèces dont *C. aegragus, C. caucasica, C. falconeri, C. nubiana, C. sibirica* sont ou ont été présents à la MJP. Les autres espèces sont *C. ibex, C. walie, C. pyrenaica* et *C. cylindricornis.*

Capra aegragus comprend à la fois le bouc sauvage (Photographie 10) (*C.aegragus aegragus*) et la chèvre domestique (*C. aegragus hircus*), elle-même descendant de l'espèce sauvage. À la MJP, des chèvres naines domestiques sont présentes. Aujourd'hui, on peut trouver le bouc sauvage de la Turquie jusqu'au sud-ouest du Pakistan en passant par le sud de la Russie, l'Irak et l'Iran. Il vit dans un milieu rocailleux et abrupt autour des 2500 mètres d'altitude en moyenne mais atteignant parfois les 4000 mètres. Il évolue dans une végétation de type forêt montagneuse de conifères ou de bouleaux mais aussi dans les vallées fréquentées par l'Homme et son bétail. Les prédateurs naturels sont le loup gris (*Canis lupus*) et le léopard (*Panthera pardus*). Le bouc sauvage est considéré comme vulnérable sur la liste rouge de l'IUCN car les populations ont été déplacées à cause du développement de l'élevage de bétail qui a détérioré son milieu naturel. De plus, les chiens domestiques ou féraux (*Canis lupus familiaris* formant une population vivant totalement ou partiellement à l'état sauvage) deviennent également des prédateurs ainsi que l'Homme qui braconne, exploite les forêts et fragmente des populations par la construction de routes.

Photographie 10 : Un bouc sauvage mâle
© F. Spangenberg

Capra caucasica ou bouquetin du Caucase (Photographie 11) est présent à la MJP. Il vit en Géorgie et en Russie dans l'ouest des chaines de montagne du Grand Caucase. Il évolue sur un terrain rocailleux et escarpé composé de falaises et de vallées mais aussi de prés et de zones montagneuses alpines et subalpines d'une altitude comprise entre 1000 et 3300 mètres. Son prédateur principal est le loup gris (*Canis lupus*) mais aussi le lynx (*Lynx lynx*). Classé comme en danger dans la liste rouge de l'IUCN, il constitue en effet l'espèce de *Capra* avec l'aire de répartition la plus petite s'étendant sur 250 km de long pour 70 km de large. Le bouquetin du Caucase est protégé au sein de plusieurs réserves mais il reste la victime du braconnage, du développement du bétail dans ses régions ainsi que de l'activité humaine en général.

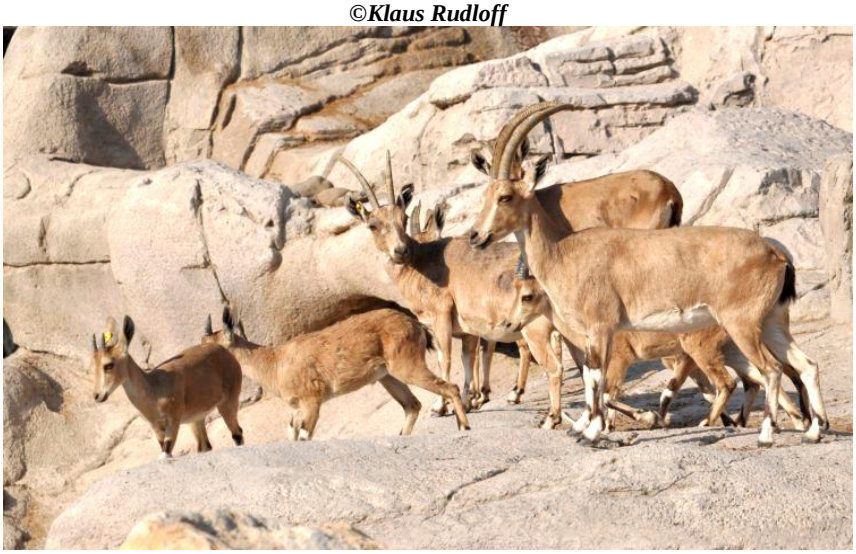
Photographie 11 : Un couple de bouquetins du Caucase et leur petit
© Milan Kořínek

Capra falconeri dont le nom commun est markhor (Photographie 12) est présenté à la MJP. Son milieu naturel comprend, en fonction des trois sous-espèces, l'Afghanistan, le Pakistan, l'Inde, le Tadjikistan, le Turkménistan et l'Ouzbékistan. Il vit entre 600 et 3600 mètres d'altitude dans des espaces ouverts comme dans des espaces composés de forêts de conifères et de chênes ou des zones buissonneuses. Il est la proie du loup gris (*Canis lupus*) et de la panthère des neiges (*Panthera uncia*). Classé comme espèce en danger par l'IUCN, le markhor est principalement la cible de braconnage mais son environnement est également dégradé et fragmenté par l'Homme.

Photographie 12: Un mâle markhor
©JOEL SARTORE-National Geographic

Capra nubiana dénommé bouquetin de Nubie (Photographie 13) a été présenté à la MJP. Il vit en Egypte à l'est du Nil, au nord-ouest du Soudan, en Israël, à l'ouest de la Jordanie, au sud-ouest d'Oman et au sud-est du Yemen. Son habitat comprend des espaces situés en dessous du niveau de la mer jusqu'à une altitude de 2600 mètres. Il s'agit de terrains accidentés, montagneux jonchés d'éboulis et comportant une succession de plateaux bordés de précipices. Ici, le loup gris (*Canis lupus*) et le léopard (*Panthera pardus*) ne constitue pas le principal danger pour cette espèce mais c'est bien les chiens domestiques et féraux qui vont prendre pour proie les femelles et les jeunes individus. Le bouquetin de Nubie est classé comme vulnérable par l'IUCN. Il n'est d'ores et déjà plus présent en Syrie et sa population est victime du braconnage, de la détérioration de son habitat ainsi que son invasion par le bétail et sa fragmentation par l'activité humaine compliquant le brassage génétique en limitant les rencontres entre les différents groupes.

Photographie 13 : Groupe de bouquetins de Nubie
©Klaus Rudloff



Capra *sibirica* ou bouquetin de Sibérie comprend 4 sous-espèces dont C. s. *sibirica* (Photographie 14) était en présentation à la MJP. Son milieu naturel se situe en Sibérie, au nord-ouest de la Chine, à l'Ouest de la Mongolie, ainsi qu'au Kazakhstan. Il vit de 700 mètres d'altitude jusqu'à 6700 mètres. Il évolue sur un terrain composé à la fois de profondes vallées, de précipices, d'éboulis mais aussi dans le désert de Gobi. Ses principaux prédateurs sont la panthère des neiges (*Panthera uncia*), le loup gris (*Canis lupus*) et le lynx (*Lynx lynx*). Le bouquetin de Sibérie est classé comme considération mineure par l'IUCN avec une population totale avoisinant les 120 000 individus dans le monde en liberté. Les menaces principales sont la compétition avec le bétail, le braconnage et la dégradation de l'habitat par les activités humaines.

Photographie 14 : Un mâle bouquetin de Sibérie
© Milan Kořínek

3.3.8. *Hemitragus* (Hodgson, 1841)

Le genre *Hemitragus* ne comporte que l'espèce *H.jemlahicus* (Photographie 15) (nom commun : thar de l'Himalaya) qui était autrefois présente à la MJP.

Photographie 15 : Un mâle thar de l'Himalaya
© KONRAD WOTHE- MINDEN PICTURES-National Geographic Creative

On trouve ce caprin à l'état sauvage dans le nord de l'Inde, au Népal et à l'ouest de la Chine. Il vit entre 1550 et 5300 mètres d'altitude dans un environnement mixte de type forestier et prairial. Ses principaux prédateurs sont le léopard (*Panthera pardus*), la panthère des neiges (*Panthera uncia*), le dhole *(Cuon alpinus)* et le loup gris (*Canis lupus*). Le thar de l'Himalaya est considéré comme quasi-menacé dans la liste rouge de l'IUCN. En effet, le développement urbain semble empêcher la rencontre des différents groupes, affectant leur reproduction. De plus, cette espèce est victime de la chasse sportive.

3.3.9. *Oreamnos* (Rafinesque, 1817)

Le genre *Oreamnos* ne regroupe que l'espèce *O. americanus* (Photographie 16) (nom commun : Chèvre des Rocheuses) présente à la MJP. Son milieu naturel se trouve dans les montagnes rocheuses Nord-américaines s'étendant de l'Ouest des Etats-Unis dans l'Oregon, à l'Ouest canadien et même jusqu'en Alaska. Cette chèvre vit dans un environnement montagneux escarpé sous des conditions

Photographie 16 : Un couple de chèvres des rocheuses et son petit
©SUMIO HARADA/ MINDEN PICTURES/National Geographic Creative

Rapport-gratuit.com

climatiques extrêmes. Elle peut tout aussi bien vivre au niveau de la mer que jusqu'à une altitude atteignant les 2700 mètres. Ses prédateurs principaux sont le puma (*Puma concolor*), le loup gris (*Canis lupus*), l'ours brun (*Ursus arctos*) et plus occasionnellement le coyote (*Canis latrans*), le glouton (*Gulo gulo*), et l'aigle royal (*Aquila chrysaetos).* La chèvre des Rocheuses est considérée comme une préoccupation mineure sur la liste rouge de l'IUCN avec une population totale estimée entre 135 000 et 203 000 individus. Les risques qu'elle encourt sont dus à l'introduction d'espèces caprines n'occupant pas historiquement le même environnement ainsi qu'au tourisme non régulé au sein de son habitat.

3.3.10. *Ovis* (Linnaeus, 1758)

On compte 8 espèces au sein du genre Ovis : *O. gmelini, O. isphahanica, O. laristanica, O. vignei, O. punjabiensis, O. bochariensis, O. arabica* et *O. cycloceros*. La taxonomie du genre *Ovis* est controversée et on trouve également les genres *O. vignei, O. punjabiensis, O. bochariensis* et *O. cycloceros* classés comme sous-espèces de *O. orientalis* ou encore tous classés comme sous-espèces de *O. vignei*. En effet, la dénomination *orientalis* est basée sur une population hybride du centre-nord de l'Iran et n'est donc plus utilisable. Ici, nous nous baserons donc sur les travaux de Groves et Gubb de 2011.

La seule espèce présentée à la MJP est *O.cycloceros* ou mouflon Afghan et plus précisément *O. cycloceros arkal* également nommé plus simplement arkal (Photographie 17). Cette sous-espèce vit dans le nord-est de l'Iran, le sud et le nord-ouest du Turkménistan et dans l'ouest du Kazakhstan. L'arkal connait des habitats variés s'étendant d'une altitude proche du niveau de la mer jusqu'à 3000 mètres et parfois même 4000 mètres. Il paît souvent sur les prairies dégradées par le bétail en basse montagne et évolue sur un terrain souvent escarpé et accidenté. Ses prédateurs sont le léopard (*Panthera pardus*), le loup gris (*Canis lupus*), le chacal doré (*Canis aureus*), le renard roux (*Vulpes vulpes*) ainsi que les chiens féraux et domestiques. Cet espèce est classée comme vulnérable par l'IUCN car elle est victime de braconnage et entre en compétition avec le bétail.

Photographie 17 : Un groupe de femelles arkals
© FRANS LANTING/National Geographic Creative

3.3.11. *Ovibos* (de Blainville, 1816)

Ovibos moschatus ou bœuf-musqué est le seul représentant de son genre. Il vit dans l'arctique, en Alaska, au Canada et dans le nord et le nord-est du Groenland (Photographie 18). Son habitat est composé de toundra avec des paysages maritimes subarctiques, continentaux arctiques, et hauts-arctiques. Son environnement comprend à la fois des dunes de sables littorales, des plaines côtières comme des zones traversées de rivières. Le loup gris (*Canis lupus*) est son prédateur principal même si l'ours brun (*Ursus arctos*) peut également représenter une menace. Le bœuf musqué est classé comme une préoccupation mineure par l'IUCN. On pense aujourd'hui pouvoir compter sur une population totale de près de 130 000 individus. Cependant, la non-régulation de la chasse à des fins commerciales est une menace pour cette espèce qui connait malgré cela une augmentation de taille de sa population. Aujourd'hui, la plus grande menace pour cette espèce est certainement le réchauffement planétaire.

Photographie 18 : Un groupe de bœufs musqués luttant contre le blizzard
© NORBERT ROSING/National Geographic Creative

3.3.12. *Nemorhaedus* (C.H. Smith, 1827)

Le genre *Nemorhaedus* comprend les 6 espèces que sont *N. goral, N. bedfordi, N. griseus, N. evansi, N. caudatus* et *N. baileyi.* C'est *N. griseus* ou goral gris (Photographie 19) que l'on peut venir observer à la MJP. Son milieu naturel se trouve au centre et au sud-est de la Chine et se compose d'un terrain rocailleux et escarpé situé à une altitude comprise entre 1000 et 4000 mètres. Il est considéré comme vulnérable dans la liste rouge de l'IUCN mais sa démographie est très peu suivie. Il est la cible du braconnage et de la dégradation de son habitat par l'Homme qui *via* la déforestation et le développement de l'élevage intensif fragmente la population de goral.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Photographie 19 : Un couple de gorals gris
© Klaus Rudloff

3.3.13. *Capricornis* (Ogilby, 1837)

Le genre *Capricornis* comprend 7 espèces que sont *C. sumatrensis, C. thar, C. milneedwardsi, C. maritimus, C. rubidus, C. crispus* et *C.swinhoei.* On trouve notamment le serow de Sumatra (*C. sumatrensis*) au sein de la péninsule malaise et à l'ouest et au nord de Sumatra (Photographie 20). Il vit aussi bien à une altitude proche du niveau de la mer que jusqu'à 600 mètres de hauteur sur un terrain escarpé, irrégulier comprenant des portions de jungle. Classé comme vulnérable par l'IUCN, le serow de Sumatra a une population estimée entre 500 et 750 individus en Malaisie. Son habitat a été et continue d'être détruit par la déforestation et le développement de l'agriculture. Il est, de plus, menacé par le braconnage ou la chasse par piégeage accidentel. La population est aujourd'hui très clairsemée.

Photographie 20 : Un mâle serow de Sumatra
© Jeremy holden/FFI

3.3.14. *Nilgiritragus* (Ropiquet & Hassanin, 2005)

Le genre *Nilgiritragus* ne comporte qu'une seule espèce : *N. hylocrius* ou mouflon des Nilgiri (Photographie 21). Il s'agit du seul Caprini vivant sous les tropiques. On le trouve, en effet, dans le sud-ouest de l'Inde à une altitude comprise entre 1200 et 4000 mètres évoluant sur un terrain composé de pentes raides, de falaises et de prairies vallonnées au sein desquelles il trouve son fourrage. Le mouflon des Nilgiri est la proie du léopard (*Panthera pardus*) et du dhole (*Cuon alpinus*). Il est classé comme en danger dans liste rouge de l'IUCN et figure dans le chapitre I de l'acte de protection de la faune sauvage d'Inde. Sa population est aujourd'hui probablement inférieure à 2000 individus, vivant en troupeaux fragmentés. Ils sont menacés par la monoculture d'essences d'arbres exotiques, les intrusions humaines dans leur habitat ainsi que par la compétition avec le bétail.

Photographie 21 : Un mouflon des Nilgiri et son petit
© FRANS LANTING/National Geographic Creative

Le tableau 7 récapitule les principales informations sur les genres et espèces de Caprini présentés ci-dessus.

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des genres et espèces de Caprini

Genre	Espèce	Nom commun	Aire géographique	Habitat	Statut IUCN	Protection	Effectif sauvage estimé (nombre d'individus)	Présenté à la MJP en 2014 (nombre d'individus)
Pantholops	*P. hodgsonii*	Chiru	Plateau tibétain	Montagnes	En danger	Annexe I CITES	150 000	Non
Ammotragus	*A. lervia*	Aoudad de Barbarie	Afrique du Nord, Tchad, Soudan	Milieu aride	Vulnérable	Annexe II CITES	5000 à 10000	Non
Arabitragus	*A. jayakari*	Aoudad d'Oman	Arabie	Montagnes	En danger		2000 à 5000	Non
Rupicapra	*R. Rupicapra*	Chamois des Alpes	Europe	Montagnes	Préoccupation mineure		485 000	**Non**
Budorcas	*B. tibetana*	Takin du Sichuan	Chine	Montagnes, Forêts	Vulnérable	Annexe II CITES	10 000	**2**
Pseudois	*P. nayaur*	Bharal	Chine, Pakistan, Inde, Népal, Bouthan	Montagnes, Prairies	Préoccupation mineure	Annexe III CITES	47 000 à 414 000	**7**
Capra	*C. aegragus hircus*	Chèvre domestique						**7**
	C. caucasica	Bouquetin du Caucase	Grand Caucase	Montagnes	En danger		5000 à 6000	**10**
	C. falconeri	Markhor	Moyen-orient	Montagnes, Forêts	En danger	Annexe I CITES	9700	7
	C. nubiana	Bouquetin de Nubie	Moyen-Orient	Montagnes, Milieu aride	Vulnérable		< 2500	Ancien-nement
	C. sibirica	Bouquetin de Sibérie	Sibérie, Chine, Mongolie, Kazakhstan	Montagnes, Vallées, Désert	Préoccupation mineure	Annexe III	?	Ancien-nement
Hemitragus	*H. jemlahicus*	Thar de l'Himalaya	Inde, Népal, Chine	Montagnes, Forêts, Prairies	Quasi-menacé	Catégorie I en Chine	?	Ancien-nement
Oreamnos	*O. americanus*	Chèvres des Rocheuses	Massif des Montagnes Rocheuses (Etats-Unis), Canada, Alaska	Montagnes	Préoccupation mineure		135 000 à 203 000	4
Ovis	*O. cycloceros*	Arkal	Iran, Turkménistan, Kazakhstan	Montagnes, Milieu aride	Vulnérable		?	14
Ovibos	*O. moschatus*	Bœuf musqué	Arctique	Toundra	Préoccupation mineure		130 000	Non
Naemorhedus	*N. griseus*	Goral	Chine	Montagnes	Vulnérable	Annexe I CITES	?	4
Capricornis	*C. sumatrensis*	Serow de Sumatra	Péninsule Malaise	Montages, Jungle	Vulnérable	Annexe I CITES	500 à 750	Non
Nilgiritragus	*N. hylocrius*	Mouflon des Nilgiri	Inde (Sud-Ouest)	Falaises, Prairies	En danger		<2000	Non

3.4. Etude de l'infection par *Salmonella* Abortusovis chez des Caprini

3.4.1. Etude de l'infection par *Salmonella* Abortusovis chez *Rupicapra rupicapra* (Pioz *et al.*, 2008a, 2008b)

Il existe peu de données décrivant les conséquences d'une infection à *Salmonella* Abortusovis chez les animaux sauvages. Cependant, une population telle que celle des chamois des Alpes (*Rupicapra rupicapra*) peut se retrouver régulièrement en contact avec la bactérie dès lors que ces derniers pâturent dans les mêmes prés que les caprins et ovins domestiques.

Ainsi, Pioz *et al.*, en 2008, ont mené une étude visant à déterminer une association entre la présence d'anticorps dirigés contre *Salmonella* Abortusovis et une baisse de la fertilité la même année en prenant en compte les causes climatiques, la densité des populations et leurs statuts sanitaires (séroprévalence de l'infection par *Salmonella* Abortusovis, *Chlamydophila* et *Coxiella).*

Cette étude a été menée sur 2 sites à 2 200 mètres d'altitude comprenant un total de 2000 chamois. Les 2 sites sont entourés d'environ 1600 fermes sur lesquelles pâturent des ruminants de mi-mai à mi-octobre. Chez ces ruminants, un pourcentage important de réactions sérologiques positives à *Salmonella* Abortusovis ont été rapportées. D'autre part, des femelles ont été capturées ou préalablement marquées et la présence de lait dans la mamelle ou d'un petit a été observée afin de déterminer le succès reproducteur ou non de l'année en cours. L'étude se base sur des captures et des observations effectuées

entre 1986 et 2003, représentant 304 femelles chamois âgées de plus de 2 ans capturées et 518 observations à distance. Des recensements depuis 1985 ont permis l'estimation des variations de densité de populations. Les conditions météorologiques au cours des années ont également été prises en compte. Le statut sanitaire a été évalué à l'aide de sérologies effectuées sur les femelles capturées. Pour la salmonellose abortive, un titre en anticorps inférieur à 1/320 a été considéré comme négatif alors qu'un titre supérieur ou égal à 1/320 a été considéré comme « non négatif » (= « douteux » + « positifs »).

L'étude montre que s'il ne semble pas y avoir de corrélations entre les conditions climatiques et le succès reproducteur des jeunes femelles, cela semble être le cas concernant les femelles plus âgées. En effet, la survenue de chutes de neige au printemps semble corrélée négativement au succès reproducteur de ces dernières. De plus, en ajustant sur les conditions climatiques, on observe une corrélation négative entre le succès reproducteur et la séroprévalence de *Salmonella* Abortusovis avec une probabilité du succès reproducteur passant de 0,86 à 0,75 dans le cas d'une séroprévalence de la bactérie de 15 % (moyenne de la séroprévalence observée entre 1986 et 2003). À eux seuls, les conditions climatiques et le statut sanitaire des chamois expliquent 66,6 % de la variabilité interannuelle du succès reproducteur de ces populations. D'autre part, cette étude a permis de montrer une association entre la présence d'un titre en anticorps anti-*Salmonella* Abortusovis supérieur à 1/320 chez un individu et diminution du succès reproducteur de ce même individu. Attention cependant, ce résultat ne signifie pas pour autant que l'on peut considérer qu'un titre en anticorps anti-*Salmonella* Abortusovis supérieur à 1/320 permette un diagnostic de salmonellose abortive. En effet, dans cette étude, aucun avortement n'a été observé et aucun isolement bactérien n'a été effectué.

En conclusion, les chamois avec un titre en anticorps anti-*Salmonella* Abortusovis élevé semblent connaitre un succès reproducteur réduit. La survenue d'avortement ou une mortinatalité élevée pourraient expliquer ces résultats. D'autre part, étant donnée la séroprévalence élevée de ce pathogène au sein des nombreux cheptels de petits ruminants domestiques entourant la zone d'étude, on peut supposer qu'il existe une transmission de la bactérie entres animaux domestiques et animaux sauvages. Cette transmission a probablement lieu sur les pâtures par le biais de formes bactériennes rugueuses, plus résistantes dans l'environnement.

3.4.2. Etude de l'infection par *Salmonella* Abortusovis chez l'isard (*Rupicapra pyrenaica pyrenaica*) (Reynal, 2004)

Cette étude menée en 2003 dans le cadre d'une thèse vétérinaire dans la réserve naturelle de chasse et de faune sauvage d'Orlu, au sud-est de l'Ariège, avait pour objectif de déterminer la présence d'affections abortives au sein de la population d'isards entre 1994 et 2002. Des captures d'isards ont permis le recueil de données biométriques et biologiques telles que le sexe, l'âge, le poids, des fèces, de la peau et du sang. Ainsi, la recherche de traces sérologiques de maladies abortives a été possible. Un recueil de données a également été effectué sur les ongulés domestiques présents au sein de la réserve dans les pâtures, notamment durant la période estivale (jusqu'à 2000 individus). On constatait donc le contact possible entre les ongulés sauvages et domestiques qui sont amenés à pâturer dans les mêmes zones. L'échantillon d'isards étudiés comportait 285 sérums prélevés entre 1994 et 2002. Les sérologies « salmonellose abortive » montraient des titres s'étalant de 1/80 à 1/640 et 1/320 a été choisi comme seuil de positivité dans la mesure où aucune donnée n'est disponible chez les ongulés sauvages. Ainsi, entre 1994 et 2002, 11,3 % des isards testés ont été considérés comme séropositifs. L'étude sérologique vis-à-vis de la salmonellose abortive sur les ovins domestiques a été réalisée sur 468 sérums. Celle-ci montrait que 19 % des animaux étaient douteux ou positifs mais que seuls 3 % sont positifs. Par ailleurs, 4 élevages sur les 6 de l'étude possèdent au moins un individu séropositif (titre≥1/640). Ainsi, cette étude montrait qu'un nombre non négligeable d'individus domestiques ou sauvages avait été en contact avec l'agent pathogène car présentant les anticorps dirigés contre celui-ci. Cependant, l'impossibilité d'effectuer un diagnostic direct par isolement et identification de la bactérie ne permet pas d'affirmer ou d'infirmer la présence de l'agent pathogène au sein de ces populations. Enfin, l'interaction entre ongulés sauvages et domestiques qui pâturent au sein de même zones mériterait d'être investiguée davantage car il est probable que l'un constitue le réservoir du second, la maladie étant plus fréquente chez le mouton domestique.

3.4.3. Etude de l'infection par *Salmonella* Abortusovis chez le mouflon méditerranéen (*Ovis gmelini*) et le mouton domestique (*Ovis aries*) (Dupraz, 2004)

Cette étude menée en 2003 dans le cadre d'une thèse vétérinaire dans la réserve naturelle de chasse et de faune sauvage du Caroux-Espinouse, dans le sud du massif central, avait pour objectif de mener une enquête épidémiologique sur les maladies abortives chez le mouflon méditerranéen grâce à la surveillance sanitaire mise en place depuis 1990. Cette surveillance sanitaire s'appuyait sur une observation à distance des animaux, des captures permettant d'effectuer des prélèvements en vue d'analyses sérologiques, l'examen des animaux retrouvés mort, chassés ou euthanasiés ainsi que le croisement avec les données épidémiologiques des élevages domestiques.

Cinq troupeaux d'ovins (*Ovis aries*) (soit 67 individus dont le sérum a été analysé) situés dans la zone d'étude ont fait l'objet d'une recherche sérologique d'anticorps dirigés contre *Salmonella* Abortusovis par séroagglutination lente en 2001. Aucun des échantillons testés n'a présenté un titre supérieur ou égal à 1/640 (seuil de positivité d'après la norme AFNOR U47-014 chez les ovins domestiques). Trois individus ont tout de même présenté une réponse douteuse au test avec un titre compris entre 1/320 et 1/640. Compte tenu du protocole de l'étude, qui n'a notamment pas pris en compte la survenue d'avortements préalables chez les animaux prélevés et qui n'a concerné que 25 % des animaux au sein des cheptels, ces données permettent seulement d'affirmer que la région ne semblait pas connaitre une crise enzootique de salmonellose abortive ovine en 2001.

Concernant les mouflons, l'étude portait sur 521 animaux qui ont été prélevés entre 1990 et 2001 et dont 459 sérums ont fait l'objet d'une séroagglutination lente. Dix *sera* avaient un titre en anticorps supérieur ou égal à 1/640 (positif) et 25 autres avaient un titre entre 1/320 et 1/640 (douteux) correspondant alors à une séroprévalence de non-négatifs de 7,62 %. D'autre part, il est intéressant de noter que la majorité des sérums non négatifs ont été prélevés en 1997 (32,39 % de séroprévalence de non-négatifs) et en 2001 (14,28 % de séroprévalence de non-négatifs). Par ailleurs, l'étude ne montrait pas de différence significative entre la séroprévalence chez les mâles et chez les femelles alors que la séroprévalence était plus importante chez les individus de plus de 4 ans que chez les jeunes.

Il est intéressant de noter que chez le mouflon, la maladie semble évoluer par « crises » épizootiques sur fond enzootique comme cela est décrit chez les petits ruminants domestiques. La principale limite de l'étude concerne l'approche clinique inexistante des avortements avec l'absence de moyens mis en œuvre pour les objectiver ou même suspecter une altération du succès reproducteur.

DEUXIEME PARTIE:

ETUDE DE LA SALMONELLOSE ABORTIVE OVINE CHEZ LES CAPRINI SAUVAGES EN CAPTIVITE

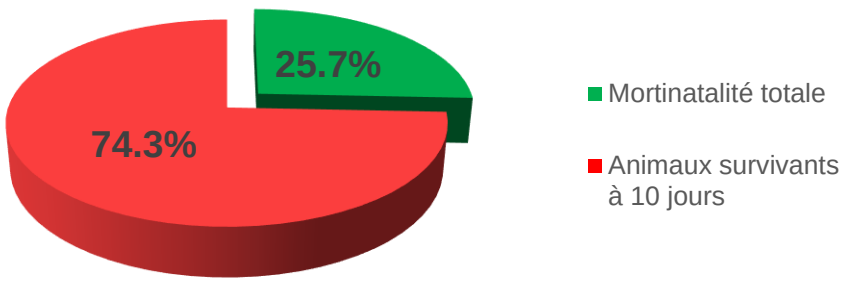
La survenue de plusieurs avortements au sein de la MJP en 2013 a motivé la mise en place de cette étude afin de statuer de l'implication de *Salmonella* Abortusovis au cours de cet épisode. Depuis 2003, sur l'ensemble des Caprini présents à la MJP, il existe une mortinatalité (que l'on définira ici comme le rapport entre le nombre de juvéniles décédés avant l'âge de 10 jours et le nombre d'animaux nés) proche de 26 %, soit plus d'un quart des naissances (Tableau 8 ; Figure 7).

Depuis 2010, plusieurs Bharals (*Pseudois nayaur*) du cheptel de la Ménagerie du Jardin des Plantes ont été testés positifs pour les anticorps dirigés contre *Salmonella* Abortusovis. Ces animaux ont présenté des troubles reproducteurs avec des avortements et/ou une mortalité périnatale importante (45 % des morts dans cette espèce sont représentés par des juvéniles de moins de 10 jours).

Tableau 8 : Effectifs des naissances et du nombre de juvéniles morts à un âge inférieur à 10 jours et mortinatalité entre 2003 et 2013 au sein des Caprini de la MJP

Espèces		Nombre de naissances	Nombre de morts < 10jours	Mortinatalité totale	Nombre de morts < 10 jours sans recours à l'euthanasie	Mortinatalité sans recours à l'euthanasie
Budorcas tibetana	Takin du Sichuan	0	/	/	/	/
Capra caucasica	Bouquetin du Caucase	19	7	*36,8 %*	6	*31,6 %*
Capra falconeri	Markhor	52	13	*25,0 %*	9	*17,3 %*
Capra hircus	Chèvre domestique	30	1	*3,3 %*	1	*3,3 %*
Capra nubiana	Bouquetin de Nubie	10	6	*60,0 %*	6	*60,0 %*
Capra sibirica	Bouquetin de Sibérie	8	3	*37,5 %*	0	*0 %*
Hemitragus jemlahicus	Thar de l'Himalaya	0	/	/	/	/
Naemorhedus griseus	Goral gris	1	0	*0 %*	0	*0 %*
Oreamnos americanus	Chèvres des Rocheuses	3	3	*100 %*	3	*100 %*
Ovis cycloceros	Arkal	9	0	*0,0 %*	0	*0 %*
Pseudois nayaur	Bharal	16	5	*31,3 %*	5	*31,3 %*
Total		**148**	**38**	***25,7 %***	**30**	***20,3 %***

Figure 7 : Représentation schématique de la part de juvéniles décédant avant 10 jours d'âge entre 2003 et 2013 à la MJP



Les conséquences d'une infection par cette bactérie sur un cheptel d'animaux sauvages dont certaines espèces sont menacées peuvent se révéler dramatiques pour l'espèce entière et ses chances de sauvegarde. Ainsi, nous avons cherché au travers d'une étude sérologique à mettre en évidence un passage de la bactérie au sein de la population de Caprini sauvages de la MJP. Puis, grâce à la collaboration du parc zoologique de Mulhouse, nous avons pu comparer les résultats obtenus au sein d'une population de Caprini *a priori* atteinte avec une population *a priori* saine. Pour finir, une enquête par questionnaire a été proposée aux vétérinaires de parcs zoologiques français afin d'avoir une idée plus précise de l'importance de la survenue d'avortements à l'échelle des parcs zoologiques de la France entière ainsi que de l'infection par *Salmonella* Abortusovis.

1. OBJECTIFS

L'objectif de l'étude consiste premièrement à évaluer une séroprévalence de l'infection au sein d'un parc zoologique comportant des individus présentant des troubles de la reproduction et au sein d'un parc zoologique n'en comportant pas. On cherchera également à déterminer, quand c'est possible, quelle sont les individus atteints parmi les Caprini en termes d'âge, de sexe et d'espèce. Une analyse de la cinétique de la maladie au sein de la population cible est également entreprise.

Par ailleurs, l'enquête par questionnaire a pour objet la description de l'importance de la maladie au sein des parcs zoologiques français tant en termes de cas avérés d'infection à *Salmonella* Abortusovis que de prise en charge par les vétérinaires de parcs. On a donc cherché ici à observer la fréquence de survenue d'avortement au sein des parcs zoologiques français et quelles démarches diagnostiques étaient utilisées par les vétérinaires dans la recherche de leurs causes. Enfin, la recherche de facteurs de risques potentiels a été entreprise ici.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Description des échantillons

2.1.1 La Ménagerie du Jardin des Plantes

Budorcas tibetana, Capra caucasica, Capra falconeri, Capra aegragus hircus, Oreamnos americanus, Ovis cycloceros arkal, Pseudois nayaur sont les 7 espèces de Caprini présentes à la ménagerie du jardin des plantes en 2014. Cela représente une population de 55 individus. De 2003 à 2014 inclus, trois autres espèces ont été présentées à la MJP : *Hemitragus jemlahicus, Capra nubiana* et *Capra sibirica*. Entre 2003 et 2014 inclus, cela représente ainsi 237 individus (Tableau 9).

Tableau 9 : Effectifs des Caprini présents au sein de la MJP en 2014 et de 2003 à 2014

Espèces		Effectifs en 2014	Part des effectifs par espèces en 2014	Effectifs de 2003 à 2014 inclus	Part des effectifs par espèces de 2003 à 2014 inclus
Budorcas tibetana	Takin du Sichuan	*2*	*3,6 %*	*3*	*1,3 %*
Capra caucasica	Bouquetin du Caucase	*10*	*18,2 %*	*29*	*12,2 %*
Capra falconeri	Markhor	*7*	*12,7 %*	*63*	***26,6 %***
Capra hircus	Chèvre domestique	*7*	*12,7 %*	*49*	*20,7 %*
Capra nubiana	Bouquetin de Nubie	*0*	*0 %*	*15*	*6,3 %*
Capra sibirica	Bouquetin de Sibérie	*0*	*0 %*	*17*	*7,2 %*
Hemitragus jemlahicus	Thar de l'Himalaya	*0*	*0 %*	*3*	*1,3 %*
Naemorhedus griseus	Goral gris	*4*	*7,3 %*	*7*	*3,0 %*
Oreamnos americanus	Chèvres des Rocheuses	*4*	*7,3 %*	*10*	*4,2 %*
Ovis cycloceros	Arkal	*14*	***25,5 %***	*19*	*8,0 %*
Pseudois nayaur	Bharal	*7*	*12,7 %*	*22*	*9,3 %*
Total		**55**	**100 %**	**237**	**100 %**

2.1.2. Le Parc zoologique et botanique de Mulhouse

Capra hircus, Ovibos moschatus, Ovis aries (ou mouton domestique) et *Pseudois nayaur* sont les 4 espèces présentes au sein du parc zoologique et botanique de Mulhouse depuis 2003. Les effectifs sont présentés dans le tableau 10 ci-dessous. Cela représente 23 individus présents en 2015 et 313 individus entre 2003 et janvier 2015.

Tableau 10 : Effectifs des Caprini présents au sein du parc zoologique et botanique de Mulhouse en janvier 2015 et de 2003 à janvier 2015

Espèces		Effectifs en janvier 2015	Part des effectifs par espèces en 2014 (en %)	Effectifs de 2003 à janvier 2015 inclus	Part des effectifs par espèces de 2003 à janvier 2015 inclus (en %)
Capra hircus	Chèvre domestique	*8*	*34,8 %*	*222*	***70,9 %***
Ovibos moschatus	Bœuf musqué	*2*	*8,7 %*	*3*	*1,0 %*
Ovis aries	Mouton domestique	*3*	*13,0 %*	*37*	*11,8 %*
Pseudois nayaur	Bharal	*10*	***43,5 %***	*51*	*16,3 %*
Total		**23**	***100 %***	**313**	**100 %**

Aucune information n'est disponible concernant l'importance de la pathologie de la reproduction chez ces espèces mais les différents vétérinaires du parc sur cette période ne rapportent pas de problèmes particuliers. Ainsi, il est intéressant d'évaluer au sein d'un cheptel de Caprini, *a priori* indemne de forme clinique de salmonellose abortive ovine, la séroprévalence de l'infection.

2.1.3. L'enquête par questionnaire

Le questionnaire a été envoyé par courriel à l'ensemble des vétérinaires (plus de 120) membres de l'Association Française des Vétérinaires de Parcs Zoologiques permettant de couvrir la quasi-totalité des vétérinaires de zoo en France.

2.2. Collecte des données

2.2.1. Informations sur les individus

Les informations recueillies sont les suivantes : espèce, identifiant, sexe, date de naissance, antécédents pathologiques liés à la fonction de reproduction. Ces données sont recueillies à l'aide de la base de données présentée par l'application en ligne ZIMS (Zoological Information Management System). Cette application permet aux parcs zoologiques l'utilisant d'archiver toutes les données liées aux animaux présents au sein de leur structure. Ainsi, espèce, identifiant, sexe et date de naissance y figurent afin de fluidifier au mieux les échanges d'animaux entres parcs. La partie concernant les aspects médicaux est plus récente. C'est pourquoi, les antécédents pathologiques liés à la fonction de reproduction n'ont pas pu être renseignés concernant le parc zoologique et botanique de Mulhouse. Compte tenu de la discrétion et de la variabilité des symptômes rencontrés en cas de Salmonellose Abortive Ovine, le choix a été fait ici de prendre en compte tout antécédent pathologique lié à la fonction reproductrice. Ainsi, tout avortement, mort de juvénile survenue moins de 10 jours après la naissance et toute atteinte génitale compatible avec une infection à *Salmonella* Abortusovis ont été pris en compte.

2.2.2. Réalisation des prélèvements

Les prélèvements en 2014 à la MJP et en janvier 2015 au PZBM (Parc Zoologique et Botanique de Mulhouse) ont été faits autant que faire se peut par mes soins ainsi que par les vétérinaires de ces parcs. Il s'agit de prélèvements sanguins réalisés à la veine jugulaire sur tube sec. Aucun prélèvement n'a été réalisé uniquement dans le but de recueillir du sang pour cette étude mais toujours en profitant de la nécessité d'une capture ou d'une anesthésie à d'autres fins (principalement médicale ou pour prophylaxie obligatoire). C'est pourquoi nous ne disposons pas des prélèvements exhaustifs de tous les Caprini présents sur les deux parcs.

Rapport-Gratuit.com

Une fois récolté, le sang est centrifugé (5 minutes à 3000 g) et le sérum est recueilli dans un cryotube avant d'être congelé au plus vite à -20°C en attente de réaliser les analyses.
Ainsi, nous disposons de 31 *sera* (soit 56 % de l'effectif total de Caprini comprenant la totalité de l'effectif de *Capra hircus* , 71 % de l'effectif d'*Ovis cycloceros*, de *Pseudois nayaur* et de *Capra falconeri*, la moitié de l'effectif d'*Oreamnos americanus*, 10 % de l'effectif de *Capra caucasica* et aucun individus de *Naemorhedus griseus* ni de *Budorcas tibetana*) provenant des animaux de la MJP pour l'année 2014 et de 11 *sera* (soit 47 % de l'effectif total comprenant la totalité de l'effectif de *Capra hircus* et de *Ovis aries* mais aucun prélèvement de *Ovibos moschatus* et *Pseudois nayaur*) provenant du PZBM pour janvier 2015. Les figures 8, 9, 10 et 11 décrivent l'échantillon selon la provenance des individus, leur âge, leur espèce et leur sexe.

Figure 8 : Répartition du nombre de *sera* recueillis à la MJP en 2014 selon l'âge et le sexe

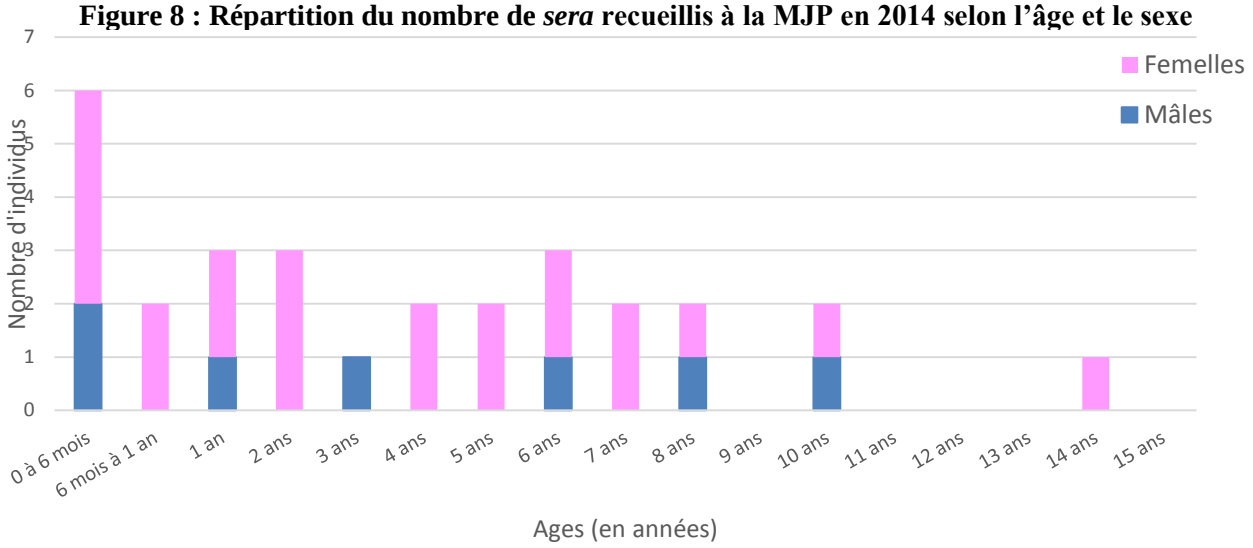


Figure 9 : Répartition du nombre de *sera* recueillis à la MJP en 2014 selon l'espèce et le sexe

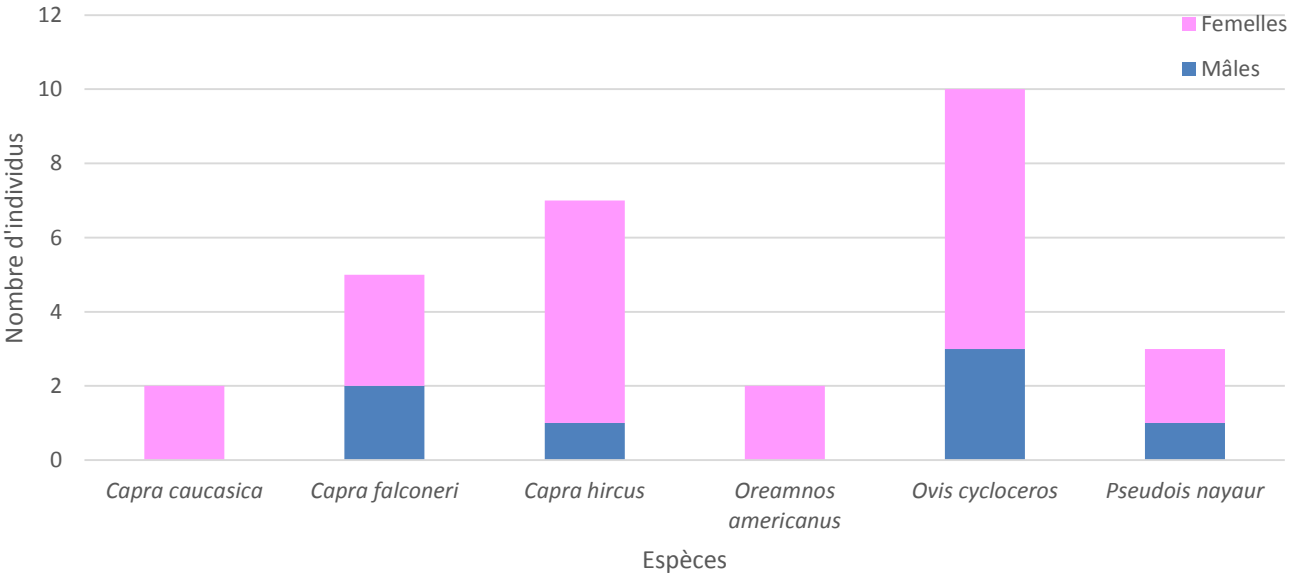


Figure 10 : Répartition du nombre de *sera* recueillis au PZBM en janvier 2015 selon l'âge et le sexe

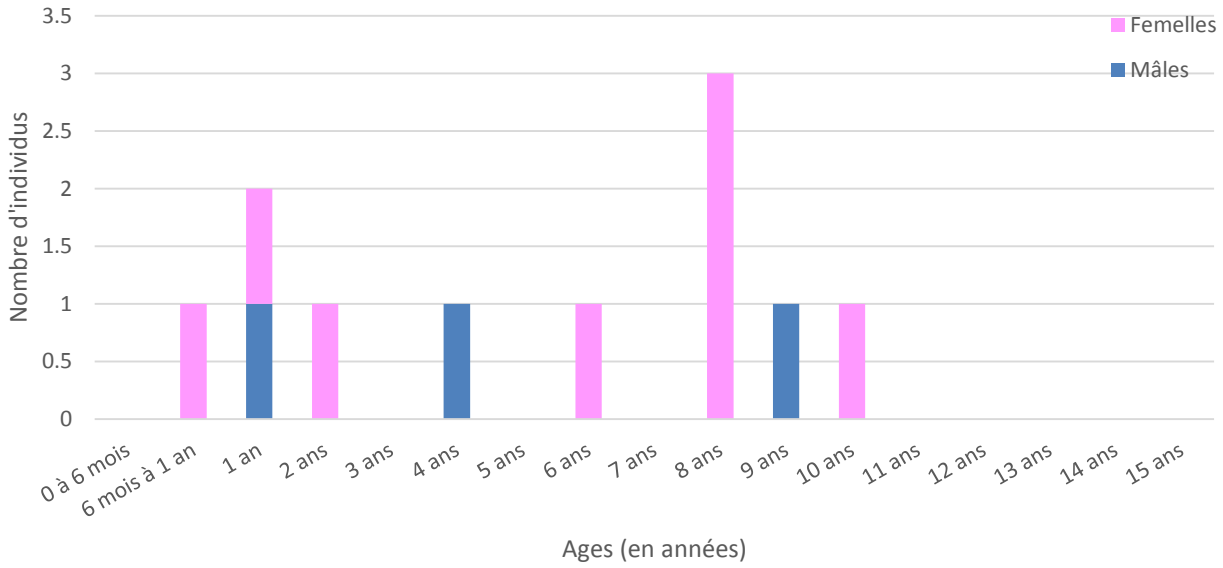
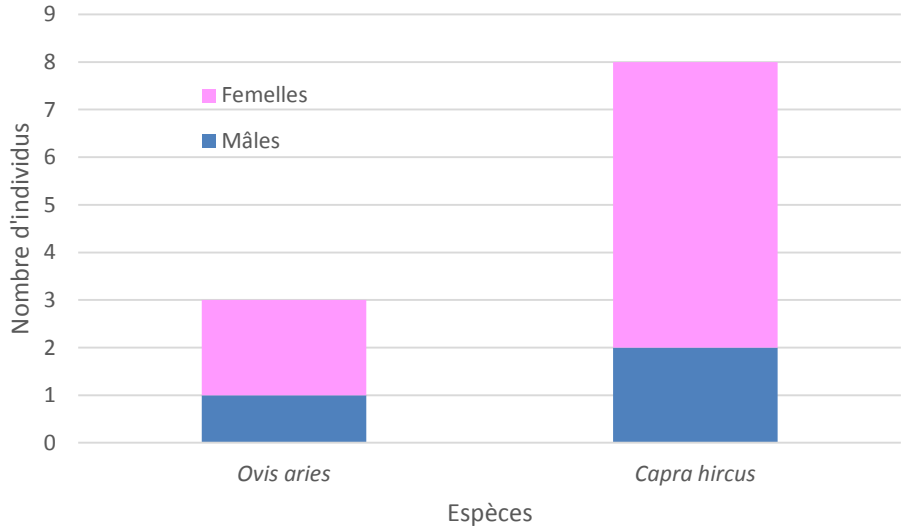


Figure 11 : Répartition du nombre de *sera* recueillis au PZBM en janvier 2015 l'espèce et le sexe



2.2.3. Sérothèques

Pour réaliser les études rétrospectives entre 2003 et 2015, nous avons pu bénéficier des *sera* récoltés au fils des ans et stockés dans des cryotubes à -20°C dans la sérothèque des deux parcs. La sérothèque est une banque de *sera* permettant de les conserver afin de conserver l'information contenue dans le sérum des animaux afin qu'elle puisse être exploitée lors d'une étude ou simplement pour compléter une démarche diagnostic. Ici, nous avons pu analyser 88 individus pour la MJP et au PZBM. Les figures 12, 13, 14 et 15 décrivent l'échantillon selon la provenance des individus, leur âge, leur espèce et leur sexe.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Figure 12 : Répartition du nombre de *sera* recueillis à la MJP de 2003 à 2014 inclus selon l'âge et le sexe

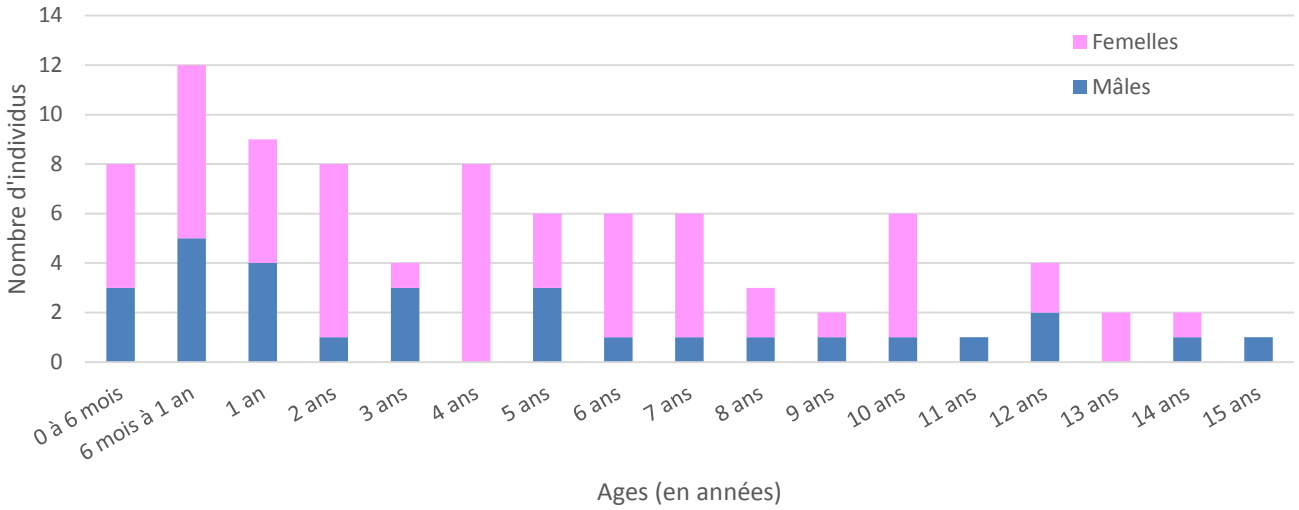


Figure 13 : Répartition du nombre de *sera* recueillis à la MJP de 2003 à 2014 inclus selon l'espèce et le sexe

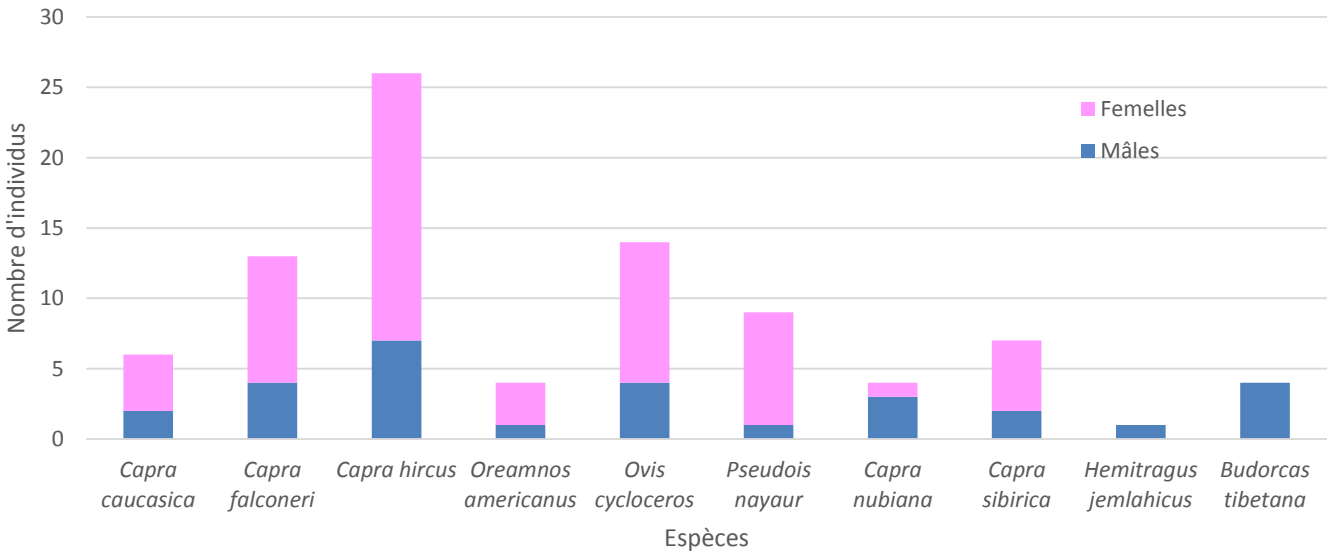


Figure 14 : Répartition du nombre de *sera* recueillis au PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus selon l'âge et le sexe

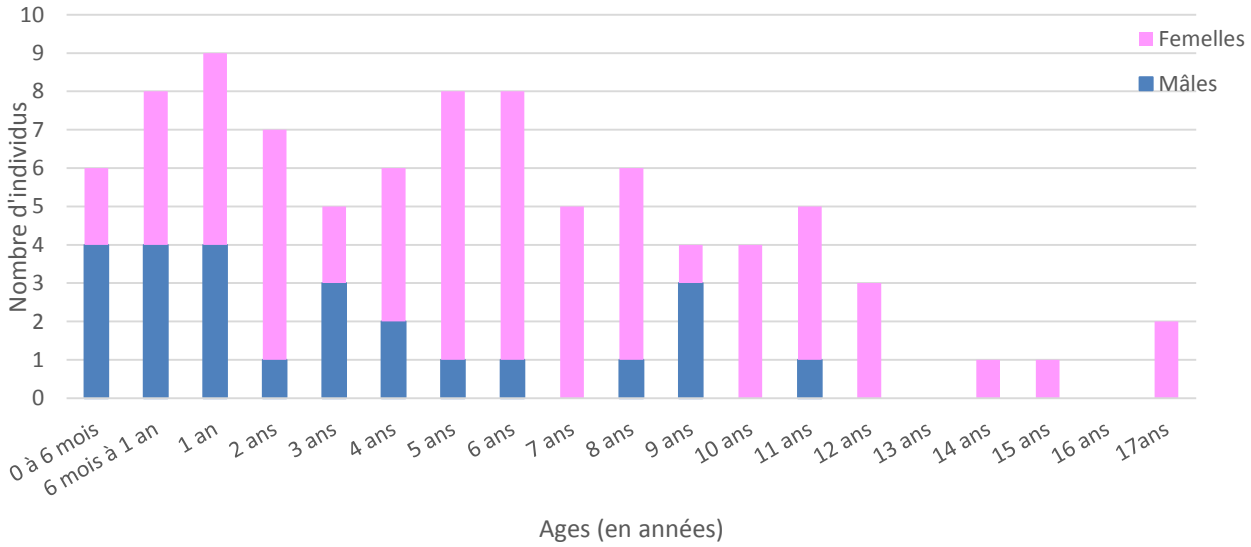
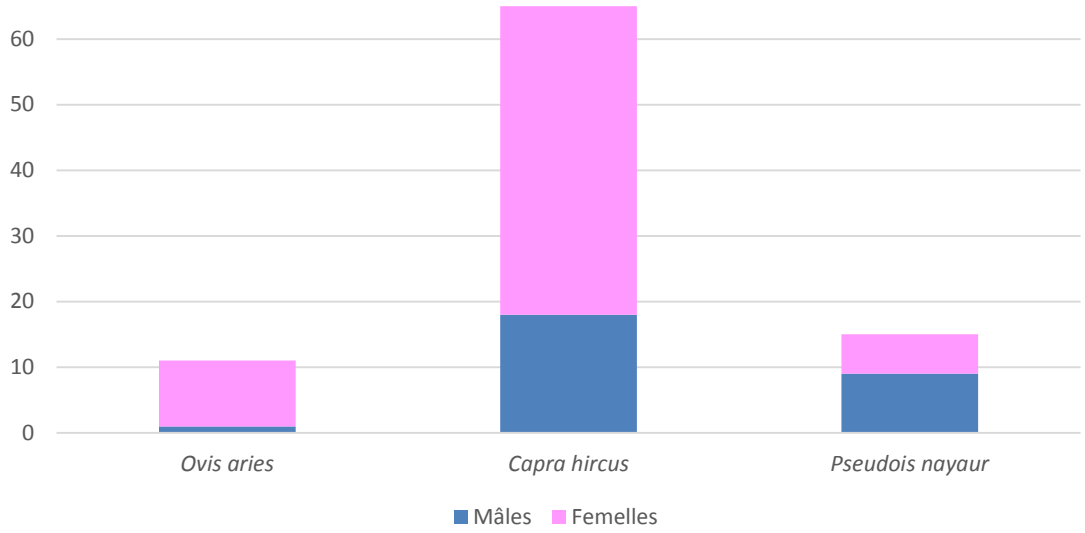


Figure 15 : Répartition des *sera* recueillis au PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus selon l'espèce et le sexe



2.2.4. Acheminement des prélèvements pour analyses

Dès lors que les prélèvements sont rassemblés, ils sont acheminés vers le Laboratoire National de Contrôle des Reproducteurs (LNCR), situé à Maisons-Alfort, au sein duquel les analyses par séroagglutination sont effectuées. Les prélèvements sont transportés dans une boite isotherme dans laquelle ont été placés des pains de glace afin de maintenir une température minimale durant le transport afin d'éviter le dégel des *sera*.

2.2.5. L'enquête par questionnaire

Le questionnaire a été construit à partir du logiciel Excel sous forme de tableau comportant des cases à choix multiples comme des cases à réponses ouvertes (Annexe 2). Cette forme a été choisie afin de pouvoir poser un maximum de questions avec une facilité de réponse accrue pour l'interrogé. Une vidéo a été conçue afin d'expliquer le mode de remplissage du questionnaire aux personnes les moins familiarisées avec le logiciel. Le fichier Excel® (.xls) ainsi que le lien de la vidéo (https://www.youtube.com/watch?v=1wKei7mmzgk) ont ensuite été envoyés par courriel. Un retour par courriel du questionnaire complété a permis d'offrir facilité et rapidité de la réponse.

2.3. Interprétation des données

Afin d'éviter au maximum un effet dilution ou au contraire une exagération d'un paramètre lors de l'analyse des données, les échantillons de chaque parc ont été triés afin de limiter la prise en compte des doublons, c'est-à-dire des *sera* d'un même individu. Le choix qui a été fait est celui du retrait de la base de données des résultats obtenus sur un même individu à moins d'un an d'intervalle. En effet, les individus ne mettant bas qu'une fois par an au maximum, il est intéressant de conserver la trace d'une éventuelle contamination au cours de l'étude, c'est pourquoi les *sera* provenant d'un même individu seront conservés d'une année sur l'autre. Le choix du prélèvement retiré est obtenu par un tirage au sort afin d'éviter la sélection systématique d'une certaine catégorie de résultat (exemple : retrait systématique du titre le plus bas, ou le plus haut). Par ailleurs, les données des doublons sont conservées afin d'observer une éventuelle dynamique quant aux résultats de séroagglutinations. Ainsi, on ne prendra respectivement en compte respectivement que 29 (-2) et 88 (- 12) *sera* pour l'année 2014 et pour la période de 2003 à 2014 pour la MJP et 11 (=) et 91 (-8) *sera* concernant 2015 et la période de 2003 à 2014 pour le PZBM. Au total, à partir de 202 *sera* pour les deux parcs, on ne tiendra compte que de 179 résultats.

Le seuil en anticorps anti-*Salmonella* Abortusovis discriminant n'étant pas connu chez les Caprini sauvages, ont été considérés ici à la fois les individus positifs à *Salmonella* Abortusovis, c'est-à-dire ceux dont la séroagglutination montre un titre en anticorps supérieur à 1/640, et les individus non-négatifs, correspondant à la somme des individus positifs et des individus douteux (dont le titre est

supérieur ou égal à 1/320 mais inférieur à 1/640) (Dupraz, 2004 ; Pioz, 2006 ; Pioz *et al.*2008a, 2008b ; Reynal, 2004).

Pour l'interprétation des données, plusieurs tests statistiques ont été utilisés. Compte des faibles effectifs d'individus, nous avons eu recours de nombreuses fois au test exact de Fisher dès qu'une catégorie d'individus avait un effectif inférieur à 5 (ex : moins de 5 mâles non-négatifs). Le test du Chi 2 a été utilisé pour la comparaison des deux parcs, les effectifs nous le permettant. Le test de Student nous a permis de comparer les moyennes d'âges notamment.

3. RESULTATS

3.1. Ménagerie du Jardin des Plantes

3.1.1. Prélèvements réalisés en 2014

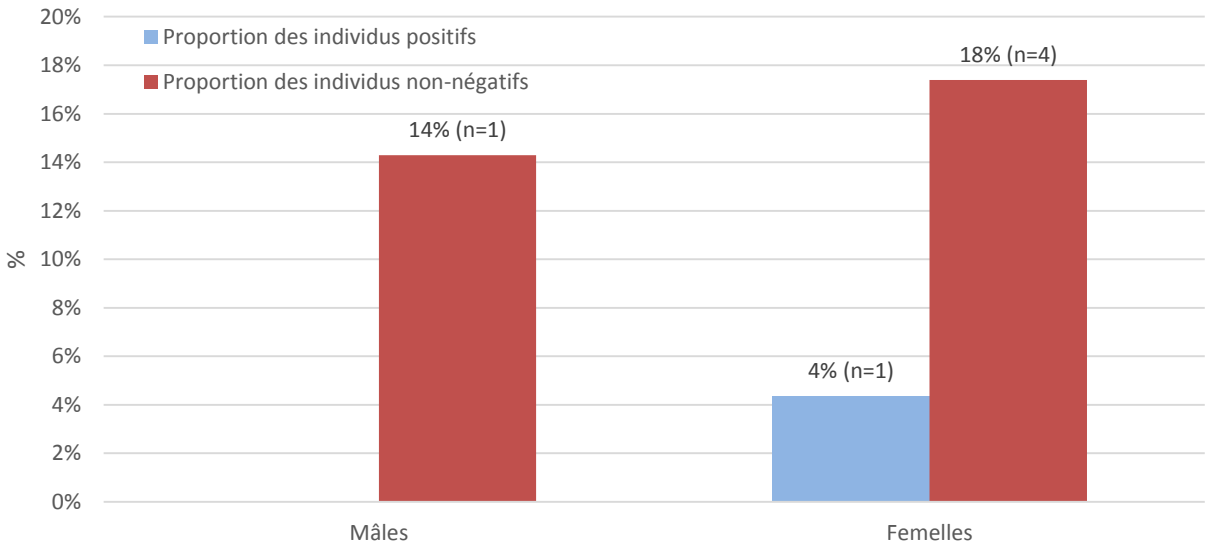
Le tableau 11, ci-dessous, présente les résultats globaux des analyses sérologiques réalisées sur les prélèvements effectués en 2014 à la MJP.

Tableau 11 : Résultats globaux des analyses sérologiques de la MJP en 2014

Nombre de *sera* testés		Nombre de *sera* positifs		Nombre de *sera* non-négatifs		Proportion des positifs		Proportion des non-négatifs	
Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles
7	22	0	1	1	4	0 %	4 %	14 %	17 %
29		1		5		3,4 %		17 %	

La figure 16, ci-dessous, présente les proportions de positifs et non-négatifs selon le sexe des individus.

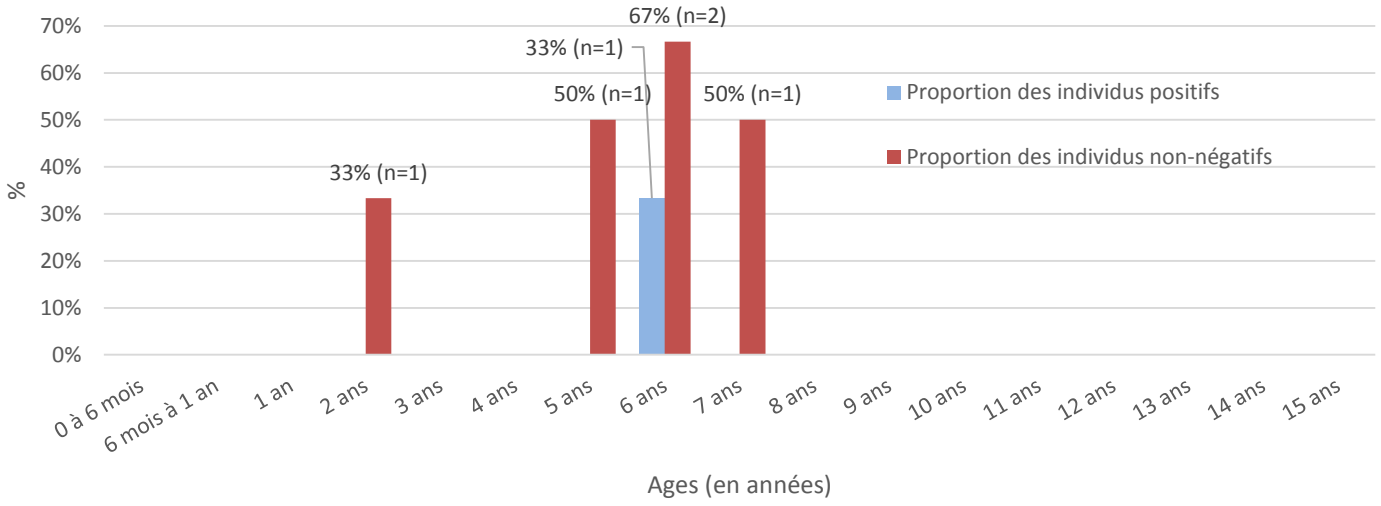
Figure 16 : Proportions des individus positifs et non négatifs suivant le sexe à la MJP en 2014 (n=29)



Un test exact de Fischer donne un p=1,0 (>0,05) pour les proportions d'individus non négatifs et positifs. Sous réserve de l'indépendance entre les individus, il semble qu'il n'existe pas de différence significative entre la proportion de mâles non-négatifs et la proportion de femelles non-négatives ; ainsi qu'entre la proportion de mâles positifs et de femelles positives.

La figure 17 montre les proportions des individus positifs et non-négatifs selon leur âge.

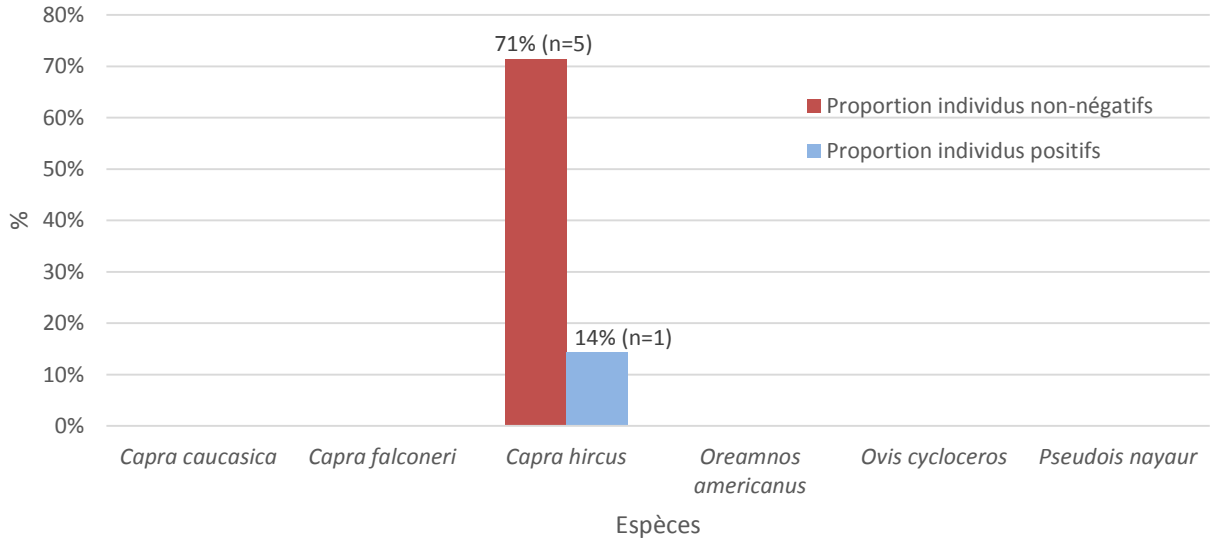
Figure 17 : Proportion des individus positifs et non-négatifs selon leur âge à la MJP en 2014 (n=29)



On constate que ces individus ont entre 2 et 7 ans avec un âge moyen de 5,6 ans pour les individus non-négatifs et que le seul individu positif l'était à l'âge de 6 ans. La moyenne d'âge des individus négatifs est de 4 ans. Elle n'est cependant pas significativement différente de la moyenne d'âge des individus non-négatifs dans l'échantillon (p=0,4, Student).

La figure 18 montre les proportions des individus positifs et non-négatifs selon l'espèce.

Figure 18 : Proportions des individus positifs et non-négatifs selon l'espèce à la MJP en 2014 (n=29)



En 2014, on remarque donc que seule l'espèce *Capra hircus* (Chèvre naine) est touchée par l'infection avec 71 % d'animaux non-négatifs et 14 % d'animaux positifs.

Sur l'année 2014, deux individus seulement (un Bharal (*Pseudois nayaur)* et un arkal (*Ovis cycloceros*)) présentent des antécédents pathologiques en lien avec l'appareil reproducteur, l'un survenu en 2010, l'autre en avril 2013. Pour ces deux animaux, le résultat de la séroagglutination est négatif avec un titre non détectable pour le premier et pour l'autre un titre s'élevant à 1/80. Le premier individu à 7,5 ans, le second 14,4 ans. Il s'agit de deux femelles.

3.1.2. Etude rétrospective de 2003 à 2014 inclus

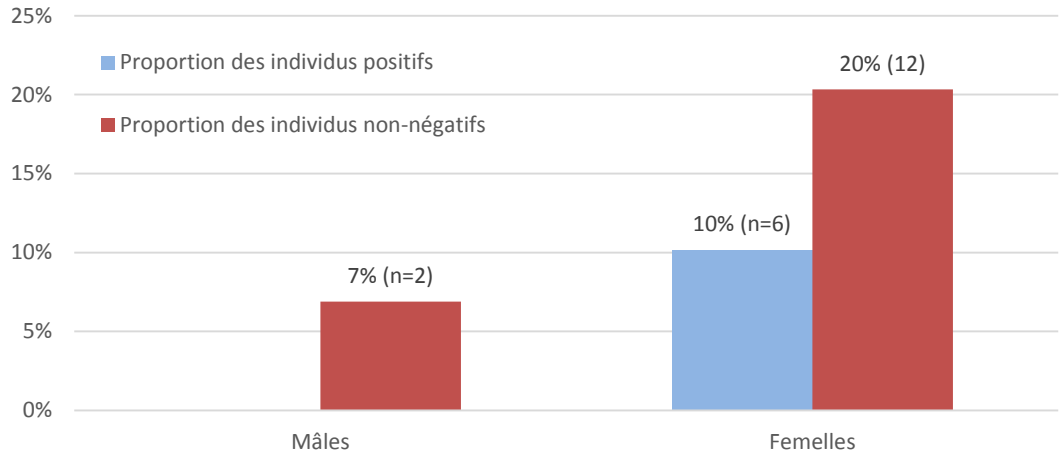
Le tableau 12, ci-dessous, présente les résultats globaux des analyses sérologiques réalisées sur les prélèvements effectués entre 2003 et 2014 inclus à la MJP.

Tableau 12 : Résultats globaux des analyses sérologiques de la MJP de 2003 à 2014 inclus

Nombre de *sera* testés		Nombre de *sera* positifs		Nombre de *sera* non-négatifs		Proportion des positifs		Proportion des non-négatifs	
Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles
29	59	0	6	2	12	0 %	10 %	7 %	20 %
88		6		14		7 %		16 %	

La figure 19, ci-dessous, présente les proportions de positifs et non-négatifs selon que les individus soient des mâles ou des femelles.

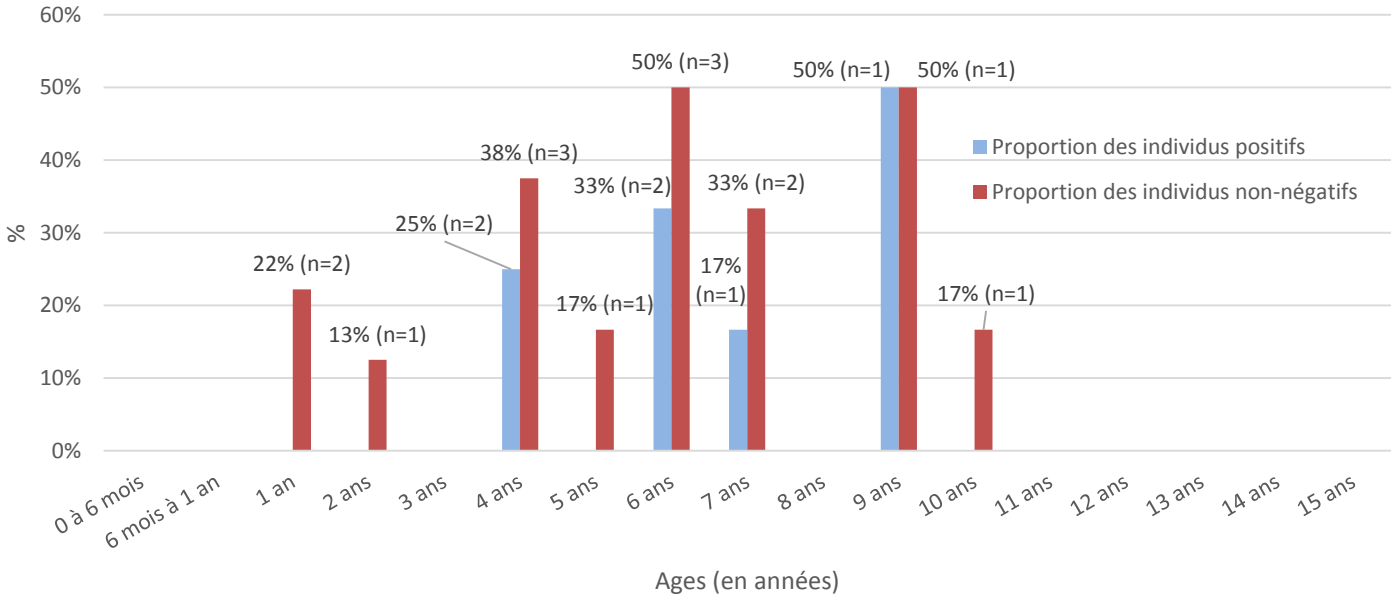
Figure 19 : Proportions des individus positifs et non négatifs selon le sexe à la MJP de 2003 à 2014 inclus (n=88)



Sous réserve de l'indépendance entre les individus, il semble qu'il n'existe pas de différence significative entre la proportion de mâles non-négatifs et la proportion de femelles non-négatives (p=0,13, Fisher) et entre la proportion de mâles positifs et la proportion de femelles positives (p=0,17, Fisher).

La figure 20 montre les proportions des individus positifs et non-négatifs selon leur âge.

Figure 20 : Proportion des individus positifs et non-négatifs selon leur âge à la MJP de 2003 à 2014 inclus (n=88)

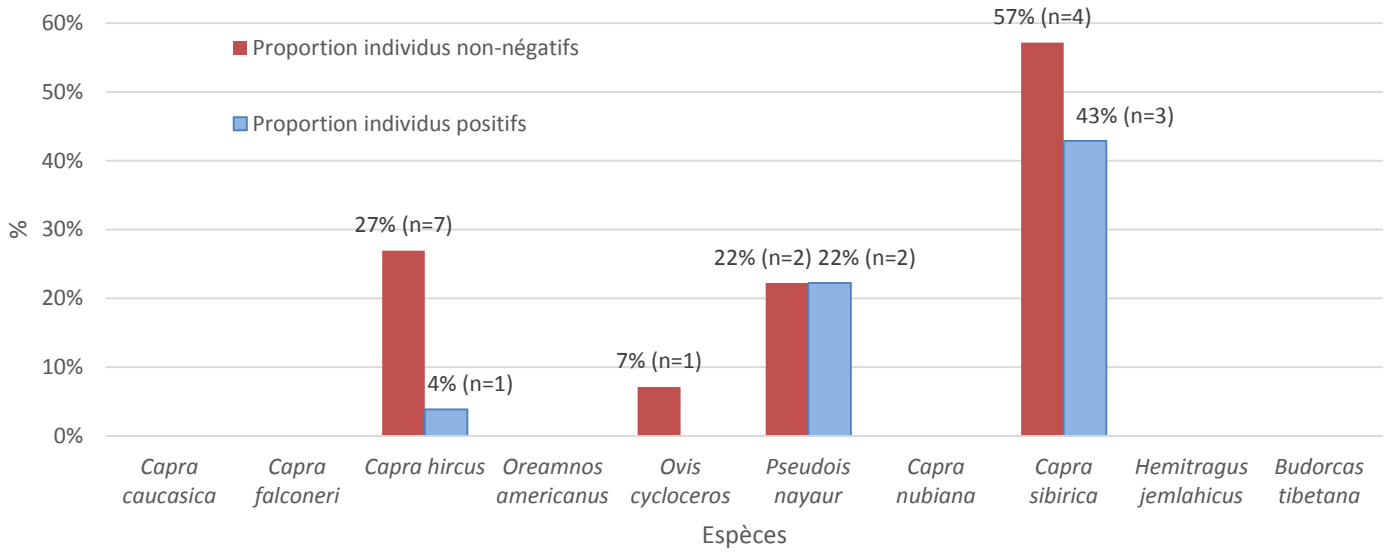


On constate que ces individus ont entre 1 et 10 ans pour les non-négatifs et entre 4 et 9 ans pour les positifs avec un âge moyen de 5,6 ans pour les individus non-négatifs et de 6,4 ans pour les individus positifs. La moyenne d'âge des individus négatifs est de 5 ans. Elle n'est pas significativement différente de la moyenne d'âge des individus non-négatifs dans l'échantillon (p=0,6, test de Student). La moyenne

d'âge des individus positifs n'est pas non plus significativement différente de la moyenne d'âge des individus non-positifs (5 ans).

La figure 21 montre les proportions des individus positifs et non-négatifs selon l'espèce.

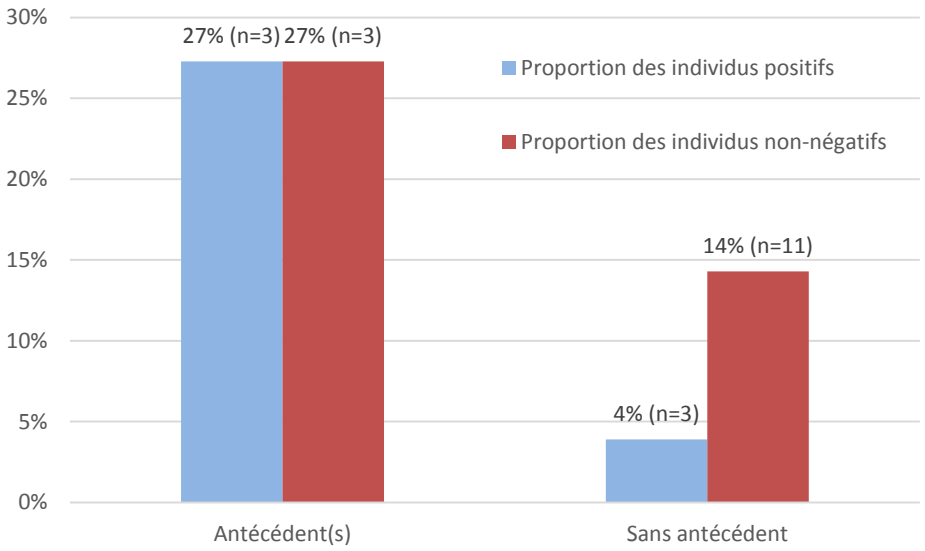
Figure 21 : Proportions des individus positifs et non-négatifs selon l'espèce à la MJP de 2003 à 2014 inclus (n=88)



Les effectifs d'individus positifs et non-négatifs dans chaque espèce sont pour certains inférieurs à 1, ce qui ne permet pas la réalisation de tests de comparaison de ces proportions pour ces différentes classes. Cependant, on notera les proportions élevées de *Capra sibirica* (Bouquetin de Sibérie) positifs et non-négatifs. On notera également la différence importante de proportions entre les individus positifs et les individus non-négatifs au sein de l'espèce *Capra hircus* avec la prédominance d'individus douteux. Les Bharals (*Pseudois nayaur*) sont positifs dans des proportions non négligeables. Au sein de cette espèce, l'ensemble des individus non-négatifs sont positifs.

La figure 22 représente les proportions d'individus positifs et non-négatifs selon qu'ils aient présentés des antécédents de problèmes liés à la fonction reproductrice ou non.

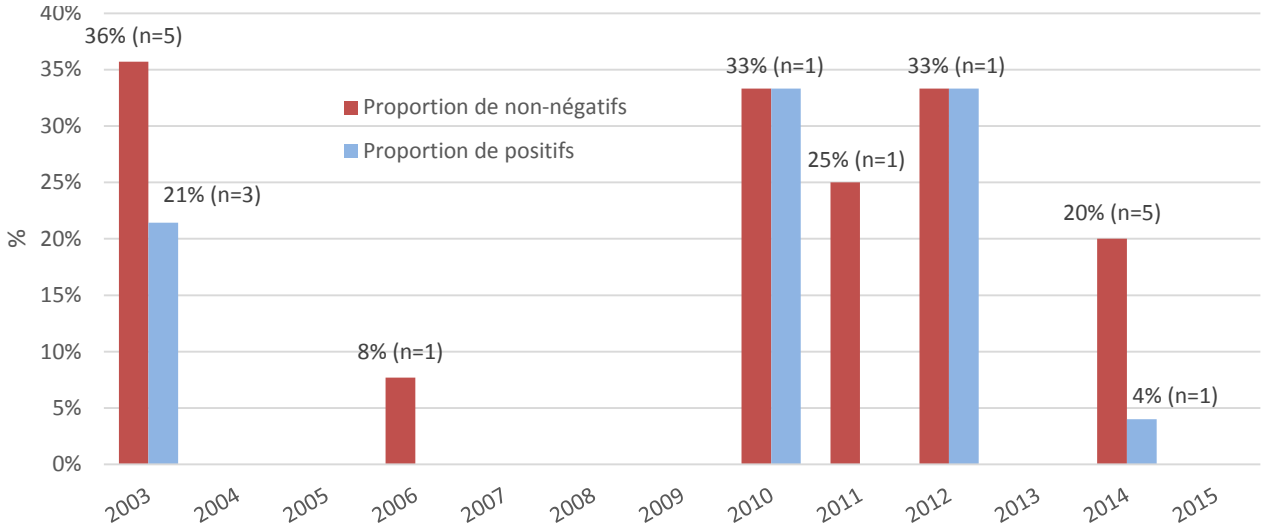
Figure 22 : Proportions des individus positifs et non-négatifs selon leurs la présence d'antécédents à la MJP de 2003 à la 2014 inclus (n=88)



De 2003 à 2014 inclus, 11 *sera* d'individus ayant eu des antécédents de problème reproducteur ont été analysés. Sur ces 11 prélèvements, 3 individus sont positifs à *Salmonella* Abortusovis et aucun individu n'est douteux. Sous réserve de l'indépendance des individus, le test exact de Fisher ne permet pas de montrer une différence significative entre la proportion d'individus non-négatifs ayant présentés des antécédents et ceux n'en ayant pas présenté (p=0,37). On observe cependant une différence significative entre la proportion d'individus positifs ayant présenté des antécédents et ceux n'en ayant pas présenté (p=0,02<0,05).

La figure 23 présente les proportions d'individus positifs et non-négatifs en fonction des années de prélèvement des animaux.

Figure 23 : Proportions des individus positifs et non-négatifs suivant l'année de prélèvement à la MJP de 2003 à 2014 inclus (n=88)



On observe des individus positifs en 2003, 2010, 2012 et 2014. Alors que nous avions récolté des prélèvements, pour ces années-là, aucun individu n'est ni positif ni même non-négatif en 2004, 2005, 2007 et 2013. Nous ne disposions pas de prélèvements réalisés en 2009.

3.2. Parc zoologique et botanique de Mulhouse

3.2.1. Prélèvements réalisés en 2014

Le tableau 13, ci-dessous, présente les résultats globaux des analyses sérologiques réalisées sur les prélèvements effectués en janvier 2015 au PZBM.

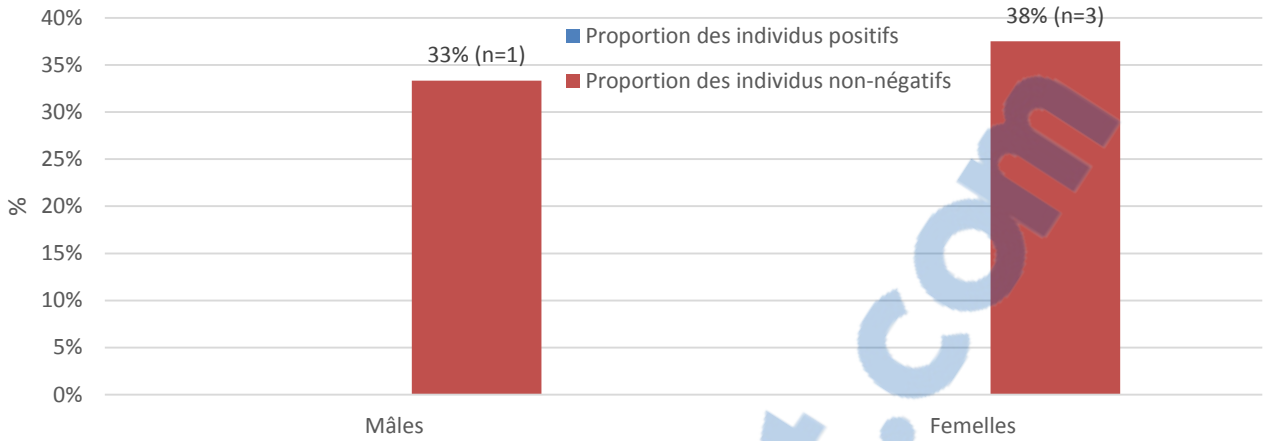
Tableau 13 : Résultats globaux des analyses sérologiques du PZBM en janvier 2015

Nombre de *sera* testés		Nombre de *sera* positifs		Nombre de *sera* non-négatifs		Proportion des positifs		Proportion des non-négatifs	
Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles
3	8	0	0	1	3	0 %	0 %	33 %	38 %
11		0		4		0 %		36 %	

La figure 24 présente les proportions des individus positifs et non-négatifs selon le sexe. L'échantillon a un effectif très faible (11 individus). Aucun individu n'est positif. Les proportions d'individus non-négatifs ne sont pas significativement différentes qu'ils soient mâles ou femelles (p=1,0, Fischer).

Les individus non-négatifs ont entre 6 et 9 ans et en moyenne 8,4 ans. La moyenne d'âge des individus négatifs est de 4,4 ans. Les individus non-négatifs font tous partie de l'espèce *Capra hircus* et représentent la moitié des individus prélevés de cette espèce.

Figure 24 : Proportions des individus positifs et non négatifs suivant le sexe au PZBM en janvier 2015 (n=11)



3.2.2. Etude rétrospective de 2003 à janvier 2015 inclus

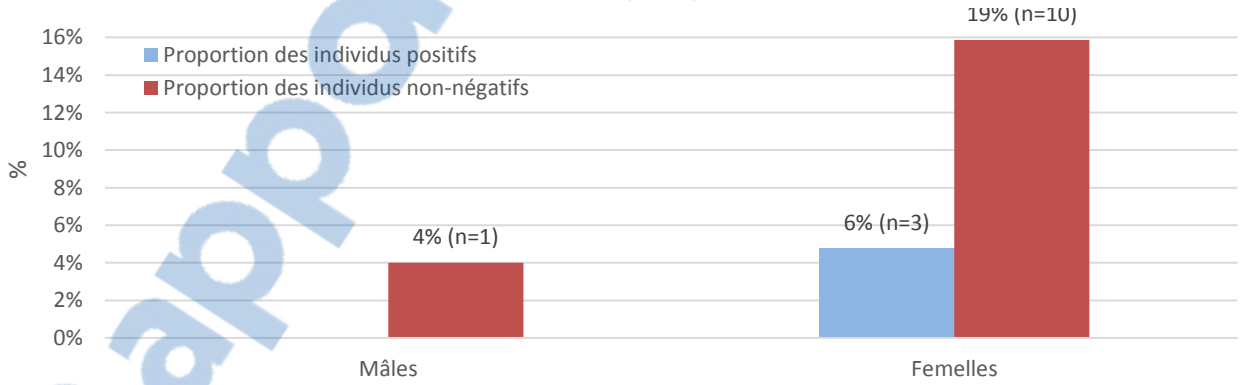
Le tableau 14, ci-dessous, présente les résultats globaux des analyses sérologiques réalisées sur les prélèvements effectués entre 2003 et janvier 2015 inclus au PZBM.

Tableau 14 : Résultats globaux des analyses sérologiques du PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus

Nombre de *sera* testés		Nombre de *sera* positifs		Nombre de *sera* non-négatifs		Proportion des positifs		Proportion des non-négatifs	
Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles
28	53	0	3	1	10	0 %	6 %	4 %	19 %
91		3		11		3 %		12 %	

La figure 25, ci-dessous, présente les proportions des individus positifs et non-négatifs selon le sexe.

Figure 25 : Proportions des individus positifs et non négatifs selon le sexe au PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus (n=91)

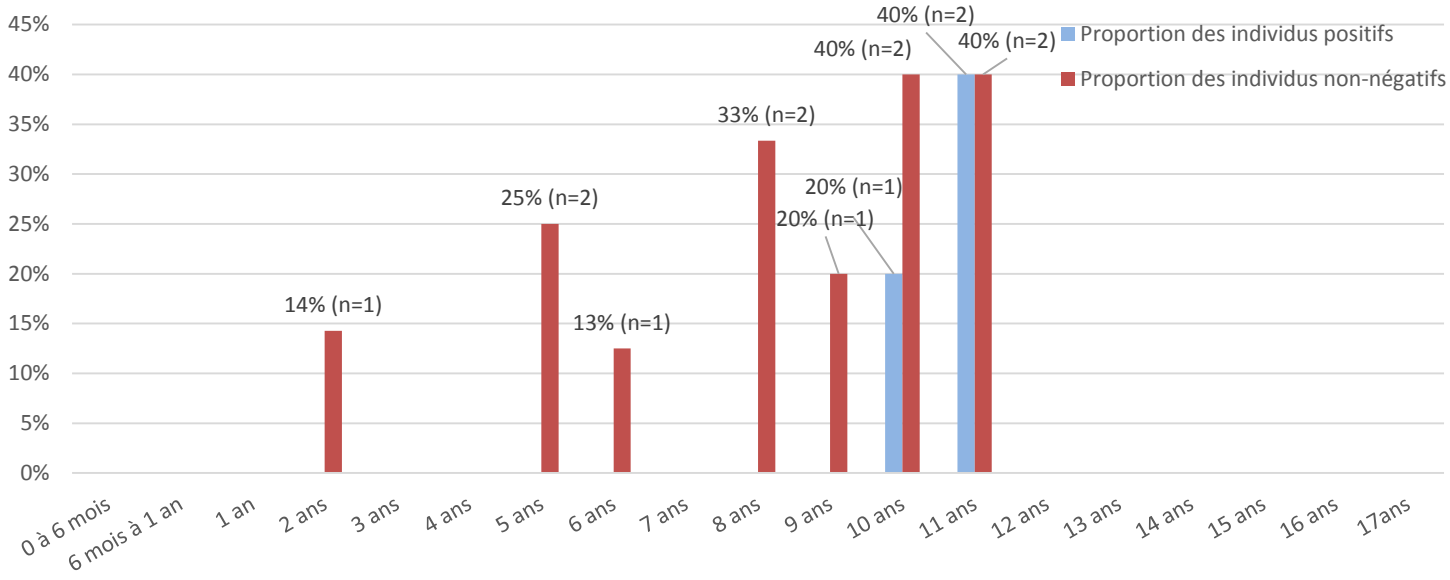


Sous réserve de l'indépendance entre les individus, il semble qu'il n'existe pas de différence significative entre la proportion de mâles non-négatifs et la proportion de femelles non-négatives (p=0,16, Fisher) et entre la proportion de mâles positifs et la proportion de femelles positives (p=0,5, Fisher).

La figure 26 montre les proportions des individus positifs et non-négatifs selon leur âge. On constate que ces individus ont entre 2 et 11 ans pour les non-négatifs et entre 10 et 11 ans pour les positifs avec un âge moyen de 8,2 ans pour les individus non-négatifs et de 11 ans pour les individus positifs. La moyenne d'âge des individus négatifs est de 5,7 ans. Elle n'est pas significativement différente de la moyenne d'âge des individus non-négatifs dans l'échantillon (p=0,07>0,05, Student). La moyenne d'âge des individus positifs est cependant significativement différente de la moyenne d'âge des individus non-positifs (5,8 ans) (p=0,04, Student).

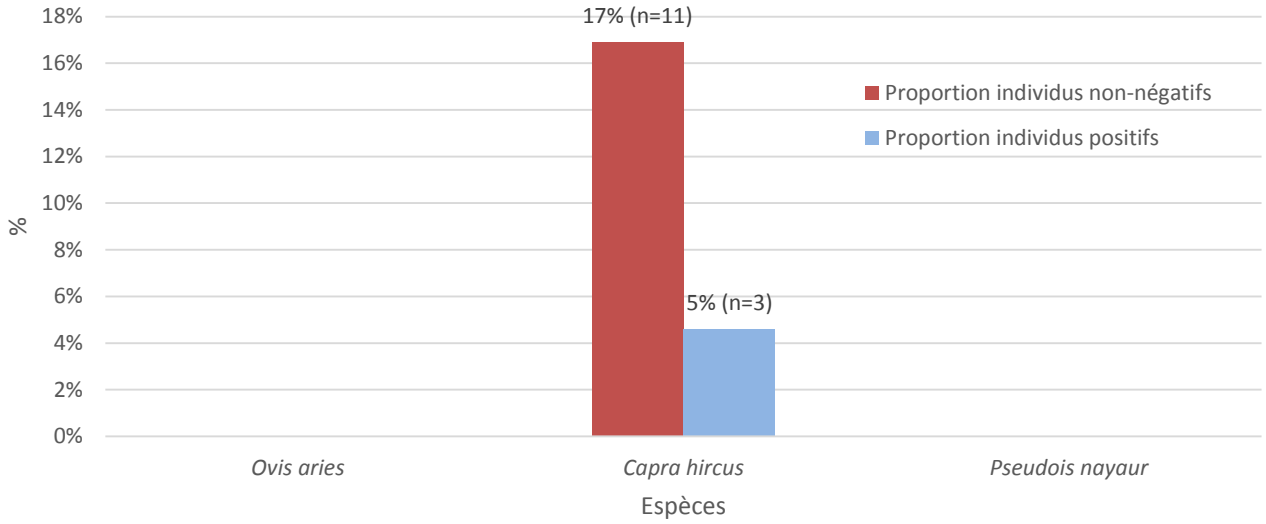
Rapport-Gratuit.com

Figure 26 : Proportion des individus positifs et non-négatifs selon leur âge au PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus (n=91)



La figure 27 montre les proportions des individus positifs et non-négatifs selon l'espèce.

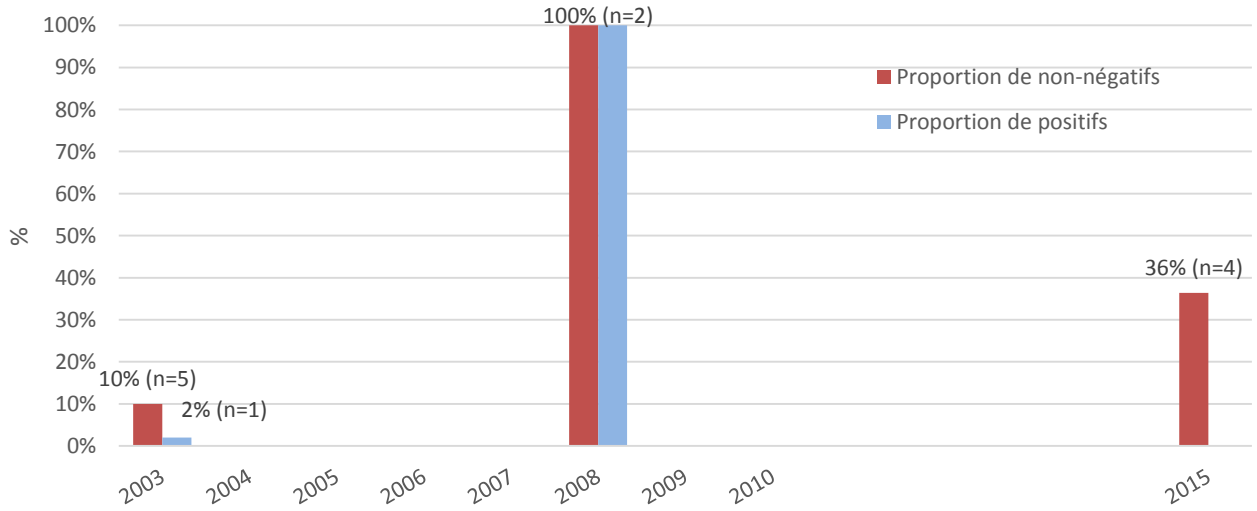
Figure 27 : Proportions des individus positifs et non-négatifs selon l'espèce au PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus (n=91)



Les individus positifs et non-négatifs sont tous représentés par l'espèce *Capra hircus*. *Pseudois nayaur* et *Ovis aries* n'ont pas d'individus positifs ou non-négatifs dans l'échantillon.

La figure 28 présente les proportions d'individus positifs et non- négatifs en fonction des années de prélèvement des animaux.

Figure 28 : Proportions des individus positifs et non-négatifs suivant l'année de prélèvement au PZBM de 2003 à janvier 2015 inclus (n=91)

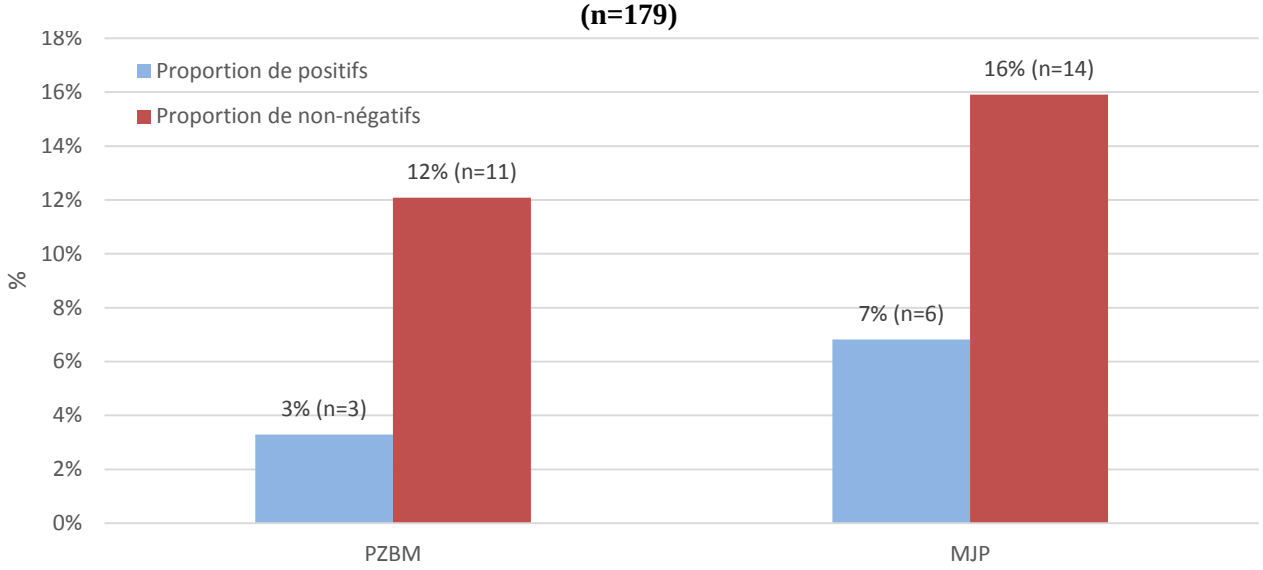


On observe donc en 2003 et en 2008 des individus positifs. Les deux individus prélevés en 2008 sont positifs. Alors que nous avons récolté des prélèvements chaque année entre 2004 et 2007, aucun individu n'est positif ni même non-négatif. En 2009 et 2010 c'est le même constat. Aucun prélèvement n'a cependant été récolté entre 2011 et 2014 inclus.

3.3. Etude sur les deux parcs

La figure 29 montre les proportions des individus positifs et non-négatifs selon qu'ils proviennent de la MJP ou du PZBM.

Figure 29 : Proportions des individus positifs et non-négatifs selon leur provenance de 2003 à janvier 2015 inclus (n=179)



Sous réserve de l'indépendance des individus entre la MJP et le PZBM, les proportions d'individus non-négatifs ne sont pas significativement différents (p=0,46, Chi2) ainsi que les proportions d'individus positifs (p=0,32, Fisher).

On pourra donc fusionner les données récoltées sur les deux parcs et ainsi augmenter la puissance statistique de l'étude.

Le tableau 15 montre les résultats globaux sur les deux parcs de 2003 à janvier 2005 inclus.

Tableau 15 : Résultats globaux sur les 2 parcs de 2003 à janvier 2015

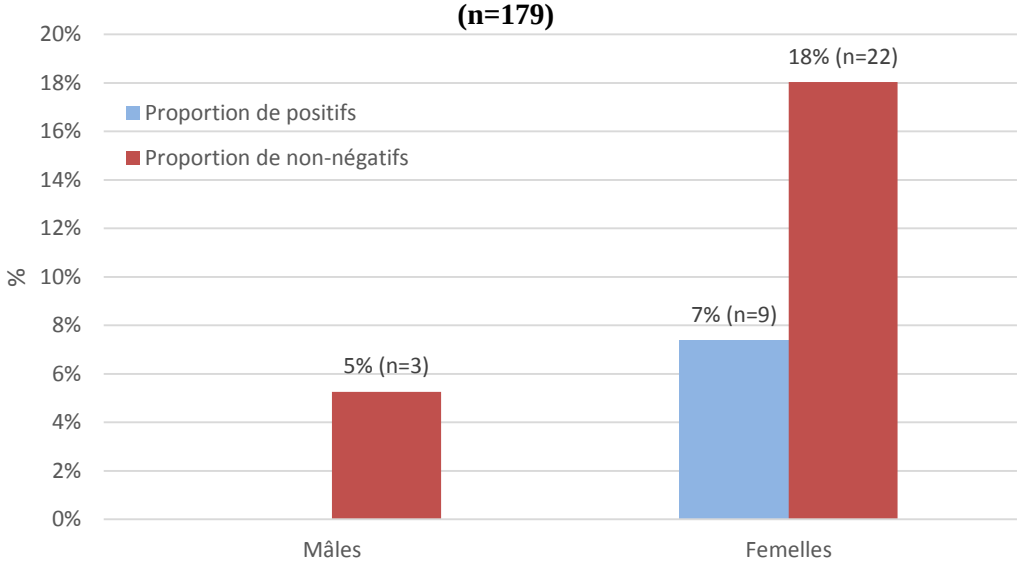
Nombre de *sera* testés		Nombre de *sera* positifs		Nombre de *sera* non-négatifs		Proportion des positifs		Proportion des non-négatifs	
Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles
57	122	0	9	3	22	0 %	7 %	5 %	18 %
179		9		25		5 %		14 %	

La figure 30, ci-dessous, présente les proportions des individus positifs et non-négatifs selon le sexe.

Sous réserve de l'indépendance entre les individus, il semble qu'il existe une différence significative entre la proportion de mâles non-négatifs et la proportion de femelles non-négatives (p=0,02, Fisher) mais pas entre la proportion de mâles positifs et la proportion de femelles positives (p=0,06, Fisher).

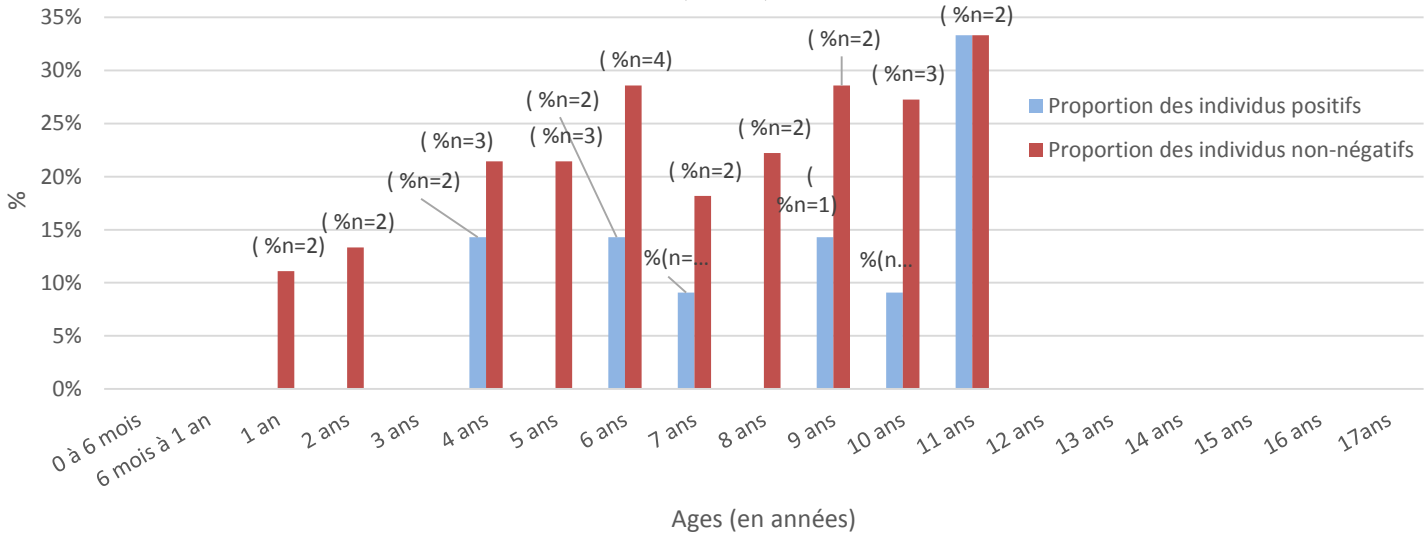
Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Figure 30 : Proportion des individus positifs et non-négatifs selon le sexe au sein des deux parcs entre 2003 et janvier 2015. (n=179)



La figure 31 montre les proportions des individus positifs et non-négatifs selon leur âge.

Figure 31 : Proportion des individus positifs et non-négatifs selon leur âge au sein des deux parcs de 2003 à janvier 2015 (n=179)

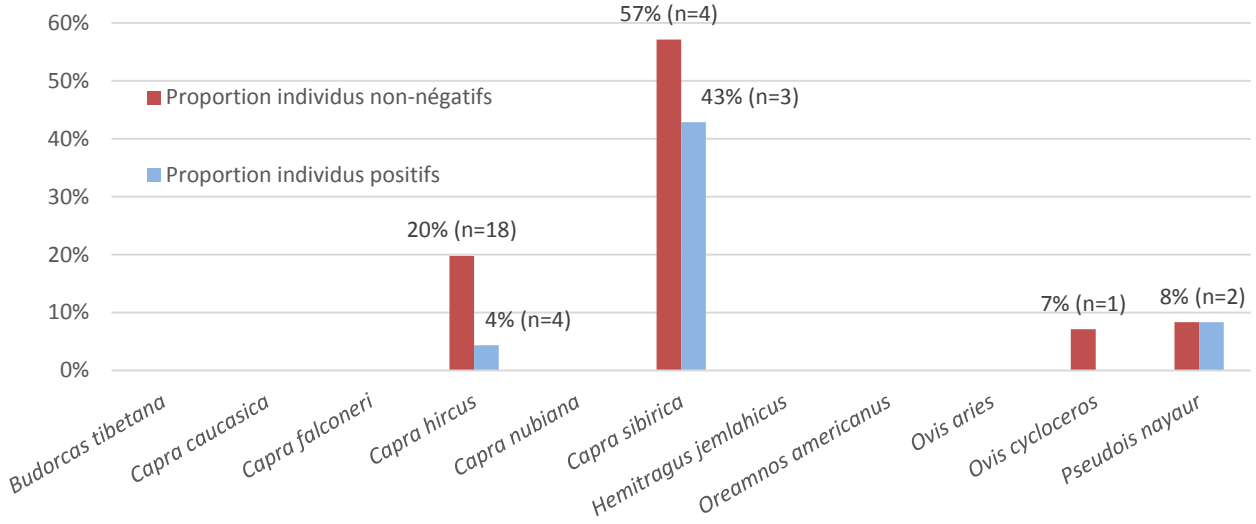


On constate que ces individus ont entre 1 et 11 ans pour les non-négatifs et entre 4 et 11 ans pour les positifs avec un âge moyen de 6,7 ans pour les individus non-négatifs et de 7,9 ans pour les individus positifs. La moyenne d'âge des individus négatifs est de 5,3 ans. Elle n'est pas significativement différente de la moyenne d'âge des individus non-négatifs dans l'échantillon (p=0,13, Student).La moyenne d'âge des individus positifs n'est pas non plus significativement différente de la moyenne d'âge des individus non-positifs (5,4 ans) (p=0,08, Student).

La figure 32 ci-dessous montre les proportions des individus positifs et non-négatifs selon l'espèce.

Les effectifs d'individus positifs et non-négatifs dans chaque espèce sont pour certains inférieurs à 1, ce qui ne permet pas la réalisation de tests de comparaison de ces proportions pour ces différentes classes. On notera également la différence importante de proportions entre les individus positifs et les individus non-négatifs au sein de l'espèce *Capra hircus.* Les Bharals (*Pseudois nayaur*) sont positifs dans des proportions non négligeables. Au sein de cette espèce, l'ensemble des individus non-négatifs sont positifs.

Figure 32 : Proportions des individus positifs et non-négatifs selon l'espèce au sein des deux parcs de 2003 à janvier 2015



3.4. L'enquête par questionnaire

Seulement quatre parcs ont répondu. Le premier ne possède pas de Caprini. Le deuxième connait une mortinatalité importante sans avoir jamais objectivé *Salmonella* Abortusovis avec une composante importante de manque de soins maternels (les séroagglutinations mises en œuvre sont toutes revenues négatives). Les deux derniers n'ont pas observé de problème d'avortements.

4. DISCUSSION

4.1 Critique du protocole de l'étude sérologique

Malheureusement, l'échantillon dont on dispose n'est pas représentatif car les prélèvements ne proviennent pas d'individus tirés au sort. Il n'est pas non plus exhaustif. En effet, il était impossible de récolter l'ensemble de la population au sein des deux parcs ni de les tirer au sort car une anesthésie est nécessaire pour la capture de la plupart des individus. Or, il n'était pas raisonnable de prendre le risque d'anesthésier des animaux dans le seul et unique but de l'étude. Ainsi, pour chaque prélèvement effectué, il y avait une indication à la capture ou à l'anesthésie des animaux concernés (parage, prophylaxie, soin divers,…). De même, les prélèvements recueillis au sein des sérothèques ont été faits sur des animaux présentant une indication à ce prélèvement. Ceci peut engendrer la présence de biais telle la surreprésentation, au sein de l'échantillon, des espèces domestiques elles-mêmes soumises à une prophylaxie annuelle obligatoire (brucellose) ou encore la sélection d'individus malades.

Il n'est donc pas possible de pouvoir extrapoler nos résultats ici à la population générale que constituent ici les Caprini sauvages maintenus en captivité en France (il aurait, de plus, fallu effectuer un tirage au sort parmi l'ensemble des zoos hébergeant des Caprini), mais l'étude permet de dégager tout de même plusieurs tendances qui sont détaillées plus loin et qui pourront être utiles à une étude plus vaste mise en œuvre ultérieurement.

Par ailleurs, rappelons que la séroagglutination, test sérologique utilisé ici pour la détection des individus susceptibles d'être infectés voire atteints par la maladie, n'est pas le test idéal dans le cadre d'un suivi de population tel qu'il a été entrepris ici. En effet, ce test a été conçu afin d'établir un diagnostic de Salmonellose Abortive Ovine sur au moins 10 prélèvements, au sein d'un même groupe, d'individus ayant avorté ou en cours de gestation dans les 6 semaines après la survenue d'un avortement (AFNOR, 2000). Il aurait été intéressant d'utiliser ici un test ELISA, une PCR et/ou des cultures bactériennes. Malheureusement, aucun laboratoire ne propose les deux premières techniques en routine et la culture bactérienne demandait du matériel à prélever (avorton) dont nous n'avons pas disposé en 2014/2015 car nous n'avons été témoins d'aucun avortement durant cette période.

Dans le cadre de notre étude, nous ne disposions pas toujours des informations concernant les antécédents des individus et les groupes ne disposent pas de 10 individus gestants ou ayant présenté un avortement. Idéalement, il aurait fallu prélever chaque avorton et chaque mère afin de réaliser une bactériologie, seul examen complémentaire susceptible de nous fournir un diagnostic de certitude sur la

présence de la bactérie au moment du prélèvement. La séroagglutination ne permet que de révéler qu'un contact a bien eu lieu entre l'individu prélevé et la bactérie. Le titre en anticorps est croissant et détectable sur les animaux domestiques lors des 6 semaines suivant l'avortement. Ensuite, le titre chute progressivement jusqu'à ne plus pouvoir être décelable. Cependant, nous ne disposons pas d'information concernant cette cinétique chez les Caprini sauvages. De plus, il est tout à fait envisageable que les cinétiques diffèrent en fonction des genres. Ceci explique la présence d'individus positifs puis négatifs et laisse supposer donc que les individus présentant un titre en anticorps au-delà des 1/640 ont présenté une phase d'excrétion de la bactérie dans une période relativement proche (quelques semaines à quelques mois) avant le prélèvement. Enfin, les animaux douteux (titre = 1/320) ont probablement eu un contact récent avec la bactérie mais ce résultat peut également correspondre à des réactions croisées avec notamment *Salmonella* Dublin ou *Salmonella* Typhimurium (Reynal, 2004).

4.2. Séroprévalence de la maladie

La séroprévalence correspond à la proportion d'individus répondant positivement à un test sérologique. Ici, on ne pourra pas l'estimer strictement dans la mesure où notre échantillonnage n'est pas représentatif. On se sert ici des proportions d'individus positifs et non-négatifs afin de faire l'état des lieux de l'infection au sein des différentes structures. Dans notre étude, on trouve une proportion d'individus positifs entre 0 % et 7 % dans les quatre cas décrits plus haut (dans les deux parcs sur deux périodes). Il est clair que pour les études réalisées en 2014 et en janvier 2015 à la MJP et au PZBM, le biais d'échantillonnage et le faible effectif d'individu prélevé ne permettent pas d'avoir une puissance statistique suffisante pour évaluer la séroprévalence de la maladie. Cependant, les études portant sur les prélèvements entre 2003 et 2015 montrent une proportion d'individus positifs à 3 % et 7 % avec une proportion à 5 % lorsque l'on considère les deux parcs ensemble. Sachant que le PZBM ne semble pas présenter d'antécédents particuliers de problème de reproduction alors que notre étude a été entreprise afin d'explorer ces problèmes à la MJP, on s'attendait donc à trouver une proportion d'individus positifs moins élevée dans le premier parc que dans le second mais le test de Chi2 ne révèle pas de différence significative. Cependant, notre échantillonnage et notre effectif d'individus positifs ne permettent pas non plus de conclure sur une différence significative ou non de ces proportions. Il peut s'agir d'un manque de puissance statistique ne nous permettant pas de mettre en évidence cette différence. En effet, il nous aurait fallu 1028 individus (Toma *et al.*, 2010) pour pouvoir réaliser un test avec une puissance de 80 %. Ici, notre puissance s'élève seulement à près de 17 %. De plus, l'échantillonnage ne nous permettant pas de réaliser d'intervalles de confiance, on ne peut pas statuer de la précision de ces valeurs. On pourra tout de même, au cours d'études ultérieures, construire un protocole expérimental s'appuyant sur une séroprévalence attendue proche des 5 %. Si cette valeur est proche de la valeur réelle de la séroprévalence de la maladie au sein de la population de Caprini sauvages maintenus en captivités au sein des parcs zoologiques français, elle reste non négligeable et expliquerait la survenue d'épisodes abortifs accompagnés de problèmes reproducteurs s'exprimant à bas bruit et sous forme enzootique.

S'agissant de la proportion d'individus non-négatifs, il est difficile de statuer ici sur son réel intérêt dans la mesure où l'on ne dispose pas de données sur les seuils de titres en anticorps au sein des populations de Caprini sauvages et que ces seuils pourraient être variables suivant les genres considérés. Il est tout de même intéressant de constater le nombre conséquent d'individus dont les prélèvements s'avèrent douteux. On a une proportion d'individus non-négatifs non négligeable entre 12 % et 36 %. De la même manière, l'échantillonnage et les effectifs ne permettent pas la réalisation d'intervalles de confiance. Mais dans le cadre d'une étude ultérieure, on pourra tabler sur une proportion d'individus non-négatifs attendue proche des 15 %.

Ces résultats nous permettent de supposer que la bactérie circule bien au sein des parcs de l'étude, et de manière non négligeable puisqu'environ 15 % des animaux prélevés possèdent des anticorps anti-*Salmonella* Abortusovis, sous réserve de l'absence de réactions croisées.

4.3. Etude selon le sexe

Il est ici intéressant d'envisager un éventuel portage sain par les mâles (*a fortiori* n'exprimant pas les symptômes de la maladie) pouvant alors être à l'origine d'une contamination récurrente des

femelles. Chez le bouc, il n'a pas été montré de possible transmission vénérienne même après inoculation du germe et mise en contact avec des brebis (Sanchis *et al.*, 1986).
Nous ne disposons cependant pas de données chez l'animal sauvage.

Notre échantillon ne dispose que de peu de mâles. En effet, les groupes sont souvent des groupes uni mâle/multi femelles. Sur l'ensemble des individus de l'étude, aucun mâle n'est positif.

Qu'il s'agisse de la MJP en 2014 et entre 2003 et 2014 ou du PZBM en janvier 2015 et entre 2003 et 2015, l'étude ne permet pas de montrer de différence significative entre la proportion de mâles positifs ou non-négatifs et la proportion de femelles positives ou non-négatives sous réserve de l'indépendance des individus dans les échantillons et de leur représentativité. Connaissant les limites de notre étude, on ne pourra pas conclure ici. De plus, un manque de puissance statistique, au vu des faibles effectifs de positifs et de non-négatifs (surtout des mâles sous représentés dans l'étude) pourra être évoqué ici, ne permettant pas de montrer une différence significative entre la proportion de mâles atteints et la proportion de femelles atteintes. Ces résultats sont donc plutôt en faveur d'un portage sain parmi les mâles mais qui ne serait probablement pas en mesure de contaminer les femelles d'après Sanchis *et al.* (1986).

Cependant, lors de la réunion des effectifs des deux parcs, avec un échantillon qui s'avère donc plus grand, on parvient à montrer une différence significative entre la proportion de mâles et de femelles non-négatifs (5 % *vs* 18 %) mais pas entre les proportions de mâles et de femelles positifs. Le faible effectif d'individus positifs peut être mis en cause. On s'attendrait donc à observer dans la population générale une proportion moindre de mâles non-négatifs que de femelles. Une étude ultérieure pourra s'attacher à montrer cette différence que ce soit chez les non-négatifs comme chez les positifs. Le portage sain par les mâles reste possible mais moins important que ce que nos premiers résultats semblaient évoquer. Les individus des deux sexes de notre échantillon ont bien été en contact avec la bactérie sous-réserve de l'absence de réactions croisées.

4.4. Etude selon l'âge

Les signes cliniques de Salmonellose Abortive s'expriment surtout lors de la première gestation avec une invasion massive du tractus génital de la femelle provoquant une septicémie chez le fœtus aboutissant à l'avortement. La maturité sexuelle des Caprini est très variable allant de 6 mois pour les chèvres domestiques (*Capra hircus*) jusqu'à 18 mois pour le markhor (*Capra falconeri*) (Lacy *et al*., 2010).

L'étude montre des individus positifs âgés de 4 à 11 ans avec un âge moyen de 7,9 ans. On a une répartition plus large des individus non-négatifs mais la moyenne d'âge des individus positifs et non-négatifs n'est pas significativement différente. Pourtant, la répartition des individus prélevés (figures 11, 13, 15, 17) montre une prédominance d'animaux jeunes. Il semblerait donc que l'infection touche des animaux d'un âge moyen à avancé, et souvent multipares. Or, l'étude n'a peut-être pas permis de mettre en évidence les animaux lors de leurs premières phases d'excrétion bactérienne et les chances de détecter des anticorps sur des individus âgés dont l'excrétion est récurrente sont plus élevées. Ceci peut être à l'origine d'une détection d'individus séropositifs plutôt âgés.

On remarque également qu'aucun animal n'est positif ou non-négatif avant l'âge de un an s'agissant peut-être de l'absence de contact précoce avec *Salmonella* Abortusovis ou d'un défaut de développement de l'immunité ne permettant pas la détection de suffisamment d'anticorps pour franchir le seuil de positivité.

4.5. Etude selon l'espèce

On a à faire ici à un important biais de sélection car l'espèce la plus représentée et celle qui comporte le plus d'individus positifs et non négatifs est *Capra hircus*, la chèvre domestique, très couramment présente au sein des parcs zoologiques dans des « mini-fermes». Or il s'agit d'un animal de rente qui fait l'objet d'une prophylaxie obligatoire (contrairement aux espèces sauvages) ; d'où la surreprésentation de l'espèce au sein de l'échantillon.

En 2014, à la MJP, 14 % des chèvres sont positives. Il s'agit d'une proportion non négligeable. Or, aucun symptôme n'est détectable car elles sont en présence d'un mâle vasectomisé depuis environ 2 ans. Cela signifie tout de même que malgré l'absence de gestation, un fort titre en anticorps est décelable

chez ces individus. Il existe donc un contact récent entre ces individus et la bactérie nous permettant de suspecter une possible excrétion bactérienne chez ces individus en dehors des périodes de mises-bas *via* un portage sain, ou encore, le maintien d'un titre en anticorps élevé malgré l'absence de mise-bas depuis au moins 1,5 ans. Ceci nous invite donc à penser que cette espèce est en mesure de jouer le rôle de réservoir au sein du parc, et en cas d'excrétion, être à l'origine de la contamination d'autres espèces (*via* le matériel, le personnel, les eaux usées, …). Or le plan de la MJP, présenté en annexe 5, montre que seul le service Reptile s'occupe des chèvres et qu'il s'agit de la seule espèce de Caprini dont il s'occupe ; cette situation ne favorise pas la transmission de la bactérie *via* les soigneurs et/ou leur matériel. De plus, la situation géographique de ces animaux montre qu'ils ne se trouvent pas directement aux côtés d'autres espèces de Caprini.

Entre 2003 et 2014 à la MJP, la proportion d'individus positifs est nettement inférieure chez les chèvres domestiques (4 %) mais reste non nulle. On note les proportions importantes d'animaux positifs chez *Pseudois nayaur* (22 %) et *Capra sibirica* (43 %) et qui en outre, ont des antécédents d'avortements au sein de leur population ce qui est l'objet du paragraphe 1.4.8. ci-après. Sur les 10 espèces de Caprini présentées à la MJP, seules 3 espèces présentent des individus positifs. Reste donc à savoir si toutes les espèces de Caprini sont bien sensibles à la bactérie et si des études ultérieures ne seraient pas en mesure de montrer des spécificités d'espèce encore inconnues à ce jour pour cette maladie, même au sein de la tribu que nous avons choisi d'étudier ici.

Concernant le PZBM, la moitié de l'effectif de chèvres domestiques présentes en janvier 2015 montre une réponse douteuse à la séroagglutination, ce qui peut laisser supposer la présence d'un portage sain sous réserve de réactions croisées ou une simple contamination antérieure de ces individus avec un titre résiduel encore un peu élevé. Aucune espèce sauvage n'a pu être prélevée en janvier 2015.

Entre 2003 et 2015, les prélèvements récoltés ne concernent que *Ovis aries*, *Capra hircus* et *Pseudois nayaur*. Ici, seule *Capra hircus* présente des individus positifs à hauteur de 5 %. Aucun individu des autres espèces n'est non-négatif. Il semblerait donc qu'entre 2003 et 2015, la bactérie ait pu être présente sur le site au sein des chèvres domestiques sans pour autant contaminer les autres Caprini du parc et notamment *Pseudois nayaur* qui semble pourtant bien sensible à la maladie d'après les analyses effectuées à la MJP et les antécédents d'avortements qui s'y rapportent. Cela concerne plusieurs individus qui pour certains retrouvent un titre inférieur au seuil de positivité au cours de la période d'étude.

On peut donc affirmer que *Pseudois nayaur* et *Capra sibirica* développent une réponse immunitaire lors d'infection par *Salmonella* Abortusovis. S'agissant d'espèces ayant eu des antécédents abortifs à la MJP, on peut supposer qu'elles sont sensibles à la bactérie. Cependant, on ne remplit pas ici tous les postulats de Koch, ce qui ne nous permet pas d'affirmer la responsabilité causale de la bactérie dans la survenue des signes cliniques. S'agissant des autres espèces, on ne peut rien en conclure ; elles peuvent ne pas être sensibles ou encore ne pas avoir été en contact avec la bactérie ou même avoir eu un contact éloigné par rapport au moment du prélèvement. Chez *Ovis cycloceros*, on trouve tout de même des individus douteux, ce qui permet de préjuger de la sensibilité de cette espèce à la bactérie sans certitude cependant.

4.6. Etude selon les antécédents

Nous disposons des informations concernant les antécédents de problèmes liés au système reproducteur uniquement pour la MJP. Ces données ont été recueillies grâce à l'application ZIMS décrite plus haut. Il est probable que nous sous-estimions ici le nombre d'événements abortifs pour cause d'avortements silencieux (ex : avorton non retrouvé sur une femelle dont on n'avait pas connaissance de la gestation…), de résorption fœtale ou d'un archivage non exhaustif de ces événements depuis 2003.

De 2003 à 2014, 27 % des individus ayant présenté des antécédents sont positifs contre seulement 4 % des individus n'en ayant pas présenté. Un test exact de Fisher permet de montrer une différence significative entre la proportion d'individus positifs ayant présenté des antécédents et la proportion d'individus positifs n'en n'ayant pas présenté, sous réserve de l'indépendance entres les individus. On pourrait donc, lors d'une prochaine étude, rechercher une proportion plus importante d'individus positifs ayant présenté des antécédents que d'individus positifs n'en ayant pas présenté. Ceci laisse préjuger d'une validité du test dans la détection de la maladie. On pourrait également chercher à évaluer la sensibilité et la spécificité du test de séroagglutination chez les espèces de Caprini sauvages afin de

valider l'intérêt de ce test au sein de cette population. De même, il serait intéressant de pouvoir établir une association causale, en ayant notamment recours à l'examen bactériologique, entre la survenue d'antécédents et la positivité au test de séroagglutination mais la qualité de notre échantillonnage ne nous permet pas de prétendre à la validité statistique d'une telle analyse ici.

4.7. Etude selon les années de prélèvement

A la MJP, entre 2003 et 2014, on observe une proportion d'individus positifs de 21 % et de 33 % en 2003, 2010 et 2012. Des pics d'individus non-négatifs sont observés les mêmes années mais également en 2006 (8 %), 2011 (25 %) et 2014 (20 %). On observe ici en 2011 et 2014 une proportion non négligeable d'individus non négatifs qui pourrait être une conséquence de la survenue de la maladie respectivement en 2010 et 2012 avec la persistance d'anticorps (1 à 3 années consécutives) après un épisode enzootique. En effet, l'allure de la figure 26 semble en faveur d'une manifestation enzootique de la maladie. De plus, 2003, 2010 et 2012 sont des années durant lesquelles des problèmes reproducteurs ont été observés sur plusieurs individus ; élément supplémentaire en faveur de la survenue d'épisodes épizootiques.

Au PZBM, on a une faible proportion d'individus positifs et non négatifs en 2003. La proportion d'individus positifs élevée en 2008 s'explique par seulement deux prélèvements recueillis cette année-là, tous deux s'étant révélés positifs. Les résultats semblent cohérents avec une absence d'antécédents rapportés au sein de la population de Caprini du PZBM. En effet, les individus positifs en 2008 peuvent être de faux-positifs car aucune résurgence de la maladie n'apparait ensuite. Cependant, la proportion d'individus non-négatifs en 2015 n'est pas négligeable laissant peut-être entendre l'existence d'une circulation de la bactérie qui pourrait être à l'origine d'un épisode épizootique dans le futur. L'absence de données entre 2011 et 2014 est regrettable car correspond, si l'on en croit la cinétique de la maladie à la MJP, à une période possible de son expression.

4.8. Quelques cas particuliers

4.8.1 Groupe de Bharals (*Pseudois nayaur*)

Un Bharal a présenté un avortement le 05/06/2012 à l'âge de 8 ans et est décédé d'une septicémie le 08/06/2012. Le prélèvement sanguin effectué alors montre un titre en anticorps anti-*Salmonella* Abortusovis s'élevant à 1/640 ; il semble donc tout à fait probable que l'individu ait présenté une forme clinique de la maladie. Pour en être tout à fait certain, il aurait fallu effectuer des prélèvements à fins d'analyses bactériologiques et avoir plus de 10 individus dans ce cas. En outre, cet individus n'avait jamais reproduit auparavant alors qu'elle était pourtant en contact permanent avec un mâle entier qui reproduisait régulièrement avec d'autres femelles du groupe ; a-t-elle pu connaître d'autres épisodes abortifs silencieux (résorption embryonnaire, non observation de l'avorton, non archivage de l'avortement,…) ?

Un autre Bharal a présenté un avortement le 12/07/2010 à l'âge de 4 ans, a été prélevé le 29/07/2010 et présentait un titre en anticorps à 1/640. De la même manière la chronologie des événements est en faveur d'un épisode clinique de la maladie que l'on peut probablement mettre en cause ici. Cependant, plus aucun problème lié à la reproduction n'a été observé par la suite chez cet individu, et des sérologies ont donné un titre en anticorps non mesurable en octobre 2013, en février 2014, en mai 2014 et en septembre 2014. On peut donc émettre ici deux hypothèses : le premier résultat est un faux positif et l'avortement le précédant est lié à une autre cause ou le premier résultat est un vrai positif et les prélèvements effectués par la suite ont été faits hors période d'excrétion de la bactérie. On s'attendrait tout de même à observer un titre non nul dans le cas de cet individu qui serait possiblement désormais porteur sain de la bactérie.

Encore un autre Bharal âgé de 8 ans a présenté un avortement le 22/07/2008. Aucune sérologie n'a été effectuée sur cet individu qui avait déjà avorté en 2002 à l'âge de 2 ans.

En juillet 1993, un avortement a été constaté sur un Bharal âgé de 5 ans. Aucune sérologie n'a été effectuée sur cet individu. Il est né sur site et constitue le plus ancien événement abortif archivé chez les Bharals de la MJP. On ne parvient donc pas à trouver un individu (nouvellement introduit) pouvant être responsable de l'introduction de l'infection.

4.8.2 Groupe de bouquetins de Sibérie (*Capra sibirica*)

On note un avortement le 26/05/2000 chez un individu âgé de 4 ans et positif à *Salmonella* Abortusovis le 10/10/2003 avec un titre en anticorps s'élevant à 1/640 sans épisode abortif récent par ailleurs. Un autre bouquetin de Sibérie est positif le 10/10/2003 avec un titre en anticorps à 1/640 sans antécédents rapportés. Un dernier bouquetin de Sibérie se révèle positif le 10/10/2003 avec un titre à 1/640 sans antécédents signalés. Les descendances de ces deux derniers individus n'ont pas rencontré de problème particulier quant à leur reproduction.

Par ailleurs, un avortement est constaté le 11/04/1999 sur un individu âgé de 4 ans sans qu'il n'y ait de sérologie réalisée. De même, un avortement est observé le 23/05/1997 sur un individu âgé de 10 ans ainsi qu'un autre le 30/04/1988 sur un individu de 4 ans. Ces individus nés à la MJP sont les plus anciens témoins de la survenue d'avortement au sein de cette espèce archivé au sein de ce groupe d'individus.

5. CONCLUSIONS ET CONDUITES A TENIR

Notre étude ne nous permet pas de déterminer une valeur de la séroprévalence de l'infection par *Salmonella Abortusovis* au sein des Caprini sauvages de parcs zoologiques mais l'observation de notre échantillon et la proportion d'individus positifs que nous avons observés pourront permettre d'avoir une idée de la séroprévalence attendue de la maladie lors d'une évaluation ultérieure avec un échantillonnage représentatif de la population.

Au sein de l'échantillon, on a 15 % d'animaux considérés comme douteux et 5 % véritablement positifs, preuve de la circulation de la bactérie au sein de notre échantillon. Cependant, peu d'animaux montrent des signes cliniques. L'infection est présente chez les femelles comme chez les mâles et chez les individus adultes principalement non primipares. Les jeunes (<4ans) comme les individus âgés (>11ans) ne semblent pas atteints. La population de chèvres domestiques est plus fortement touchée que les autres espèces des deux parcs mais l'exprime moins cliniquement. Les Bharals semblent être une espèce particulièrement sensible à cette bactérie de par la survenue de plusieurs épisodes cliniques de la maladie au sein de leur population à la MJP. Il serait intéressant d'investiguer davantage la théorie de la contamination des Bharals par les chèvres domestiques ainsi que l'importance du portage sain chez cette dernière espèce.

Concernant la conduite à tenir, pour les Caprini dont les populations sont en danger, une surveillance accrue des mises-bas doit être effectuée ainsi qu'un isolement de la femelle parturiente du reste du groupe. Cette mesure, en cas de nouveau-né anormal, permet d'éviter la mise en contact des matières potentiellement infectantes avec le reste du groupe. Il sera donc nécessaire, dans ce cas, d'isoler la femelle pendant 6 à 8 semaines (délai d'excrétion) et de procéder à un nettoyage, une désinfection et un vide-sanitaire après son départ. En cas de survenue d'avortement, il est préconisé, en outre, de prélever le foie, la rate et le contenu gastrique de l'avorton ainsi qu'un écouvillon vaginal de la mère et de l'acheminer au plus tôt vers d'un laboratoire de bactériologie compétent dans la recherche de *Salmonella* en précisant la suspicion de *Salmonella* Abortusovis. Aucun traitement médicamenteux n'est à ce jour connu pour lutter contre l'infection. Cependant, et de manière empirique, l'utilisation des oxytétracyclines est courante chez les animaux domestiques mais des résistances ont été montrées.

Afin de limiter la transmission bactérienne et la survenue d'avortement au sein d'un groupe d'individus, on pourra avoir recours à la vaccination. Le vaccin n'est plus disponible en France mais il est possible de l'importer d'Espagne avec les difficultés que cela engendre. Cette démarche est régulièrement entreprise par les vétérinaires des zones d'enzooties chez le mouton domestique (contact GDS).

A ce jour, il n'est pas possible de détecter la présence de l'infection hors période d'excrétion de la bactérie, c'est-à-dire, principalement autour de la mise-bas. Les tests ELISA et PCR ne sont plus disponibles. Il n'est donc pas possible de détecter tous les porteurs sains de la bactérie au sein d'un groupe et de gérer ce groupe en fonction de ces individus.

CONCLUSION

La salmonellose abortive ovine, maladie spécifique des petits ruminants, peut être une cause majeure d'avortements chez les ovins domestiques (30 à 60 % d'avortements chez les brebis gravides) et dans une moindre mesure chez les caprins. *Salmonella enterica* subspecies *enterica* serovar Abortusovis est l'entérobactérie responsable de cette maladie. Elle peut survivre jusqu'à 100 jours dans le milieu aquatique et plusieurs mois dans le sol sous une forme rugueuse. Par ailleurs, la bactérie est principalement excrétée dans les produits d'avortement ainsi que dans les sécrétions vaginales. Ceci donne fréquemment lieu à une contamination de l'eau de boisson, à l'origine de la transmission de l'agent pathogène par voie orale aux congénères. Les signes cliniques de la maladie sont frustes et non spécifiques. Une hyperthermie transitoire, un épisode diarrhéique et un abattement peuvent aléatoirement être observés. Le signe clinique d'appel reste la survenue d'avortements.

Les Caprini regroupent un nombre assez important d'espèces mais nous avons très peu de données sur la survenue de cette maladie au sein de ces espèces. Cependant, la maladie a été décrite chez le chamois (*Rupicapra rupicapra*), le mouflon (*Ovis gmelini)* et l'isard (*Rupicapra pyrenaica pyrenaica).*

L'étude que nous avons menée ici montre qu'une infection par la bactérie est possible chez le Bharal (*Pseudois nayaur*) et le bouquetin de Sibérie (*Capra sibirica*). Le portage de la bactérie par ces animaux reste à démontrer faute d'avoir pu isoler la bactérie. Cinq pour cent des individus prélevés sont sérologiquement positifs ; ceci laisse entendre que quel que soit le statut présumé du parc dans lequel les individus ont été prélevés, une faible part de la population a été en contact avec l'agent pathogène. Or, par analogie avec la pathogénie connue chez les ovins domestiques, nous pouvons émettre l'hypothèse de l'existence d'un portage sain avec des pics d'excrétions au cours de la vie des animaux et notamment à la suite d'une mise-bas. Ainsi, ceci rendrait compte de l'allure enzootique de la maladie s'exprimant parfois par « crises » épizootiques.

Cependant, il faudrait recourir à une étude à plus grande échelle pour pouvoir élargir nos conclusions à la population générale de Caprini sauvages maintenus en captivité.

Enfin, en l'absence de connaissances plus approfondies les moyens de lutte consistent principalement en des mesures hygiéniques (isolement des porteurs/excréteurs lors des périodes à risque) et prophylactiques (existence d'un vaccin disponible à l'importation). La lutte en phase aiguë n'est pas réellement documentée mais un traitement antibiotique est généralement réalisé.

Rapport-Gratuit.com

Ce travail a fait l'objet d'une communication orale le 10 octobre 2014 lors de l'assemblée générale de l'AFVPZ. Un poster a également été présenté lors de la Zoo Vet Conference organisée par l'EAZWV en mai 2015 (Annexe 6).

BIBLIOGRAPHIE

ADW. The Basic Structure of Cheek Teeth [En ligne]. [http://animaldiversity.org] (Consulté le 29/06/15).

AFNOR. (2000). *NORME NF U47-014 : Recherche d'anticorps contre la salmonellose à Salmonella Abortusovis par la technique de séroagglutination lente*. Paris, AFNOR, 12 p.

ATLAS RM. (2010). *Handbook of microbiological media*. 4th ed, Boca Raton, CRC press, 1957 p.

BELLOY L, DECRAUSAZ L, BOUJON P, HÄCHLER H, WALDVOGEL AS. (2009). Diagnosis by culture and PCR of *Salmonella* Abortusovis infection under clinical conditions in aborting sheep in Switzerland. *Vet. Microbiol.*, **138**, 373-377.

BERTHON P, GOHIN I, LANTIER I, OLIVIER M. (1994). Humoral immune response to Salmonella abortusovis in sheep: in vitro induction of an antibody synthesis from either sensitized or unprimed lymph node cells. *Vet. Immunol. and Immunopathol.*, **41**, 275-294.

BONHOMME B. (2003) Etude de la contamination des milieux internes de l'oeuf par *Salmonella* serotype enteritidis. 2003, Thèse Méd. Vét., Alfort, 106 p.

CAGIOLA M, SEVERI G, FORTI K, MENICHELLI M, PAPA P, DE GIUSEPPE A, *et al*. (2007). Abortion due to *Salmonella* enterica serovar Abortusovis (*S.* Abortusovis) in ewes is associated to a lack of production of IFN-γ and can be prevented by immunization with inactivated *S.* Abortusovis vaccine. *Vet. Microbiol.*, **121**, 330-337.

CAMART-PÉRIÉ A. (2006). *Salmonella*, salmonelloses bovines, état des lieux, épidémiologie en France. Thèse Méd. Vét., Alfort. 122 p.

CARTER GR, WISE DJ, CARTER GRE. (2004). *Essentials of veterinary bacteriology and mycology. 6th Edn., Ames,* Iowa State Press. PP., 290 p.

CHAMPION J, AUTEF P, BLISSON G, GAUTHIER D, LACZ D, DE CREMOUX R. (2013). *La salmonellose abortive ovine.* Région Rhône-Alpes, Institut de l'Elevage, 5 p.

CITES. *Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction* [En ligne] (mise à jour le 30/06/2015). [http://www.cites.org/fra] (Consulté le 30/06/2015).

DROMIGNY E. (2011). *Les critères microbiologiques des denrées alimentaires: Réglementation, agents microbiens, autocontrôle*. Paris, Tec & Doc, 531 p.

DUPRAZ F. (2004). Etudes des maladies abortives non réglementées chez les ongulés sauvages et domestiques de la réserve de chasse et de faune sauvage du Carroux-Espinouse. Conséquences pour la gestion sanitaire des populations. Thèse de médecine vétérinaire. 2004, Thèse Méd. Vét., Lyon, 95 p.

EAZA *home* [En ligne]. [http://www.eaza.net/] (consulté le 30/6/15).

EUROPA. *Synthèse de la législation de l'UE. Système TRACES*. [En ligne] (mise à jour le 29/06/2011). [http://europa.eu/legislation_summaries/food_safety/veterinary_checks_and_food_hygiene/f84009_fr.htm] (Consulté le 30/06/2015).

EUZÉBY JP. LPSN - *List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature* [En ligne]. [http://www.bacterio.net/] (consulté le 25/8/14).

GDS38. *Désinfection des bâtiments d'élevage* [En ligne]. [http://www.gds38.asso.fr] (consulté le 18/02/15).

GOHIN I, OLIVIER M, LANTIER I, PÉPIN M, LANTIER F. (1997). Analysis of the immune response in sheep efferent lymph during *Salmonella* Abortusovis infection. *Vet. Immunol. Immunopathol.*, **60**, 111-130.

GRIMONT PA, WEILL F-X. (2007). Antigenic formulae of the Salmonella serovars. *WHO Collaborating Centre for Reference and Research on Salmonella, Institut Pasteur, Paris, France*.

GROVES C, GRUBB P. (2011). *Ungulate taxonomy*. Baltimore, JHU Press. 317p.

HABRUN B, LISTES E, SPICIC S, CVETNIC Z, LUKACEVIC D, JEMERSIC L, *et al*. (2006). An outbreak of *Salmonella* Abortusovis abortions in sheep in south Croatia. *J. Vet. Med. Ser. B*, **53**, 286–290.

HASSANIN A, ROPIQUET A, COULOUX A, CRUAUD C. (2009). Evolution of the mitochondrial genome in mammals living at high altitude: new insights from a study of the tribe Caprini (Bovidae, Antilopinae). *J. Mol. Evol.*, **68**, 293–310.

IUCN - *Accueil* [En ligne]. [http://www.iucn.org/fr/] (consulté le 30/6/15).

IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species* [En ligne] [http://www.iucnredlist.org/] (consulté le 30/06/15).

JOURDAIN E. (2003). Etudes des maladies abortives non réglementées chez les ongulés sauvages et domestiques de la réserve nationale de chasse et de faune sauvage des Bauges. Thèse Méd. Vét., Lyon, 202 p.

LACY R, OILER A, HOLLAND J. (2010). *North American Regional Studbook for Markhor (Capra falconeri)*. New York, 135 p.

LAPAGE SP, SNEATH PHA, LESSEL EF, SKERMAN VBD, SEELIGER HPR, CLARK WA. (1992). *International Code of Nomenclature of Bacteria: Bacteriological Code, 1990 Revision*, Washington (DC), ASM Press, 232 p.

MILLER RE, FOWLER ME. (2014). *Fowler's zoo and wild animal medicine*. **8**, St. Louis, Elsevier Health Sciences. 827 p.

PARDON P, MARLY J, SANCHIS R, FENSTERBANK R, ABADIE G, POLVERONI G, *et al*. (1983). Influence des voies et doses d'inoculation avec *Salmonella* Abortusovis sur l'effet abortif et la réponse sérologique des brebis, *in: Ann. Rech. Vét.*, **14**, 129–139.

PARDON P, SANCHIS R, MARLY J, LANTIER F, PÉPIN M, POPOFF M. (1988). Salmonellose ovine due à *Salmonella* Abortusovis, *in: Ann. Rech. Vét.*, **19**, 221–235.

PARDON P, SANCHIS R, MARLY J, LANTIER F, GUILLOTEAU L, BUZONI-GATEL D, *et al*. (1990). Experimental ovine salmonellosis (*Salmonella* Abortusovis): Pathogenesis and vaccination. *Res. Microbiol.*, **141**, 945–953.

PIOZ M. (2006). Conséquences du parasitisme sur la dynamique des populations d'hôtes : exemples d'agents abortifs dans des populations de chamois (rupicapra rupicapra) et d'Isards (Rupicapra pyrenaïca). Lyon 1. 203 p.

Rapport-gratuit.com
LE NUMÉRO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

PIOZ M, LOISON A, GAUTHIER D, GIBERT P, JULLIEN J-M, ARTOIS M, *et al*. (2008a). Diseases and reproductive success in a wild mammal: example in the alpine chamois. *Oecologia*, **155**, 691–704.

PIOZ M, LOISON A, GIBERT P, JULLIEN J-M, ARTOIS M, GILOT-FROMONT E. (2008b). Antibodies against *Salmonella* is associated with reduced reproductive success in female alpine chamois (Rupicapra rupicapra). *Can. J. Zool.*, **86**, 1111–1120.

REKIKI A, RODOLAKIS A. (2004). Diagnostic des avortements chez les petits ruminants. *Le point vétérinaire.*

REYNAL J. (2004). Etude sérologique de maladies abortives non réglementées chez les isards et les ovins de la réserve de chasse et de faune sauvage d'Orlu (09).Thèse Méd. Vét., Lyon.

SANCHIS R, PARDON P, ABADIE G, POLVERONI G, OTHERS. (1984). Infection expérimentale de la brebis avec *Salmonella* Abortusovis: influence du stade de gestation, *in: Ann. Rech. Vét.*, **15**, 97–103.

SANCHIS R, PARDON P, ABADIE G, MARLY J, POLVERONI G, OTHERS. (1986). Infection expérimentale du bélier par *Salmonella* Abortusovis, *in: Ann. Rech. Vét.*, **17**, 387–393.

SPICKLER AR. Salmonella Abortusovis [En ligne]. *The Center for Food Security and Public Health*. (Création en 2005). [http://www.cfsph.iastate.edu/DiseaseInfo/factsheets.php]. (Consulté le 16/12/14).

TINDALL BJ, GRIMONT PAD, GARRITY GM, EUZEBY JP. (2005). Nomenclature and taxonomy of the genus *Salmonella. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, **55**, 521–524.

TOMA B, DUFOUR B, BENET JJ, SANAA M, SHAW A, MOUTOU F. (2010). *Epidémiologie appliquée à la lutte collective contre les maladies animales transmissibles majeures.* 3ème éd. Maisons-Alfort, Association pour l'étude de l'épidémiologie des maladies animales, 600 p.

UICN. (2012). Catégories et Critères de la Liste rouge de l'UICN: Version 3.1.Deuxième édition. Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni : UICN, 32 p.

UZZAU S, MAROGNA G, LEORI GS, CURTISS R, SCHIANCHI G, STOCKER BA, *et al*. (2005). Virulence attenuation and live vaccine potential of aroA, crp cdt cya, and plasmid-cured mutants of *Salmonella enterica* serovar Abortusovis in mice and sheep. *Infect. Immun.*, **73**, 4302–4308.

WILSON DE, MITTERMEIER RA. (2011). *Handbook of the mammals of the world, Hoofed Mammals.* **2**. Barcelona, Lynx, 886 p.

WIRZ-DITTUS S, BELLOY L, DOHERR MG, HUSSY D, STING R, GABIOUD P, *et al*. (2010a). Use of an indirect enzyme-linked immunosorbent assay for detection of antibodies in sheep naturally infected with Salmonella Abortusovis. *J. Vet. Diag. Invest*., **22**, 531-536.

WIRZ-DITTUS S, BELLOY L, HÜSSY D, WALDVOGEL AS, DOHERR MG.(2010b). Seroprevalence survey for *Salmonella* Abortusovis infection in Swiss sheep flocks. *Prev. Vet. Med.*, **97**, 126-130.

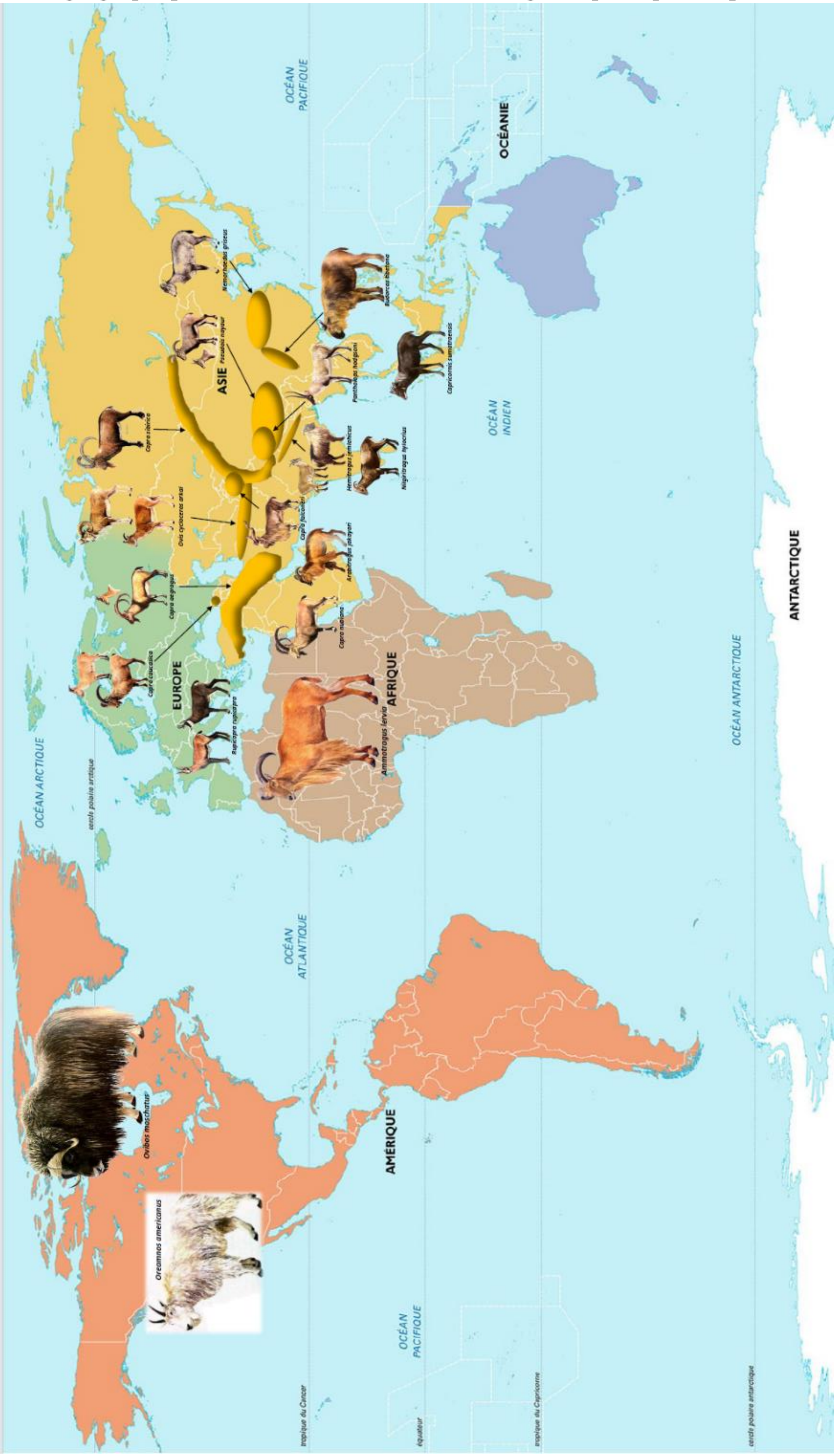
ANNEXE 1

Composition des différents milieux utilisés pour la mise en culture de Salmonella Abortusovis (d'après Atlas, 2010)

Milieu Mac Conkey		**Desoxycholate citrate (DCA)**		**Gélose *Salmonella-Shigella* (SS)**		**Xylose-Lysine-Désoxycholate (XLD)**		**Xylose-Lysine-Tergitol 4 (XLT4)**	
Peptone pancréatique de gélatine	17,0 g/L	Lactose	10,0 g/L	Peptone pancréatique de viande	5,0 g/L	Extrait autolytique de levure	3,0 g/L	Peptone	1,6 g/L
Tryptone	1,5 g/L	Citrate de sodium	5,0 g/L	Extrait de viande	5,0 g/L	L-Lysine	5,0 g/L	Extrait autolytique de levure	3,0 g/L
Peptone pepsique de viande	1,5 g/L	Citrate d'ammonium ferrique	1,0 g/L	Lactose	10,0 g/L	Lactose	7,5 g/L	L-Lysine	5,0 g/L
Lactose	10,0 g/L	Thiosulfate de sodium	2,5 g/L	Sels biliaires	8,5 g/L	Saccharose	7,5 g/L	Lactose	7,5 g/L
Sels biliaires	1,5 g/L	Sels biliaires	2,0 g/L	Citrate de sodium	10,0 g/L	Xylose	3,5 g/L	Saccharose	7,5 g/L
Chlorure de sodium	5,0 g/L	Peptone	17,0 g/L	Thiosulfate de sodium	8,5 g/L	Désoxycholate de sodium	2,5 g/L	Xylose	3,75 g/L
Rouge neutre	30,0 mg/L	Rouge neutre	25 mg/L	Citrate ferrique ammoniacal	1,0 g/L	Chlorure de sodium	5,0 g/L	Chlorure de sodium	5,0 g/L
Cristal violet	1,0 mg/L	Agar	14,0 g/L	Rouge neutre	25,0 mg/L	Thiosulfate de sodium	6,8 g/L	Thiosulfate de sodium	6,8 g/L
Agar agar bactériologique	13,5 g/L			Vert brillant	0,33 mg/L	Citrate ferrique ammoniacal	0,8 g/L	Citrate ferrique ammoniacal	0,8 g/L
				Agar agar bactériologique	15,0 g/L	Rouge de phénol	80,0 mg/L	Rouge de phénol	80,0 mg/L
						Agar agar bactériologique	13,5 g/L	Tergitol 4	4,6 mL
								Agar agar bactériologique	18,0 g/L

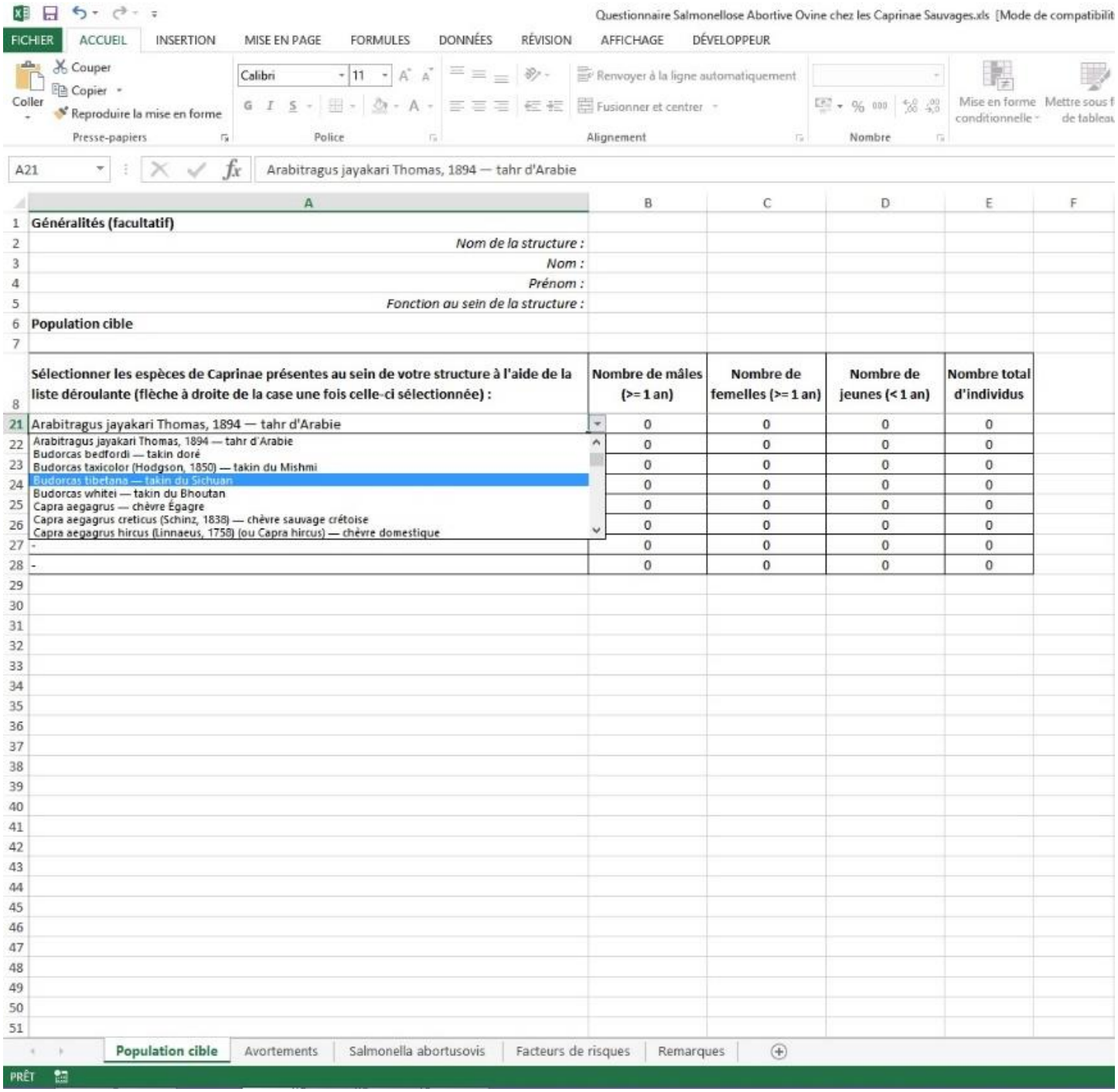
ANNEXE 2

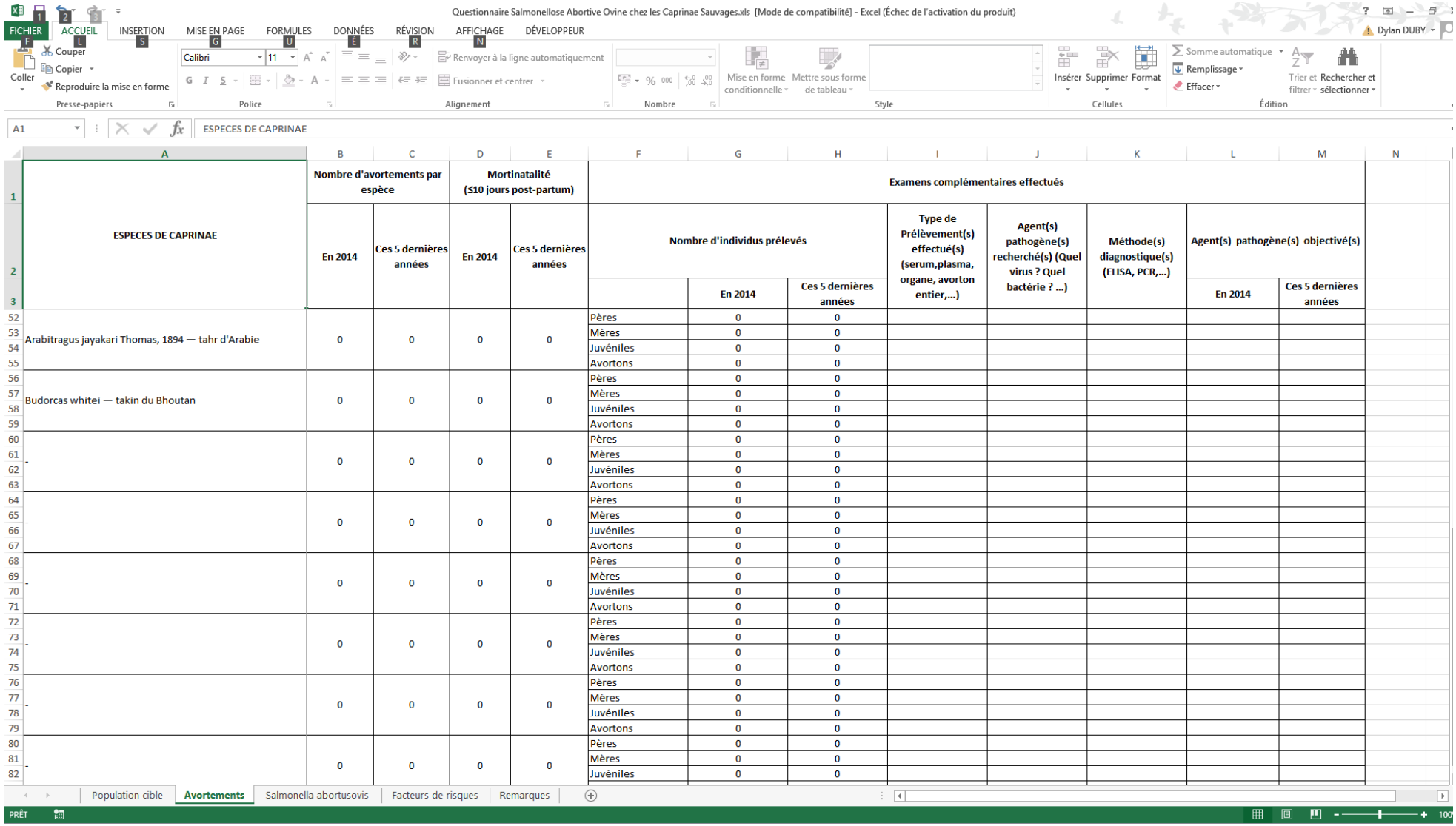
Répartition géographique des milieux de vie à l'état sauvage des principales espèces de Caprini



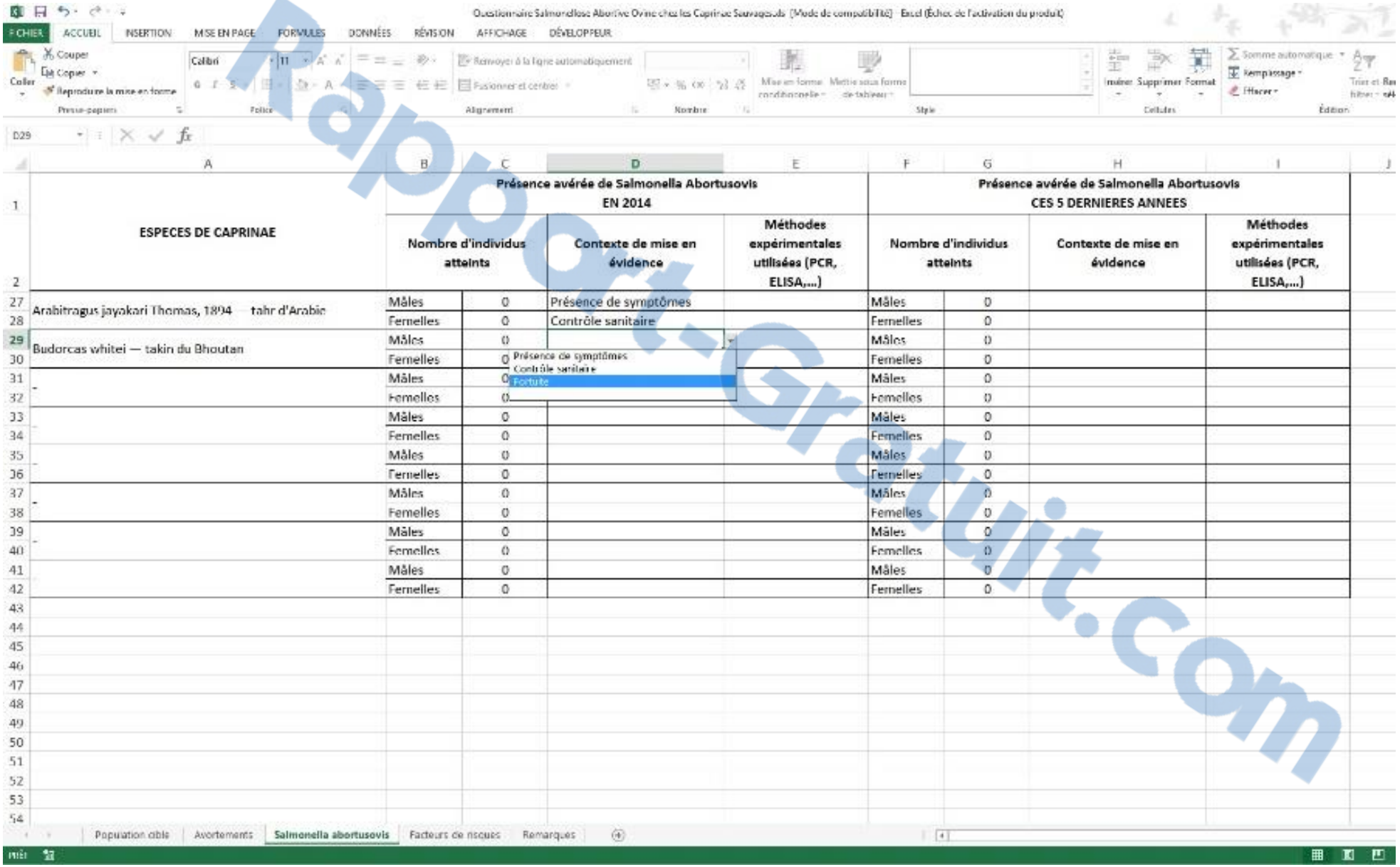
ANNEXE 3

Copies d'écran du questionnaire sous forme de fichier Excel envoyé aux vétérinaires de parcs zoologiques membres de l'AFVPZ





ESPECES DE CAPRINAE	Nombre d'avortements par espèce		Mortinatalité (≤10 jours post-partum)		Examens complémentaires effectués								
					Nombre d'individus prélevés			Type de Prélèvement(s) effectué(s) (serum,plasma, organe, avorton entier,...)	Agent(s) pathogène(s) recherché(s) (Quel virus ? Quel bactérie ? ...)	Méthode(s) diagnostique(s) (ELISA, PCR,...)	Agent(s) pathogène(s) objectivé(s)		
	En 2014	Ces 5 dernières années	En 2014	Ces 5 dernières années		En 2014	Ces 5 dernières années				En 2014	Ces 5 dernières années	
Arabitragus jayakari Thomas, 1894 — tahr d'Arabie	0	0	0	0	Pères	0	0						
					Mères	0	0						
					Juvéniles	0	0						
					Avortons	0	0						
Budorcas whitei — takin du Bhoutan	0	0	0	0	Pères	0	0						
					Mères	0	0						
					Juvéniles	0	0						
					Avortons	0	0						
-	0	0	0	0	Pères	0	0						
					Mères	0	0						
					Juvéniles	0	0						
					Avortons	0	0						
-	0	0	0	0	Pères	0	0						
					Mères	0	0						
					Juvéniles	0	0						
					Avortons	0	0						
-	0	0	0	0	Pères	0	0						
					Mères	0	0						
					Juvéniles	0	0						
					Avortons	0	0						
-	0	0	0	0	Pères	0	0						
					Mères	0	0						
					Juvéniles	0	0						
					Avortons	0	0						
-	0	0	0	0	Pères	0	0						
					Mères	0	0						
					Juvéniles	0	0						



Questionnaire Salmonellose Abortive Ovine chez les Caprinae Sauvages.xls [Mode de compatibilité] - Excel (Échec de l'activation du produit)

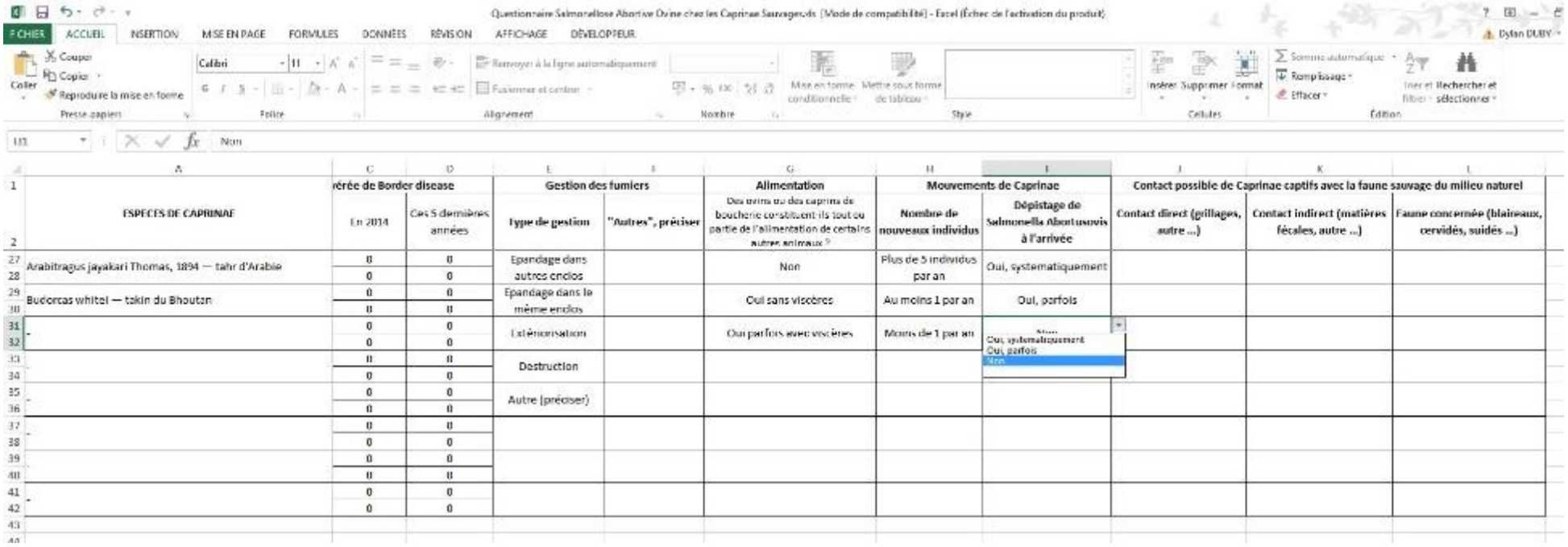
FICHIER | ACCUEIL | INSERTION | MISE EN PAGE | FORMULES | DONNÉES | RÉVISION | AFFICHAGE | DÉVELOPPEUR

D29

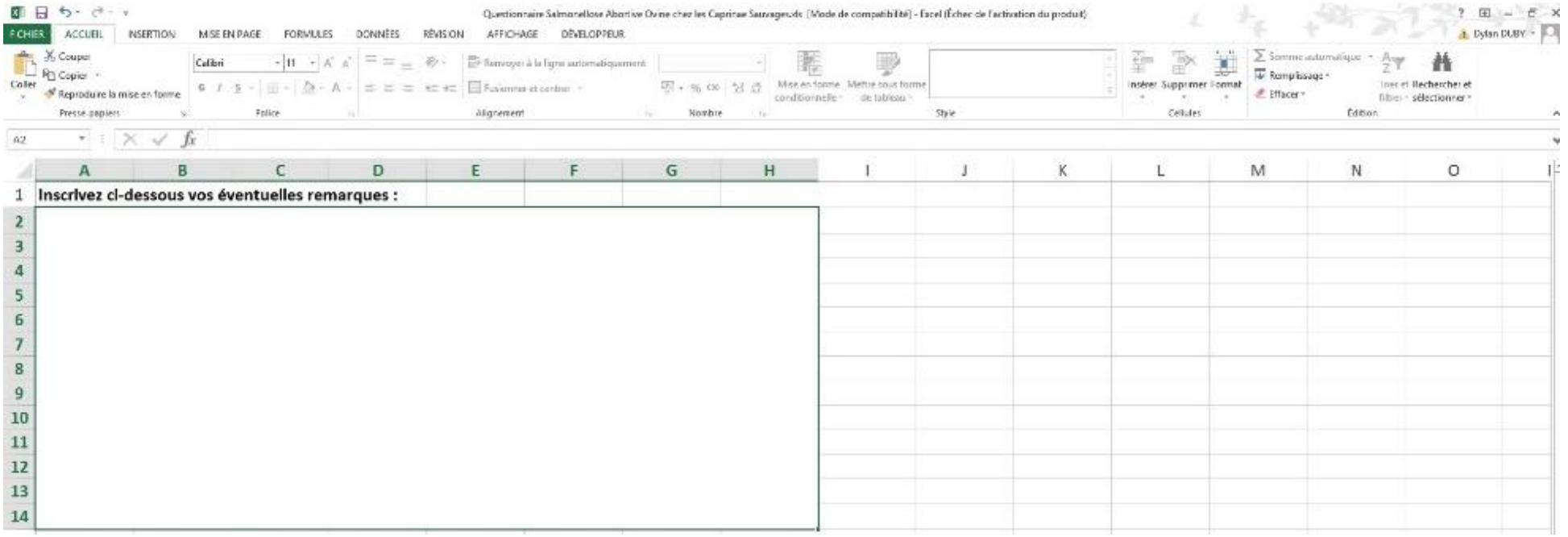
ESPECES DE CAPRINAE	Présence avérée de Salmonella Abortusovis EN 2014				Présence avérée de Salmonella Abortusovis CES 5 DERNIERES ANNEES			
	Nombre d'individus atteints		Contexte de mise en évidence	Méthodes expérimentales utilisées (PCR, ELISA,...)	Nombre d'individus atteints		Contexte de mise en évidence	Méthodes expérimentales utilisées (PCR, ELISA,...)
Arabitragus jayakari Thomas, 1894 — tahr d'Arabie	Mâles	0	Présence de symptômes		Mâles	0		
	Femelles	0	Contrôle sanitaire		Femelles	0		
Budorcas whitei — takin du Bhoutan	Mâles	0			Mâles	0		
	Femelles	0	Présence de symptômes Contrôle sanitaire Fortuite		Femelles	0		
-	Mâles	0			Mâles	0		
	Femelles	0			Femelles	0		
	Mâles	0			Mâles	0		
	Femelles	0			Femelles	0		
	Mâles	0			Mâles	0		
	Femelles	0			Femelles	0		
	Mâles	0			Mâles	0		
-	Femelles	0			Femelles	0		
	Mâles	0			Mâles	0		
-	Femelles	0			Femelles	0		
	Mâles	0			Mâles	0		
	Femelles	0			Femelles	0		

Population cible | Avortements | Salmonella abortusovis | Facteurs de risques | Remarques

Rapport-Gratuit.com



ESPECES DE CAPRINAE	rérée de Border disease		Gestion des fumiers		Alimentation	Mouvements de Caprinae		Contact possible de Caprinae captifs avec la faune sauvage du milieu naturel		
	En 2014	Ces 5 dernières années	Type de gestion	"Autres", préciser	Des issus ou des caprins de boucherie constituent-ils tout ou partie de l'alimentation de certains autres animaux ?	Nombre de nouveaux individus	Dépistage de Salmonella Abortusovis à l'arrivée	Contact direct (grillages, autre ...)	Contact indirect (matières fécales, autre ...)	Faune concernée (blaireaux, cervidés, suidés ...)
Arabitragus jayakari Thomas, 1894 — tahr d'Arabie	0	0	Epandage dans autres enclos		Non	Plus de 5 individus par an	Oui, systématiquement			
Budorcas whitei — takin du Bhoutan	0	0	Epandage dans la même enclos		Oui sans viscères	Au moins 1 par an	Oui, parfois			
	0	0	Extériorisation		Oui parfois avec viscères	Moins de 1 par an	Non			
	0	0	Destruction							
	0	0	Autre (préciser)							
	0	0								
	0	0								



Inscrivez ci-dessous vos éventuelles remarques :

ANNEXE 4

Résumé des cinq critères (A-E) utilisés pour évaluer l'appartenance d'un taxon à l'une des catégories du groupe « menacé » de la liste rouge de l'UICN

A. Réduction de la taille de la population. Réduction (mesurée sur la plus longue des deux durées : 10 ans ou 3 générations) sur la base d'un ou plusieurs des critères A1 à A4

	En danger critique	En danger	Vulnérable
A1	≥ 90%	≥ 70%	≥ 50%
A2, A3 & A4	≥ 80%	≥ 50%	≥ 30%

en se basant sur l'un des éléments suivants :

A1 Réduction de la population constatée, estimée, déduite ou supposée, dans le passé, lorsque les causes de la réduction sont clairement réversibles ET comprises ET ont cessé.

A2 Réduction de la population constatée, estimée, déduite ou supposée, dans le passé, lorsque les causes de la réduction n'ont peut-être pas cessé OU ne sont peut-être pas comprises OU ne sont peut-être pas réversibles.

A3 Réduction de la population prévue, déduite ou supposée dans le futur (sur un maximum de 100 ans) *[(a) ne peut pas être utilisé pour A3]*.

A4 Réduction de la population constatée, estimée, déduite, prévue ou supposée, sur une période de temps devant inclure à la fois le passé et l'avenir (sur un maximum de 100 ans dans le futur), lorsque les causes de la réduction n'ont peut-être pas cessé OU ne sont peut-être pas comprises OU ne sont peut-être pas réversibles.

(a) l'observation directe *[excepté A3]*

(b) un indice d'abondance adapté au taxon

(c) la réduction de la zone d'occupation (AOO), de la zone d'occurrence (EOO) et/ou de la qualité de l'habitat

(d) les niveaux d'exploitation réels ou potentiels

(e) les effets de taxons introduits, de l'hybridation, d'agents pathogènes, de substances polluantes, d'espèces concurrentes ou parasites

B. Répartition géographique, qu'il s'agisse de B1 (zone d'occurrence) ET/OU B2 (zone d'occupation)

	En danger critique	En danger	Vulnérable
B1. Zone d'occurrence (EOO)	< 100 km²	< 5 000 km²	< 20 000 km²
B2. Zone d'occupation (AOO)	< 10 km²	< 500 km²	< 2 000 km²

ET au moins 2 des 3 conditions suivantes :

(a) Sévèrement fragmentée OU nombre de localités	= 1	≤ 5	≤ 10

(b) Déclin continu constaté, estimé, déduit ou prévu de l'un des éléments suivants : **(i)** zone d'occurrence, **(ii)** zone d'occupation, **(iii)** superficie, étendue et/ou qualité de l'habitat, **(iv)** nombre de localités ou de sous-populations, **(v)** nombre d'individus matures

(c) Fluctuations extrêmes de l'un des éléments suivants : **(i)** zone d'occurrence, **(ii)** zone d'occupation, **(iii)** nombre de localités ou de sous-populations, **(iv)** nombre d'individus matures

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

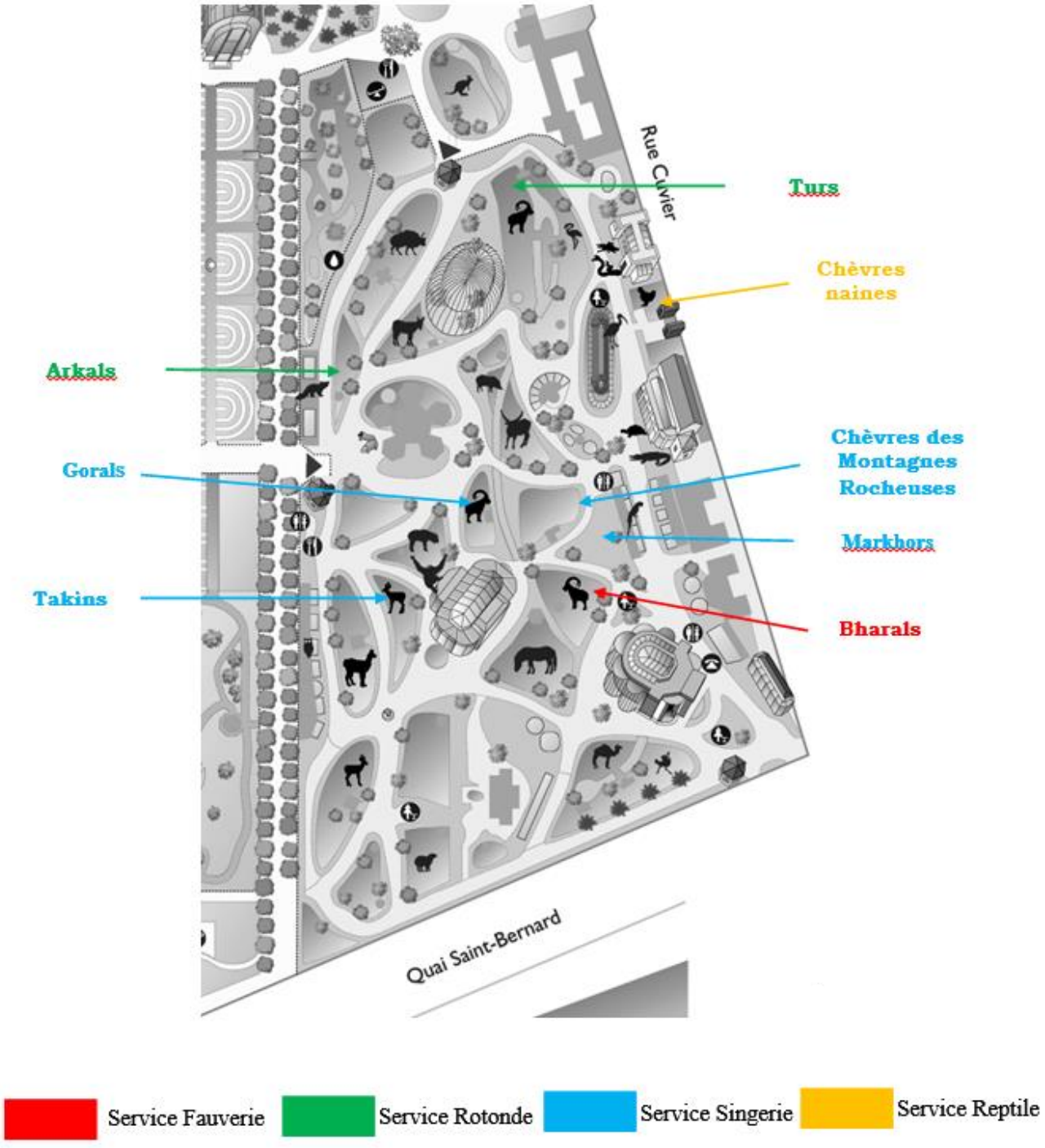
C. Petite population et déclin			
	En danger critique	**En danger**	**Vulnérable**
Nombre d'individus matures	< 250	< 2 500	< 10 000
ET au moins un des sous-critères C1 ou C2 :			
C1. Un déclin continu constaté, estimé ou prévu (sur un maximum de 100 ans dans le futur) d'au moins :	25% en 3 ans ou 1 génération (sur la plus longue des deux durées)	20% en 5 ans ou 2 générations (sur la plus longue des deux durées)	10% en 10 ans ou 3 générations (sur la plus longue des deux durées)
C2. Un déclin continu constaté, estimé, prévu ou déduit ET au moins 1 des 3 conditions suivantes :			
(a) (i) Nombre d'individus matures dans chaque sous-population :	≤ 50	≤ 250	≤ 1 000
(ii) % d'individus matures dans une sous-population =	90–100%	95–100%	100%
(b) Fluctuations extrêmes du nombre d'individus matures			

D. Population très petite ou restreinte			
	En danger critique	**En danger**	**Vulnérable**
D. Nombre d'individus matures	< 50	< 250	**D1.** < 1 000
D2. *Pour la catégorie VU uniquement* Zone d'occupation restreinte ou nombre de localités limité et susceptibles d'être affectées à l'avenir par une menace vraisemblable pouvant très vite conduire le taxon vers EX ou CR.	-	-	**D2.** en règle générale : AOO < 20 km² ou nombre de localités ≤ 5

E. Analyse quantitative			
	En danger critique	**En danger**	**Vulnérable**
Indiquant que la probabilité d'extinction dans la nature est :	≥ 50% sur 10 ans ou 3 générations, sur la plus longue des deux durées (100 ans max.)	≥ 20% sur 20 ans ou 5 générations, sur la plus longue des deux durées (100 ans max.)	≥ 10% sur 100 ans

ANNEXE 5

Plan de la Ménagerie du Jardin des Plantes mettant en évidence les Caprini et les services dont ils font partie



ANNEXE 6

Poster présenté lors de la Zoo Vet Conference organisée par l'EAZWV à Barcelone en mai 2015

SALMONELLA ABORTUSOVIS INFECTION IN CAPTIVE WILD CAPRINES: SURVEY AND HEALTH MANAGEMENT

DUBY D[1], KOHL M[2], CHAI N[2], BOURGEOIS A[2], MILLEMANN Y[1]

[1]Université Paris-Est, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, 7 avenue du Général de Gaulle, 94700, MAISONS-ALFORT, FRANCE, dduby@etudiants.vet-alfort.fr

[2]Muséum National d'Histoire Naturelle, Ménagerie du Jardin des Plantes de Paris, 57 rue Cuvier, 75005, PARIS, FRANCE

Introduction

Salmonella enterica subsp *enterica* serovar Abortusovis (AGBAJE et al., 2011; GRIMONT and WEILL 2007; TINDALL et al., 2005) is a major cause of reproductive failure in domestic small ruminants. Colonisation of the foeto-placental unit in sheep and goats causes abortion as well as neonatal morbidity and mortality. Massive vaginal excretion of *Salmonella* Abortusovis in the postpartum period is considered to be the main source of contamination of the environment (CAGIOLA et al., 2007; PARDON et al., 1988; VALDEZATE et al., 2007).

Following several reproductive problems in a population of Himalayan blue sheep *(Pseudois nayaur*) at the Ménagerie du Jardin des Plantes (MJP) in Paris, France, serological analyses revealed infection by *Salmonella* Abortusovis.

The aim of this study is to determine whether *Salmonella* Abortusovis is involved in reproductive failure in captive wild caprine populations and determine a management plan for positive individuals in zoological collections.

Materials and methods

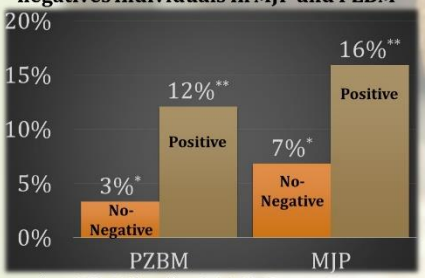
The study focused on all Caprini presented at the MJP as well as animals from the Parc Zoologique et Botanique de Mulhouse (PZBM). A serological survey using agglutination by micro-titration on 202 caprine sera was carried out (MJP:31 simple sera taken in 2014 and 100 simple sera from serum bank (2003-2014) / PZBM : 11 simple sera taken in 2015 and 99 simple sera from serum bank (2003-2015)).

Results

Table 1. Global results MJP and PZBM combined

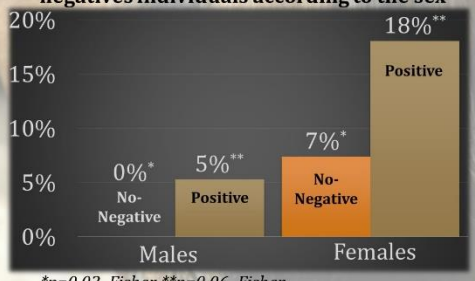
Number of tested *sera*	Number of positive *sera*	Number of no-negative *sera*	Positives' proportion	No-negatives' proportion
179	9	25	5%	14%

Fig 1. Proportions of positives and no-negatives individuals in MJP and PZBM



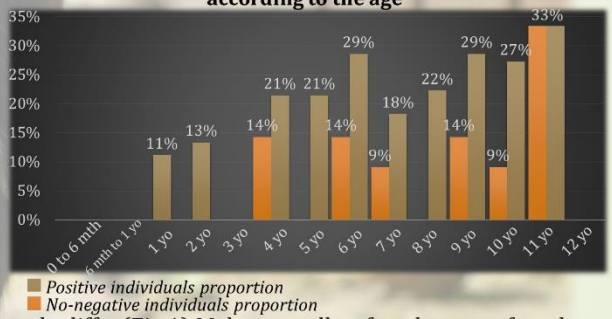
** p=0.32, Fisher **p=0.46, Chi2*

Fig 2. Proportions of positives and no-negatives individuals according to the sex



**p=0.02, Fisher **p=0.06, Fisher*

Fig 3. Proportions of positives and no-negatives individuals according to the age



Proportions of seropositive animals in MJP and PZBM, respectively, did not significantly differ.(Fig.1) Males as well as females were found seropositive.(Fig.2) The mean age of seropositive individuals was about 6.7 years and wasn't found significantly different from negative individuals mean age (5.4 years)(p=0.08).

Discussion

In Europe, several studies on domestic flocks show a high prevalence of *Salmonella* Abortusovis infection.

Pioz et al. (2006, 2008a,b) demonstrated the implication of *Salmonella* Abortusovis in reproductive failure in wild chamois (*Rupicapra rupicapra*) and Alpine ibex (*Capra ibex ibex*) and its transmission between domestic small ruminants and wild sheep and goats.

The results of our study seems to indicate that *Salmonella* Abortusovis infection is present in the study collection and is thus an issue for reproductive management of the concerned species. Though we cannot statistically demonstrate a significant association between the important incidence of neonatal morbidity and mortality and the *Salmonella* Abortusovis infection, we recommend that the most important action to take is to separate individuals of the group before a birth to control the healthy status of the neonate. In case of abortion, bacteriology has to be undertaken (stomach, liver, spleen and vaginal swab) and is the only way to have a correct diagnostic. Surprisingly, serological tests able to detect carrier individuals in collections are not available. A vaccination in selected cases if available along with strategic health monitoring procedures have to be considered as preventive measures when dealing with captive wild caprine collections, in order to reduce both the bacterial transmission and the occurrence of abortion.

References

- AGBAJE M, BEGUM RH, OYEKUNLE MA, OJO, OE, ADENUBI, OT (2011): Evolution of Salmonella nomenclature: a critical note. Folia Microbiol **56**, 497–503
- CAGIOLA M, SEVERI G, FORTI K, MENICHELLI M, PAPA P, DE GIUSEPPE A, PASQUALI P (2007): Abortion due to Salmonella enterica serovar Abortusovis (S. Abortusovis) in ewes is associated to a lack of production of IFN-γ and can be prevented by immunization with inactivated S. Abortusovis vaccine. Vet Microbiol **121**, 330–337.
- GRIMONT PA, WEILL FX (2007): Antigenic formulae of the Salmonella serovars. In: WHO Collaborating Centre for Reference and Research on Salmonella, Institut Pasteur, Paris, France.
- PARDON P, SANCHIS R, MARLY J, LANTIER F, PÉPIN M, POPOFF M (1988): Salmonellose ovine due à Salmonella abortusovis. Ann Rech Vet **19**, 221–235.
- PIOZ M (2006): Conséquences du parasitisme sur la dynamique des populations d'hôtes : exemples d'agents abortifs dans des populations de chamois (rupicapra rupicapra) et d'Isards (Rupicapra pyrenaïca) (Lyon 1).
- PIOZ M, LOISON A, GAUTHIER D, GIBERT P, JULLIEN JM, ARTOIS M, GILOT-FROMONT E (2008) : Diseases and reproductive success in a wild mammal: example in the alpine chamois. Oecologia **155**, 691–704.
- PIOZ M, LOISON A, GIBERT P, JULLIEN JM, ARTOIS M, GILOT-FROMONT E (2008): Antibodies against Salmonella is associated with reduced reproductive success in female alpine chamois (Rupicapra rupicapra). Can J Zool **86**, 1111–1120.
- TINDALL BJ, GRIMONT PAD, GARRITY GM, EUZEBY JP (2005): Nomenclature and taxonomy of the genus Salmonella. Int J Syst Evol Microbiol **55**, 521–524.
- VALDEZATE S, ASTORGA R, HERRERA-LEÓN S, PEREA A, USERA MA, HUERTA B, ECHEITA A (2007): Epidemiological tracing of Salmonella enterica serotype Abortusovis from Spanish ovine flocks by PFGE fingerprinting. Epidemiol Infect **135**, 695–702.

Special thanks to Dr Benoit QUINTARD, Dr Jacques KAANDORP, and Drs Katia ORTIZ and Barbara BLANC to have given us caprine *sera* to complete this study

ÉTUDE DE LA SALMONELLOSE ABORTIVE CHEZ LES CAPRINI SAUVAGES DANS DEUX PARCS ZOOLOGIQUES

DUBY Dylan

Résumé:

Salmonella enterica subsp *enterica* serovar Abortusovis est une cause majeure d'avortements chez les petits ruminants domestiques. La colonisation du placenta par la bactérie provoque l'avortement ainsi que de la morbidité et de la mortalité néonatale. Dans ces espèces, la contamination de l'environnement par l'agent pathogène est permise par une excrétion vaginale massive de ce dernier en période post-partum. En Europe, des études sur les petits ruminants domestiques montrent une prévalence élevée d'infection à *Salmonella* Abortusovis. L'infection a un impact sur le succès reproducteur du Chamois (*Rupicapra rupicapra*) et sa transmission est possible entre les petits ruminants domestiques et les caprins sauvages alpins. Suite à la survenue de multiples problèmes reproducteurs sur la population de Bharals (*Pseudois nayaur*) de la Ménagerie du Jardin des Plantes (MJP) de Paris, des analyses sérologiques ont révélé une infection par *Salmonella* Abortusovis. Le but de cette étude est de déterminer l'implication de cette bactérie dans la survenue de problèmes reproducteurs au sein d'une population de Caprini sauvages maintenus en captivité et d'envisager la mise en place d'un plan de lutte afin de protéger cette population de la maladie.

L'étude a été effectuée sur les Caprini de la MJP et du Parc Zoologique et Botanique de Mulhouse (PZBM). Un dosage sérologique par micro-titration des anticorps dirigés contre *Salmonella* Abortusovis été réalisé sur 202 individus (MJP: 31 *sera* prélevés en 2014 et 100 *sera* provenant de la sérothèque (2003-2014) / PZBM : 11 *sera* prélevés en 2015 et 99 *sera* provenant de la sérothèque (2003-2015)).

Les proportions respectives d'individus séropositifs à la MJP et au PZBM ne sont pas significativement différentes. Des mâles comme des femelles ont été trouvés positifs. La moyenne d'âge des individus séropositifs est de 6,7 ans et n'est pas significativement différente de la moyenne d'âge des individus négatifs (5,4 ans) ($p=0.08$).

Les résultats de notre étude semblent indiquer que *Salmonella* Abortusovis circule au sein de l'échantillon étudié et qu'elle peut être la cause de problèmes reproducteurs au sein de ces espèces. Cependant, il faudrait recourir à une étude à plus grande échelle pour pouvoir étendre nos conclusions à la population générale de Caprini sauvages maintenus en captivité. Nous avons tout de même réussi à montrer une proportion d'individus positifs de 5 %. Les proportions de mâles et de femelles séropositifs sont comparables. Enfin, le Bouquetin de Sibérie (*Capra sibirica*) et le Bharal semblent être des espèces réceptives voire mêmes sensibles. A ce jour, les tests sérologiques afin de réaliser au mieux un suivi de population ne sont plus disponibles. La vaccination peut être envisage dans certains cas, et notamment lorsqu'une population d'individus protégées est mise en péril par la maladie.

Enfin, en l'absence de connaissances plus approfondies, les moyens de lutte consistent principalement en des mesures hygiéniques et prophylactiques (existence d'un vaccin disponible à l'importation). La lutte en phase aiguë n'est pas réellement documentée mais un traitement antibiotique est généralement réalisé.

Mots-clés: AVORTEMENT, SALMONELLOSE ABORTIVE, *SALMONELLA ENTERICA*, PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION, ANIMAUX EN CAPTIVITÉ, FAUNE SAUVAGE, OVIN, CAPRIN, PARC ZOOLOGIQUE

Jury:

Président:
Directeur: Pr. MILLEMANN Yves
Assesseur: Dr. ARNE Pascal
Invité: Dr. KOHL Muriel

SALMONELLA ABORTUSOVIS IN WILD RESTRAINED CAPRINES IN TWO ZOO PARKS

DUBY Dylan

Summary:

Salmonella enterica subsp *enterica* serovar Abortusovis is a major cause of reproductive failure in domestic small ruminants. Colonisation of the foeto-placental unit in sheep and goats causes abortion as well as neonatal morbidity and mortality. Massive vaginal excretion of *Salmonella* Abortusovis in the postpartum period is considered to be the main source of contamination of the environment. In Europe, several studies on domestic flocks show a high prevalence of *Salmonella* Abortusovis infection. *Salmonella* Abortusovis is responsible for reproductive failure in wild chamois (*Rupicapra rupicapra*) and its transmission is possible between domestic small ruminants and wild sheep and goats. Following several reproductive problems in a population of Himalayan blue sheep *(Pseudois nayaur*) at the Ménagerie du Jardin des Plantes (MJP) in Paris, France, serological analyses revealed infection by *Salmonella* Abortusovis. The aim of this study was to determine whether *Salmonella* Abortusovis is involved in reproductive failure in captive wild caprine populations and determine a management plan for positive individuals in zoological collections.

The study focused on all Caprini presented at the MJP as well as animals from the Parc Zoologique et Botanique de Mulhouse (PZBM). A serological survey using agglutination by micro-titration on 202 caprine *sera* was carried out (MJP: 31 simple *sera* taken in 2014 and 100 simple *sera* from serum bank (2003-2014) / PZBM : 11 simple *sera* taken in 2015 and 99 simple *sera* from serum bank (2003-2015)).

Proportions of seropositive animals in MJP and PZBM, respectively, did not significantly differ. Males as well as females were found seropositive. The mean age of seropositive individuals was about 6,7 years and wasn't found significantly different from negative individuals mean age (5,4 years) ($p=0.08$).

The results of our study seems to indicate that *Salmonella* Abortusovis circulate in the study collection and is thus an issue for reproductive management of the concerned species. A study based on a sample with more individuals could be interesting in order to conclude on the whole population of wild caprine in zoos. We have found 5 % of individuals that are positive. Male and female seropositive proportions seem to be the same. Finally, Siberian Ibex (*Capra sibirica*) and Blue sheep (*Pseudois nayaur*) could be receptive and maybe even susceptible species. Unfortunately, serological tests able to detect carrier individuals in collections are no more available.

Without any more knowledge on this topic, the main way to fight against the disease is to apply sanitary measures and prophylactic ones (a vaccine may be imported from Spain). The acute phase treatment is not really documented but an antibiotic treatment is used to be done.

Keywords: ABORTION, ABORTIVE SALMONELLOSIS, *SALMONELLA ENTERICA*, REPRODUCTIVE PATHOLOGY, RESTRAINED ANIMALS, WILDLIFE, SHEEP, GOAT, ZOOLOGICAL PARK

Jury:

President:

Directeur: Pr. MILLEMANN Yves

Assesseur: Dr. ARNE Pascal

Guest: Dr. KOHL Muriel