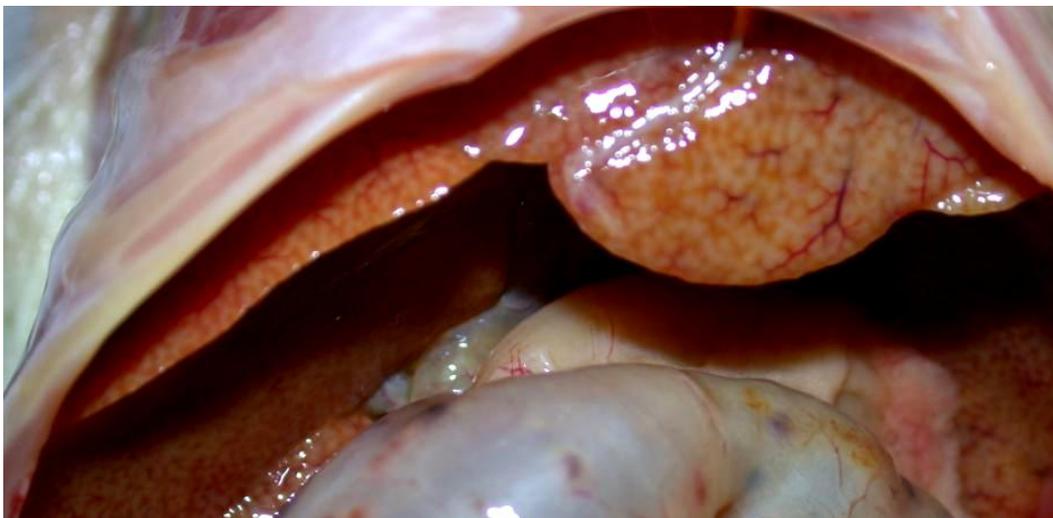


DEUXIÈME PARTIE : ENQUÊTE DANS QUATRE PARCS ZOOLOGIQUES EN FRANCE

Le projet a comme point de départ la découverte fortuite d'une capillariose hépatique chez un tamarin bicolore (*Saguinus bicolor*) à Mulhouse, en 2005. Dans le cadre d'un programme de reproduction, une femelle tamarin bicolore née en captivité au parc zoologique de Jersey, coordinateur du programme d'élevage européen de cette espèce, a été transférée au parc zoologique et botanique de Mulhouse quelques années après sa naissance. Deux ans après son arrivée, l'animal est décédé brutalement sans signe annonciateur. Le diagnostic de certitude a été posé suite à l'analyse histopathologique d'un échantillon de foie prélevé lors de l'autopsie de l'animal. Le foie était plutôt pâle, parsemé de ponctuations jaunâtres coalescentes et fermes à la coupe évoquant une hépatite granulomateuse (Figure 13).

Figure 13 : Aspect macroscopique du foie d'une femelle tamarin à l'ouverture de la cavité abdominale



Le compte-rendu histopathologique indiquait qu'il s'agissait d'une hépatite portale chronique, multifocale à coalescente, avec présence d'éléments parasitaires en nombre important dans le parenchyme hépatique. Les éléments parasitaires observés étaient des œufs de nématodes. Leurs caractéristiques morphologiques et leur localisation évoquaient en premier lieu *Capillaria hepatica*.

Les micro-rongeurs étant les principaux réservoirs du parasite, une campagne de piégeage a donc été mise en place dans l'enceinte du parc de Mulhouse afin d'évaluer la prévalence de la capillariose hépatique. Les parcs zoologiques de Vincennes, de La Palmyre et de la Tête d'Or ont également décidé d'entreprendre la même enquête au sein de leur établissement. Cette étude présente l'ensemble des résultats de ces campagnes.

Signalons que d'autres cas de capillariose hépatique ont été rapportés chez des primates. L'examen postmortem de gorilles des montagnes (*Gorilla beringei beringei*) au Parc National des Volcans au Rwanda, a mis en évidence dix cas de capillariose hépatique à *Capillaria hepatica* sur dix-neuf gorilles autopsiés (PIZZI *et al.*, 2008). Ces cas soulignent la vulnérabilité des Primates à l'infection par *Capillaria hepatica* et montre la nécessité de rechercher le parasite. Le premier cas de capillariose décrit chez un ouistiti date de 2001. Il s'agit d'un ouistiti de Geoffroy (*Callithrix geoffroyi*) mâle. À l'autopsie, seul le foie présentait des lésions macroscopiquement visibles (FERNANDEZ-BELLON *et al.*, 2001).

I. Objectifs de l'étude

Cette étude a été menée dans quatre parcs zoologiques français. Il s'agissait d'une enquête descriptive permettant de connaître la situation de la capillariose au sein de la population de micro-rongeurs des parcs zoologiques de Mulhouse, de Vincennes, de la Tête d'Or et de La Palmyre en novembre 2011, en vue de l'élaboration d'un programme de prophylaxie.

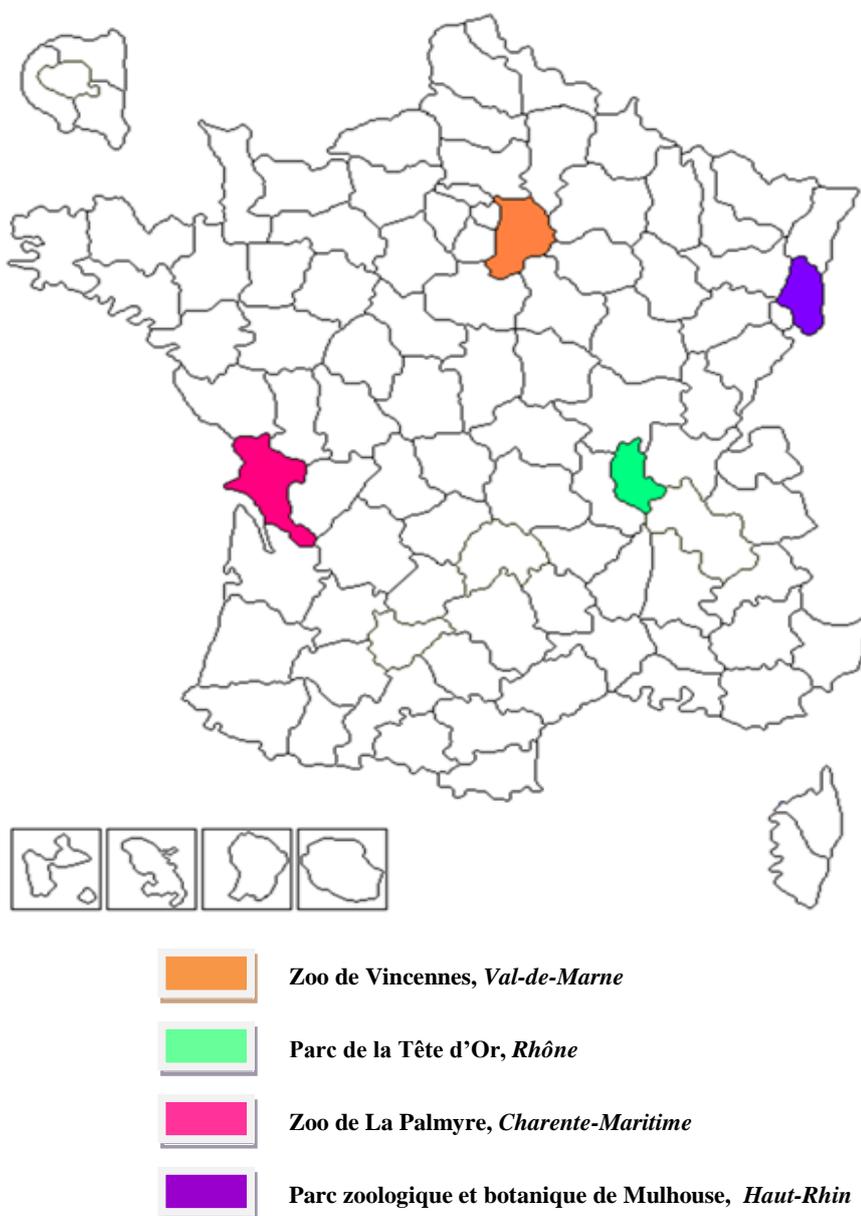
II. Matériels et méthodes

A. Description générale des quatre parcs

a. Répartition géographique des quatre parcs

Les parcs zoologiques de Lyon, Mulhouse et Vincennes sont tous les trois soumis à un climat de type continental. Les hivers sont rudes et les été chauds avec beaucoup d'orages. À la Palmyre, le climat est océanique avec des hivers doux et très humides marqués par des pluies intermittentes et surtout de la bruine ; l'été est beaucoup plus sec mais frais (Figure 14).

Figure 14 : Répartition géographique des quatre parcs participant à l'étude



b. Plans des parcs

Les parcs étudiés ont été représentés par un plan généraliste (Figure 15, 16 et 17) qui permet d'avoir un aperçu de la localisation des piégeages dans les primateries de chacun.

Figure 15 : Plan du parc zoologique de Mulhouse (25 ha)



Figure 16 : Plan du parc zoologique de La Palmyre (18 ha)

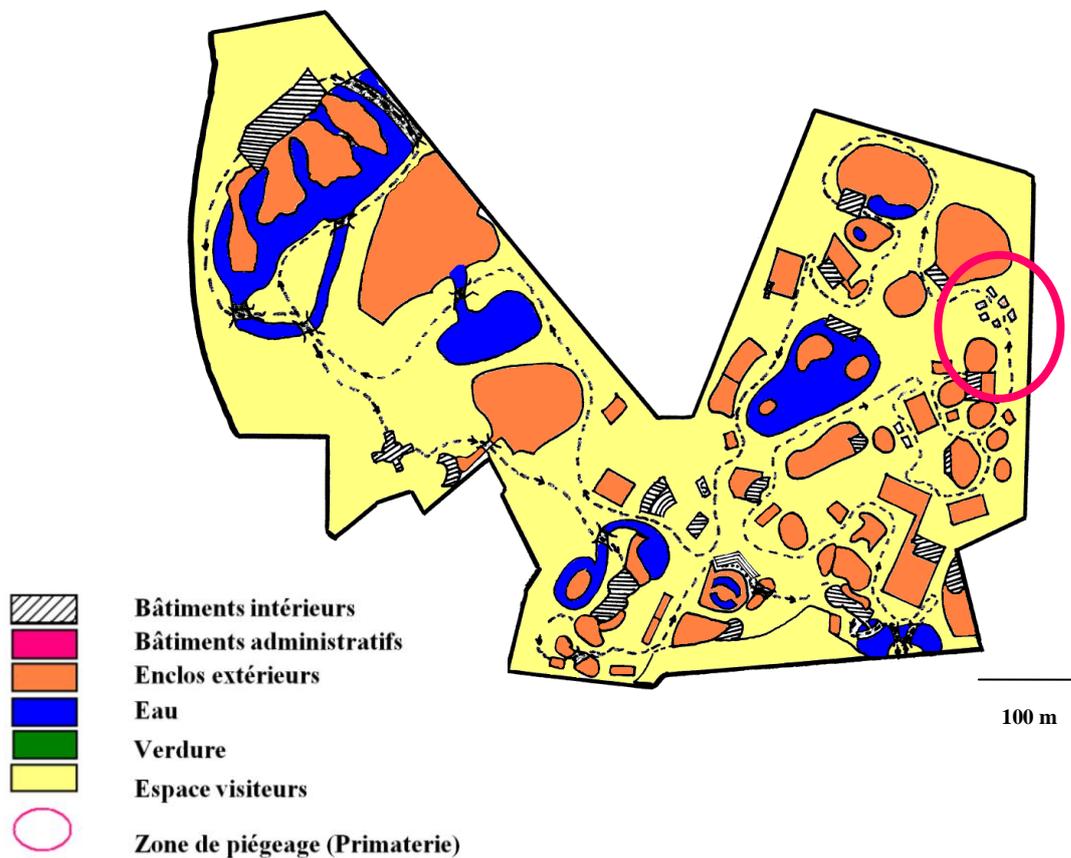
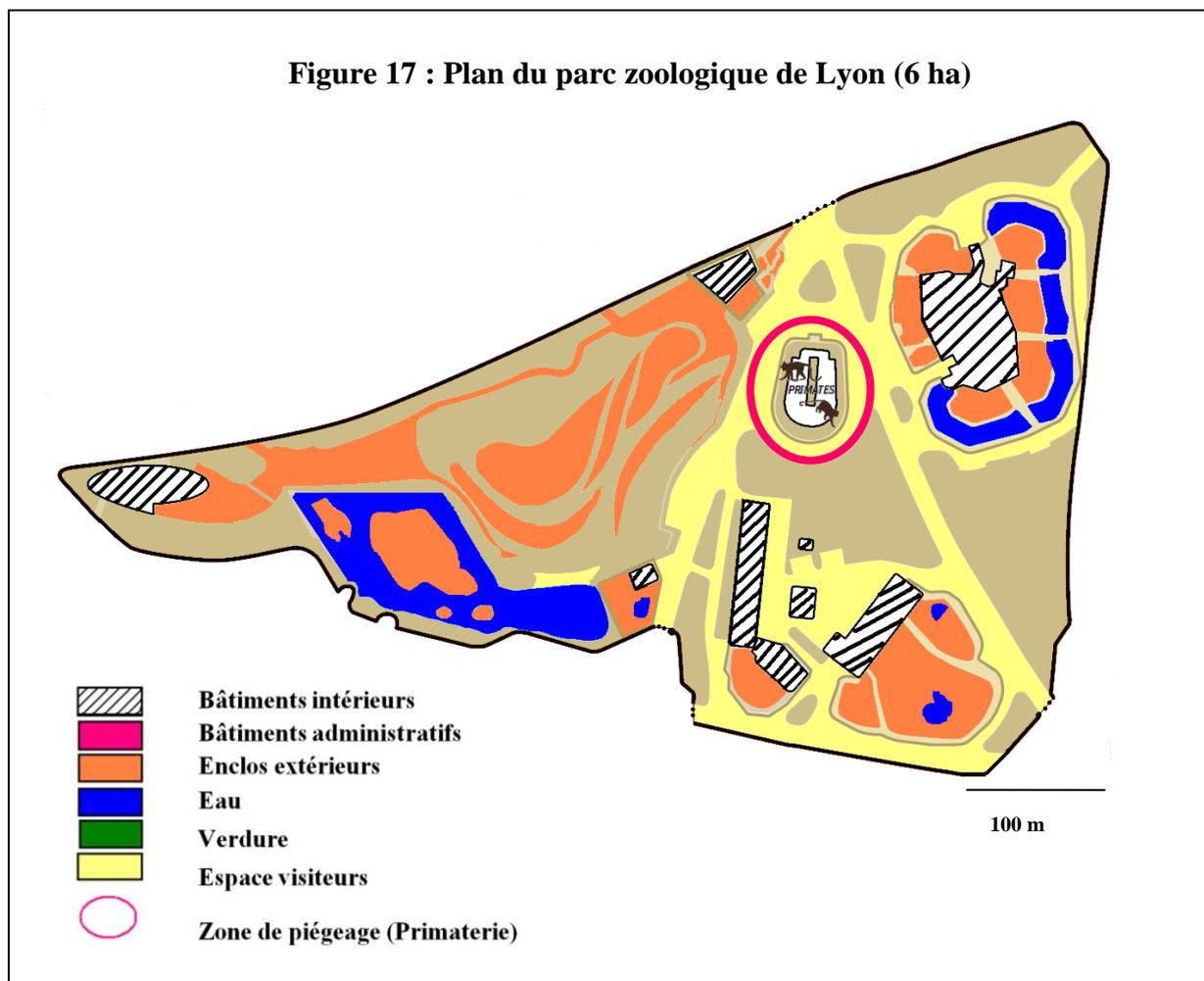


Figure 17 : Plan du parc zoologique de Lyon (6 ha)



Le parc zoologique de Vincennes (14,5 ha) étant en travaux depuis 2008, les pièges ont été disposés dans l'enclos des girafes, alors seules résidentes.

c. Collection et nombre de visiteurs

Le parc zoologique de Mulhouse est l'un des plus anciens parcs de France. Aujourd'hui, il compte 1200 animaux dans un jardin qui abrite plus de 3000 plantes variées. Le nombre de visiteurs augmente chaque année avec la rénovation progressive des enclos du parc et l'arrivée de nouveaux animaux, tels que les wallabies des roches ou bien la tortue géante des Seychelles. Le parc de la Tête d'Or à Lyon est un parc qui a plus de 150 ans aujourd'hui. Il compte moitié moins d'animaux qu'à Mulhouse, et son entrée est totalement libre pour le public. Le parc zoologique de Vincennes, plus récent que les deux derniers parcs suscités, a fermé ses portes en 2008 pour une rénovation complète de ses enclos qui devrait s'achever en 2014. Enfin, le parc zoologique de La Palmyre, le plus récent des parcs étudiés fait partie des parcs les plus visités en France (Tableau 4).

Tableau 4 : Nombre moyen de visiteurs par an dans les 4 parcs zoologiques étudiés

Mulhouse	370 000
La Palmyre	700 000
Lyon	Entrée libre.
Vincennes	Fermé, en travaux (2008-2014)

A l'exception de Vincennes, la diversité animale exposée dans les parcs est vaste. A Mulhouse par exemple, 8 espèces de Callitricidés sont représentées (Tableau 5).

Tableau 5 : Espèces présentes dans les quatre parcs étudiés

	Primates	Carnivores	Herbivores	Oiseaux	Reptiles	TOTAL
Mulhouse	33	18	16	91	7	165
La Palmyre	29	16	16	35	17	113
Lyon	15	7	5	17	3	47
Vincennes	0	0	1	0	0	1

Le parc zoologique de Mulhouse, point de départ de l'étude, compte également un nombre de tamarins bicolores important comme l'indique le

Tableau 6. Les parcs zoologiques de La Palmyre et de Lyon ont participé à l'étude car ils possèdent également des tamarins bicolores. Le zoo de Vincennes n'expose en revanche pas de tamarins bicolores.

Tableau 6 : Nombre de tamarins bicolores dans les quatre parcs étudiés

Mulhouse	16	11 mâles, 5 femelles
Lyon	1	1 mâle, 1 femelle
La Palmyre	4	2 mâles, 2 femelles
Vincennes	0	0

d. Caractéristiques environnementales

Les parcs zoologiques de Mulhouse, Lyon et Vincennes sont tous les trois des parcs situés au cœur d'une grande ville, contrairement au parc zoologique de La Palmyre qui se trouve plutôt excentré. Cependant, la région étant très touristique, le nombre de visiteurs est particulièrement élevé durant la période estivale (Tableau 7).

Tableau 7 : Caractéristiques environnementales des parcs étudiés

Mulhouse	Parc botanique → grande variété végétale, grands espaces verts.
La Palmyre	Parc balnéaire → enclos principalement constitués de sable.
Lyon	Parc publique à entrée libre avec chiens acceptés en laisse.
Vincennes	Parc fermé durant la seconde campagne de piégeage pour travaux.

e. Enclos des tamarins bicolores

- Description

Parc zoologique et botanique de Mulhouse

Le plus grand des enclos extérieurs des tamarins bicolores n'est pas visible du public à Mulhouse (Figures 18 et 19). Il n'héberge cependant pas les principaux couples reproducteurs. Il se situe en arrière du bâtiment de la singerie, dans les feuillages des arbres et buissons des alentours et à proximité de la benne à déchets. Il s'agit d'un environnement idéal pour les micro-rongeurs, source de nourriture et terriers y sont rassemblés.

Figure 18 : Enclos extérieur des tamarins bicolores au zoo de Mulhouse



Figure 19 : Vue rapprochée de l'enclos extérieur des tamarins bicolores au zoo de Mulhouse



Les deux autres enclos extérieurs sont, eux, visibles par le public. Ils sont fermés par des vitres excepté au niveau du toit bipente où un pan consiste en un simple grillage (Figure 20 et 21).

Figure 20 : Toit bipente



Figure 21 : Enclos extérieur semi-fermé des tamarins bicolores à Mulhouse



Parc de la Tête d'Or à Lyon

L'enclos extérieur des bicolores à Lyon suit le même principe que les enclos extérieurs semi-fermés de Mulhouse. Le toit est grillagé. Les autres pans sont des vitres (Figure 22).

Figure 22 : Enclos extérieur semi-fermé des tamarins bicolores à Lyon



Parc zoologique de La Palmyre

L'enclos des tamarins bicolores à La Palmyre est très végétalisé, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur. Il est entièrement constitué d'un grillage fin permettant cependant le passage de micro-rongeurs à la fois par le toit et le sol (Figures 23 à 25).

Figure 25 : Enclos extérieur des tamarins bicolores à La Palmyre

Vue de côté



Figure 24 : Dessus de l'enclos extérieur des tamarins bicolores à La Palmyre



Figure 23 : Enclos extérieur des tamarins bicolores à La Palmyre



Parc zoologique de Vincennes

Aucun tamarin bicolore n'y est représenté.

- Nettoyage des enclos

Le nettoyage des enclos permet de relever la présence de cadavres de rongeurs. Il permet aussi, par la simple présence de l'homme, de repousser les nuisibles. Ainsi, l'éloignement des nuisibles sera généralement d'autant plus efficace que le nettoyage est fréquent. Il permet également de retirer les restes de nourritures qui attirent les rongeurs. Associé à une dératisation efficace, il peut contribuer à une nette diminution de la fréquentation des enclos extérieurs par les nuisibles. Le Tableau 8 détaille les fréquences de ratissage et de dératisation à Mulhouse, La Palmyre et Lyon.

Tableau 8 : Ratissage et dératisation de l'enclos des tamarins bicolores à Mulhouse, La Palmyre et Lyon

	Mulhouse	La Palmyre	Lyon
Type de sol	Terre	Sable	Terre et Mulch
Fréquence de ratissage	Tous les 2 ou 3 ans	Quotidienne	Quotidienne
Dératisation	Saisonnnière	Continue sur l'année	Continue sur l'année

f. Végétation

La végétation est un point essentiel dans la création d'un enclos. Elle peut servir de décor, d'alimentation (bambou chez les hapalémurs) ou d'enrichissement pour l'espèce maintenue en captivité. Elle ne doit pas être toxique et doit au mieux correspondre à l'habitat naturel. Le choix de la végétation doit également prendre en compte les nuisibles qui peuvent être attirés ou repoussés par certaines plantes. L'armoïse, l'euphorbe (sève irritante pour la peau et les yeux) et la menthe sont des plantes connues pour éloigner les rongeurs.

Quelques caractéristiques des plantes présentes dans les enclos de Mulhouse et de La Palmyre sont présentées dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Plantes présentes dans les enclos extérieurs des tamarins bicolores de Mulhouse et de Lyon

PARC ZOOLOGIQUE ET BOTANIQUE DE MULHOUSE	
Symphorine (<i>Symphoricarpos albus</i>)	Ses racines stabilisent le sol et donc favorisent la formation de terriers par les rongeurs Les baies blanches peuvent provoquer vomissements et vertiges
Figuiers commun (<i>Ficus carica</i>)	Contient des parties irritantes, piquantes ou urticantes.
Vigne-vierge (<i>Parthenocissus quinquefolia</i>)	Les baies contiennent de l'acide oxalique qui est un composé toxique pour les Mammifères
Petit Paulownia	Pas de toxicité rapportée
Ronce commune (<i>Rubus fruticosus</i>)	Fruit attirant particulièrement le muscardin, petit rongeur roux (<i>Muscardinus avellanarius</i>)
Plantain majeur (<i>Plantago major</i>)	Sa présence indique que le sol est très tassé
Ray-grass anglais (<i>Lolium perenne</i> L.)	Pas de toxicité rapportée
ZOO DE LA PALMYRE	
Bambou (<i>Phyllostachys</i> sp.)	Pas de toxicité rapportée
Vigne-vierge (<i>Parthenocissus quinquefolia</i>)	Les baies contiennent de l'acide oxalique qui est un composé toxique pour les Mammifères
Douce-amère (<i>Solanum dulcamara</i>)	Baies toxiques contenant des alcaloïdes de type atropinique
Érable champêtre (<i>Acer campestre</i>)	Pas de toxicité rapportée
Cardiosperme merveilleux (<i>Cardiospermum grandiflorum</i>)	Pas de toxicité rapportée

B. Protocole général de l'enquête

Les micro-rongeurs sauvages circulant dans l'enceinte de chaque parc zoologique étudié représentaient les 4 populations de l'étude. Initialement, très peu de données régionales, tant quantitatives que qualitatives, étaient disponibles à leur sujet.

Dans cette étude, chaque « cas » était représenté par un micro-rongeur appartenant à une des 4 populations étudiées.

Le questionnaire relatif à cette étude est fourni en ANNEXE 2 : Questionnaire. Il a été présenté aux vétérinaires enquêteurs lors de la réunion de l'Association Française des Vétérinaires de Parc Zoologique (AFVPZ) le 14 octobre 2011. Une explication détaillée du protocole a ainsi pu être effectuée. Ce dernier comprenait l'étude de la prévalence de la maladie selon les critères de chaque population (longueur et poids permettant une estimation de l'âge de chaque individu, sexe, état d'embonpoint, état général, espèce), l'étude de la prévalence de la maladie en fonction des caractéristiques de chaque parc (climat, présence ou absence de tamarins bicolores, plantes présentes dans les enclos) et enfin, la présence et la fréquence des mesures préventives (fréquence de nettoyage des enclos extérieurs, fréquence de dératisation).

C. Piégeage et analyses

g. Mise en place du piégeage

1. Types de piège

Afin de standardiser la méthode de piégeage, des tapettes à souris et à rats ont servi lors de toutes les récoltes de rongeurs dans les différents parcs participant à l'étude. Le principal intérêt de ces pièges était d'entraîner une mort rapide de l'animal.

Deux tailles de pièges ont été utilisées pour assurer d'une part le piégeage des rats et autres espèces de taille similaire, et d'autre part, le piégeage des souris et autres espèces de taille similaire.

2. Localisation des pièges

Chaque piège possédait une lettre écrite à l'aide d'un marqueur indélébile et sa localisation a été précisément répertoriée sur une fiche (ANNEXE 2 : Questionnaire). Chaque animal piégé était donc associé à une lettre.

Au total, 16 pièges ont été placés dans chaque parc :

- cuisine centrale : 2 tapettes souris et 2 tapettes rat ;
- enclos des bicolores :

- enclos extérieurs :
 - 2 tapettes souris et 2 tapettes rat à l'intérieur de l'enclos lorsque les animaux étaient rentrés le soir ; les pièges étaient retirés le lendemain matin avant de sortir les animaux ;
 - 2 tapettes souris et 2 tapettes rat autour de l'enclos extérieur.
- enclos intérieurs :
 - 2 tapettes souris et 2 tapettes rat dans le couloir proche de l'enclos des tamarins bicolores.

Durant les journées ensoleillées, les animaux pouvaient encore être amenés à sortir dans les enclos extérieurs. Il fut donc important de bien vérifier le retrait des pièges avant de les laisser sortir.

3. Types d'appât

Les appâts utilisés étaient des morceaux de pomme (aliment très apprécié par les rongeurs) ou des restes de repas des Callitricidés (par exemple des morceaux de gruyère au parc zoologique de Mulhouse). Des noisettes ont également été utilisées car leur fruit étant bien accrochés, le piège avait alors plus de chance de se déclencher.

h. Matériel et méthode de prélèvement

1. Heures de disposition et de retrait des pièges

La gestion des pièges dépendait des horaires des soigneurs, propres à chaque parc zoologique. Les pièges étaient amorcés le soir, lorsque les soigneurs terminaient leur journée, et retirés le lendemain matin, avant la sortie des animaux dans les enclos extérieurs.

2. Récolte des individus piégés

Après s'être équipé de gants en latex, le soigneur récoltait les rongeurs des différents pièges dont il s'occupait et les déposait individuellement dans un papier absorbant sur lequel était noté la date du jour et le numéro du piège. Tous les rongeurs récoltés étaient ensuite déposés dans un récipient clos et placés au réfrigérateur jusqu'à ce qu'ils soient collectés dans la matinée par le vétérinaire.

3. Prélèvement du foie et mesures associées

Après avoir précisément déterminé son espèce, l'animal était pesé à l'aide d'une balance de précision (au gramme près) et mesuré à l'aide d'un double décimètre (tête - base de la queue) pour déterminer approximativement son âge. Le sexage était aisé et confirmé lors de l'ouverture de la cavité abdominale.

L'état général de l'animal était rapidement précisé (bon vs mauvais) ainsi que son état d'embonpoint (échelle de 1 à 5 ; 1 = « maigre », 5 = « obèse »).

Le foie était ensuite soigneusement prélevé dans son intégralité après avoir été bien individualisé puis, coupé en deux parties à peu près égales dont l'une (partie droite dans l'animal) était conservée au congélateur dans un pot à urine, et l'autre, dans un pot de formol tamponné à 10 %.

4. Examen macroscopique des foies de la deuxième campagne

L'intensité de l'infestation était évaluée par l'observation à l'œil nu de l'étendue des lésions à la surface du foie : elle était qualifiée de faible, modérée ou sévère. Ainsi, les lésions discrètes ne touchant la plupart du temps qu'un seul lobe caractérisaient une infestation de faible intensité. Des lésions nombreuses et intéressant approximativement 50 % du foie caractérisaient une infection d'intensité modérée. Quant aux lésions touchant plus de 50 % de la surface du foie, elles caractérisaient une infestation sévère.

Pour chaque intensité d'infestation, la présence du parasite était ensuite recherchée par examen histopathologique.

5. Examen histopathologique des foies

Après un examen macroscopique détaillé des foies, une à deux sections ciblant des lésions macroscopiquement visibles, ou une à deux sections prises au hasard sur les foies macroscopiquement sains ont été soumises à une analyse histopathologique. Cet examen concernait tous les foies et permettait de vérifier la présence d'œufs de *Capillaria hepatica*.

Après un minimum de deux semaines de fixation dans le formol, les foies étaient coupés en fines tranches d'environ 3,5 mm d'épaisseur à l'aide d'une lame de scalpel. Ces tranches étaient disposées dans une cassette portant un numéro unique associé au prélèvement et écrit

au marqueur indélébile. Chaque cassette contenait les prélèvements de foie issus de quatre animaux différents (voir infra).

Les échantillons étaient ensuite traités selon la technique de préparation histologique standard, coupés en section de 3,5 μm et colorés à l'hémalun-éosine-safran (HES).

6. Examen parasitologique des foies de la deuxième campagne

Cette méthode concernait les foies présentant des lésions macroscopiques suspectes. Elle nous permettait à la fois de mettre en évidence des œufs à l'aide d'une méthode d'observation directe, mais également de confirmer l'absence d'œufs au sein des foies ne présentant pas de lésions macroscopiques.

Après décongélation rapide du foie à température ambiante, un premier rinçage était effectué pour retirer tous les débris éventuels. Les prélèvements étaient ensuite soigneusement écrasés à l'aide d'un mortier puis rincés avec du sérum physiologique (NaCl 0.9%) au travers d'un filtre de maille 110 μm de diamètre. Le filtrat obtenu était à nouveau filtré au travers d'un filtre de plus petit diamètre (40 μm de diamètre) censé retenir les œufs de *Capillaria hepatica*. Deux fractions de 100 μL du second filtrat ont ensuite été prélevées et déposées dans une lame de Malassez pour le comptage par foie.

La forme de citron, la capsule bi-operculée et la paroi striée étaient des critères morphologiques permettant de conclure à la présence d'œufs de *Capillaria hepatica*.

D. Échantillonnage

L'enquête ne portait pas sur la totalité des populations étudiées mais uniquement sur des échantillons de ces populations. Le résultat n'est donc qu'une estimation de la prévalence réelle.

La précision dépend de la taille de nos échantillons. Plus l'échantillon est grand, plus la dispersion des résultats obtenus est limitée autour du taux réel d'infestation (courbe de Gauss). Réciproquement, le niveau de précision souhaité conditionne la taille de l'échantillon. Chacun de nos échantillons constituait un échantillon aléatoire stratifié. En effet, deux types de tapettes ont été utilisés pour le piégeage. L'une permettant d'attraper les rongeurs dont la taille est plus proche de celle du rat, et l'autre ceux dont la taille est plus proche de la souris. La stratification fut donc réalisée en fonction de la taille des animaux, ceci permettant de

regrouper des animaux de taille homogène. Un animal de taille proche de celle de la souris ne peut pas déclencher une tapette à rat et inversement un rat emporterait une tapette à souris. Les deux groupes ont donc parfaitement été distingués. Une pondération de chaque strate était donc nécessaire dans le calcul de la prévalence moyenne totale.

E. Taille des échantillons

L'enquête descriptive portant sur chacun de nos échantillons avait un objectif quantitatif d'estimation de la proportion d'animaux atteints de capillariose. Le résultat obtenu sur chaque échantillon devait donc être accompagné d'une marge d'incertitude liée aux fluctuations d'échantillonnage.

La précision d'une estimation faite à partir d'un échantillon dépend de l'écart-type, qui, lui-même, dépend de la proportion de la population introduite dans l'échantillon. Comme nous l'avons précisé précédemment, les données régionales concernant la taille des populations de rongeurs étaient inexistantes. Nous nous étions donc basés sur l'hypothèse que la taille de chaque échantillon ne représentait qu'une faible proportion (< 10 %) des populations. Nous avons choisi une précision relative (quotient de la précision absolue sur la proportion d'animaux atteints) de 90 %. Les premiers échantillonnages réalisés dans le passé nous ont permis d'estimer la prévalence attendue pour chaque échantillon et ainsi de déterminer la taille des échantillons. C'est pour cette raison que seuls les parcs ayant effectué une première campagne de piégeage ont été choisis pour l'étude.

a. Estimation de la prévalence attendue pour chaque échantillon

Bien que les foies récoltés lors de la première période de prélèvement (2005 - 2010) n'aient pas fait l'objet d'une description macroscopique, leur aspect macroscopique a pu être analysé après fixation.

Un numéro a été attribué à chaque parc au laboratoire d'anatomie-pathologique d'Alfort où ont été réalisées les analyses. Les foies ont tout d'abord été répartis par espèce. Ensuite, chaque foie a été récupéré à l'aide d'une pince, sous hotte, puis découpé en fines tranches (environ 3 mm de large) à l'aide d'une lame de scalpel. Une tranche de chaque lobe gauche et

médial, si possible présentant une lésion suspecte, était déposée dans une cassette contenant chacune quatre tranches de quatre foies. Chaque cassette comportait le numéro du parc ainsi qu'un numéro unique dont le principe est le suivant :

- « A » pour « souris »
- « B » pour « mulot »
- « C » pour « campagnol »
- « D » pour « musaraigne »
- « E » pour « lérot » ou « rat » selon le zoo

Puis, dans l'ordre de remplissage, les cassettes ont été numérotées à l'aide de nombres croissants. Par exemple, « 11-1629-50 A1 » est un numéro où A désigne l'espèce « souris » et 1 désigne la première cassette comportant les quatre premiers foies de souris de Mulhouse (11-1629-50 est le code interne au laboratoire désignant le zoo de Mulhouse).

Les foies ont donc été examinés 4 par 4 afin de limiter le coût global de l'étude.

La prévalence attendue pour chaque parc et selon chaque espèce a été indiquée dans le tableau 10, ainsi que la taille minimum de l'échantillon (lois binomiale et normale) :

Tableau 10 : Prévalences attendues pour chaque zoo et selon chaque espèce et taille minimum de l'échantillon (lois binomiale et normale)

	Rats	Taille de l'échantillon	Musaraignes	Taille de l'échantillon
Mulhouse			31%	17
Lyon	9%	50	25%	20
Vincennes	15 %	33		

La prévalence de la capillariose étant nulle à La Palmyre, aucun échantillon prédictif n'a été calculé.

b. Dates et durée de l'échantillonnage

La campagne de piégeage servant de support à cette étude s'étendait du 1^{er} au 30 novembre 2011. Il était important d'évaluer la prévalence à cette époque afin d'estimer le risque d'infestation pour les Mammifères et l'Homme au printemps, lorsque les animaux ont à nouveau été exposés dans les enclos extérieurs.

III. Résultats

A. Résultats des captures

Au total, sur les 4 parcs étudiés, 856 animaux ont été piégés sur les deux campagnes (Tableau 11). Les souris étaient largement prépondérantes, à Mulhouse, à La Palmyre et à Lyon.

Tableau 11 : Nombre total de captures sur les deux campagnes pour les 4 parcs

Parc zoologique	Espèces	Nombre
Mulhouse	<i>Mus musculus</i> (souris domestique)	160
	<i>Apodemus sp.</i> (mulot)	112
	<i>Microtus sp.</i> (campagnol)	48
	<i>Eliomys quercinus</i> (lérot commun)	1
	<i>Crocidura russula</i> (musaraigne)	40
La Palmyre	<i>Mus musculus</i> (souris domestique)	80
	<i>Apodemus sp.</i> (mulot)	32
	<i>Microtus sp.</i> (campagnol)	60
	<i>Rattus sp.</i> (rat)	40
Vincennes	<i>Rattus rattus and norvegicus</i> (rats noir et gris)	80
	<i>Mus musculus</i> (souris domestique)	1
Lyon	<i>Mus musculus</i> (souris domestique)	184
	<i>Rattus rattus</i> (rat noir)	16
	<i>Crocidura russula</i> (musaraigne)	2
		856

B. Résultats de la première campagne

Pour des raisons à la fois financières et pratiques, les foies ont été examinés par lot de 4 (une lame comportait des fragments issus de 4 foies). Dans ces conditions, la proportion d'échantillons positifs était exprimée par un intervalle. Par exemple, la présence de lésions de capillarose sur 3 fragments d'une même lame ne permettant pas de déterminer si les 3

fragments positifs appartenait au même animal (au minimum) ou à trois animaux (au maximum), nous indiquions que la lame examinée comportait 1 à 3 foies positifs.

a. Nombre de foies infestés par *Capillaria hepatica*

Les foies parasités ont été retrouvés uniquement durant la première campagne de piégeage, soit entre 2005 et 2010 (Tableau 12).

Tableau 12 : Prévalence de *Capillaria hepatica* chez les différentes espèces capturées à Mulhouse, La Palmyre, Vincennes et Lyon

	Musaraignes <i>Crocidura russula</i>	Rats <i>Rattus sp.</i>	Souris domestiques <i>Mus musculus</i>	Campagnols <i>Microtus sp.</i>	Mulots <i>Apodemus sp.</i>
Mulhouse	4-6/40 (10-15%)	Aucune capture	0	0	0
Vincennes	Non capturés	11/80 (13%)	Aucune capture	Aucune capture	Aucune capture
Lyon	1/4 (25%)	1/11 (9%)	0	Aucune capture	Aucune capture
La Palmyre	Aucune capture	0	0	0	0

Chez la majorité des musaraignes parasitées par *Capillaria hepatica*, le foie n'était pas totalement affecté, à la différence des rats où une fibrose généralisée était systématiquement mise en évidence.

Lorsque nous comparons à l'aide d'un test statistique (Fisher) le pourcentage de musaraignes piégées à Mulhouse (12,5%) et à Lyon (25%), nous constatons qu'ils ne sont pas significativement différents (Tableau 12, $p = 0,45$). Lorsque nous nous plaçons dans la situation la plus favorable pour observer une différence significative, c'est-à-dire en prenant 4/40 musaraignes piégées à Mulhouse, cette différence reste toujours non significative (Tableau 12, $p = 0,39$). De même, si nous comparons avec le même test statistique le pourcentage de rats piégés à Vincennes (13 %) et celui des rats piégés à Lyon (9 %), nous constatons également que ces pourcentages ne sont pas significativement différents ($p = 1$).

Nous pouvons donc regrouper, d'une part les musaraignes piégées à Mulhouse et à Lyon et d'autre part, les rats piégés à Vincennes et à Lyon pour pouvoir comparer la prévalence de la capillariose chez les musaraignes et les rats. Les valeurs sont indiquées dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Comparaison des taux de prévalence chez les musaraignes et les rats à Mulhouse et à Lyon

	Infestés	Non infestés	TOTAUX
Musaraignes	5-7 (11-16%)	37-39 (84-89%)	44
Rats	12 (13%)	79 (87%)	91
TOTAUX	17-19 (14-29%)	106-108 (71-86%)	135

Le pourcentage d'animaux infestés parmi les musaraignes n'était pas significativement différent du pourcentage d'animaux infestés parmi les rats (Tableau 13, $p = 0.76$ et $p = 0.67$). Sous réserve d'une étude plus approfondie avec un nombre d'animaux plus important, nous constatons donc que dans notre échantillon, les rats et les musaraignes étaient infestés de la même manière. Le faible écart de pourcentage laisse penser à des proportions similaires dans la population.

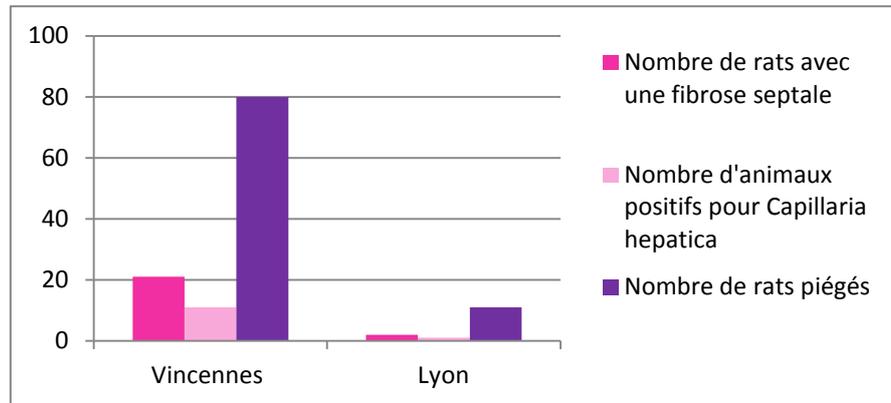
b. Fibrose septale chez les rats piégés à Lyon et Vincennes

Comme l'indiquent le Tableau 14 et la Figure 26, la prévalence de *Capillaria hepatica* atteignait 13% à Vincennes. Or, 25 % des rats, soit 1/4, présentaient de la fibrose septale. De même à Lyon, 18% des rats piégés présentaient de la fibrose septale, alors que chez seulement 9 %, les œufs ou les adultes du parasite ont été mis en évidence.

Tableau 14 : Rats piégés à Lyon et à Vincennes (première campagne) ; nombre d'animaux positifs pour *Capillaria hepatica* et présentant une fibrose septale

	Fibrose septale	Nombre d'animaux positifs	Nombre de rats piégés
Vincennes	21	11	80
Lyon	2	1	11

Figure 26 : Rats piégés à Lyon et à Vincennes (première campagne) ; nombre d'animaux positifs pour *Capillaria hepatica* et présentant de fibrose septale



C. Résultats de la deuxième campagne

c. Nombre de foies infestés par *Capillaria hepatica*

La première campagne avait pour objet de déterminer des prévalences attendues en vue d'estimer les tailles d'échantillons de la deuxième campagne nécessaires à un calcul des prévalences réelles. Malheureusement, la durée pendant laquelle il nous a été permis de mettre en place les pièges n'a pu conduire qu'à des échantillons insuffisants. Ajouté à cela, les résultats histologiques des foies de cette deuxième campagne ont tous été négatifs pour le parasite. Le calcul des prévalences n'était donc pas possible.

Un premier piégeage réalisé durant le mois d'octobre au zoo de Mulhouse indiquant que 1/4 des musaraignes piégées présentaient des œufs de *Capillaria hepatica* au sein de leur parenchyme hépatique, prouve que nos résultats ne sont pas absurdes. En effet, le faible échantillon et la faible prévalence trouvés lors de la première campagne témoignent de l'importance du nombre d'animaux piégés dans la recherche d'animaux positifs.

d. Résultats des examens macroscopique et parasitologique

Les foies examinés étaient trop autolysés pour pouvoir réaliser un examen macroscopique correct. En effet, après sortie du congélateur à -80°C , les foies décongèlent en 5 minutes. Le transport a donc été beaucoup trop long par rapport aux méthodes de conservation (pain de glace au sein d'un sac isotherme).

Tous les résultats parasitologiques sont négatifs pour *Capillaria hepatica*.

D. Lésions histologiques hépatiques associées *Capillaria hepatica*

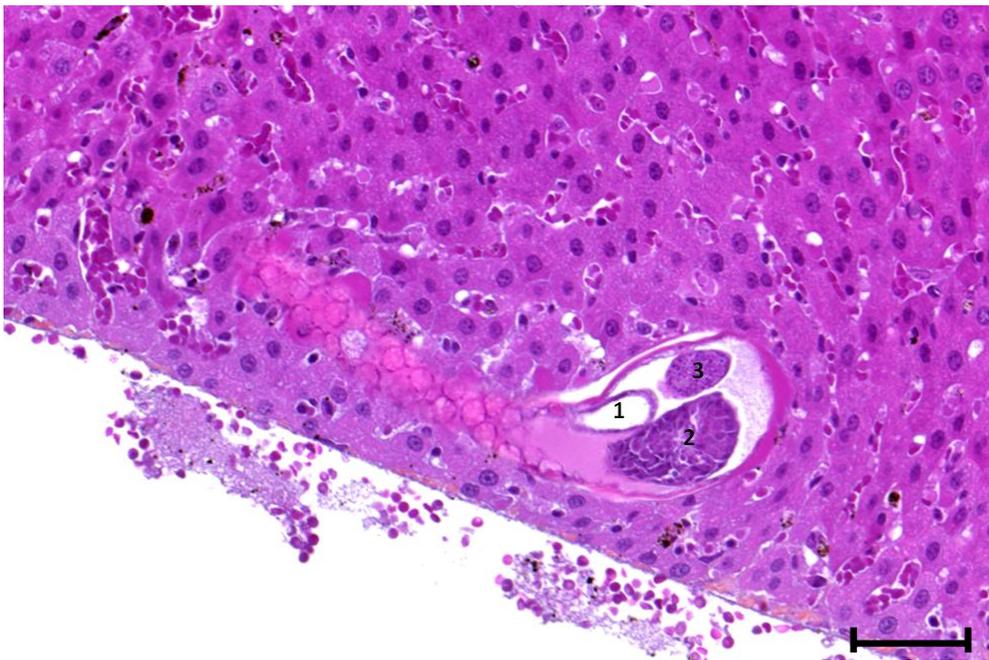
Des lésions d'hépatite aiguë nécrosante associées à la migration larvaire ainsi que des lésions d'hépatite chronique granulomateuse associées à la présence d'œufs ont été mises en évidence au sein des foies de la première campagne de piégeage.

a. Lésions d'infestation très précoce

Des lésions d'infestation très précoce ont été observées. Les Figures 27 et 28, montrent un adulte *Capillaria* en coupes longitudinale et transversale au sein du parenchyme hépatique.

Figure 27 : Coupe longitudinale d'un adulte *Capillaria hepatica* au sein du parenchyme hépatique d'un rat capturé au parc zoologique de Vincennes

Unité d'Embryologie, d'Histologie et d'Anatomie Pathologique de l'ENVA, HES

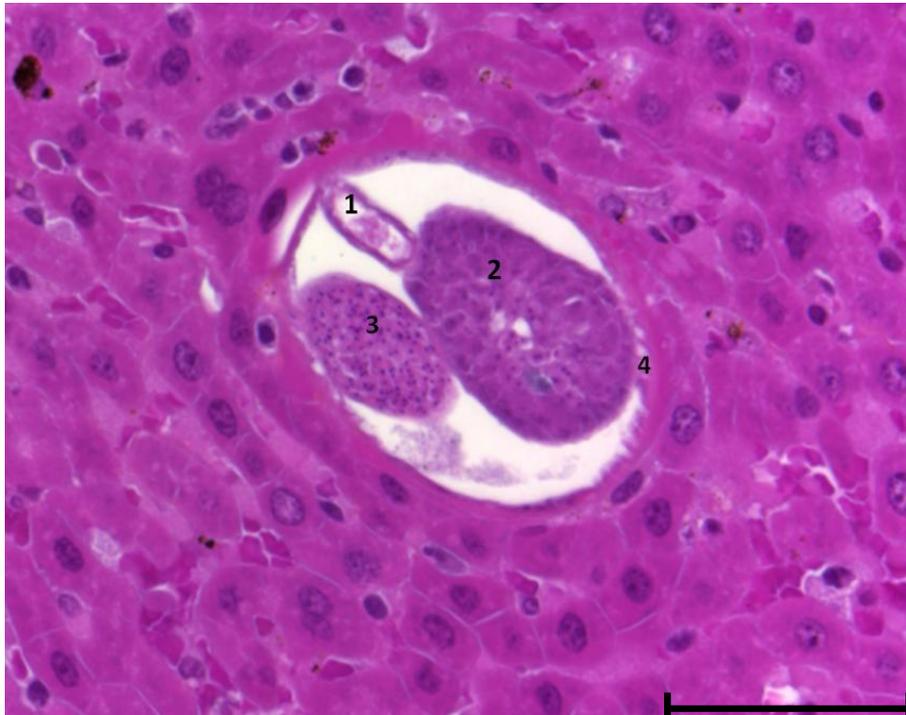


Coupe longitudinale : 1. Œsophage. 2. Schistosome. 3. Testicule.

Noter l'absence de réaction inflammatoire.

Figure 28 : Coupe transversale d'un adulte *Capillaria hepatica* au sein du parenchyme hépatique d'un rat capturé au parc zoologique de Vincennes

Unité d'Embryologie, d'Histologie et d'Anatomie Pathologique de l'ENVA, HES



100 µm

Coupe transversale : 1. Œsophage. 2. Stichosome. 3. Testicule. 4. Bande basilaire.

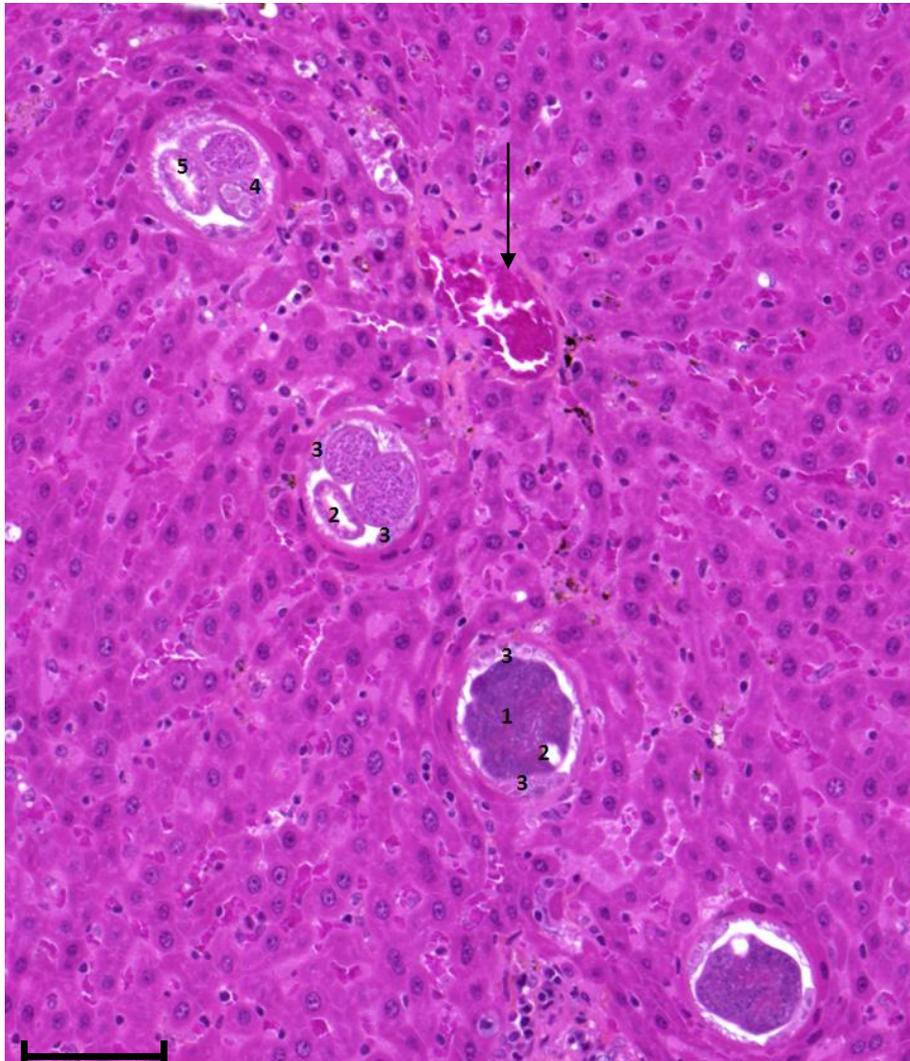
Cette coupe histologique met nettement en évidence l'absence de réaction inflammatoire dans le parenchyme hépatique en début d'infestation. Le parasite est ici simplement entouré d'hépatocytes.

b. Lésions d'infestation précoce

La plupart des foies que nous avons étudiés présentaient une inflammation périportale minime à modérée. Parfois, cette inflammation délimitait nettement le trajet d'un parasite en s'éloignant des espaces portes par lesquels le parasite infiltrait le parenchyme hépatique. En tout début d'infestation, cette inflammation restait minime et se résumait à quelques lymphocytes comme le montre la Figure 29.

Figure 29 : Coupe transversale de quatre adultes *Capillaria hepatica* au sein du parenchyme hépatique d'un rat capturé au Zoo de Vincennes

Unité d'Embryologie, d'Histologie et d'Anatomie Pathologique de l'ENVA, HES



100 µm

Coupe transversale : 1. *Stichosome*. 2. *Œsophage*. 3. *Bandes basilaires*. 4. *Utérus*. 5. *Intestin*.

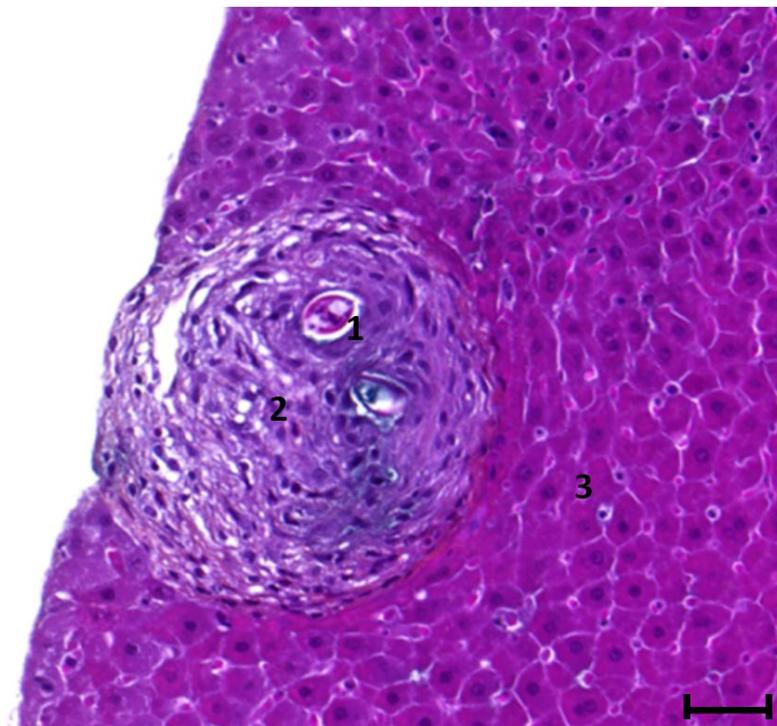
La coupe histologique est réalisée dans le parenchyme hépatique près d'un espace porte. On distingue une veine porte (flèche noire) à lumière large et à paroi mince contenant des hématies. Les structures cylindriques enchâssées dans ce parenchyme hépatique et délimitées par une fine paroi représentent les coupes transversales de nématodes. Deux bandes basilaires latérales possédant des cellules mononucléées caractéristiques des nématodes aphasmidés auxquels appartient *Capillaria hepatica*, sont légendées sur deux des quatre coupes.

c. Lésions tardives

Ces lésions se caractérisaient par une réaction inflammatoire de type granulomateuse vis-à-vis des adultes et des œufs de *Capillaria hepatica* (Figure 30Figure).

Figure 30 : Coupe transversale de deux œufs de *Capillaria hepatica* au sein d'un granulome hépatique d'une musaraigne capturée au parc zoologique de Mulhouse

Unité d'Embryologie, d'Histologie et d'Anatomie Pathologique de l'ENVA, HES



100 µm

Coupe transversale : 1. Œuf. 2. Granulome. 3. Parenchyme hépatique.

La coupe histologique hépatique d'une musaraigne met en évidence un granulome comportant deux débris d'œufs de *Capillaria hepatica*. On peut deviner les bouchons polaires sur l'un des deux. Ce granulome possède un pourtour inflammatoire avec quelques cellules géantes multinucléées.

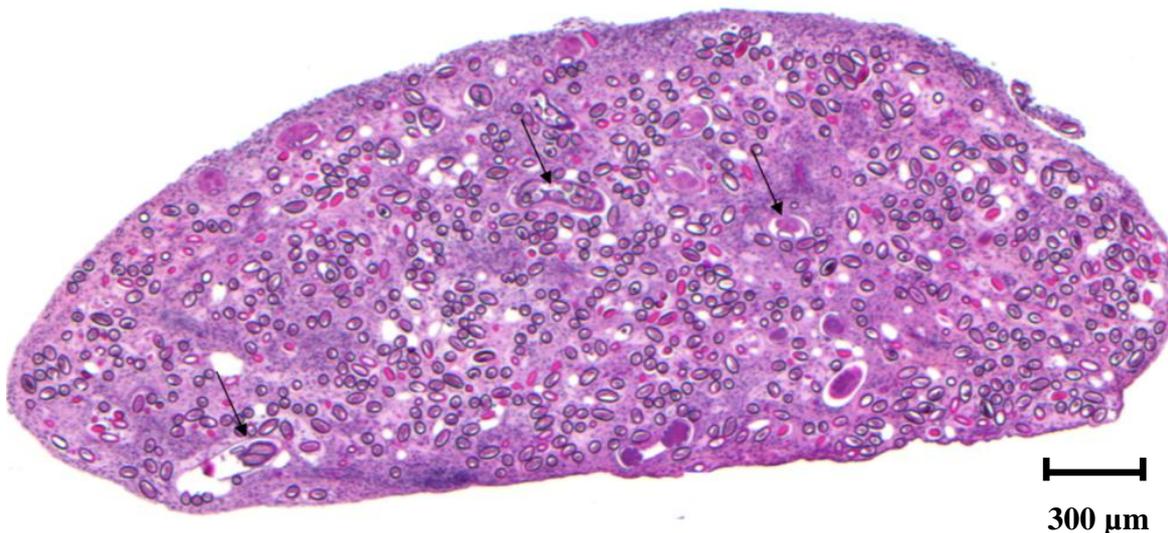
Lorsque des adultes de *Capillaria hepatica* sont retrouvés dans le foie d'un animal infesté, nous pouvons estimer la date d'infestation à l'aide d'un intervalle de confiance. La ponte débutant 20 jours après l'invasion du foie par les parasites adultes, la présence d'œufs nous indiquait donc que l'infestation remontait à au moins 20 jours, soit un intervalle de

confiance allant de 20 à 70 jours (espérance de vie des mâles adultes). L'absence d'œuf nous indiquait que l'infestation datait de moins de 20 jours.

La Figure 31 montre la coupe histologique d'un granulome isolé présentant de nombreux œufs et parasites adultes de *Capillaria hepatica*. Il s'agissait d'une infestation tardive avec forte réaction inflammatoire.

Figure 31 : Coupe transversale d'un granulome hépatique détaché du foie d'une musaraigne capturée au Zoo de Lyon et contenant, à la fois œufs et adultes (flèches) de *Capillaria hepatica*

Unité d'Embryologie, d'Histologie et d'Anatomie Pathologique de l'ENVA, HES

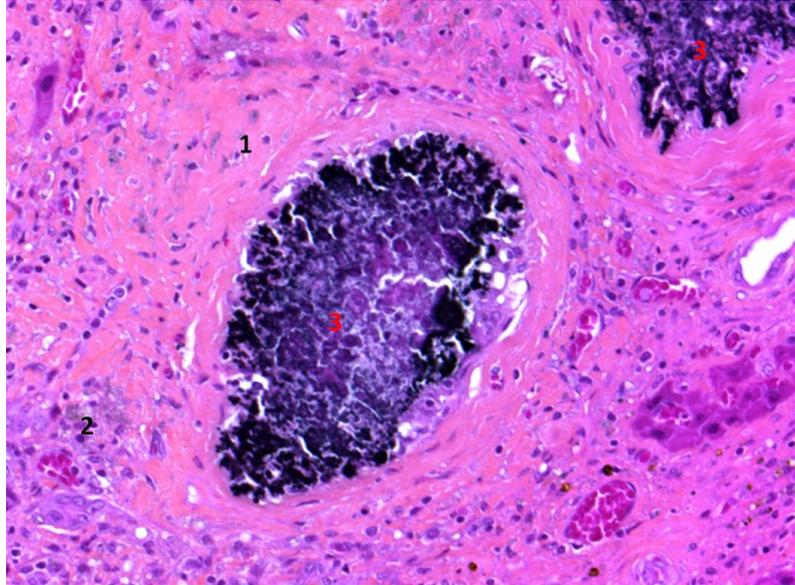


d. Lésions très tardives

Dans ces lésions, la réaction de l'hôte se manifestait par un encapsulement fibreux des parasites adultes et de ses œufs. Après leur destruction, ces derniers subissaient une minéralisation et aboutissaient à la formation de nodules fibrotiques calcifiés (Figure 32).

Figure 32 : Coupe transversale d'un adulte *Capillaria hepatica* en cours de résorption au sein du parenchyme hépatique d'un rat capturé au parc zoologique de Vincennes

Unité d'Embryologie, d'Histologie et d'Anatomie Pathologique de l'ENVA, HES

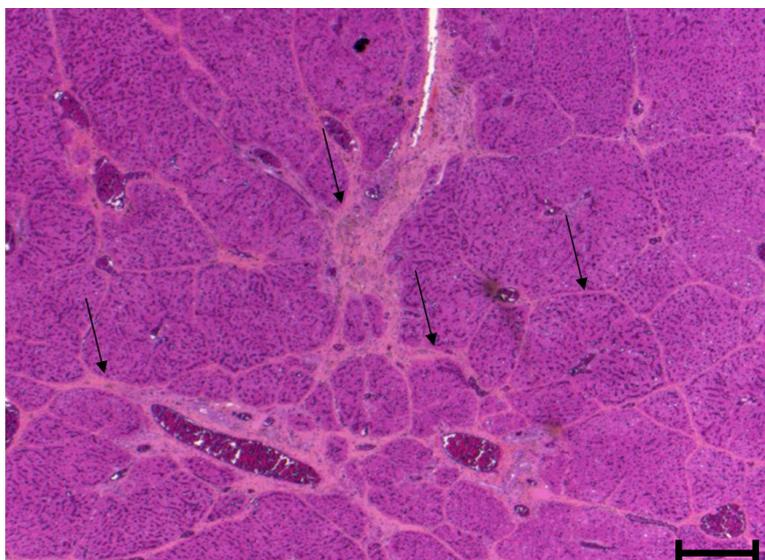


Coupe transversale : 1. Zone nécrotique. 2. Cellules inflammatoires. 3. Minéralisation.

Des lésions de fibrose septale (Figure 33) était observée chez tous les rats atteints de capillariose hépatique. Elle n'a pas été retrouvée chez les musaraignes infestées par le parasite. Ces lésions, de distribution diffuse, n'étaient pas en superposition anatomique avec les lésions parasitaires qui étaient, elles, focales.

Figure 33 : Lésion de fibrose septale (flèches) chez un rat capturé au parc zoologique de Vincennes

Unité d'Embryologie, d'Histologie et d'Anatomie Pathologique de l'ENVA, HES



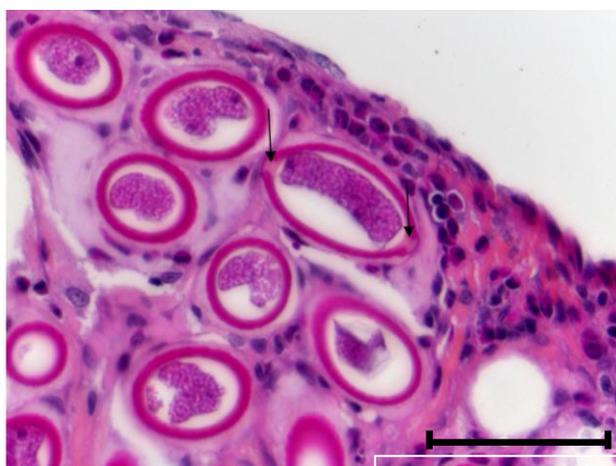
1 mm

e. Œufs de *Capillaria hepatica*

Des images caractéristiques en forme de citron des œufs de *Capillaria hepatica* étaient clairement mises en évidence dans les foies infectés (Figure).

Figure 34 : Coupe transversale d'œufs bioperculés (flèches) stade 2 cellules de *Capillaria hepatica* chez une musaraigne capturée au parc zoologique de Lyon

Unité d'Embryologie, d'Histologie et d'Anatomie Pathologique de l'ENVA, HES



100 µm

E. Découverte fortuite

Des trématodes adultes présents dans la vésicule biliaire ou les canaux biliaires de souris, campagnols, musaraignes et mulots ont été fortuitement mis en évidence chez les individus piégés à La Palmyre et à Mulhouse. Leur espèce n'est cependant pas identifiable histologiquement. Les effectifs respectifs pour chaque espèce et chaque parc sont présentés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Prévalence de trématodes chez les différentes espèces capturées à Mulhouse, La Palmyre, Vincennes et Lyon

	Musaraignes <i>Crocidura russula</i>	Rats <i>Rattus sp.</i>	Souris domestiques <i>Mus musculus</i>	Campagnols <i>Microtus sp.</i>	Mulots <i>Apodemus sp.</i>
Mulhouse	3-5/40 (7-12%)	Non capturés	19-35/160 (11-21%)	1/40 (2%)	3-7/112 (2-6%)
Paris	Non capturés	0	Non capturés	Non capturés	Non capturés
Lyon	0	0	0	Non capturés	Non capturés
La Palmyre	Non capturés	0	5-9/80 (6-11%)	3-4/24 (12-16%)	3-4/60 (5-6%)

Afin de comparer les taux de prévalence obtenue entre les différentes espèces, des moyennes ont été réalisées pour faciliter les calculs et sont présentées dans le tableau 16.

Tableau 16 : Taux de prévalence moyens chez les animaux infestés par le trématode à Mulhouse et La Palmyre

	Musaraignes	Souris	Campagnols	Mulots
Mulhouse	4/40 (10%)	27/160 (17%)	1/40 (2%)	5/112 (4%)
La Palmyre	0	7/80 (9%)	3/24 (12%)	3/60 (5%)

Si nous comparons à l'aide du même test statistique que précédemment (Fisher) les taux de prévalence obtenus pour chaque espèce à Mulhouse et La Palmyre, nous constatons que les pourcentages ne sont pas significativement différents pour les souris (Tableau 17, $p = 0.08$), les campagnols (Tableau 18, $p = 0.10$) et les mulots (Tableau 19, $p = 0.87$). Les effectifs de souris, campagnols et mulots de Mulhouse et La Palmyre peuvent donc être regroupés et l'on obtient finalement le tableau 20.

Tableau 17 : Effectifs de souris infestées et non infestées par le trématode à Mulhouse et La Palmyre

	Infestés	Non infestés	Totaux
Mulhouse	27	133	160
La Palmyre	7	73	80
Totaux	34	206	240

Tableau 18 : Effectifs de campagnols infestés et non infestés par le trématode à Mulhouse et La Palmyre

	Infestés	Non infestés	Totaux
Mulhouse	1	39	40
La Palmyre	3	21	24
Totaux	4	60	64

Tableau 19 : Effectifs de mulots infestés et non infestés par le trématode à Mulhouse et La Palmyre

	Infestés	Non infestés	Totaux
Mulhouse	5	107	112
La Palmyre	3	57	60
Totaux	8	164	172

Tableau 20 : Effectifs de musaraignes, souris, campagnols et mulots infestés par le trématode à La Palmyre et Mulhouse

	Musaraignes	Souris	Campagnols	Mulots
Infestés	4 (10%)	34 (17%)	4 (2%)	8 (4%)
Non infestés	36	206	60	164
Totaux	40	240	64	172

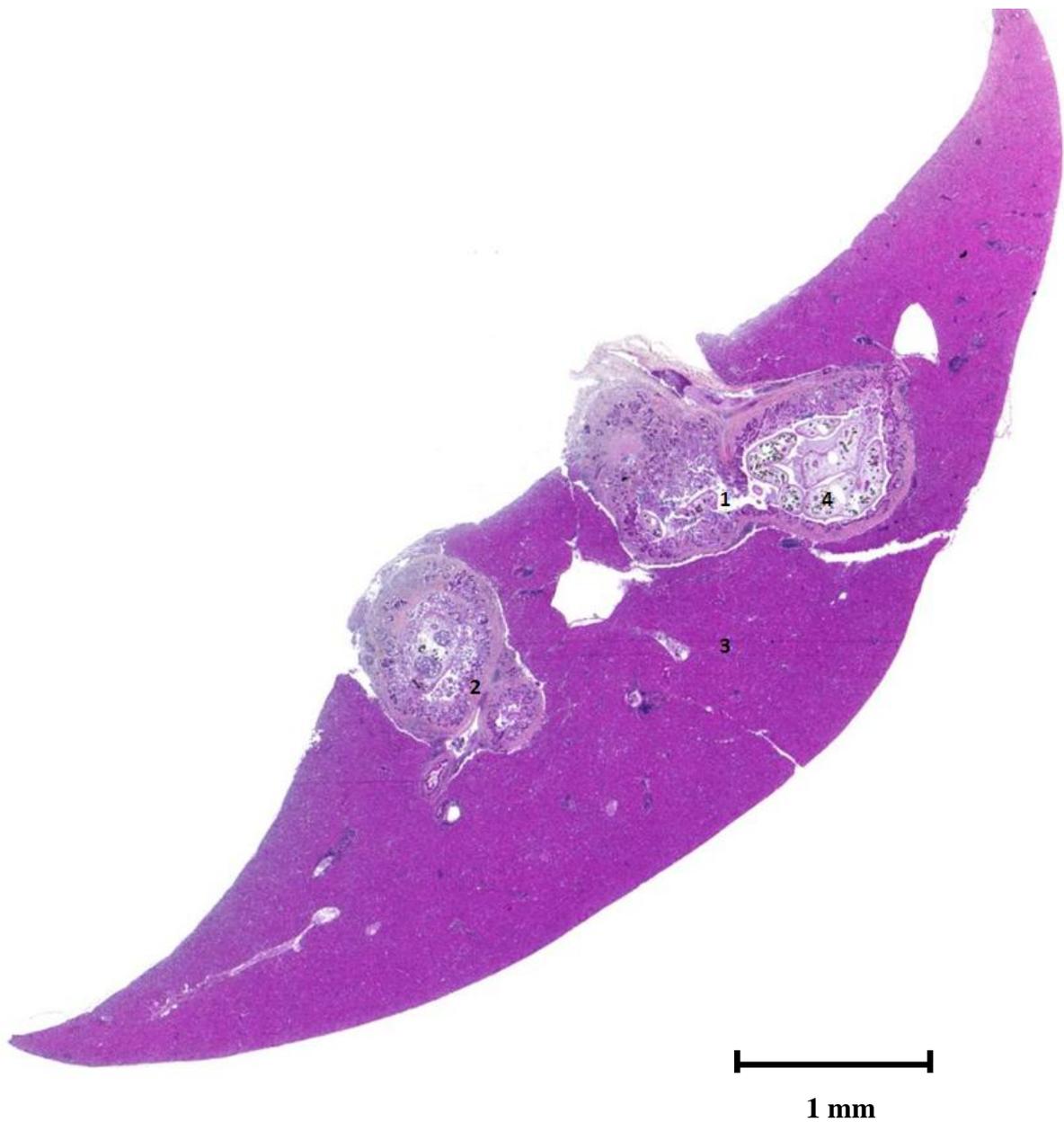
Nous constatons après comparaison des prévalences des différentes espèces qu'au moins une espèce était significativement différente des trois autres ($p = 0.008$).

L'espèce de trématode mise en évidence chez ces différents individus n'était pas identifiable histologiquement. Il s'agissait d'une espèce qui infestait les canaux biliaires voire la vésicule biliaire comme le montre la coupe histologique d'un foie de souris (Figure 35).

Les différentes parties et organes du parasite sont visibles (Figure 36).

Figure 35 : Coupe transversale d'un lobe hépatique de souris (*Mus musculus*) capturée au parc zoologique de Mulhouse

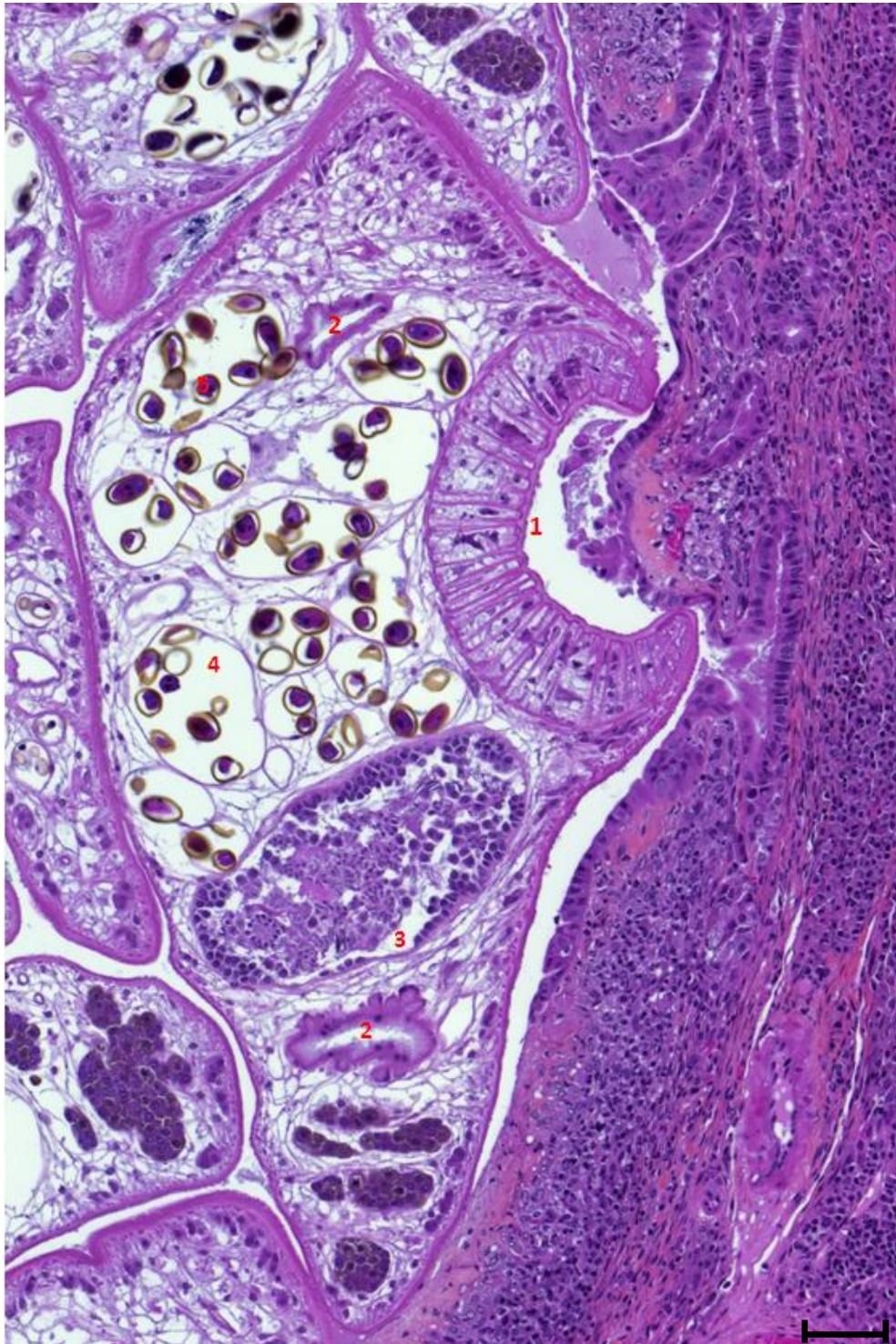
Unité d'Embryologie, d'Histologie et d'Anatomie Pathologique de l'ENVA, HES



Coupe transversale :

1. Vésicule biliaire. 2. Canal biliaire hyperplasié. 3. Parenchyme hépatique. 4. Trématode.

Figure 36 : Trématode au sein de la vésicule biliaire d'une souris capturée au parc zoologique de Mulhouse
Unité d'Embryologie, d'Histologie et d'Anatomie Pathologique de l'ENVA, HES



100 μ m

Coupe longitudinale : 1. Ventouse ventrale. 2. Caeca. 3. Testicules. 4. Utérus. 5. Œuf.

IV. Discussion

Nous avons étudié la prévalence de *Capillaria hepatica* dans quatre parcs zoologiques et trois d'entre eux se sont révélés infestés par le parasite. La deuxième campagne avait pour but de confirmer les taux de prévalence obtenus à l'aide d'un outil statistique. Les contraintes portant sur la durée de piégeage n'ont pas permis d'obtenir les tailles d'échantillons nécessaires. Il faudrait donc effectuer une troisième campagne afin de préciser à la fois les taux de prévalence obtenus mais également la dynamique d'infestation.

Contrairement à nos attentes, les individus de la deuxième campagne de piégeage sont indemnes de capillariose hépatique, quel que soit le parc zoologique où ils ont été prélevés. Ceci peut tout d'abord s'expliquer par le faible nombre d'individus piégés. Contrairement aux prédictions des soigneurs, la population de rongeurs circulant à cette époque dans les parcs fut faible. De plus, pour des raisons pratiques (temps imparti), la durée de cette deuxième campagne n'a pu s'étendre afin d'atteindre le nombre d'individus nécessaire pour l'échantillonnage. Par ailleurs, le zoo de Vincennes étant en reconstruction, le nombre de rongeurs se trouve diminué par le simple manque de nourriture et par la destruction de leur microenvironnement. Enfin, le terrassement des sols a certainement entraîné la mort des œufs du parasite par modification de l'oxygénation, de la luminosité et de l'humidité. La prévalence se retrouve donc nettement diminuée. À Mulhouse, le piégeage de quatre musaraignes pour la mise en place du protocole deux mois avant la deuxième campagne, a révélé qu'une d'entre elles était positive pour *Capillaria hepatica*. Ceci renforce l'hypothèse que le nombre d'individus piégés durant le mois de novembre fut réellement insuffisant. Pourtant, à cette époque de l'année, la nourriture se fait plus rare pour toutes les espèces sauvages (changement de l'environnement, diminution du nombre de visiteurs), et les cuisines sont très convoitées dans les parcs zoologiques mais la prédation se retrouve elle-aussi particulièrement augmentée et par conséquent la population de rongeurs s'en trouve finalement diminuée. En outre, le manque de nourriture et le confinement dans les nids favorisent les comportements de cannibalisme, de nécrophagie et de coprophagie. La probabilité de trouver des animaux parasités est donc plus élevée. De plus, les juvéniles, *a priori* moins porteurs du parasite que les adultes car exposés depuis moins longtemps (CHILDS et GLASS, 1951) sont moins nombreux à cette époque (naissances au printemps). Cette

hypothèse est cependant discutable. En effet, CONLOGUE *et al.*, 1978 a trouvé autant de cas d'infestation sévère chez les jeunes que chez les adultes.

Les données récoltées sur 6 années de piégeage au parc zoologique de Mulhouse nous permettent de dire que la maladie est capable de persister dans une population donnée malgré les fluctuations de la population de l'hôte. En effet, les « dératisations » saisonnières font régulièrement baisser les populations de rongeurs nuisibles et pourtant, encore récemment, des musaraignes ont été retrouvées positives pour la capillariose hépatique. Les nids, où la concentration parasitaire est particulièrement élevée, peuvent servir de foyer pour le parasite (WRIGHT, 1961).

Nos résultats montrent que la plus forte prévalence de *Capillaria hepatica* enregistrée se trouve au sein de la population de musaraignes (*Crocidura russula*) capturées au parc zoologique de Mulhouse (sachant que seulement quatre musaraignes ont été capturées à Lyon, la prévalence est peu interprétable). Cette espèce, connue pour être infestée par ce parasite comme les autres Mammifères (BROWN, 1975), n'est cependant pas un réservoir majeur comme le rat chez qui la prévalence peut atteindre 100%. La musaraigne est insectivore voire carnivore contrairement aux autres rongeurs capturés qui sont herbivores. Cette différence de régime souligne le risque de transmission plus élevé chez cette espèce car rappelons que le cannibalisme renforce le risque de contamination. Au vu des résultats de cette étude la musaraigne représente toutefois un risque important pour les Mammifères détenus en parc zoologique ainsi que pour le personnel des parcs infestés.

Nous avons remarqué qu'une musaraigne présentait également des œufs de *Capillaria hepatica* dans la rate. D'après le cycle du parasite, les larves atteignent le foie par les veines mésentériques, la colonisation de la rate semble donc peu probable. Or, d'après Reperant en 2005, chez trois souris à nuque jaune (*Apodemus flavicollis*) où la quantité d'œufs de *Capillaria hepatica* était extrêmement importante, des œufs ont également été retrouvés dans la rate. La recherche du parasite chez les animaux suspects pourrait donc s'étendre aux autres organes et en particulier la rate.

Par ailleurs, *Capillaria hepatica* n'entraîne pas d'atteinte clinique majeure mais diminuerait cependant l'espérance de vie de 5 à 10%. Dans de rares cas il peut engendrer une insuffisance hépatique sévère (SPRATT et SINGLETON, 1986). L'absence de signes cliniques chez le rat met en évidence une certaine résistance et explique la forte prévalence du parasite chez cette espèce. Cette hypothèse serait également à vérifier chez la musaraigne.

La fibrose septale, observée à plusieurs reprises, est un phénomène caractéristique chez les rats. En effet, le rat sert de modèle dans l'étude de la fibrose septale de l'Homme car il s'agit d'un phénomène systématique (100% des rats infestés) lors d'infestation à *Capillaria hepatica* chez cette espèce (DE SOUZA *et al.*, 2006). Sa chronologie peut donc être prédite avec une bonne marge de confiance (GOMES *et al.*, 2006). Dans notre étude, les foies des rats présentant uniquement de la fibrose septale ont été considérés comme négatifs. En effet, nous ne pouvons pas affirmer avec certitude qu'aucune autre bactérie ou parasite ne peut provoquer ce phénomène chez le rat. Au vu de la prévalence enregistrée chez cette espèce au zoo de Vincennes (13-15%), la probabilité pour que ces foies atteints de fibrose septale soient également infestés par *Capillaria hepatica* reste tout de même élevée. La prévalence pourrait donc atteindre 30% à Vincennes. Rajoutons également que bien que la mort des parasites adultes survienne assez rapidement, la fibrose septale continue de s'étendre encore 4 à 6 mois après leur résorption (GOMES *et al.*, 2006, DE SOUZA *et al.*, 2006).

L'absence de description macroscopique des foies de la première campagne nous empêche de conclure quant à la présence de lésions macroscopiques. Cependant rappelons que d'après l'étude de GOTARDO *et al.*, 2000, entre 30 et 45 jours post-infection, les souris de laboratoire (*Mus musculus*) présentent une hépatomégalie ainsi qu'une splénomégalie marquées. Cette organomégalie tend à s'estomper vers 95 à 100 jours post-infection. Le foie et la rate retournent alors dans des tailles normales. La capsule du foie est lisse, tendue et transparente mettant ainsi en évidence des lésions nummulaires blanchâtres et irrégulières en dessous de celle-ci. Ces lésions deviennent confluentes avec le temps, de façon inversement proportionnelle à la décroissance de la taille du foie.

D'après le cycle évolutif de *Capillaria hepatica*, peu d'œufs devraient être retrouvés dans les selles. En effet, leur passage est extrêmement transitoire chez l'hôte paraténique et ils sont piégés dans le foie chez l'hôte définitif. Cependant, une étude espagnole encore non publiée mais présentée à l'EAZWV (European Association of Zoo and Wildlife Veterinarians) à Vérone en 2012, témoigne de la présence de nombreux œufs de *Capillaria hepatica* dans les selles de souris capturées au sein d'un parc zoologique ; la prévalence atteint 37%. Ces résultats suggèrent qu'une recherche systématique dans les selles de rongeurs ne serait pas inutile à réaliser au sein des trois parcs où le parasite a été effectivement retrouvé.

En revanche, un test sérologique par immunofluorescence a été élaboré mais n'est pas disponible en routine (JUNCKER-VOSS *et al.*, 2000). Les Primates ne peuvent donc être dépistés que par biopsie hépatique échoguidée dans les zones suspectes (foyers jaunâtres

nummulaires à coalescents), méthode invasive qui nécessite obligatoirement une capture ainsi qu'une anesthésie générale. La biopsie comporte également des risques hémorragiques à ne pas négliger. Par ailleurs, les risques de faux-négatifs sont élevés car l'échographie ne permet pas de mettre nettement en évidence les lésions parasitaires. La coelioscopie est une autre alternative à l'échographie mais la gestion de la douleur est beaucoup plus difficile après l'intervention. En effet, l'accumulation de gaz dans l'abdomen est extrêmement douloureuse et peut être fatale chez les espèces très stressables comme les Callitricidés. Cependant, une forte neutrophilie sanguine peut cependant être indicatrice. Par ailleurs, un traitement préventif à base de mébendazole à dose standard reste un traitement prophylactique de choix chez l'Homme et les Primates non-humains.

D'après Gomes en 2006, la présence de buissons favoriserait le développement des œufs de *Capillaria hepatica* en assurant une certaine humidité du sol sous jacent. Rappelons que dans un environnement humide et à température ambiante (~ 20°C) les œufs se développent en 35 à 45 jours. D'après le cycle évolutif du parasite, les éléments favorisant la transmission aux autres Mammifères sont donc une forte prévalence, l'humidité, une mauvaise hygiène ainsi que le mode d'alimentation de ces Mammifères. La densité végétale est principalement retrouvée au zoo de Mulhouse et de La Palmyre. Cependant, au zoo de La Palmyre, les enclos sont ratissés quotidiennement ce qui favorise la remontée des œufs à la surface et donc leur dessiccation et leur mort. Ce n'est pas le cas dans l'enclos extérieur des tamarins bicolores au zoo de Mulhouse. Il s'agit donc d'un élément en faveur de la transmission du parasite. Par ailleurs, cet enclos extérieur contient de la ronce commune, plante qui attire particulièrement les rongeurs par ses fruits. De plus, la symphorine favorise la formation de terriers en assurant une certaine structure de soutien au sol. Il conviendrait donc de retirer ces plantes, dans l'hypothèse où elles accroissent la fréquentation de l'enclos par les rongeurs. En outre, nous avons constaté que le zoo de La Palmyre était exempt de capillariose. Or, c'est le seul parmi les parcs examinés dont tous les enclos ont un sol en sable. Il conviendrait donc de vérifier auprès d'autres zoos que le sable est bien un facteur non favorisant. En revanche, d'après WRIGHT, 1961, la prévalence de la capillariose hépatique serait principalement liée à la densité de population et beaucoup moins à l'environnement. La modification des enclos reste donc annexe en termes de prévention.