

UNIVERSITE DE BOURGOGNE FRANCHE-COMTE
ECOLE DOCTORALE « LANGAGES, ESPACES, TEMPS ET SOCIETES »

Thèse en vue de l'obtention du titre de docteur en

ARCHEOLOGIE, TERRITOIRE ET ENVIRONNEMENT

**SYNTHESE DE DONNEES ET NOUVELLE CONTRIBUTION A L'ETUDE
DES PARASITES DE L'EPOQUE ROMAINE, ET APPORTS
METHODOLOGIQUES DE L'EXTRACTION DES MARQUEURS AU
TRAITEMENT DES RESULTATS**

Volume 1 - Texte

Présentée et soutenue publiquement par

Benjamin DUFOUR

Le 7 décembre 2015

Sous la direction d'Hervé Richard et de Matthieu Le Bailly

Membres du jury :

Emilie GAUTHIER, Professeur, Université de Bourgogne Franche-Comté
Jean-Philippe GOIRAN, Chargé de recherche CNRS, UMR 5133, Lyon
Marcelo L. C. GONÇALVES, Professeur, IPEC/Fiocruz (Brésil), Rapporteur
Martine JOLY, Maître de conférences HDR, Université Paris-Sorbonne, Rapporteur
Matthieu LE BAILLY, Maître de conférences, Université de Bourgogne Franche-Comté
Hervé RICHARD, Directeur de recherche CNRS, UMR 6249, Besançon

UNIVERSITE DE BOURGOGNE FRANCHE-COMTE
ECOLE DOCTORALE « LANGAGES, ESPACES, TEMPS ET SOCIETES »

Thèse en vue de l'obtention du titre de docteur en

ARCHEOLOGIE, TERRITOIRE ET ENVIRONNEMENT

**SYNTHESE DE DONNEES ET NOUVELLE CONTRIBUTION A L'ETUDE
DES PARASITES DE L'EPOQUE ROMAINE, ET APPORTS
METHODOLOGIQUES DE L'EXTRACTION DES MARQUEURS AU
TRAITEMENT DES RESULTATS**

Volume 1 - Texte

Présentée et soutenue publiquement par

Benjamin DUFOUR

Le 7 décembre 2015

Sous la direction d'Hervé Richard et de Matthieu Le Bailly

Membres du jury :

Emilie GAUTHIER, Professeur, Université de Bourgogne Franche-Comté
Jean-Philippe GOIRAN, Chargé de recherche CNRS, UMR 5133, Lyon
Marcelo L. C. GONÇALVES, Professeur, IPEC/Fiocruz (Brésil), Rapporteur
Martine JOLY, Maître de conférences HDR, Université Paris-Sorbonne, Rapporteur
Matthieu LE BAILLY, Maître de conférences, Université de Bourgogne Franche-Comté
Hervé RICHARD, Directeur de recherche CNRS, UMR 6249, Besançon

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse Hervé Richard pour m'avoir accueilli au sein du laboratoire Chrono-environnement et pour avoir accepté de diriger mon travail de recherche. Je le remercie de la confiance qu'il m'a accordée.

Je remercie Matthieu Le Bailly pour m'avoir donné l'occasion de réaliser cette thèse et pour l'avoir codirigée. Je le remercie pour m'avoir guidé tout au long de ce travail, pour sa patience, son expérience, ses corrections, son aide, ses conseils et sa disponibilité. Je le remercie de m'avoir permis d'évoluer dans cette discipline qui me plaît toujours autant depuis qu'il me l'a fait découvrir.

Je remercie Marcelo L. C. Gonçalves et Martine Joly pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit et de juger mon travail. Je les remercie pour le temps qu'ils ont bien voulu y accorder.

Je remercie également Emilie Gauthier d'avoir accepté de juger mon travail et de faire partie de mon jury de thèse.

Je remercie également Jean-Phillippe Goiran d'avoir accepté de juger mon travail et de faire partie de mon jury de thèse. Je le remercie aussi pour m'avoir permis d'étudier le site du Portus et pour ses renseignements concernant le site.

Je remercie Jean-Marc Fémolant, Sébastien Lefèvre, Laetitia Bouniol et Jasmine Boudeau du service archéologique de la ville de Beauvais. Merci de m'avoir permis de fouiller et d'étudier le site de Beauvais. Merci pour vos informations sur les sites. J'espère que nous aurons à nouveau l'occasion de collaborer et de travailler ensemble.

Je remercie Marjolaine de Muylder, Frédéric Devevey, Salomon Ferréol, Franck Gama, Steve Glisoni, Bertrand Houix, Martial Monteil, Vanessa Rouppert, Maxence Segard, Claire

Serrano, Christophe Sireix, Joe Zias ainsi que l'ensemble des archéologues pour leurs informations concernant les sites étudiés en paléoparasitologie.

Je remercie Philippe Charlier pour ses informations sur la thanatomorphose et la médecine légale.

Je remercie Françoise Bouchet qui m'a autorisé à utiliser les informations du laboratoire de Reims pour mon travail de recherche.

Je remercie Leslie Mauchamp pour m'avoir fait découvrir le logiciel R. Je la remercie également pour son aide et son expérience dans les traitements statistiques.

Je remercie également Julien Didier pour son expérience et son aide dans les manipulations de laboratoire avec les protocoles de palynologie.

Je remercie Nathalie Côté pour nos discussions sur les parasites et l'ADN ancien. J'espère qu'à l'avenir nous aurons l'occasion de collaborer et de travailler ensemble.

Je remercie également Céline Maicher pour les bons moments passés et nos échanges d'idées. Je la remercie aussi pour son aide avec ArcGis.

Je remercie également mes collègues doctorants Aurore, Typhaine, Simon et tous les autres ainsi que les membres du laboratoire, merci pour les bons moments passés au cours de cette thèse.

Que soient également remerciés tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans mes recherches et dans la rédaction de cette thèse ainsi que celles et ceux que j'aurais oubliés.

Enfin je remercie, ma famille et mes amis. Je remercie surtout mes parents, ma sœur et mon frère pour m'avoir toujours soutenu, merci pour tout.

SOMMAIRE

Remerciements.....	1
Introduction	7
Première partie : les parasites intestinaux à l'époque romaine	10
1 Sujet de l'étude.....	11
1.1 Limites de l'étude	11
1.2 La paléoparasitologie : généralités.....	13
1.2.1 Définitions.....	13
1.2.2 Principe de la discipline	15
1.2.2.1 Les marqueurs recherchés.....	15
1.2.2.2 Matériel étudié et échantillonnage.....	16
1.2.2.3 Les informations apportées.....	18
2 Connaissances parasitologiques d'après les sources antiques.....	20
2.1 Les vers intestinaux dans l'Antiquité	20
2.1.1 Connaissances empiriques des vers intestinaux.....	20
2.1.2 Connaissance des vers intestinaux dans l'Antiquité.....	21
2.1.2.1 Vers et parasites dans l'Antiquité.....	21
2.1.2.2 Les sources à utiliser.....	21
2.1.2.3 Informations des textes égyptiens.....	22
2.1.2.4 Informations des textes grecs.....	25
2.1.2.5 Informations des textes romains	29
2.1.2.6 Informations des autres peuples de l'Antiquité.....	33
2.1.2.7 Ex-voto et connaissances anatomiques : d'autres sources d'informations ?	34
2.1.3 Synthèse des connaissances parasitologiques antiques.....	38
2.1.3.1 Les helminthes connus dans l'Antiquité	38
2.1.3.2 Des parasites non mentionnés : le cas particulier des douves	40
2.1.3.3 Premières données sur la répartition géographique des helminthes	42
3 Les données de la paléoparasitologie.....	45
3.1 Acquisition et traitement des données	45
3.1.1 Les sources utilisées.....	45
3.1.1.1 Les données Publiées.....	45
3.1.1.2 Les données Inédites et les données Corpus.....	51
3.1.2 Structure de la base de données	52
3.2 Les sites étudiés	58
3.2.1 Sites et notion de site en archéologie	58
3.2.2 Sites étudiés et activités des sites.....	61
3.2.3 Echantillons, vestiges d'origines et origines biologiques.....	65
3.2.4 Localisation géographique et chronologie des sites.....	72
3.3 Synthèse des données étudiées pour l'époque romaine et perspectives	78
4 Les résultats obtenus en paléoparasitologie.....	80
4.1 Résultats avant l'époque romaine.....	80
4.2 Les taxons identifiés d'après les différentes sources.....	82

4.3	Discussion des identifications.....	84
4.3.1	L'identification des œufs de parasites : généralités et limites	85
4.3.2	Discussion des identifications.....	85
4.3.3	Identifications adaptées et taxons observés	89
4.4	Informations sur les taxons et les groupes de taxons	101
4.4.1	Classe des Nématodes (Nematoda).....	101
4.4.1.1	Le groupe Ascaris (GRAscaris).....	101
4.4.1.2	Le groupe Trichuris (GRTrichuris)	105
4.4.1.3	Le groupe Capillariinae (GRCapillariinae)	107
4.4.1.4	<i>Diectophyma renale</i>	110
4.4.1.5	<i>Parascaris</i> sp.	111
4.4.1.6	Le groupe Toxocara (GRToxocara).....	112
4.4.1.7	<i>Oxyuris equi</i>	114
4.4.1.8	<i>Enterobius vermicularis</i>	115
4.4.1.9	Le groupe Rhabditida_Strongylida (GRRhabditida_Strongylida)	116
4.4.2	Classe des Acanthocéphales (Acanthocephala)	117
4.4.2.1	<i>Macracanthorhynchus</i> sp.....	118
4.4.3	Classe des Cestodes (Cestoda).....	120
4.4.3.1	<i>Hymenolepis nana</i>	120
4.4.3.2	Le groupe Taeniidae (GRTaeniidae)	121
4.4.3.3	Le groupe Diphyllbothriidae (GRDiphyllbothriidae).....	124
4.4.4	Classe des Trématodes (Trematoda).....	127
4.4.4.1	Le groupe Fasciolidae (GRFasciolidae)	127
4.4.4.2	Le groupe Dicrocoeliidae (GRDicrocoeliidae).....	128
4.4.5	Les protozoaires parasites intestinaux.....	130
4.5	Synthèse des informations de la paléoparasitologie	131
4.5.1	Les informations apportées pour l'époque romaine	131
4.5.2	Fréquences des taxons et groupes de taxons par sites.....	136
4.5.3	Fréquences des principaux taxons par catégories	141
4.5.3.1	Fréquences par types de sites et d'activités.....	142
4.5.3.1.1	Fréquences par types de sites	143
4.5.3.1.2	Fréquences par types d'activités	145
4.5.3.2	Fréquences par vestiges d'origine et par types d'échantillons.....	146
4.5.3.2.1	Fréquences par types de vestiges d'origine	148
4.5.3.2.2	Fréquences par types d'échantillons	149
4.5.3.3	Fréquences par types d'origines biologiques	150
4.5.4	Répartitions géographiques des taxons	152
4.5.4.1	Aires de répartitions maximales	152
4.5.4.2	Informations apportées par les aires de répartition et discussion	159
4.5.5	Variations par siècles	165
4.5.5.1	Fréquences des principaux taxons par siècle	167
4.5.5.2	Répartitions géographiques : l'exemple d' <i>Oxyuris equi</i>	171
4.5.6	Discussion autour du matériel d'époque romaine d'origine humaine.....	174
4.5.6.1	Matériel étudié et premiers résultats.....	174
4.5.6.2	Fréquence des parasitoses humaines à l'époque romaine	182
4.6	Synthèses des données paléoparasitologiques pour l'époque romaine	187
Deuxième partie : Méthodes d'extraction et traitement des résultats		189
1	Methodologie et techniques d'extractions	191
1.1	Etudes, marqueurs parasitaires et méthodes utilisées	191
1.2	Méthodes de la parasitologie.....	193

1.2.1	Méthodes d'examen direct.....	193
1.2.2	Méthodes d'examen après concentration parasitaire.....	194
1.3	Méthodes de la paléoparasitologie.....	195
1.3.1	Mise en solution des échantillons et étapes préalables	195
1.3.2	Les méthodes employées	197
1.3.2.1	Généralités et méthodes à utiliser.....	197
1.3.2.2	L'examen direct.....	199
1.3.2.3	Les méthodes de concentration.....	199
1.3.3	Principales méthodes utilisées	201
1.3.3.1	La méthode Réhydratation-Homogénéisation-Microtamisage (RHM)	201
1.3.3.2	La méthode "squash"	205
1.3.4	Les autres méthodes	206
2	Standardisation de la méthode RHM, et tests de nouvelles méthodes d'extraction	208
2.1	Avantages et inconvénients de la méthode RHM	208
2.2	Méthodes palynologiques et paléoparasitologie	211
2.3	Méthodes testées et quantification	212
2.4	Matériel étudié et résultats obtenus.....	217
2.5	Discussion des résultats	221
2.6	Synthèse des résultats et méthode retenue	230
2.7	Tests de la méthode RHM et adaptations	231
2.7.1	Adaptations préalables	231
2.7.2	Essais de la méthode RHM et discussion des résultats	233
3	Contributions de la paléoparasitologie à l'étude des structures en creux et spatialisation des résultats	241
3.1	Généralités sur l'étude des structures en creux.....	241
3.2	Fonctions des structures et spatialisation des résultats : l'exemple d'Horbourg-Wihr.....	242
3.2.1	Matériel étudié et résultats	242
3.2.2	Fonction des structures étudiées	245
3.2.3	Spatialisation des résultats	249
3.2.4	Synthèse des informations apportées pour le site d'Horbourg-Wihr	255
3.3	Informations obtenues selon la profondeur : l'exemple de Beauvais.....	256
3.4	Etude du port antique de Rome.....	263
3.4.1	Contexte et matériel étudié	263
3.4.2	Résultats et discussions.....	265
3.4.2.1	Résultats obtenus	265
3.4.2.2	Discussion des résultats	268
3.4.3	Synthèse des informations apportées pour le port antique de Rome	275
4	Etude micromorphométrique des œufs de parasites.....	277
4.1	Les œufs du genre <i>Trichuris</i>	278
4.1.1	Œufs standards et œufs anormaux	278
4.1.2	Augmentation de la taille des œufs et temps de lecture des lamelles	281
4.1.3	Etude micromorphométrique des œufs de <i>Trichuris</i> sp.	284
4.2	Les œufs du genre <i>Ascaris</i>	292
4.2.1	Œufs embryonnés et non embryonnés	292
4.2.2	Etude micromorphométrique des œufs d' <i>Ascaris</i> sp.	293
	Conclusion	297

Bibliographie.....	300
Table des illustrations	326
Index des Figures	327
Index des Tableaux	332
Liste des Publications et des Communications.....	334
Liste des Publications.....	335
Liste des Communications	336

INTRODUCTION

Depuis une vingtaine d'années, la paléoparasitologie tient une place grandissante parmi les disciplines bioarchéologiques. Cette discipline vise à rechercher et étudier les parasites anciens de l'homme et de l'animal. Elle permet d'apporter des informations relatives à l'état de santé et aux conditions de vie des individus et des populations, aide à caractériser les structures étudiées, et renseigne la présence d'espèces animales sur les sites archéologiques.

Bien que la toute première mise en évidence d'un parasite un contexte archéologique date du début du 20^{ème} siècle (Ruffer, 1910), il faut attendre les années 1940-1950 pour voir se réaliser d'autres études paléoparasitologiques. Ces premières études sont ponctuelles et entreprises par des chercheurs en Allemagne, au Royaume-Uni, au Chili ou encore aux Etats-Unis. A partir des années 1960 elles sont plus nombreuses, et des groupes de recherches spécialisés se développent alors en Amérique (Sud et Nord) et en Europe de l'Ouest. Aujourd'hui, ces recherches sont aussi développées en Asie, en Europe de l'Est et au Proche-Orient (Faulkner et Reinhard, 2014).

Depuis les débuts de la discipline, les sites d'époque romaine ont régulièrement fait l'objet d'analyses dans ce domaine. Cependant, les informations obtenues sont diluées dans des monographies, des rapports d'analyses, ou des articles scientifiques. Ceci explique que les synthèses réalisées pour cette période sont rares et souvent non exhaustives. En France, les laboratoires développant une recherche en paléoparasitologie, à Reims jusqu'en 2010 (laboratoire de paléoparasitologie et parasitologie environnementale, UFR de Pharmacie, Université de Reims Champagne-Ardenne), puis à Besançon à partir de 2009 (laboratoire Chrono-environnement, UMR CNRS 6249, Université de Bourgogne Franche-Comté), ont largement contribué à étudier des sites antiques. Mais là encore, très peu de données ont été publiées à l'issue de ces études, autres que dans des rapports de fouilles ou des monographies. Ce constat fut l'une des motivations de départ de ce travail de thèse.

La première partie de mon mémoire s'attache à faire une synthèse des connaissances sur les parasites intestinaux pour l'ensemble de l'époque romaine. Après une présentation des limites chronologiques et géographiques de mon étude (première partie, chapitre **1 Sujet de l'étude**, p. 11), une analyse pathographique des textes des auteurs de l'Antiquité et de l'iconographie,

vient compléter l'étude des publications scientifiques. Cette synthèse est traitée dans le chapitre **2 Connaissances parasitologiques d'après les sources antiques** (p. 20) de ce mémoire. Elle a permis d'apporter diverses informations sur les parasites connus dans l'Antiquité (hôtes possibles, symptômes...) et d'en dresser la liste. Ces connaissances anciennes ont ensuite été confrontées aux informations obtenues par les analyses paléoparasitologiques réalisées dans l'ensemble du monde romain et récoltées dans la littérature scientifique.

A l'issue de ce travail de compilation, une base de données a été élaborée, unique pour la paléoparasitologie (première partie, chapitre **3 Les données de la paléoparasitologie**, p. 45). Elle rassemble les données publiées issues de la littérature, les données inédites issues des laboratoires de Reims et de Besançon, ainsi que celles obtenues pour les sites du corpus de thèse. L'exploitation de cette base de données a permis notamment l'élaboration de cartes de répartitions des sites étudiés, et des parasites identifiés au cours de l'époque romaine. Des informations parasitologiques sont également disponibles et renseignent principalement l'état de santé des populations et les symptômes liés aux différentes parasitoses. L'ensemble de ce travail est discuté dans le chapitre **4 Les résultats obtenus en paléoparasitologie** (p. 80).

Enfin, d'autres études plus spécifiques sont également présentées dans cette première partie. En particulier, un travail de synthèse des données pour le parasite du cheval *Oxyuris equi* a été réalisé au vu de l'importante fréquence de ce taxon pour l'époque romaine. Il montre l'évolution de la répartition de ce parasite au cours du temps, et propose des explications quant à ces variations.

Le second aspect développé au cours de mon doctorat concerne les techniques d'extraction des œufs de parasites anciens et le traitement des données. Afin de ne pas perturber la compréhension des résultats paléoparasitologiques obtenus dans la première partie par un exposé technique trop long, et pour conserver une cohérence dans l'enchaînement des idées et des problématiques abordées, j'ai décidé de présenter ces aspects méthodologiques dans une partie distincte (deuxième partie, p. 189).

Dans cette perspective mon tout premier travail fut de "standardiser" la technique d'extraction à partir de celles employées dans les laboratoires français. Les quantités de matériel préparées de même que les volumes de solutions employés ont été fixés. Pour tenter d'améliorer l'extraction et faciliter les lectures en microscopie, certains éléments techniques utilisés en palynologie ont également été testés et sont exposés dans le chapitre **2 Standardisation de la méthode RHM, et tests de nouvelles méthodes d'extraction** (p. 208).

Cette mise au point technique a également permis d'adopter une approche quantitative des résidus parasitologiques mis en évidence. Les résultats de cette quantification ont ensuite été traités à l'aide d'outils statistiques (classification ascendante hiérarchique et système d'information géographique), permettant de tester l'intérêt de la mise en œuvre de ces outils en paléoparasitologie.

La méthode d'extraction standardisée mise au point et énoncée dans cette seconde partie, le mode de lecture adapté (nombre de lamelle réduit...) ainsi que les traitements particuliers des résultats ont été utilisés pour traiter les échantillons de mon corpus de thèse. Onze nouveaux sites archéologiques d'époque romaine ont pu être analysés, essentiellement en France (Beauvais, Horbourg-Wihr, Metz, Jaunay-Clan...), mais aussi en Italie (Rome-Ostie). Les résultats de cette approche globale standardisée appliquée à cette série d'échantillons, exposés et discutés dans le chapitre **3 Contributions de la paléoparasitologie à l'étude des structures en creux et spatialisation des résultats** (p. 241), ont été intégrés dans la base de données mise en place précédemment.

Enfin, un essai d'approche micromorphométrique a été réalisé sur les œufs retrouvés le plus souvent dans les assemblages paléoparasitologiques (deuxième partie, chapitre **4 Etude micromorphométrique des œufs de parasites**, p. 277). Cette approche précise des mesures faites sur les œufs doit permettre d'augmenter la précision des diagnostics en paléoparasitologie, souvent limitée au genre.

PREMIERE PARTIE : LES PARASITES INTESTINAUX A L'EPOQUE ROMAINE

1 SUJET DE L'ETUDE

1.1 Limites de l'étude

L'Empire romain débute en 27 av. J.-C. et se termine en 476 ap. J.-C. Il s'étendait sur tout le pourtour méditerranéen du Maroc jusqu'à la Mésopotamie et de l'Angleterre jusqu'à l'Egypte. C'est au 2^{ème} siècle ap. J.-C., sous le règne de Trajan, que le territoire occupé atteint son expansion maximale (voir Figure 1, p. 12)¹. Il s'étend alors du Nord au Sud entre l'Ecosse et le Soudan, et de l'Est à l'Ouest, depuis le Maroc jusqu'en Israël.

Notre travail s'intéressant à l'Empire romain dans son ensemble, deux limites ont été posées :

- Une limite chronologique comprise entre le 1^{er} siècle av. J.-C. et le 5^{ème} siècle ap. J.-C., période qui englobe l'Empire romain dans son ensemble (27 av. J.-C. - 476 ap. J.-C.).
- Une limite géographique correspondant à l'emprise maximale de l'Empire romain, sous Trajan au 2^{ème} siècle, et sa périphérie.

Pour notre étude nous avons compilé l'ensemble des informations issues des sites appartenant à ces deux limites. Il a été décidé d'y inclure également les sites situés en périphérie de la zone d'expansion maximale, car il existait des liens (commerciaux par exemple) entre les Romains et les différents peuples voisins au cours de l'Antiquité (Pitts, 1989).

¹ Sauf mention contraire, toutes les figures sont de l'auteur.

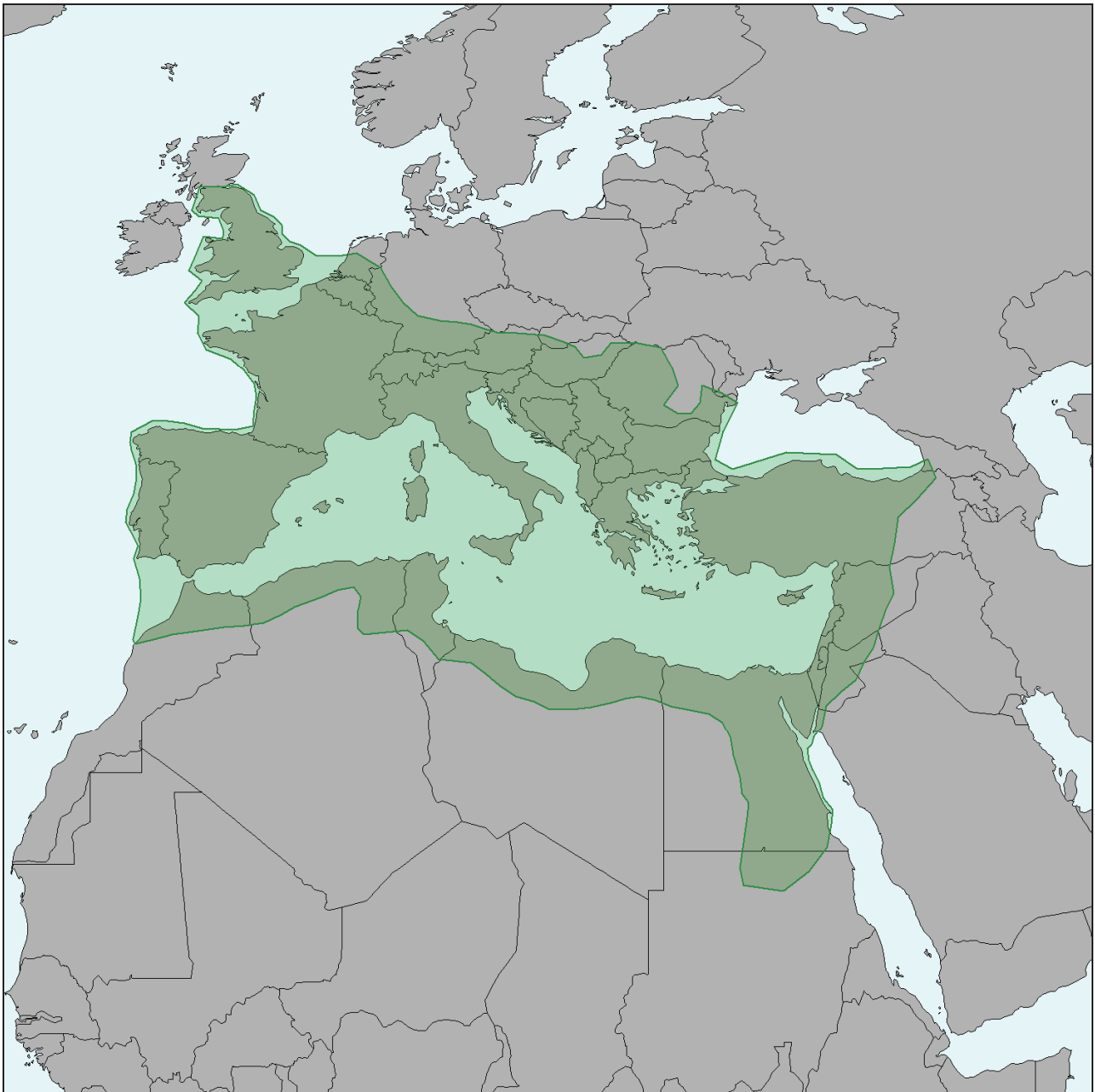


Figure 1 : Carte de l'expansion maximale de l'Empire romain sous Trajan au 2^{ème} siècle ap. J.-C.

1.2 La paléoparasitologie : généralités

1.2.1 Définitions

La paléoparasitologie, ou archéoparasitologie, est une discipline de l'archéologie à l'interface entre l'archéozoologie, l'anthropologie biologique, la biologie évolutive et la médecine, dont le but est la recherche et l'étude des parasites de l'homme et de l'animal conservés dans les restes archéologiques ou paléontologiques (Araujo *et al.*, 1981; Dutour, 2013; Reinhard, 1992).

Un parasite est un être vivant, animal ou végétal, qui se développe pendant une partie de sa vie ou la totalité de son existence aux dépens d'un autre être vivant appelé hôte. Leur cycle de vie peut être soit direct soit indirect. S'il est direct, le parasite n'a besoin que d'un hôte unique. S'il est indirect, les parasites se développent successivement à l'état larvaire dans un ou plusieurs hôtes intermédiaires, puis à l'état adulte dans un hôte définitif (Euzéby, 2008; Nozais *et al.*, 1996).

A l'état adulte comme à l'état larvaire, le parasite se localise chez l'hôte dans un organe ou un tissu particulier appelé organe cible. La localisation de cet organe cible chez l'hôte définitif permet de distinguer plusieurs types de parasites. Les ectoparasites vivent fixés sur le tégument ou les phanères de leurs hôtes (poils, plumes...), comme par exemple les poux ou les puces, des insectes parasites qui vivent sur les cheveux et les poils. Les endoparasites vivent quant à eux à l'intérieur de leurs hôtes, et parasitent les organes internes ou les cellules. Ils peuvent être pluricellulaires, comme le ver solitaire (*Taenia solium*) qui vit dans les intestins de son hôte, ou unicellulaires comme *Plasmodium falciparum* agent du paludisme chez l'homme dont les mérozoïtes sont localisés dans les globules rouges. Certaines bactéries peuvent également être parasites et se développer à l'intérieur d'un hôte comme par exemple le staphylocoque doré (*Staphylococcus aureus*). Enfin, les virus parasitent les cellules de leurs hôtes et s'y développent, comme par exemple le virus du sida (VIH). Certains d'entre eux peuvent aussi parasiter des bactéries (Chappell, 1980; Cousteau et Hertel, 2008; Euzéby, 2008; Mehlhorn, 2008 ; Nozais *et al.*, 1996).

Certains types de parasites ont été observés pour l'époque romaine. Parmi les ectoparasites, le morpion (*Phthirus pubis*) est par exemple observé en 2001 par Kenward sur le site de Carlisle (Royaume-Uni), dans le remplissage d'une fosse dépotoir datée de la fin du 1^{er} siècle - milieu du 2^{ème} siècle ap. J.-C.

Pour les endoparasites, Miller *et al.* détectent en 1994 par des tests en immunologie la présence du protozoaire parasite *Plasmodium falciparum*, sur une momie naturelle de Nubie datée en partie de la fin de l'époque romaine entre 350 et 550 ap. J.-C². En 2005 des analyses en ADN ancien ont permis à Donoghue *et al.* d'identifier simultanément deux bactéries dans des squelettes humains israéliens du 1^{er} siècle ap. J.-C. et égyptiens datés du 4^{ème} siècle ap. J.-C. : *Mycobacterium tuberculosis*, l'agent de la tuberculose, et *Mycobacterium leprae*, l'agent de la lèpre.

En ce qui concerne les virus, les études sont rares et à notre connaissance, aucune d'entre elles ne concerne l'époque romaine. Par exemple, Appelt *et al.* ont étudié en 2014 les virus (Siphoviridae...) d'un coprolithe du site de Namur (Belgique) daté du 14^{ème} siècle ap. J.-C.

Notre travail de thèse s'intéresse exclusivement pour l'époque romaine aux vers intestinaux (ou helminthes) et aux protozoaires parasites intestinaux. Comparé aux autres types de parasites les études sont bien plus nombreuses et les résultats seront détaillés dans la partie **4 Les résultats obtenus en paléoparasitologie** (p. 80).

Les vers intestinaux ou helminthes sont des endoparasites pluricellulaires. Dans le cadre de notre travail, ils se répartissent en quatre classes : les vers ronds ou Nématodes ; les vers à tête épineuses ou Acanthocéphales ; les vers plats segmentés ou Cestodes ; et les vers plats non segmentés (aussi appelés vers lancéolés) ou Trématodes. Selon les espèces appartenant à ces quatre classes, les parasites adultes sont localisés dans les intestins, le foie ou les reins de leurs hôtes. Une fois parvenus à l'état adulte dans ces organes cibles, ils se reproduisent, pondent généralement des œufs³ qui sont émis dans le milieu extérieur avec les excréments ou les urines de l'hôte selon l'organe parasité.

Les protozoaires parasites intestinaux sont des endoparasites unicellulaires localisés dans les intestins de leurs hôtes. Pour l'époque romaine les études se limitent à deux espèces particulièrement répandues et pathogènes pour l'homme : *Entamoeba histolytica*, l'amibe pathogène humaine, et *Giardia intestinalis*, un protozoaire flagellé de l'homme et de l'animal.

² Il existe cependant un doute concernant ce résultat puisque le test utilisé peut donner des faux positifs en présence de facteurs rhumatoïdes (Donoghue *et al.*, 2010).

³ Certains vers sont vivipares et ne pourront pas être détectés lors des études microscopiques habituelles.

1.2.2 Principe de la discipline

1.2.2.1 Les marqueurs recherchés

La paléoparasitologie recherche et étudie les traces ou marqueurs laissés par les parasites dans les échantillons archéologiques. Ces marqueurs correspondent aux parasites adultes eux-mêmes, à leurs larves, à leurs œufs, ou peuvent enfin être des marqueurs moléculaires (antigènes, ADN...).

Les vers adultes comme les larves peuvent directement être recherchés mais ils sont rarement retrouvés. Deux exemples sont connus. Le premier est celui d'un fragment de Schistosome adulte (*Schistosoma* sp.) identifié par Bouchet et Paicheler (1995), dans des latrines datées du 15^{ème} siècle ap. J.-C. du site de Montbéliard (Doubs, France). Le second correspond à des larves d'ankylostome observées dans des coprolithes humains datés entre 3610 et 360 ans issus d'un site brésilien (Ferreira *et al.*, 1980).

La plupart des études réalisées en paléoparasitologie s'intéressent aux œufs de parasites (par exemple Bouchet *et al.*, 2001a). Ils sont extraits des échantillons par différentes méthodes en laboratoire puis observés sous microscope. Leurs dimensions et leurs caractéristiques morphologiques particulières permettent l'identification des espèces correspondantes (Ash et Orihel, 2007). Les méthodes d'extraction des œufs seront abordées dans la seconde partie de ce travail de thèse (voir *infra* deuxième partie, **1.3 Méthodes de la paléoparasitologie**, p. 195).

Les marqueurs de types moléculaires recherchés correspondent aux antigènes et à l'ADN ancien. Les antigènes de certains parasites sont détectés par l'utilisation d'anticorps spécifiques issus ou non de kits commerciaux utilisant la technique ELISA (Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay). Ils permettent d'identifier spécifiquement certains parasites comme l'amibe pathogène humaine *Entamoeba histolytica* (par exemple Le Bailly et Bouchet, 2006).

L'ADN ancien des parasites est quant à lui recherché dans les échantillons par diverses méthodes de biologie moléculaires (PCR...). Plusieurs d'entre elles sont actuellement en cours de développement pour les parasites intestinaux anciens.

Les méthodes de recherche de ces marqueurs moléculaires seront abordées dans la seconde partie de ce travail de thèse (voir *infra* deuxième partie, **1.1 Etudes, marqueurs parasitaires et méthodes utilisées**, p. 191).

Pour l'époque romaine les études publiées s'intéressant aux paléoantigènes sont rares (voir Le Bailly et Bouchet, 2006). En ce qui concerne l'ADN ancien il n'existe pour le moment aucune étude publiée pour cette époque comparée à d'autres périodes. Loreille *et al.* ont par exemple étudié en 2001 l'ADN ancien extrait d'œufs d'*Ascaris* sp. provenant du site médiéval de Namur (Belgique).

L'ensemble de ces marqueurs est recherché dans différents types d'échantillons archéologiques liés à la présence de matières fécales et d'urines.

1.2.2.2 Matériel étudié et échantillonnage

Le matériel à étudier correspond à des coprolithes (excréments dessechés ou en voie de minéralisation) (Figure 2, p. 17), à des échantillons de sédiments issus de structures de type latrines et fosses d'aisance (Figure 3, p. 17) ou encore à des échantillons (organes ou sédiments) issus de la cavité abdominale d'individus (homme ou animal) (Figure 4, p. 18)⁴. Il peut alors s'agir de corps conservés, de momies naturelles ou artificielles, ou encore de sépultures. D'autres échantillons moins organiques peuvent également faire l'objet d'analyses (contenus de céramiques par exemple).

D'une manière plus générale, l'échantillonnage doit prendre en compte plusieurs facteurs tels que les problématiques particulières liées à l'étude du site et les questionnements des archéologues (présence ou non d'animaux dans un bâtiment par exemple), le type de site étudié, le type de structure retrouvé en fouilles, ou encore le type de contexte (humide...).

⁴ Les illustrations correspondent à des vestiges étudiés au cours de ce travail de thèse.

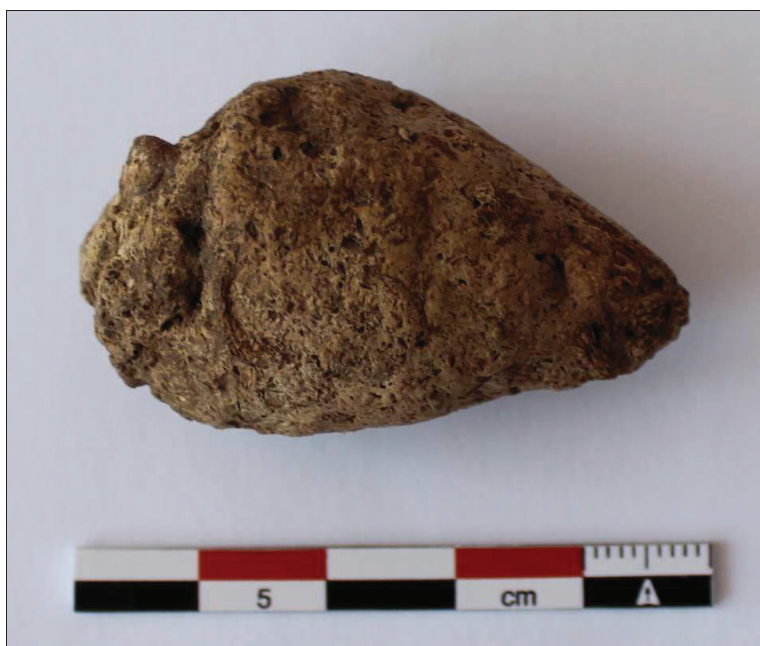


Figure 2 : Coprolithe du site de Metz, ZAC Amphithéâtre (57, Moselle).



Figure 3 : Latrines en cours de fouille du site de Beauvais, Place du Jeu de Paume (60, Oise).



Figure 4 : Sarcophage de pierre et cercueil de plomb du site de Jaunay-Clan, "Sous Clan 2" / ZAC des Grands Champs (86, Vienne).

1.2.2.3 Les informations apportées

Les analyses en paléoparasitologie permettent d'apporter plusieurs types d'informations utiles à la compréhension du site fouillé et des populations humaines et animales étudiées. Elles apportent tout d'abord des informations sur l'état de santé des populations ainsi que sur leurs conditions de vie (hygiène, alimentation...). Par exemple, l'analyse d'un individu du site de l'oasis d'Al-Kharga, daté du 4^{ème}-5^{ème} s. ap. J.-C., a montré la présence de *Taenia* sp. dont l'infestation est liée à la consommation de viande de bœuf et de porc mal cuite. Ce parasite provoque principalement chez son hôte douleurs abdominales, nausées et prurit anal (Le Bailly *et al.*, 2010).

Les analyses aident également à la caractérisation des structures étudiées, et fournissent des indices de présences humaines et animales sur les sites. Par exemple l'observation

d'*Oxyuris equi*, parasite spécifique des équidés, sur le site militaire romain de Carlisle (Annetwell street, Royaume-Uni), dans un petit bâtiment de type cabane, permet d'attester de la présence du cheval sur le site et de supposer que ce bâtiment correspond à une écurie (Caruana, 1990; Jones *et al.*, 1988).

Elles peuvent enfin apporter des informations sur les paléoenvironnements et les mouvements de population humaines et animales au cours du temps. Le Bailly et Bouchet mettent par exemple en avant dans leur synthèse sur la Dicrocoeliose une possible migration de *Dicrocoelium* sp. de l'Ancien au Nouveau monde via la seconde colonisation européenne du Canada au 17^{ème} s. ap. J.-C., indiquant également que les conditions (environnement favorable et présence d'hôtes intermédiaires adaptés) étaient réunies pour le développement du parasite à cette époque (Le Bailly et Bouchet, 2010).

Par la recherche et l'étude des marqueurs parasitaires (œufs d'helminthes...), la paléoparasitologie donne différentes informations concernant les populations et les sites étudiés ainsi que sur les parasites anciens. L'approche pathographique des maladies parasitaires peut apporter des informations complémentaires. Comme nous allons le voir dans la partie suivante, les textes des différents peuples nous renseignent sur les connaissances parasitologiques dans l'Antiquité et permettent notamment de dresser la liste des parasites connus à l'époque chez l'homme et l'animal.

2 CONNAISSANCES PARASITOLOGIQUES D'APRES LES SOURCES ANTIQUES

2.1 Les vers intestinaux dans l'Antiquité

2.1.1 Connaissances empiriques des vers intestinaux

Il paraît difficile d'imaginer que depuis le début de la relation homme/parasite, les populations humaines n'aient pas eu connaissance de l'existence des vers intestinaux, aussi bien chez l'homme que chez l'animal. En effet, la présence dans les selles de vers complets ou partiels dont les dimensions peuvent aller de quelques millimètres à plusieurs centimètres pour les plus petits, voire parfois à plusieurs mètres pour les plus longs ne peut être ignorée. De même, l'expulsion dans les selles de cucurbitains (segments de vers plats ou proglottis), d'*ascaris* adultes ou encore d'oxyures, visibles à l'œil nu, était nécessairement connue chez l'homme. Chez l'animal, la chasse, la pêche et l'élevage ont dû également permettre d'observer des helminthes, au moment de leur préparation pour la consommation et au cours des soins apportés aux animaux domestiques. Par exemple, un foie d'herbivore parasité par des douves a pu marquer l'esprit des premiers hommes.

L'ethnographie peut apporter quelques indications à ce sujet. Hoeppli (1956) rapporte par exemple que les membres des tribus "primitives" d'Asie du Sud-Est connaissaient les vers ronds grands et petits, probablement *Ascaris lumbricoides* et *Enterobius vermicularis*, ainsi que les vers plats, les Taeniidae/Diphyllobothriidae. Si ces peuples primitifs sont conscients de l'existence de parasites, nous pouvons supposer qu'il en était de même pour les peuples préhistoriques. Cependant, ces connaissances parasitologiques empiriques ne peuvent être confirmées. Il faudra attendre l'Antiquité avec les premiers textes écrits pour pouvoir réaliser l'étendue des connaissances parasitologiques antiques et réaliser une première liste des helminthes reconnus.

2.1.2 Connaissance des vers intestinaux dans l'Antiquité

2.1.2.1 Vers et parasites dans l'Antiquité

Le terme ver dérive du latin *vermis* et est employé depuis des siècles dans l'esprit populaire. Il désigne tout ce qui a une forme allongée, les choses qui rampent et d'une manière générale toutes les créatures semblables à des vers qu'elles correspondent à des vers de terre, des larves d'insectes présentes dans les fruits, les légumes ou les arbres, ou encore aux vers parasites de l'homme et de l'animal (Grove, 1990). Au sens biologique du terme, les vers sont des organismes pluricellulaires invertébrés qui appartiennent à plusieurs embranchements et classes du règne animal. Ils correspondent soit à des Nématodes (vers ronds), des Plathelminthes (vers plats), des Acanthocéphales (vers à tête épineuse), des Nématomorphes (vers crins ou vers gordiens) ou des Annelides (vers segmentés incluant les lombrics et les sangsues) (Grove, 1990).

Le terme parasite, traduction du terme grec παρασιτοζ (PARASITOS) et latin *parasitus* désigne initialement dans l'Antiquité un convive toléré, mais non invité, qui devait en échange distraire les hôtes au cours d'un repas. Le mot grec signifie littéralement "celui qui mange à la table d'un autre" et est formé de la combinaison de παρα (PARA) = "à côté de" et de σιτος (SITOS) = "nourriture" (Grove, 1990).

Son sens moderne désignant un être qui vit au dépend d'un autre n'a été donné qu'au 17^{ème} siècle, en 1646, par Sir Thomas Browne qui l'emploie au sujet des mousses et fougères qu'il considérait alors comme des plantes parasites (Hassl, 2005). Ainsi, le thème du parasite dans son sens premier a été largement exploité par les auteurs grecs et romains, notamment dans les comédies. Ce terme n'était pas employé par les auteurs antiques dans son sens médical, mais de nombreux textes font références aux vers parasites de l'homme et de l'animal.

2.1.2.2 Les sources à utiliser

Il convient tout d'abord de s'interroger sur les sources à exploiter. S'intéresser uniquement aux documents des auteurs romains serait en effet trop restrictif car les connaissances utilisées par les médecins et les vétérinaires, ainsi que par les agronomes et encyclopédistes, sont celles du

monde romain dans son ensemble, ou plutôt des peuples installés sur les territoires correspondant à l'Empire romain.

Ainsi les connaissances des Grecs ont été utilisées par les Romains, et de ce fait intégrées, notamment à leur médecine (Cushing, 1999). Nous savons par exemple pour les auteurs romains que Caton (237-142 av. J.-C.) consultait les ouvrages grecs, que Celse (53 av. J.-C. - 7 ap. J.-C.) a utilisé pour ses écrits des sources grecques, et que Pline (23-79 ap. J.-C.) cite de nombreux remèdes grecs tirés des plantes, probablement collectés chez Théophraste (371-288 av. J.-C.). De plus, des médecins grecs s'installent à Rome dès la fin du 3^{ème} siècle av. J.-C. (King et Dasen, 2008). Galien (129-200/216 ap. J.-C.) fait partie de ces médecins, et il possédait dans sa bibliothèque des ouvrages de Pergame et de médecins grecs non seulement "anciens" comme Hippocrate (460-370 av. J.-C.) mais aussi "contemporains" comme Rufus d'Ephèse (2^{ème} siècle, vers 110) (Gourevitch, 2011).

Nous savons également qu'Hippocrate a appris la médecine en Grèce puis a fait un voyage d'étude en Egypte, en Syrie, en Italie et en Sicile pour approfondir ses connaissances. De même, Galien a étudié la médecine non seulement en Grèce mais aussi en Egypte, à Alexandrie (Halioua, 2009). Ainsi les connaissances médicales et vétérinaires des Egyptiens ont dues aussi être utilisées par les Grecs, et donc par les Romains.

Comme nous allons le voir, les auteurs mentionnés ici, qu'ils soient grecs ou romains, ainsi que les papyri égyptiens parlent des vers intestinaux. Ceci nous permet d'établir une première synthèse des connaissances parasitologiques antiques, ainsi que la liste des parasites connus à l'époque romaine. Pour chacun de ces trois peuples, les informations qui suivent sont issues des recherches réalisées par différents auteurs sur les textes de l'Antiquité (Ebbell, 1937; Erman, 1901; Green, 2013; Grove, 1990; Halioua, 2008a; Halioua, 2009; Hoeppli, 1956; Joachim, 1890; Lefebvre, 1956; Moulé, 1911; Nunn, 2002; Penso, 1981; Riad, 1955; Roncalli, 2001; Sandison, 1967; von Oefele, 1902; Westendorf, 1992).


2.1.2.3 Informations des textes égyptiens

Parmi les papyri médicaux et vétérinaires parvenus jusqu'à nous, huit textes mentionnent les vers parasites intestinaux. Ces textes sont bien antérieurs au début de l'Empire romain mais comme nous venons de le voir les connaissances qu'ils contiennent ont pu être utilisées dans la médecine romaine et sont donc intégrés à cette étude bibliographique. Ils apportent

d'ailleurs les plus anciennes informations écrites connues concernant les parasites. Le tableau⁵ suivant présente ces documents, non signés, et datés entre 2000 av. J.-C. (12e dynastie) et 1186 av. J.-C. (19e dynastie) :

Document	Date	Abréviations
Papyrus vétérinaire de Kahoun	12e dynastie, vers 2000 av. J.-C.	P.K
Papyrus Ramasseum III	12e dynastie, vers 1963 - 1786 av. J.-C.	P.R
Papyrus du Louvre E. 4864	18e dynastie, 1550 - 1295 av. J.-C.	P.Lou
Papyrus Hearst	18e dynastie, 1550 - 1295 av. J.-C.	P.H
Papyrus Ebers	1550 av. J.-C.	P.E
Petit papyrus de Berlin, papyrus Berlin 3027	1450 av. J.-C.	P.B2
Papyrus médical de Londres	1350 av. J.-C.	P.Lon
Grand papyrus de Berlin, papyrus Berlin 3038	19e dynastie, 1295 - 1186 av. J.-C.	P.B

Tableau 1 : Papyri médicaux et vétérinaires égyptiens mentionnant les vers parasites intestinaux.

Dans tous ces textes, le signe hiéroglyphique  désigne les vers de manière générale et ceux qui le suivent précisent leur nature (Moulé, 1911; Penso, 1981). Ainsi, dix termes différents sont répertoriés dans ces textes et font références aux vers parasites. Le tableau suivant rassemble les noms anciens de ces vers, les hôtes associés ainsi que les sources correspondant à leur emploi dans les textes :


Nom ancien*	Hôte	Source ancienne**
	Homme et animaux	Ensemble des papyri
<i>betju, betjou</i>	Homme	P.E
<i>djedfet</i>	Homme	P.E et P.B2
<i>fend</i>	Animaux	P.K
<i>fent, fenet</i>	Homme et animaux	P.K, P.R, P.H, P.Lon et P.B
<i>heft, hefat, hefet</i>	Homme	P.R, P.Lou, P.E et P.B
<i>heltu</i>	Homme	P.E
<i>hereret</i>	Homme	P.E
<i>herxetef</i>	Homme	P.E
<i>hesbet, hesebt</i>	Homme	P.E
<i>pend, pened</i>	Homme	P.E

Tableau 2 : Noms égyptiens des vers parasites intestinaux (*D'après les travaux de : von Oefele, 1902; Moulé, 1911; Penso, 1981; Grove, 1990; Nunn, 2002; Halouia, 2008a; Halouia, 2009; Green, 2013. **Les abréviations des sources anciennes correspondent à celles utilisées dans le Tableau 1, p. 23.).

⁵ Tous les tableaux sont de l'auteur.

D'après les traitements et les symptômes décrits, plusieurs chercheurs ont proposé des identifications pour ces vers, allant même parfois jusqu'à l'espèce, alors que d'autres désigneraient les vers intestinaux en général (voir Volume 2, Annexe 1, p. 1). Mais, attendu qu'aucune description morphologique ne les accompagne, ces identifications ne peuvent être qu'hypothétiques. Parfois même certaines d'entre elles s'opposent. Le ver *heft*, *hefat*, *hefet* correspond par exemple à *Diphyllbothrium latum* selon von Oefele (1902), qui utilise le synonyme *Bothriocephalus latus*, à *Taenia* sp. selon Taber (cité par Green, 2013) et à *Ascaris lumbricoides* selon Joachim (1890), Ebbell (1937) et Lefebvre (1956).

De plus, Westendorf (1992) considère qu'il existe des vers métaphoriques, donc non réels, et d'après Taber (cité par Green 2003) certaines dénominations pourraient correspondre non au vers eux-mêmes mais aux complications qu'ils provoquent chez leur hôte.

D'autres parasites ne sont pas mentionnés à proprement parlé dans les papyri, mais seraient connus par les symptômes qu'ils provoquent. Par exemple les urines sanglantes (hématuries) pourraient être dues à une bilharziose à *Schistosoma haematobium* (Halouia, 2008a; Halouia, 2009). Cependant ce symptôme n'étant pas spécifique de cette parasitose, il pourrait être provoqué par une autre pathologie affectant les reins et les voies urinaires (par exemple glomérulopathies).

Bien que des identifications et interprétations soient différentes, les auteurs s'accordent sur le fait que les Egyptiens connaissent *Ascaris lumbricoides* ainsi que les vers plats (Taeniidae/Diphyllbothriidae), ce que confirment les découvertes d'œufs de ces espèces dans des momies égyptiennes (Halouia, 2008a; voir *infra* **4.5.4.1 Aires de répartitions maximales**, p. 152).

A ce sujet, il est intéressant de noter que la première observation à la base de la paléoparasitologie est réalisée par Sir Marc Armand Ruffer (1910) sur deux momies égyptiennes. Il a pu observer des œufs calcifiés de *Schistosoma haematobium*, parasite déjà suspecté sur la base des mentions d'urines sanglantes parmi les symptômes décrits dans certains papyri.

Même s'il n'existe aucune description morphologique permettant leur identification précise, les dix vers mentionnés dans les papyri attestent que les Egyptiens connaissent les vers intestinaux. La mention de traitements antiparasitaires efficaces indique enfin la précision de ces connaissances.

2.1.2.4 Informations des textes grecs

Une quinzaine d'auteurs grecs mentionnent des parasites humains et animaux dans leurs textes datés entre le 5^{ème} siècle av. J.-C. et le 4^{ème} siècle ap. J.-C. :

Auteur	Date	Abréviations
Hippocrate	460-370 av. J.-C.	Hip
Aristote	384-322 av. J.-C.	Ari
Théophraste	371-288 av. J.-C.	Thé
Dioscoride	40-90 ap. J.-C.	Dio
Rufus d'Ephèse	2 ^{ème} siècle, vers 110	Ruf
Galien	129-200/216 ap. J.-C.	Gal
Oribase	325-395 ap. J.-C.	Ori
Hippiatres grecs*	Antiquité	HipG

Tableau 3 : Auteurs grecs traitant des vers parasites intestinaux (*Parmi les auteurs hippiatriques, vétérinaires spécialisés dans la médecine des équidés, se trouvent : Apsyrτος, Anatolios, Eumelos, Theomnestos, Hippocrate, Hiéroclès, Pelagonius, Simon d'Athènes et Xénophon (Menard, 2003)).

Comme pour les papyri, certains de ces documents sont antérieurs à l'époque romaine, mais il convient de les intégrer à notre étude pour les raisons citées précédemment. Sept termes et expressions utilisés par les auteurs grecs pour désigner ces vers intestinaux ont été relevés (voir Tableau 4, p. 28). Le terme ελμινθες désigne les vers intestinaux de l'homme et de l'animal en général. Pour les vers des chevaux, Hippocrate utilise le terme σχωληχες et les Hippiatres grecs le terme τερηδων. Nous savons également par Aristote que des vers étaient connus chez les chiens et les poissons.

Les auteurs grecs apportent pour la première fois des descriptions morphologiques des vers. Associées aux symptômes et aux remèdes décrits, ces descriptions permettent de proposer des identifications plus précises des vers et de les rapprocher de certaines espèces. Ainsi, les Grecs distinguaient trois sortes de vers : les vers ronds - στρογγυλαι ελμινθες ; les vers plats - πλατεια ελμινθες ou ταινια ; et les oxyures - ασχαριδες. Les vers ronds correspondent à la classe actuelle des Nématodes (ou vers ronds) et les vers plats à la classe actuelle des Cestodes (ou vers plats). Les oxyures sont également des vers ronds, mais leurs faibles dimensions et les symptômes particuliers qu'ils provoquent ont pu conduire les auteurs grecs à les classer dans une catégorie particulière.

D'après les recherches effectuées sur les textes anciens, nous savons que les Grecs connaissent chez l'homme *Ascaris lumbricoides*, *Enterobius vermicularis*, et des vers plats, parmi lesquels aucune distinction n'est faite entre *Taenia* sp. et *Diphyllobothrium* sp. D'une manière générale, les vers plats connus chez l'homme correspondent aux familles des Taeniidae/Diphyllobothriidae. Chez le cheval, *Oxyuris equi* et *Parascaris equorum* sont connus, ainsi que des vers plats, plus rares selon Galien (Hoepli, 1956; Moulé, 1911; Sandison, 1967). Aucune précision n'est donnée sur ces vers plats, mais nous pouvons supposer qu'ils font partie de la famille des Anoplocephalidae, seule famille de Cestodes parasitant à l'état adulte les équidés (Meana et al., 2002).

Concernant les symptômes associés aux vers intestinaux, plusieurs textes livrent des descriptions intéressantes. Tout d'abord, Hippocrate et Aristote font état, chez l'homme, de l'apparition dans les selles de "quelque chose de comparable aux graines de courges" associés aux vers plats. Il pourrait s'agir de la description des cucurbitains, c'est-à-dire des segments de vers plats (ou proglottis) caractéristiques du tæniasis, maladie contractée par la consommation de viande de porc et/ou de bœuf crue ou mal cuite. D'autres symptômes sont décrits sans être associés à des parasites. Hippocrate et Galien mentionnent par exemple la présence chez l'homme et l'animal de "tumeurs aqueuses" localisées dans les poumons et le foie. Celles-ci pourraient correspondre à des kystes d'*Echinococcus* sp., caractéristiques de l'échinococcose. Dans ce cas la maladie est contractée par ingestion d'œufs du parasite. La ladrerie du porc due à *Taenia solium*, ainsi que la localisation des cysticerques dans l'animal, sont décrits par plusieurs auteurs (Hippocrate, Aristote, Rufus d'Éphèse, Galien et Oribase) comme des "grains de riz" ou des "grêlons". De même, la cysticercose est une maladie contractée par ingestion d'œufs de *Taenia* sp. et concerne aussi bien l'homme que l'animal. Il est intéressant de noter que la viande de porc parasitée pouvait être consommée si les kystes étaient peu nombreux. Un cas de cysticercose humaine, le seul de la littérature antique, est également décrit par Hippocrate, dans lequel des "grains de riz" sont apparus sur la langue d'une femme malade.

Habituellement, l'homme est hôte définitif des parasites du genre *Taenia* et s'infeste par ingestion de viande crue ou mal cuite de porc ou de bœuf porteurs des larves enkystées du parasites (respectivement *T. solium* et *T. saginata*). Ces animaux s'infestent lorsqu'ils ingèrent des œufs de parasites qui polluent leur nourriture ou par coprophagie (chez le porc uniquement). Parfois, lorsque de la matière fécale contenant des œufs de *Taenia* sp. contamine sa nourriture, l'homme peut lui aussi devenir hôte intermédiaire du parasite. Les

larves migrent alors des intestins vers les différents organes et en particulier dans les muscles (langue...).

Dans ce cas, les cysticerques peuvent être associés à *Taenia solium*, parasite dû à la consommation de viande de porc crue ou mal cuite (Hoepli, 1956; Moulé, 1911; Penso, 1981; Sotiraki *et al.*, 2003). Une deuxième espèce actuelle connue de *Taenia* pourrait se retrouver chez l'homme, *Taenia asiatica*, liée à la consommation de porc, mais ce parasite est actuellement endémique des pays est-asiatiques (Eom, 2006).

Enfin, Simon d'Athènes (430 av. J.-C.) dit au sujet du choix des chevaux que "La queue doit être portée haute et être bien fournie avec de longs crins" (Smith, 1913). La seconde partie ("être bien fournie avec de longs crins") pourrait se référer à l'apparence de "queue de rat" observée sur les chevaux modernes porteurs d'*Oxyuris equi*, parasite aussi mentionné par Hippocrate et Galien. Le fait d'avoir pris la peine de consigner ce détail par écrit pourrait indiquer que cette parasitose était courante à l'époque chez le cheval.

Les textes nous apprennent que les Grecs connaissaient deux classes actuelles de vers intestinaux dans lesquels se répartissent neufs vers parasites de l'homme et de l'animal (voir Tableau 4, p. 28) :

- Les Nématodes, ou vers ronds : *Ascaris lumbricoides*, *Enterobius vermicularis*, *Oxyuris equi* et *Parascaris equorum*.
- Les Cestodes, ou vers plats : *Echinococcus* sp., *Taenia solium*, *Taenia* sp., Taeniidae/Diphyllobothriidae et Anoplocephalidae.

D'autres vers sont mentionnés chez certains animaux (chien et poisson par exemple), mais le peu d'information disponible à leur sujet ne permet pas de les identifier précisément.

Classe actuelle	Nom actuel*	Nom ancien*	Hôte	Source**	Interprétation/Identification*
Nématodes	Oxyures	ασχαριδες	Homme	Hip, Ari et Ori	Moulé, 1911
	vers ronds	στρογγυλαι ελμινθες	Homme et animaux	Dio et Gal	Moulé, 1911
			Homme	Hip	Moulé, 1911
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	ελμινθες στρογγυλαι	Homme et animaux	Ari, Thé, Dio, Ruf, Gal et Ori	Moulé, 1911
	<i>Enterobius vermicularis</i>	ασχαριδες	Homme	Hip et Ari	Moulé, 1911
	<i>Oxyuris equi</i>		Cheval	Hip, Ari et Ori	Moulé, 1911
Cestodes	<i>Parascaris equorum</i>		Cheval	Gal	Hoeppli, 1956; Sandison, 1967
	vers plats	πλατεια ελμινθες	Homme	Gal	Hoeppli, 1956
	vers plats	ταινια	Homme et animaux	Hip	Moulé, 1911
	vers plats		Homme et animaux	Ari, Thé, Dio, Ruf, Gal et Ori	Moulé, 1911
Vers intestinaux			Cheval	Gal	Moulé, 1911
		ελμινθες	Homme et animaux	Ensemble des auteurs antiques	Hoeppli, 1956
		σχωληηδες	Cheval	Hip	Moulé, 1911
		τερηδων	Cheval	HipG	Moulé, 1911
Vers			Chien	Ari	Hoeppli, 1956
			Poisson	Ari	Hoeppli, 1956

Tableau 4 : Interprétations et identifications des vers mentionnés par les Grecs selon les différents chercheurs (*D'après les travaux de : Moulé, 1911; Hoeppli, 1956; Sandison, 1967. Certains auteurs ne mentionnent pas le nom ancien. **Les abréviations des sources anciennes correspondent à celles utilisées dans le Tableau 3, p. 25.)

2.1.2.5 Informations des textes romains

Dix auteurs romains évoquent les parasites dans leurs textes, rédigés entre le 3^{ème} siècle av. J.-C. et le 5^{ème} siècle ap. J.-C. :

Auteur	Date	Abréviations
Caton le censeur	237-142 av. J.-C.	Cat
Celse	53 av. J.-C. - 7 ap. J.-C.	Cel
Pline	23-79 ap. J.-C.	Pli
Columelle	1 ^{er} siècle ap. J.-C.	Col
<i>Claudius Helianus</i> de Preneste	3 ^{ème} siècle ap. J.-C., - 240 ap. J.-C.	Hel
<i>Gargilius Martialis</i>	1 ^{ère} ½ du 3 ^{ème} siècle ap. J.-C.	Mar
Chiron	4 ^{ème} siècle	Chi
Végèce	fin 4 ^{ème} siècle - début 5 ^{ème} siècle ap. J.-C.	Vég
<i>Quintus Serenus Sammonicus</i>	5 ^{ème} siècle ap. J.-C.	Sam
<i>Caelius Aurelianus</i>	5 ^{ème} siècle ap. J.-C.	Aur

Tableau 5 : Auteurs romains traitant des vers parasites intestinaux.

Les Romains ont traduit en latin certains des termes grecs et ont employé beaucoup plus d'expressions pour désigner les helminthes (24 expressions latines contre 7 grecques) (voir Tableau 6, p. 32). Ainsi, le terme *lumbrici*, traduction du terme grec ελμινθες, désigne les vers intestinaux dans leur ensemble. Comme chez les Grecs, des adjectifs décrivant la morphologie des vers sont associés à ce terme et permettent de distinguer les vers ronds d'une part (*lumbrici rotundi* ou *lumbrici teretes*), et les vers plats d'autre part (*lumbrici lati*). *Claudius Helianus* de Preneste, bien que romain, écrivait en grec et employait le terme ελμινθα pour parler des vers de l'homme en général, et θηριον pour désigner les vers plats. Le terme *ascarides* est employé comme chez les Grecs pour désigner l'oxyure de l'homme, *Enterobius vermicularis*. Ainsi les Romains ont repris la même classification que les Grecs, les oxyures correspondant là encore à des vers ronds particuliers.

D'autres termes et expressions sont employés pour désigner les vers comme par exemple *Animalia intestinorum* / *animalia interaneorum* (littéralement "les animaux des intestins"), *coluber*, *cossi* ou *vermes*. D'autres encore désignent les vers plats : *taenia*, *tenia*, *tinea*, *tineola* et *tiniola*. Enfin *Tineas rotundas* désigne les vers ronds.

Les recherches effectuées sur les anciens textes nous apprennent qu'en plus des oxyures, les Romains connaissaient l'ascaris de l'homme, *Ascaris lumbricoides*. Une fois encore les informations ne sont pas assez précises pour savoir si plusieurs espèces de vers plats étaient connues (*Taenia* sp. et *Diphyllobothrium* sp.). D'une manière générale, les vers plats de

l'homme correspondent aux familles des Taeniidae/Diphyllobothriidae, plus communément appelés ténias. Chez les animaux, plusieurs types de vers sont évoqués mais peu ont fait l'objet d'une identification. Il semble que *Toxocara vitulorum* était connu chez le veau (Roncalli, 2001), et *Parascaris equorum* chez le cheval (Moulé, 1911; Roncalli, 2001). Cependant il existe pour ce dernier un doute exprimé par Penso (1981), qui pense que les descriptions du ver faites par Columelle et Végèce correspondraient à des larves de *Gastrophilus haemorrhoidalis*, une mouche dont les larves s'attachent au rectum des équidés. Mais, attendu que Chiron mentionne aussi *P. equorum*, selon Moulé (1911), nous pouvons penser que ce parasite était connu chez le cheval.

Pour finir *Caelius Aurelianus*, le dernier auteur de l'époque romaine, parle chez l'homme de deux vers pour lesquels nous connaissons uniquement le nom : *lumbrici albi* et *lumbrici sanguinolenti*, littéralement "ver blanc" et "ver sanguinolent ou ver cruel". Faut-il associer *lumbrici sanguinolenti* à un ver provoquant par exemple des hématuries comme *Schistosoma haematobium* ou *Dioctophyma renale*, ou des diarrhées sanglantes comme *Trichuris* sp. ? Il convient de rester prudent quant à cette hypothèse car il n'y a pas d'information associées à ces vers, autres que leurs noms.

Par conséquent, nous apprenons des textes romains que, comme pour les Grecs, deux classes actuelles de vers intestinaux étaient connues, dans lesquelles se répartissent six vers parasites humains et animaux différents (voir Tableau 6, p. 32) :

- Les Nématodes, ou vers ronds : *Ascaris lumbricoides*, *Enterobius vermicularis*, *Parascaris equorum* et *Toxocara vitulorum*.
- Les Cestodes, ou vers plats : *Taenia* ou *Diphyllobothrium* sp. et Taeniidae/Diphyllobothriidae.

Classe actuelle	Nom actuel*	Nom ancien*	Hôte	Source**	Interprétation/Identification*
Nématodes	vers ronds	<i>Lumbrici rotundi</i>	Homme	Cel et Aur	Penso, 1981; Roncalli, 2001
	vers ronds	<i>Lumbrici teretes</i>	Homme	Cel et Pli	Moulé, 1911
	vers ronds	<i>Tineas rotundas</i>	Homme	Pli	Moulé, 1911
	Ascarides	<i>Lumbrici</i>	Animaux	Chir	Penso, 1981
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	<i>Lumbrici</i>	Homme	Auteurs romains	Moulé, 1911
		<i>Lumbricus teres</i>	Homme	Auteurs romains	Sandison, 1967
		<i>Tinea rotunda</i>	Homme	Pli	Sandison, 1967
	<i>Enterobius vermicularis</i>	<i>Lumbrici teretes</i>	Enfants	Cel	Penso, 1981
	Oxyures	<i>Ascarides</i>	Homme	Aur	Penso, 1981
	<i>Parascaris equorum</i>	<i>Vermes quasi lumbrici</i>	Cheval	Col	Roncalli 2001
			Cheval	Col, Chi et Vég	Moulé, 1911
	<i>Toxocara vitulorum</i>	<i>Lumbrici</i>	Veaux	Col	Moulé, 1911
	vers plats	<i>Lumbrici lati</i>	Homme	Cel, Pli et Aur	Moulé, 1911
	vers plats	<i>Taenia, tenia</i>	Homme et animaux	Cat, Pli et Mar	Moulé, 1911
Cestodes	vers plats	θηπιον	Homme	Hel	Penso, 1981
	<i>Taenia</i> ou <i>Diphyllobothrium</i>	<i>Taenia, tenia</i>	Homme et animaux	Cat et Pli	Moulé, 1911
	<i>Taenia</i> sp.	<i>Lumbricus latus</i>		Auteurs romains	Grove, 1990
	Taenidae	<i>Tinea</i>		Auteurs romains	Moulé, 1911
		<i>Tineola</i>		Auteurs romains	Moulé, 1911
		<i>Tiniola</i>		Auteurs romains	Moulé, 1911
	larves de <i>Gastrophilus haemorrhoidalis</i>	<i>Vermes</i>	Cheval	Vég	Penso, 1981
Insectes		<i>Vermes quasi lumbrici</i>	Cheval	Col	Penso, 1981
Vers intestinaux	vers intestinaux	<i>Animalia intestinorum / animalia interaneorum</i>	Homme et animaux	Pli	Moulé, 1911
	vers intestinaux	<i>Ascarides</i>	Homme	Aur	Penso, 1981
	vers intestinaux	<i>Coluber</i>	Animaux	Col	Moulé, 1911
	vers intestinaux	<i>Cossi</i>	Animaux	Chi et Vég	Moulé, 1911
	vers intestinaux	<i>Lumbrici</i>	Homme et animaux	Auteurs romains dont Cel, Pli, Mar et Sam	Moulé, 1911
			Animaux	Cat, Chi et Vég	Moulé, 1911; Penso, 1981

vers intestinaux	<i>Pediculosus</i>	Animaux	Chi	Moulé, 1911
vers intestinaux	<i>Tineae</i>	Animaux	Cat et Vég	Moulé, 1911; Penso, 1981
vers intestinaux	<i>Tineis</i>	Homme	Pli et Sam	Moulé, 1911; Penso, 1981
vers intestinaux	<i>Tineolae</i>	Animaux	Vég	Penso, 1981
vers intestinaux	<i>Tiniolae</i>	Animaux	Chi et Vég	Moulé, 1911
vers intestinaux	<i>Vermes</i>	Homme et animaux	Auteurs romains sauf Pli	Moulé, 1911
vers intestinaux	<i>Vermiculus</i>	Cheval	Chi et Vég	Moulé, 1911; Penso, 1981
vers intestinaux	<i>Vermimatio</i>	Animaux	Mar, Chi et Vég	Moulé, 1911
vers intestinaux	<i>ελμινθα</i>	Homme et animaux	Auteurs romains sauf Pli	Moulé, 1911
vers intestinal non identifié	<i>Lumbrici albi</i>	Equidés	Pli	Moulé, 1911
vers intestinal non identifié	<i>Lumbrici sanguinolenti</i>	Homme	Hel	Penso, 1981
vers intestinal non identifié		Chien	Hel	Penso, 1981
vers intestinal non identifié		Homme	Aur	Penso, 1981
vers intestinal non identifié		Homme	Aur	Penso, 1981

Tableau 6 : Interprétation/identification des vers connus des Romains selon les différents chercheurs (*D'après les travaux de : Moulé, 1911; Sandison, 1967; Penso, 1981; Grove, 1990; Roncalli, 2001. Certains auteurs ne mentionnent pas le nom ancien. **Les abréviations des sources anciennes correspondent à celles utilisées dans le Tableau 5, p. 29.).

2.1.2.6 Informations des autres peuples de l'Antiquité

D'autres peuples de l'Antiquité mentionnent aussi les parasites intestinaux. L'historien grec Hérodote rapporte au 5^{ème} siècle av. J.-C. des informations sur la médecine des Babyloniens (2^{nde} 1/2 2^{ème} - 1^{ère} 1/2 1^{er} millénaires av. J.-C. pour les premiers textes médicaux) dans laquelle des troubles digestifs sont mentionnés, ainsi que des maladies affectant le foie comme l'hydatidose provoquée par *Echinococcus granulosus* (Halioua, 2009; Sandison, 1967). Nous savons également qu'il existe des similitudes entre les médecines mésopotamienne et égyptienne dans laquelle plusieurs helminthes sont mentionnés. Dans la médecine hébraïque, il existe aussi des emprunts faits à la médecine égyptienne (Halouia, 2008a).

Le Talmud, texte oral rédigé aux alentours du 1^{er} siècle av. J.-C., mentionne l'existence de vers intestinaux. Le Talmud de Babylone fait référence à des kystes hydatiques, dus à *Echinococcus granulosus*, dans les viscères d'animaux sacrifiés (Cox, 2004; Grove, 1990), et le terme *kirça* s'appliquerait à des vers intestinaux (Penso, 1981). Le *kokoani* et la *kirtza* (autre orthographe de *kirça* ?) mentionnés dans le Talmud correspondraient à des parasitoses intestinales (Halouia, 2008b), et le terme général *kinnîm* désignerait les vers intestinaux. Enfin, la maladie *arqetha* pourrait être due à un ver en ruban, c'est-à-dire à un ténia (Penso, 1981).

Bien qu'éloignés de notre zone d'étude, il nous a semblé intéressant d'intégrer également les connaissances de l'Inde et de la Chine au sujet des helminthes, les Romains ayant eu des contacts avec ces deux pays. Concernant l'Inde, trois hymnes de l'Atharvaveda (texte sacré hindou rédigé en grande partie vers 1500-1000 av. J.-C.) sont utilisés pour la conjuration des vers : le premier contre les vers en général, le second contre les vers des enfants, et le troisième contre les vers du bétail. Quelques vers sont également nommés comme le *kurûru*, l'*algandu*, le *saluna*, l'*avaskada*, le *vyadhvara*, le *yevâsha*, le *kashkasha*, l'*egatka* et le *sipavitnuka*. Comme pour les papyri égyptiens leur identification est difficile car il n'y a pas de descriptions morphologiques associées à ces noms. Parfois des descriptions sont fournies, sans nom de parasite associé, qui relèvent plus de l'imaginaire que de la réalité morphologique (ver à trois têtes, ver bariolé...). Cependant, les vers des enfants correspondent probablement aux oxyures (*Enterobius vermicularis*) (Penso, 1981).

Les parasites sont connus des Chinois depuis au moins le 2^{ème} siècle av. J.-C. Le plus ancien document chinois qui traite de parasitologie est le Scih-Ci-Pen-Ciuan écrit en 180 av. J.-C. par Ssu-Ma-Cien, sous la dynastie Han. Trois sortes d'helminthes sont décrits chez l'homme par les textes chinois : *Huei Ch'ung* - *Ascaris lumbricoides* ; *Jao Ch'ung* - *Enterobius vermicularis* ; et *Ts'un Pai Ch'ung* - les vers plats (Taeniidae/Diphyllobothriidae). *Huei Ch'ung*, *Ascaris lumbricoides*, est le premier helminthe mentionné dans le Nei Ching, texte médical probablement écrit à la fin de la dynastie Zhou ou au début de la dynastie Qin, vers 300-200 av. J.-C. (Hoepli, 1956). Chang Chung Ching (150-219 ap. J.-C.) mentionne les symptômes du *Yu-ch'ung*, rendu par vomissement et qui pourrait correspondre à *Ascaris lumbricoides* (Penso, 1981).

Les parasites connus de ces autres peuples antiques le sont aussi des Grecs et des Romains. Ainsi, *Echinococcus granulosus* est connu des Mésopotamiens et des Hébreux, les vers plats (Taeniidae/Diphyllobothriidae) des Hébreux et des Chinois, *Enterobius vermicularis* des Hindous et des Chinois, et *Ascaris lumbricoides* uniquement des Chinois.

2.1.2.7 Ex-voto et connaissances anatomiques : d'autres sources d'informations ?

Afin de compléter cette approche pathographique des maladies parasitaires connues dans l'Antiquité, nous nous sommes intéressés à l'iconographie et aux objets votifs.

Les offrandes votives, ou ex-voto, sont des dons faits à une divinité en vue d'obtenir ou après avoir obtenu une guérison. Cette offrande prenait généralement la forme de la région concernée par la maladie. Les textes indiquent que les auteurs antiques connaissaient l'organe cible de certains parasites, c'est-à-dire l'organe dans lequel s'installe le parasite à l'état adulte. Des kystes d'Echinocoque sont mentionnés sur le foie et les poumons. Des cysticerques de *Taenia* sp. sont décrits sur la langue et dans la chair des animaux. Dans les intestins se trouvent l'ensemble des autres helminthes connus. Pline utilise d'ailleurs l'expression "animaux des intestins" pour faire référence aux vers intestinaux de l'homme et des animaux. Nous avons recherché s'il existait des ex-voto figurant certains de ces organes cibles. Les données trouvées sont très peu nombreuses.

La Figure 5 (p. 35) montre la représentation en terre cuite d'un intestin grêle, retrouvée dans le Tibre et datée des 3^{ème}-2^{ème} siècles av. J.-C. (Découflé, 1964; Rouquette, 1911). Il s'agit à notre connaissance du seul ex-voto en terre cuite connu de ce type.



Figure 5 : Ex-voto anatomique représentant un intestin grêle découvert dans le lit du Tibre, 3^{ème}-2^{ème} siècle av. J.-C. (Musée National Romain, Rome).

A son sujet, Rouquette (1911) émet l'hypothèse que cet ex-voto remercie ou demande la guérison d'une "indigestion monstrueuse", d'une "obstruction intestinale rebelle", ou d'une "affection du gros intestin" comme l'entérocolite. Les pathologies digestives décrites chez l'homme par Galien, Celse, Pline et Arétée de Cappadoce sont nombreuses : indigestion, problèmes de digestion, constipation, contorsion des intestins, diarrhées, mais l'origine de ces pathologies n'est pas toujours identifiée par les auteurs antiques (André, 2006). Les textes nous apprennent néanmoins que les parasites peuvent provoquer une constipation chez le malade. Nous savons aujourd'hui que les diarrhées font également partie des symptômes possibles des parasitoses intestinales. Ainsi certains symptômes décrits par les auteurs antiques peuvent correspondre à des parasites, mais ne leur sont pas spécifiques. Il est donc difficile d'identifier la maladie pour laquelle cet ex-voto a été réalisé. Il indique uniquement que dans l'Antiquité un homme souffrait de pathologie digestive dont ni la nature ni l'origine ne peuvent être clairement précisée.

Un autre ex-voto représentant des intestins conservé au Musée archéologique de Florence est également mentionné, mais il est fragmenté (Rouquette, 1911). Cet élément semble correspondre à un fragment de plaque votive en terre cuite rassemblant plusieurs organes et

non uniquement à des intestins. Des planches anatomiques d'organes internes de ce type, ou plaques polyviscérales, figurent en effet des images en bas-relief de la trachée, de l'œsophage, du cœur, de l'estomac, des poumons, du diaphragme, des intestins et des reins. Ces représentations particulières en terre cuite ou en marbre sont connues chez les Etrusques et les Romains sous la forme de plaques, d'amandes de dissection seules ou placées sur des troncs humains. En Gaule romaine, de tels ex-voto ont été retrouvés sous forme de plaques de bois notamment sur le site d'Alise-Sainte-Reine, des Sources de la Seine et de Chamalières (Deyts, 1988; Romeuf et Dumontet, 2000). Ces ex-voto sont probablement relatifs à la guérison d'un ou de plusieurs des organes représentés (Romeuf et Dumontet, 2000). Les plaques polyviscérales pourraient donc être des indices possibles de parasitoses, mais une fois encore les maladies affectant les organes représentés sont nombreuses et leur origine peut être multiple.

Les helminthes ne modifient pas nécessairement l'aspect extérieur des intestins ce qui rend difficile l'attribution des maladies à des parasites. En revanche, les kystes d'*Echinococcus* sp. sont bien visibles à la surface des poumons sous la forme de "bulles". Aucune représentation connue de cet organe ne semble avoir une telle surface irrégulière caractéristique. La représentation généralement schématique des organes sur ces plaques pourrait enfin expliquer cette absence. Pour Deyts (1983), l'important pour le malade était de désigner à la divinité le siège de sa souffrance. La qualité de l'offrande, sa richesse et sa véracité anatomique n'étaient pas essentielles.

Il est en effet peu probable que des interventions chirurgicales aient eu lieu en vue de renseigner l'artiste qui représentait le ou les organes internes concernés⁶. D'ailleurs, d'après les textes, les dissections et vivisections sont peu courantes chez l'homme dans l'Antiquité. Ces interventions sont néanmoins admises à Alexandrie au 3^{ème} siècle av. J.-C. L'intérieur du corps humain est alors connu par analogie avec celui de l'animal. Seuls les Egyptiens qui pratiquaient l'éviscération des corps pour la momification auraient pu observer régulièrement des parasites comme les kystes d'Echinocoque. Les lésions traumatiques à l'abdomen, liées par exemple aux guerres et aux combats de gladiateurs, ont pu également conduire les médecins grecs et romains à certaines des observations de parasites évoquées dans leurs écrits. A notre connaissance il n'en est fait aucune mention dans les textes.

Chez l'animal, en revanche les dissections sont plus courantes. Galien raconte par exemple avoir quotidiennement disséqué des animaux, le plus souvent des singes, en particulier des

⁶ De plus, nous savons que la majorité des ex-voto en terre cuite étaient produits en série à l'aide d'un moule et seuls certains sont semble-t-il des pièces uniques comme celui de la Figure 5 (p. 35) (Le Gall, 1988).

macaques, mais aussi des cochons, des chèvres et des moutons, et même à l'occasion le cœur d'un éléphant impérial (King et Dasen, 2008). Les observations de parasites animaux ont pu avoir lieu à ces occasions comme lors de l'éviscération et la préparation des animaux de boucherie.

Les douves du foie, parasites non mentionnés par les auteurs antiques, provoquent dans certains cas une déformation appelée hépatomégalie. Un foie plus gros pourrait alors indiquer la présence de douves. Cet organe n'est pas représenté sur les plaques polyviscérales, mais il existe des représentations de foie en terre-cuite et en bronze. Cependant ces représentations sont liées à l'hépatoscopie (divination basée sur l'observation des foies d'animaux sacrifiés) et ne correspondent pas à des ex-voto. Dans au moins un cas, une sculpture en marbre de bélier, conservée au British Museum et datée de 100 à 200 ap. J.-C., laisse entrevoir les organes internes de l'animal (Harrison et Turfa, 2010). Mais dans ce cas, le duodénum, le rumen et le foie ne sont que partiellement visibles.

Bien que les textes antiques montrent que certains vers intestinaux humains et animaux sont connus dans l'Antiquité, l'étude des ex-voto confirme uniquement que l'homme souffrait de pathologies digestives, mentionnées également dans les textes. Rien ne permet de préciser si leur origine est parasitaire. Concernant *Echinococcus* sp., un des parasites mentionnés indirectement dans les textes sous forme de kystes, aucune information ne peut être apportées à son sujet car la fidélité anatomique n'est pas respectée dans les ex-voto d'organes internes, et le foie est absent des représentations (hors hépatoscopie). Ces offrandes votives sont donc plus le signe que l'homme souffrait de problèmes digestifs, qu'une réelle preuve d'helminthiases humaines. Ils attestent cependant que les peuples de l'Antiquité possédaient des connaissances anatomiques, même si les représentations étaient sommaires dans certains cas. Enfin, les mentions dans les textes relatives à l'anatomie (dissections, vivisections...) nous renseignent en partie sur la manière dont les auteurs antiques ont pu obtenir des informations sur les organes cibles des helminthes.

2.1.3 Synthèse des connaissances parasitologiques antiques

2.1.3.1 Les helminthes connus dans l'Antiquité

Les textes anciens indiquent que les vers intestinaux sont connus chez l'homme et les animaux par les Egyptiens, les Grecs et les Romains, de même que chez certains peuples voisins. Les Grecs apportent les premières descriptions morphologiques des vers, les classant en deux catégories : les vers ronds et les vers plats. Bien qu'il s'agisse également de vers ronds, ils distinguent une troisième sorte de vers : les Oxyures. Les Romains reprennent cette classification et traduisent les termes grecs en latin.

Des représentants des classes actuelles, des Nématodes (ou vers ronds) et des Cestodes (ou vers plats) sont donc connus dans l'Antiquité.

Les informations associées aux vers décrits (hôtes concernés, descriptions détaillées, symptômes, organes cibles...) permettent une identification plus précise de certains vers au niveau de la famille voire dans certains cas au niveau de l'espèce.

D'autres vers appartenant à la Famille des Taeniidae (Cestodes) sont identifiés d'après les symptômes décrits dans les textes grecs, mais ne sont pas associés clairement à des parasites. Il s'agit d'*Echinococcus* sp. chez l'homme et les animaux (cas d'échinococcose décrits), de *Taenia solium* chez le porc, et de *Taenia* sp. chez l'homme (cas de cysticercose décrits). Il est intéressant de préciser que chez l'homme les deux formes d'infection dues à *Taenia* sp., taeniasis et cysticercose, semblent être connues.

Les textes grecs et romains permettent donc d'établir une liste de dix taxons connus dans l'Antiquité, répertoriés dans le Tableau 7. Pour chaque taxon une partie de la classification actuelle correspondante est indiquée, de même que l'hôte concerné et l'origine des textes qui le mentionnent :

Classe	Famille	Taxon	Hôte	Textes sources
Nématodes	Ascarididae	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Homme	grecs et romains
		<i>Parascaris equorum</i>	Cheval	grecs et romains
		<i>Toxocara vitulorum</i>	Bovins	romains
	Oxyuridae	<i>Enterobius vermicularis</i>	Homme	grecs et romains
		<i>Oxyuris equi</i>	Cheval	grecs
Cestodes	Taeniidae	<i>Echinococcus</i> sp.	Homme et animaux	grecs
		<i>Taenia solium</i>	Porc	grecs
		<i>Taenia</i> sp.	Homme	grecs
	Taeniidae	Taeniidae/Diphyllobothriidae	Homme et animaux	grecs et romains
	Diphyllobothriidae			
	Anoplocephalidae	Anoplocephalidae	Cheval	grecs

Tableau 7 : Taxons connus dans l'Antiquité par les textes grecs et romains et classification actuelle partielle.

D'après les informations issues des textes, il semble que les Grecs connaissent plus d'helminthes que les Romains (9 taxons contre 5). En particulier chez le cheval *Oxyuris equi* et les vers plats (Anoplocephalidae) ne semblent pas connus des Romains de même que *Taenia solium* chez le porc. Or, plusieurs agronomes romains comme Columelle ont écrit des traités sur l'élevage des animaux domestiques. Le choix des animaux comme les soins à apporter y sont décrits de même que les maladies pouvant les affecter. Cela rend étonnant l'absence de certains parasites des textes romains, comme par exemple les douves.

2.1.3.2 Des parasites non mentionnés : le cas particulier des douves

Comme mentionné précédemment (voir *supra*), il existe une troisième classe actuelle de vers intestinaux : les Trématodes ou vers lancéolés. Les douves du foie, parasites des herbivores, appartiennent à cette classe. A l'état adulte, ces parasites sont plats, ont une forme générale de feuille et mesurent de 1 à 3 cm de long. Ces parasites sont donc visibles à l'œil nu, comme les vers ronds et les vers plats, mais de manière étonnante, ils ne sont jamais mentionnés dans les textes des auteurs antiques. En effet lorsqu'un foie d'herbivore est découpé au niveau du canal biliaire (Figure 6, p. 40), les douves sont bien visibles, et parfois même mobiles.

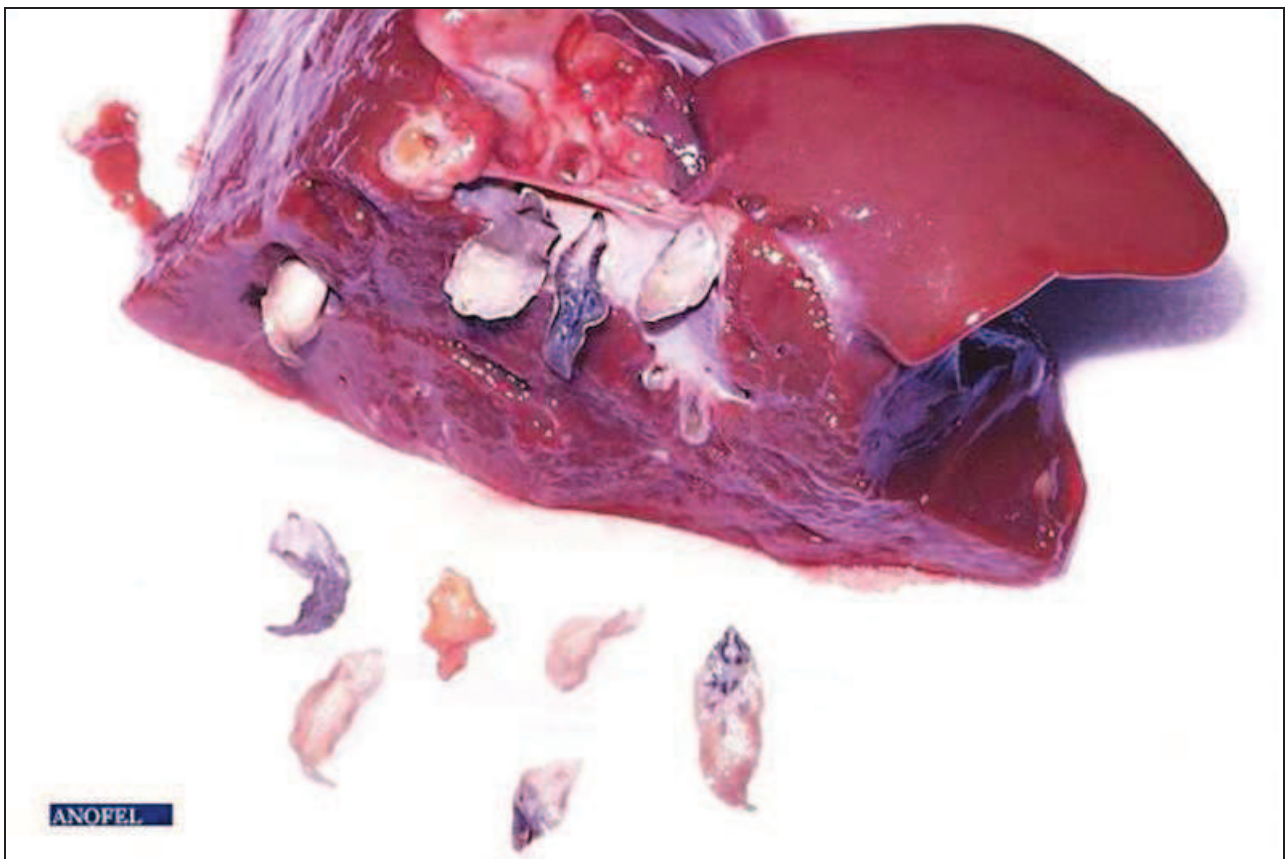


Figure 6 : *Fasciola hepatica* adultes localisés dans les voies biliaires d'un foie de bovin découpé (photographie : Association française des enseignants de Parasitologie et Mycologie).

Plusieurs hypothèses peuvent être formulées expliquant leur absence dans les textes anciens. Tout d'abord, les foies étaient peut-être peu utilisés dans l'Antiquité. Cependant l'hépatoscopie, divination réalisée à partir des foies d'animaux sacrifiés, s'intéressait à cet organe en particulier. Son aspect extérieur était donc examiné et nous savons que le foie peut être "infecté" voire même déformé par la présence de certains parasites. Cependant, d'autres maladies non parasitaires peuvent également affecter le foie et altérer son aspect.

Les parasites étant visibles au moment de la découpe de l'organe, il est également envisageable que les foies aient bien été utilisés mais non découpés. A l'inverse, les organes ont pu être éliminés sans traitement particulier lors de la préparation d'un animal pour sa viande, l'attention étant portée sur la chair de l'animal et non sur les viscères.

Une seconde hypothèse liée à la morphologie des douves peut être proposée. En effet, nous savons par les textes que les Grecs connaissaient les segments de vers plats ou cucurbitains. De plus, la forme d'un segment individualisé (Figure 7 à droite, p. 41) peut se rapprocher de celle des douves, de forme foliacée (Figure 7 à gauche, p. 41). Ainsi, les auteurs antiques auront pu ne pas dissocier les douves des vers plats. Dans la classification actuelle, les Cestodes et les Trématodes sont d'ailleurs regroupés dans le même embranchement des Plathelminthes ou vers plats.

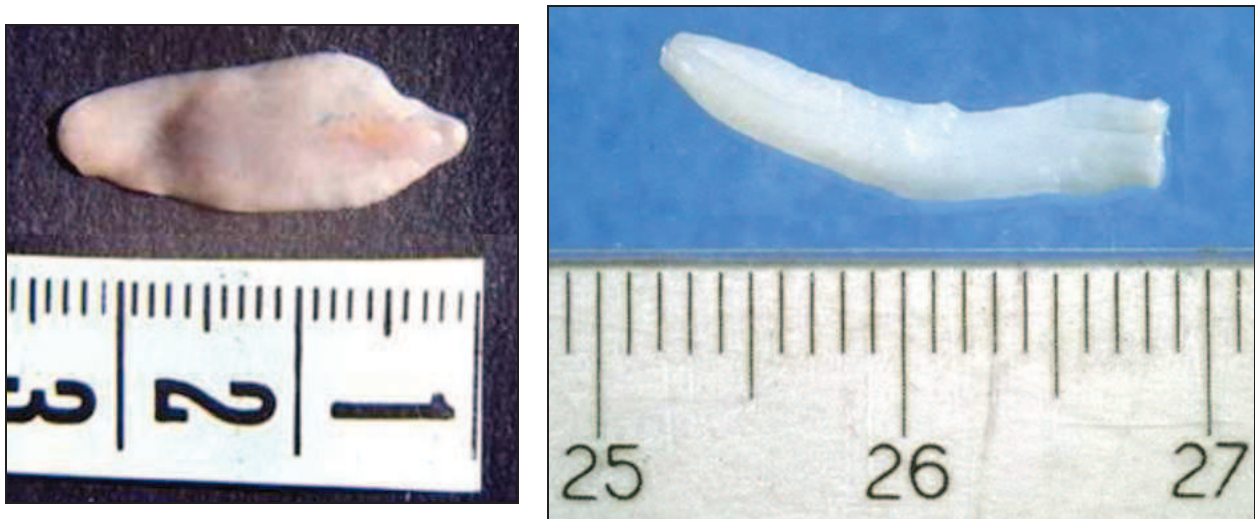


Figure 7 : Adulte de *Fasciola hepatica* à gauche et segment de *Taenia saginata* à droite (photographies : Association française des enseignants de Parasitologie et Mycologie).

Une autre hypothèse concernant le ténia du porc, *Taenia solium*, proposé en 1997 par Cordero del Campillo et Rousset pourrait aller dans ce sens. Les auteurs se sont demandé si le nom

d'espèce "*solium*" n'aurait pas du être plutôt "*folium*", c'est-à-dire feuille. L'étude de la construction latine des textes médiévaux parlant des vers plats, les formes typographiques anciennes et proches entre les lettres "s" et "f", les fautes d'impression, ainsi que la forme foliacée des segments de vers plats, ont conduit les auteurs à émettre cette hypothèse. Si au Moyen Age la forme des segments de vers plats a pu être rapprochée de celle des feuilles, il a pu en être de même dans l'Antiquité. Cependant aucune référence à des feuilles ne semble associée aux helminthes dans les sources antiques.

Une dernière hypothèse concerne les sources écrites. Peu de parasites ont fait l'objet d'une identification précise, car certains helminthes sont mentionnés chez les animaux sans précisions supplémentaires. Les douves sont peut-être mentionnées dans les textes, mais peuvent ne pas avoir été identifiées par manque d'information.

Enfin, la prévalence des douves était peut-être plus faible dans l'Antiquité et les aires de répartition plus limitées, comparé à aujourd'hui, ce qui pourrait expliquer l'absence de ces parasites dans les sources textuelles.

2.1.3.3 Premières données sur la répartition géographique des helminthes

Peu d'informations issues des textes concernent la répartition des vers intestinaux dans l'Empire romain. A notre connaissance, seul le passage de Pline (Histoire naturelle, liv. 27, ch. 120), emprunté au grec Théophraste (liv. IX, ch. 22), nous renseigne au sujet des parasitoses de certaines populations :

" Les Égyptiens, les Arabes, les Syriens, les Ciliciens, sont sujets aux Vers et aux Lombrics (*de tineis lumbricisque*) ; tandis que les Grecs et les Phrygiens en sont complètement exempts. Cela est encore moins surprenant que de voir, l'Attique et la Béotie étant limitrophes, les Thébains sujets à cette incommodité, qui épargne les Athéniens " (Pline, Histoire naturelle, liv. 27, ch. 120)

Dans ce passage, Théophraste désigne sous le nom d'ελμινθες πλατειαι les "Vers" de la citation de Pline et les "Lombrics" sont désignés par *tineis lumbricisque*. Les parasites concernés sont donc les vers plats et les vers ronds. Si les informations manquent pour identifier les vers ronds, les vers plats en revanche correspondent chez l'homme aux Taeniidae/Diphyllobothriidae.

La lecture complète du chapitre comportant ce passage nous apprend qu'il est question ici de la résistance différentielle de certains peuples aux maladies et autres infections, dont celles dues à des vers intestinaux.

La Figure 8 (p. 44) présente sur notre zone d'étude la localisation approximative des différents peuples porteurs de parasites (en rouge) et celles des peuples exempts de parasites (en bleu). Les régions comportant des parasites intestinaux sont localisées dans l'Est de l'Empire romain, excepté Thèbes (principale cité grecque de Béotie). Dans ce texte il n'est cependant pas précisé si les informations apportées se réfèrent seulement aux peuples des pays concernés ou plus généralement aux populations originaires de ces pays. Concernant les régions pour lesquelles les parasites sont absents, il est curieux de constater que la Grèce en fait partie alors que cette information provient initialement de l'auteur grec Théophraste et que les Grecs connaissent plusieurs parasites chez l'homme. Hippocrate par exemple les mentionnait déjà chez l'homme un siècle auparavant.

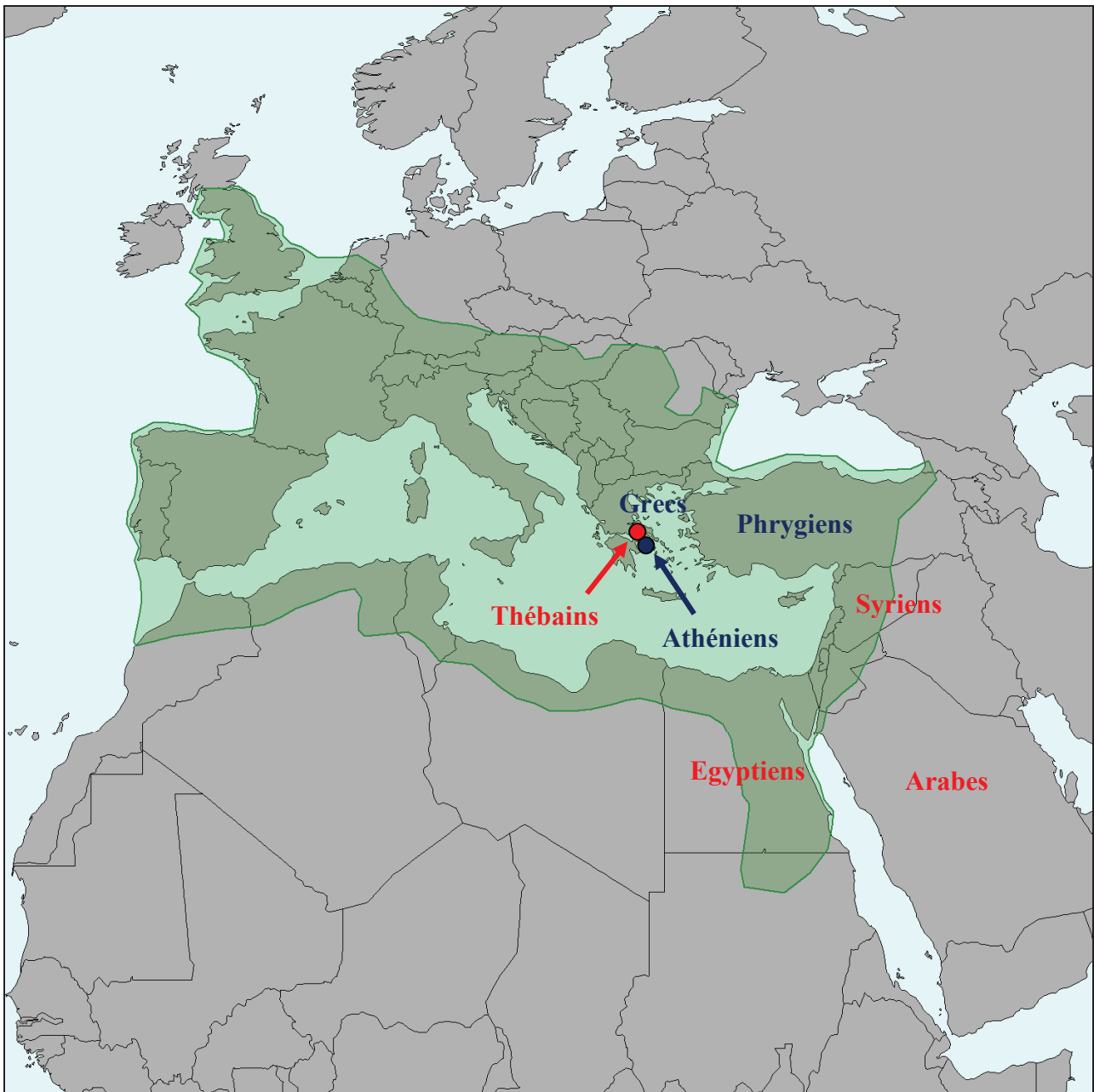


Figure 8 : Localisation des peuples sujets aux vers ronds et aux vers plats en rouge et exempts de vers en bleu.

Ces premières données pathographiques, relatives aux répartitions des parasites dans l'Antiquité, sont confrontées dans les chapitres suivants aux résultats obtenus lors des études paléoparasitologiques.

3 LES DONNEES DE LA PALEOPARASITOLOGIE

3.1 Acquisition et traitement des données

3.1.1 Les sources utilisées

Les données issues de la paléoparasitologie sont ici classées en trois catégories : les données publiées, les données labo inédites et les données du corpus de thèse. Les informations obtenues pour chacun des sites étudiés appartiennent parfois à plusieurs catégories de données.

3.1.1.1 Les données Publiées

Il s'agit des informations issues des publications scientifiques ayant conduit à l'observation d'helminthes. Pour rassembler ces données publiées, des recherches par mots-clés comme "parasite" et "Antiquité" ainsi que leurs traductions en français, anglais et allemand ont été effectuées sur des plateformes de diffusion comme Science Direct, dans les réseaux sociaux scientifiques comme ResearchGate et dans les bases de données institutionnelles comme le catalogue Dolia de l'Inrap (pour la littérature grise en particulier). Soixante-dix études réalisées sur quarante-six sites et correspondant à quatre cent treize échantillons analysés y ont été recensées. Le tableau suivant présente pour chaque étude réalisée, la localisation du site étudié, le type de document publié et la référence bibliographique correspondante.

Ville/village	Rue/lieu dit	Pays	Type de Source	Référence
Feddersen wierde		Allemagne	Article	Jansen et Over, 1962
Feddersen wierde		Allemagne	Article	Over et Jansen, 1962
Künzing	Kastell	Allemagne	Article	Specht, 1964
Ladenburg	Merkurplatz 5	Allemagne	Article	Goppelsröder et Sommer, 1996
Wederath	Baufenster Museum	Allemagne	Article	Dittmar <i>et al.</i> , 2002
Carnuntum		Autriche	Ouvrage	Aspöck <i>et al.</i> , 2011
Arlon		Belgique	Article	Defgnée <i>et al.</i> , 2008
Arlon		Belgique	Ouvrage	Defgnée et Henrotay, 2011
Mouscron-Estaimpuis	Quevaucamps	Belgique	Article	Defgnée <i>et al.</i> , 2006; Dumont <i>et al.</i> , 2004
Namur	Place d'Armes	Belgique	Article	Da Rocha <i>et al.</i> , 2006
NR		Egypte	Article	Bruschi <i>et al.</i> , 2006
Oasis d'Al-Kharga	El-Deir	Egypte	Article	Le Bailly <i>et al.</i> , 2010
Oasis de Dakhleh	Kellis-1	Egypte	Article	Horne, 2002
Bobigny	site de l'hôpital Avicenne	France	Article	Rousset <i>et al.</i> , 1996
Bordeaux	Cours du Chapeau Rouge	France	Rapport de fouille	Cabannes, 2006
Bordeaux	Cours d'Albret, rue des Frères Bonie, site de la cité judiciaire	France	Ouvrage	Sireix <i>et al.</i> , 2008
Lattes	Site archéologique Lattara / Saint Sauveur	France	Article	Verjat <i>et al.</i> , 2005
Marseille	23 Quai de Rive Neuve	France	Rapport de fouille	Harter-Lailheugue, 2006
Périgueux	Campniac	France	Rapport de fouille	Martin <i>et al.</i> , 1992
Reims	Rue de Venise	France	Article	Bouchet <i>et al.</i> , 2001a; Le Bailly <i>et al.</i> , 2003a
Strasbourg	Rue Hannong	France	Article	Kuhnle-Aubry <i>et al.</i> , 1995; Lemble 1994
Ile de Délos		Grèce	Mémoire	Roche, 2014
Beth Shean		Israël	Thèse	Harter, 2003
Nahal Mishmar		Israël	Article	Witenberg, 1961
Pompéi	Regio VII, VIII et IX	Italie	Mémoire	Love, 2007
Pompéi	Regio V.1	Italie	Mémoire	Dubbin, 2003
Jérusalem	Silwan	Jérusalem-Est	Article	Zias, 1991; Zias et Mumcuoglu, 1991
Qumrân		Palestine	Thèse et Article	Harter, 2003; Harter <i>et al.</i> , 2004

Qumrân		Palestine	Article	Zias <i>et al.</i> , 2006
Alphen aan den Rijn		Pays-Bas	Article	Kuijper et Turner, 1992
Uitgeest	Dorregeest	Pays-Bas	Article	van Geel <i>et al.</i> , 2003
Valkenburg-on-Rhine		Pays-Bas	Article	Jansen et Over, 1966
Zweeloo Woman	Damsel's Bog	Pays-Bas	Article	Searcey <i>et al.</i> , 2013
Karwinden Man		Pologne	Article	Szidat, 1944
Ambleside	Galava Roman Fort	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Jones, 1985a
Bearsden	Roman road	Royaume-Uni	Article	Dickson, 1979; Dickson <i>et al.</i> , 1979
Carlisle	Annetwell Street	Royaume-Uni	Article	Caruana, 1990; Jones <i>et al.</i> , 1988
Carlisle	Keay's Lanes Trench A	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Kenward <i>et al.</i> , 1998
Carlisle	Keay's Lanes Trench B	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Kenward <i>et al.</i> , 1998
Carlisle	Keay's Lanes Trench C	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Kenward <i>et al.</i> , 1998
Carlisle	Keay's Lanes Trench D	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Kenward <i>et al.</i> , 1998
Carlisle	Law's Lanes Trench C	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Kenward <i>et al.</i> , 1998
Carlisle	Law's Lanes Trench D	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Kenward <i>et al.</i> , 1998
Carlisle	Castle Street	Royaume-Uni	Article, Ouvrage et Rapport d'analyse	Jones <i>et al.</i> , 1988; Jones et Hutchinson, 1988; Kenward <i>et al.</i> , 1991
Carlisle	Old Grapes Lane A	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Kenward, 1999; Kenward <i>et al.</i> , 1992a
Carlisle	Old Grapes Lane B	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Kenward <i>et al.</i> , 1992b
Carlisle	Lewthwaite's Lane A	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Kenward <i>et al.</i> , 1992c
Kirkham	Dowbridge Close	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Carrott <i>et al.</i> , 1995c
Leicester	Causeway Lane	Royaume-Uni	Ouvrage	Boyer, 1999
Lincoln	Waterside North West	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Carrott <i>et al.</i> , 1994; Carrott <i>et al.</i> , 1995d
Lindow Man	Lindow Moss	Royaume-Uni	Article	Jones, 1986
Londres	Hibernia Wharf, Southwark	Royaume-Uni	Article	De Rouffignac, 1985
Londres	15-35 Copthall Avenue	Royaume-Uni	Ouvrage	Maloney et De Moulins, 1990
Orton Longueville		Royaume-Uni	Article	Wells et Dallas, 1976
Owslebury		Royaume-Uni	Article	Pike, 1968
Poundbury		Royaume-Uni	Rapport	Jones, 1987

			d'analyse	
Ribchester	Roman fort	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Large <i>et al.</i> , 1994a; Large <i>et al.</i> , 1994b
York	The Bedern	Royaume-Uni	Ouvrage	Kenward <i>et al.</i> , 1986
York	Castle Car Park	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Carrott <i>et al.</i> , 1995a
York	22 Piccadilly (ABC Cinema)	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Carrott <i>et al.</i> , 1995b
York	9 St Saviourgate	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Carrott <i>et al.</i> , 1998
York	24-30 Tanner Row	Royaume-Uni	Ouvrage	Hall et Kenward, 1990
York	5 Rougier Street	Royaume-Uni	Rapport d'analyse et Ouvrage	Hall et Kenward, 1990; Mckenna <i>et al.</i> , 1987
York	7-9 Aldwark	Royaume-Uni	Rapport d'analyse	Mckenna <i>et al.</i> , 1988
York	Church Street	Royaume-Uni	Ouvrage	Wilson et Rackham, 1976
Ile de Saï		Soudan	Thèse	Harter, 2003
Augst	Insula 22	Suisse	Article	Hänggi, 1989
Augst	Insula 53	Suisse	Article	Hufschmid et Sütterlin, 1992
Eschenz	Areal Rebmann	Suisse	Ouvrage	Jauch, 1997
Vindonissa		Suisse	Ouvrage	Le Bailly <i>et al.</i> , 2003b

Tableau 8 : Etudes publiées ayant conduit à l'observation d'helminthes pour l'époque romaine.

Ce travail de thèse constitue la première synthèse exhaustive des données publiées disponibles pour l'époque romaine. Les informations utilisées sont dispersées non seulement dans des articles, des rapports d'analyse (intégrés ou non à des rapports de fouilles) et des ouvrages, pour la plupart, mais aussi dans quelques travaux universitaires (Mémoires, Thèse) et rapports de fouilles. Ces données concernent les sites qui n'ont pas été étudiés dans les laboratoires de Reims ou de Besançon, excepté lorsque les résultats sont utilisés dans un article, un ouvrage ou dans des travaux universitaires. Le tableau suivant présente le nombre de documents de chaque type utilisés.

Type de source	Effectif
Article	38
Rapport d'analyse	17
Ouvrage	11
Mémoire	3
Rapport de fouille	3
Thèse	1
Total	73

Tableau 9 : Effectifs des différents types de sources bibliographiques utilisés.

Peu de références rassemblent plusieurs des sites et études publiés. Ces brèves synthèses sont au nombre de sept. Tout d'abord en 1967, Pike fait la revue (incomplète) des quelques études publiées à l'époque (4 des 6 publications). En 1982, Jones référence dix études, et Dittmar *et al.* (2002) en recense neuf. L'année 2009 a vu la publication de trois synthèses plus ou moins importante. Kenward publie une revue des données archéologiques concernant les invertébrés du Nord de l'Angleterre, ce travail regroupant environ la moitié des informations pour le Royaume-Uni (quinze sur trente-et-une publications). Bouet mentionne sept études et Hobson en synthétise six. Enfin en 2011, Gourevitch utilise dans son ouvrage sur la médecine romaine neuf références, dont cinq de celles mentionnées par Bouet (2009). C'est également dans cet ouvrage qu'est publié un encart intitulé "La paléoparasitologie en période gallo-romaine" (Le Bailly, Dufour et Bouchet, 2011), une de nos premières contributions à l'étude des parasites pour l'époque romaine.

Les dates de publication de ces études s'étalent de 1944 à 2014. Le graphique suivant présente le nombre d'études publiées par année depuis 1944 jusqu'à nos jours, classé par type de source, ainsi que les synthèses publiées.

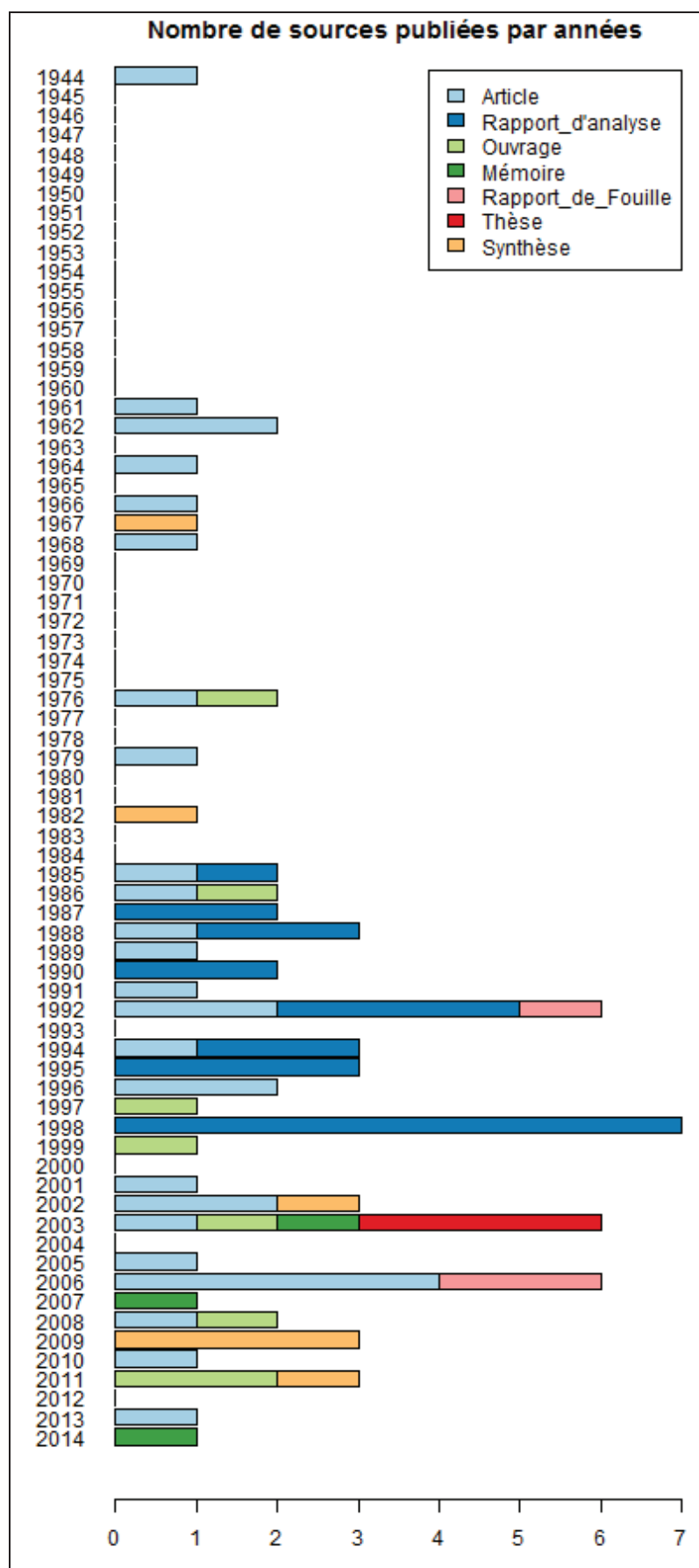


Figure 9 : Effectifs par année des études publiées, détaillés par type de source, et brèves synthèses.

La plus ancienne des données publiées correspond à un article de Szidat (1944) qui présente l'analyse de l'homme de Karwinden (Pologne), une momie des tourbières datée de 500 ap. J.-C. L'article le plus récent, publié par Searcey *et al.* (2013) détaille également les résultats obtenus sur une momie des tourbières, la femme de Zweeloo (Pays-Bas), datée entre 78 cal AD et 233 cal AD. Sur l'ensemble des publications, deux périodes se distinguent dans ce graphique. Tout d'abord, les années 60, avec les premières analyses pour l'époque romaine aux Pays-Bas, en Allemagne, en Israël et au Royaume-Uni, uniquement sous forme d'articles. La première synthèse de Pike (1967) est également publiée à cette époque. Ensuite, à partir de 1985, les analyses sont plus régulières et les sources se diversifient avec un pic d'activité entre les années 1992 et 2006. L'année 2003 connaît l'unique thèse (Harter, 2003) et le premier mémoire (Dubbin, 2003) comprenant des résultats pour l'Antiquité, la thèse ne traitant pas spécifiquement de cette période et le mémoire s'intéressant uniquement au site de Pompéi (Italie). Enfin, le document le plus récent correspond à un mémoire non publié, rédigé par Roche en 2014, et relatif à l'analyse de concrétions fécales et d'échantillons de sédiment provenant des latrines du site de Délos (Grèce) datés entre 167 et 69 av. J.-C.

3.1.1.2 Les données Inédites et les données Corpus

Les données Inédites correspondent aux informations issues des analyses réalisées dans le laboratoire de paléoparasitologie de Reims au cours des deux dernières décennies (entre 1995 et 2010), et dans le laboratoire Chrono-environnement (depuis 2010). Au total, quarante études ont été réalisées sur vingt-huit sites correspondant à deux cent quatre-vingt-trois échantillons analysés. Les résultats issus du laboratoire Chrono-environnement à Besançon sont parfaitement renseignés. Ceux du laboratoire de Reims sont parfois lacunaires, et nous n'avons pas toujours pu disposer des photographies correspondant aux observations, en particulier pour les premières études les plus anciennes.

Les données Corpus sont celles obtenues pour les quinze études réalisées au cours de la période de thèse (2011-2015). Ces études ont été réalisées sur onze sites archéologiques, et totalisent deux cent trente échantillons (certains sites ont fait l'objet de plusieurs séries d'analyses).

Pour chaque site étudié, quelque soit la source considérée, les informations obtenues ont été rassemblées dans une base de données dont la structure est présentée dans le paragraphe ci-dessous.

3.1.2 Structure de la base de données

Une base de données constituée de trois tables différentes a été élaborée puis complétée :

- La table "Etudes" : elle s'intéresse aux sites étudiés et aux études réalisées dans leur ensemble.
- La table "Echantillons" : elle présente les informations disponibles au sujet de chaque échantillon étudié.
- La table "Résultats" : elle rassemble l'ensemble des résultats paléoparasitologiques obtenus pour chaque échantillon étudié.

Les identifications de chaque taxon proviennent de trois sources différentes (publiées, inédites et corpus, voir *supra*). Afin d'uniformiser les résultats et permettre leur comparaison, certaines identifications ont dû être adaptées en fonction de critères pré-établis (voir *infra* **4.3 Discussion des identifications**, p. 84). Une table supplémentaire a donc été élaborée, nommée "Résultats adaptés", qui reprend les données de la table "Résultats" avec les identifications modifiées.

Il s'agit ici du premier essai d'élaboration dans notre laboratoire d'une base de données. Si la structure de départ de la base présentée ici est conçue pour les sites d'époque romaine, elle pourra être adaptée dans un deuxième temps pour des sites archéologiques d'époques différentes. D'ailleurs, certains sites Corpus ne sont pas datés uniquement de la période romaine et ont été intégrés à la base.

Le tableau suivant décrit la structure de la base de données :

Table	Champs	Valeurs
Etudes	N° Etude	X_0001 à X_n (X = ETP, ETI ou ETC).
	N° Site	S_0001 à S_n.
	Ville/village	Ville ou village correspondant au site.
	Rue/lieu dit	Nom et numéro de la rue ou lieu-dit.
	Département/Division administrative	Département avec numéro ou division administrative (Province, Comté...).
	Pays	Pays du site.
	lat	Latitude (degrés décimaux).
	lon	Longitude (degrés décimaux).
	Type de site	Ville, Habitat rural, Camp militaire, Autre.
	Type d'activité	Agropastoral, Artisanal, Boucherie, Domestique, Funéraire, Industriel, Infrastructure, Mercantile, Militaire, Pastorale, Public et Religieux (plusieurs types sont parfois associés).
Echantillons	Datation de l'étude	Terminus post quem et Terminus ante quem ou époque concernée par l'étude (Epoque romaine...).
	Méthode d'analyse	Méthode d'analyse utilisée pour étudier les échantillons.
	Source des informations	Analyses de laboratoire et références bibliographiques.
	N° Echantillon	X_0001 à X_n. (X = ECP, ECI ou ECC).
	N° Etude	X_0001 à X_n. (X = ETP, ETI ou ETC).
	Appellation archéologique échantillon	Sédiment, coprolithe humain, tissus organiques...
	Type d'échantillon	Coprolithe et assimilés, Organe ou contenu organique et Sédiment.
	Appellation archéologique origine	Fosse, talus, momie des tourbières...
	Type de vestige d'origine	Couches et strates hors structure, Momie, Squelette, Structure de combustion, Structure en creux, Structure en élévation et Structure funéraire.
	Origine biologique	Mixte, Humaine, Equine.
	US	Unité Stratigraphique de l'échantillon.
	ST	Numéro de la Structure dont est issu l'échantillon.
	Fait	Numéro du Fait dont est issu l'échantillon.
	Stratigraphie	Fond, dernière couche, prélèvement sous le crâne...
	Code labo échantillon	Numéro ou code donné à l'échantillon dans l'étude.
	N° Vestige	X_0001 à X_n. (X = VSP, VSI ou VSC).

	TPQ	Terminus Post Quem.
	TAQ	Terminus Ante Quem.
	TPQs	Siècle du Terminus Post Quem.
	TAQs	Siècle du Terminus Ante Quem.
	Datation de l'échantillon	Terminus post quem et Terminus ante quem ou époque (Epoque romaine...).
Résultats	N° Echantillon	X_0001 à X_n. (X = ECP, ECI ou ECC).
	Acanthocephala	"1" ou "0".
	Amibes	
	<i>Ankylostoma</i> sp.	
	Ankylostomidé	
	<i>Ascaris</i> sp.	
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	
	Ascaridé	
	<i>Capillaria</i> sp.	
	<i>Capillaria</i> ponctué	
	<i>Capillaria</i> réticulé	
	<i>Capillaria</i> type <i>hepatica</i>	
	<i>Dicrocoelium</i> sp.	
	<i>Dicrocoelium dentriticum</i>	
	<i>Diectophyma renale</i>	
	<i>Diphyllbothrium</i> sp. lisse	
	<i>Diphyllbothrium latum</i>	
	<i>Diphyllbothrium</i> sp. ponctué	
	<i>Diphyllbothrium</i> sp. très ponctué	
	<i>Diphyllbothrium/Spirometra</i> sp.	
	<i>Echinococcus granulosus</i>	
	<i>Entamoeba histolytica</i>	
	<i>Enterobius vermicularis</i>	
	<i>Fasciola</i> sp.	
	<i>Fasciola hepatica</i>	
	<i>Giardia intestinalis</i>	
	<i>Hymenolepis nana</i>	
	<i>Macracanthorhynchus</i> sp.	
	<i>Oxyuris equi</i>	
	<i>Paramphistomum</i> sp.	
	<i>Parascaris</i> sp.	
	Strongle	
	Strongylida	
	<i>Strongyloides</i> sp.	
	<i>Taenia</i> sp.	
	<i>Taenia/Echinococcus</i> sp.	
	<i>Taenia saginata</i>	
	<i>Taenia solium</i>	
	<i>Taenia saginata</i> ou <i>Taenia solium</i>	
	<i>Toxocara</i> sp.	
	<i>Toxocara canis</i>	
	Trématodes	
	Trichuridae ou Capillariidae	

	<i>Trichuris</i> sp.	
	<i>Trichuris</i> sp. gros	
	<i>Trichuris</i> type 531	
	<i>Trichuris ovis</i> ou <i>Trichuris globulosa</i>	
	<i>Trichuris trichiura</i>	
	Œuf operculé	
	Type A	
	Type B	
	Type C	
	Indéterminé	
	Présence	"1" ou "0".
Résultats adaptés	N° Echantillon	X_0001 à X_n. (X = ECP, ECI ou ECC).
	<i>Acanthocephala</i>	"1" ou "0".
	<i>Ankylostoma</i> sp.	
	Ankylostomidé	
	<i>Ascaris</i> sp.	
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	
	Ascaridé	
	<i>Capillaria</i> sp.	
	<i>Capillaria</i> ponctué	
	<i>Capillaria</i> réticulé	
	<i>Capillaria</i> type <i>hepatica</i>	
	<i>Dicrocoelium</i> sp.	
	<i>Dicrocoelium dentriticum</i>	
	<i>Diectophyma renale</i>	
	<i>Diphylobothrium</i> sp. lisse	
	<i>Diphylobothrium</i> sp. ponctué	
	<i>Diphylobothrium</i> sp. très ponctué	
	<i>Diphylobothrium/Spirometra</i> sp.	
	<i>Echinococcus granulosus</i>	
	<i>Entamoeba histolytica</i>	
	<i>Enterobius vermicularis</i>	
	<i>Fasciola</i> sp.	
	<i>Fasciola hepatica</i>	
	<i>Giardia intestinalis</i>	
	<i>Hymenolepis nana</i>	
	<i>Macracanthorhynchus</i> sp.	
	<i>Oxyuris equi</i>	
	<i>Paramphistomum</i> sp.	
	<i>Parascaris</i> sp.	
	Strongle	
	Strongylida	
	<i>Strongyloides</i> sp.	
	<i>Taenia</i> sp.	
	<i>Taenia/Echinococcus</i> sp.	
	<i>Taenia solium</i>	
	<i>Taenia saginata</i> ou <i>Taenia solium</i>	
	<i>Toxocara</i> sp.	

	<i>Toxocara canis</i>	
	<i>Trichuris</i> sp.	
	<i>Trichuris ovis</i> ou <i>Trichuris globulosa</i>	
	<i>Trichuris trichiura</i>	
	Présence	"1" ou "0".

Tableau 10 : Structure de la base de données.

Selon la source d'origine des informations, le champ "N° Etude" indique un numéro de X_0001 à X_n, où "X" correspond à ETP pour ETude Publiées, ETI pour ETude Inédites et ETC pour ETude Corpus.

Le champ "N° Site" précise le site concerné par chaque étude, numéroté de S_0001 à S_n.

Dans le champ "N° Echantillon", chaque échantillon étudié est numéroté de X_0001 à X_n, où "X" correspond à ECP pour Echantillon Publiés, ECI pour Echantillon Inédits et ECC pour Echantillon Corpus.

Plusieurs catégories ont été établies pour les champs suivants : "Type de site", "Type d'activité", "Type d'échantillon" et "Type de vestige d'origine". Ils sont renseignés d'après les informations fournies par le responsable d'opération ou issue des données Publiées. Ces catégories particulières de la base de données sont détaillées ci-après dans le paragraphe **3.2 Les sites étudiés** (p. 58).

Les champs "Appellation archéologique échantillon" et "Appellation archéologique origine" reprennent les dénominations données par le responsable d'opération (ou d'après les données Publiées), respectivement pour l'échantillon étudié et pour le vestige d'origine d'où il provient.

Dans le champ "N° Vestige", la valeur "X" correspond à VSP pour Vestiges Sites Publiés, VSI pour Vestiges Sites Inédits et VSC pour Vestiges Sites Corpus⁷. L'origine biologique de l'échantillon est indiquée dans le champ "Origine biologique".

Les champs "TPQ", "TAQ", "TPQs", "TAQs" renseignent respectivement pour chaque échantillon le Terminus Post Quem (TPQ), le Terminus Ante Quem (TAQ), le siècle du TPQ et le siècle du TAQ. Pour faciliter le traitement des données, les dates sont exprimées en

⁷ Plusieurs échantillons peuvent être issus du même vestige et possèdent alors le même numéro.

AEC/EC c'est-à-dire Avant Ère Commune/Ère Commune au lieu de la notation av. J.-C./ap. J.-C. généralement utilisée. Pour compléter les champs "TPQs" et "TAQs", la notation suivante est utilisée : X_AEC pour le Xème siècle AEC et X_EC pour le Xème siècle EC, ou "X" correspond au siècle déterminé pour chaque terminus.

La datation de chaque échantillon, déterminée d'après les champs "TPQ" et "TAQ", est renseignée dans le champ "Datation de l'échantillon".

Le champ "Datation de l'étude" indique la datation globale de chaque étude, déterminée d'après les champs "TPQ" et "TAQ" des échantillons analysés au sein de chaque étude. Elle correspond à la période comprise entre le TPQ le plus ancien et le TAQ le plus récent⁸.

Plusieurs règles et conventions ont également été définies afin de standardiser le format des dates employées et compléter les champs "Datation de l'étude", "Datation de l'échantillon", "TPQ", "TAQ", "TPQs" et "TAQs" (voir Volume 2, Annexe 2, p. 4).

Les autres champs (Ville/village, lat, lon, US, St, Fait...) correspondent aux informations communiquées directement par le responsable d'opération de chaque site, ou issues des données Publiées. Elles n'ont pas fait l'objet de modifications particulières excepté quelques modifications de mise en forme.

Chaque champ est complété d'après les données recueillies. Parfois ces informations sont lacunaires et ne permettent pas de renseigner l'ensemble des champs. Concernant les données Inédites et Corpus, les informations peuvent par exemple manquer lorsque les études de post-fouilles ne sont pas achevées, ou si le traitement des données issues de la fouille est en cours. Si les informations acquises ne permettent pas de remplir un champ, la valeur "NR", Non Renseigné, est indiquée dans la table. Pour chaque champ, lorsque l'information n'est pas certaine, ou lorsque les avis divergent entre les chercheurs, un "?" est ajouté à la suite de l'information concernée.

Nous avons décidé de ne pas proposer en Annexe la base de données car elle est trop volumineuse. Nous sommes actuellement à la recherche d'une solution pour la rendre disponible en version électronique.

Au total, cent vingt-cinq études correspondant à quatre-vingt sites et à neuf-cent-un échantillons sont jusqu'à présent référencés pour l'époque romaine. La base de données

⁸ Une période peut être indiquée dans ce champ (Epoque romaine par exemple).

comprend en réalité neuf cent vingt-six échantillons, mais vingt-cinq d'entre eux ont des datations qui dépassent l'époque romaine ou qui ne sont pas renseignées.

3.2 Les sites étudiés

3.2.1 Sites et notion de site en archéologie

Par définition, un site archéologique est un lieu où se trouve des vestiges et autres traces de l'existence de l'humanité. L'archéologie, par l'intermédiaire de fouilles et de découvertes, permet d'une part d'étudier les activités humaines, et d'autre part de retracer le développement de l'histoire de l'humanité et de ses relations avec l'environnement naturel. Un site peut alors faire l'objet de plusieurs opérations archéologiques différentes : prospection, diagnostic archéologique et fouille archéologique (Article L510-1 du code du patrimoine; Ministère de la culture, 2007).

Dans le cadre de notre étude, ces opérations archéologiques correspondent à des fouilles et à des diagnostics archéologiques, auxquels viennent s'ajouter des études ponctuelles réalisées par exemple sur des momies. Dans certains cas, et parfois sur un même site, des opérations archéologiques différentes ont pu donner lieu à plusieurs études. Les sites localisés en milieu urbain font notamment l'objet de plusieurs opérations archéologiques, au gré des différents aménagements réalisés. Par exemple, huit opérations archéologiques ont été réalisées dans la ville de York (Royaume-Uni, S_0015), qui ont chacune donné lieu à une étude paléoparasitologique. Ceci explique les répétitions au niveau de la table "Etude" de notre base de données. Le tableau suivant présente pour chacun des quatre-vingt sites étudiés le nombre des études publiées (ETP), inédites (ETI) et corpus (ETC) ainsi que le nombre total d'études (ET).

N° Site	Ville/village	Pays	Nombre d'ETP	Nombre d'ETI	Nombre d'ETC	Nombre d'ET
S_0001	Uitgeest	Pays-Bas	1	0	0	1
S_0002	Bobigny	France	1	0	0	1
S_0003	Alphen aan den Rijn	Pays-Bas	1	0	0	1
S_0004	Carlisle	Royaume-Uni	11	0	0	11
S_0005	Valkenburg-on-Rhine	Pays-Bas	1	0	0	1
S_0006	Namur	Belgique	1	0	0	1
S_0007	Strasbourg	France	1	0	0	1
S_0008	Reims	France	1	9	1	11
S_0009	Lattes	France	1	0	0	1
S_0010	Londres	Royaume-Uni	2	0	0	2
S_0011	Feddersen wierde	Allemagne	2	0	0	2
S_0012	Bearsden	Royaume-Uni	1	0	0	1
S_0013	Eschenz	Suisse	1	0	0	1
S_0014	Künzing	Allemagne	1	0	0	1
S_0015	York	Royaume-Uni	8	0	0	8
S_0016	Lincoln	Royaume-Uni	1	0	0	1
S_0017	Oasis de Dakhleh	Egypte	1	0	0	1
S_0018	Ribchester	Royaume-Uni	1	0	0	1
S_0019	Kirkham	Royaume-Uni	1	0	0	1
S_0020	Owslebury	Royaume-Uni	1	0	0	1
S_0021	Ambleside	Royaume-Uni	1	0	0	1
S_0022	Poundbury	Royaume-Uni	1	0	0	1
S_0023	Leicester	Royaume-Uni	1	0	0	1
S_0024	Carnuntum	Autriche	1	0	0	1
S_0025	Zweeloo Woman	Pays-Bas	1	0	0	1
S_0026	Lindow Man	Royaume-Uni	1	0	0	1
S_0027	Karwinden Man	Pologne	1	0	0	1
S_0028	Nahal Mishmar	Israël	1	0	0	1
S_0029	Oasis d'Al-Kharga	Egypte	1	0	0	1
S_0030	Marseille	France	1	0	0	1
S_0031	Wederath	Allemagne	1	0	0	1
S_0032	Qumrân	Palestine	2	0	0	2
S_0033	Mouscron-Estaimpuis	Belgique	1	0	0	1
S_0034	Arlon	Belgique	2	0	0	2
S_0035	Ladenburg	Allemagne	1	0	0	1
S_0036	Augst	Suisse	2	0	0	2
S_0037	Vindonissa	Suisse	1	0	0	1
S_0038	Pompéi	Italie	2	1	0	3
S_0039	Beth Shean	Israël	1	0	0	1
S_0040	Périgueux	France	1	0	0	1
S_0041	Ile de Saï	Soudan	1	0	0	1
S_0042	Bordeaux	France	2	1	0	3
S_0043	Orton Longueville	Royaume-Uni	1	0	0	1
S_0044	NR	Egypte	1	0	0	1

S_0045	Jérusalem	Jérusalem-Est	1	0	0	1
S_0046	Ile de Délos	Grèce	1	0	0	1
S_0047	Paris	France	0	3	0	3
S_0048	Bazoches-lès-Brayes	France	0	1	0	1
S_0049	Lieusaint	France	0	1	0	1
S_0050	Chartres	France	0	1	0	1
S_0051	Quetigny	France	0	1	0	1
S_0052	Saint-Apollinaire	France	0	1	0	1
S_0053	Ahuy	France	0	1	0	1
S_0054	Troyes	France	0	2	0	2
S_0055	Lecumberry	France	0	1	0	1
S_0056	Alexandrie	Egypte	0	1	0	1
S_0057	Evreux	France	0	1	1	2
S_0058	Noyon	France	0	1	0	1
S_0059	Palaiseau	France	0	1	0	1
S_0060	Melun	France	0	1	0	1
S_0061	Longueuil Sainte-Marie	France	0	1	0	1
S_0062	Castillon du Gard	France	0	1	0	1
S_0063	Saint-Brice-sous-Forêt	France	0	1	0	1
S_0064	Beaune-la-Rolande	France	0	1	0	1
S_0065	Saint-Christ-Briost	France	0	1	0	1
S_0066	Lesquin	France	0	1	0	1
S_0067	Cessons	France	0	2	0	2
S_0068	Bavay 2011	France	0	1	0	1
S_0069	F32S8	France	0	1	0	1
S_0070	Mougins	France	0	1	0	1
S_0071	Rezé	France	0	1	0	1
S_0072	Andilly-en-Bassigny	France	0	0	2	2
S_0073	Villevieille	France	0	0	1	1
S_0074	Portus, Rome-Ostie	Italie	0	0	3	3
S_0075	Horbouurg-Wihr	France	0	0	2	2
S_0076	Beauvais	France	0	0	1	1
S_0077	Autun	France	0	0	1	1
S_0078	Jaunay-Clan	France	0	0	1	1
S_0079	Besançon	France	0	0	1	1
S_0080	Metz	France	0	0	1	1
Total			70	40	15	125

Tableau 11 : Sites étudiés en paléoparasitologie avec le détail du nombre d'études réalisées (valeurs maximales en gras).

Dix-sept des quatre-vingt sites ont fait l'objet de plusieurs études, soit un peu plus de 20 %. D'une manière générale, le nombre d'études réalisées est le plus important pour les données publiées (soixante-dix études sur cent-vingt-cinq, soit 56 %). Pour l'ensemble des études

réalisées, Reims (S_0008, France) et Carlisle (S_0004, Royaume-Uni) sont les sites les plus étudiés (onze études pour les deux sites).

Pour les données publiées Carlisle et York (S_0004 et S_0015, Royaume-Uni) sont les sites les plus étudiés (onze et huit études), pour les données inédites Reims et Paris (S_0008 et S_0047, France) (neuf et trois études) et pour les données corpus Rome-Ostie (S_0074, Italie, trois études) ainsi qu'Horbourg-Wihr (S_0075, France, deux études).

3.2.2 Sites étudiés et activités des sites

Pour la plupart des sites étudiés, les auteurs et les responsables d'opération apportent des informations concernant à la fois les sites et les activités qui y étaient pratiquées. La terminologie qu'ils emploient pour désigner le site ou le secteur du site fouillé est variable et reprend même parfois des termes latins. Par exemple un site peut correspondre à un habitat, un *castellum* ou encore à une nécropole. Afin de faciliter l'étude des résultats obtenus sur chaque site, nous avons défini plusieurs types :

- Ville : dans ce type sont regroupées les villes et les agglomérations plus ou moins importantes comme les *vicus* ou les terps (tertres refuges). Les sites de ce type correspondent au milieu urbain.
- Habitat rural : ce type regroupe les sites d'habitat et d'occupation peu renseignés mais néanmoins différent des villes comme par exemple les fermes indigènes ou les *villae*. Ce type de site correspond au milieu rural.
- Camp militaire : il s'agit d'installations liées à l'armée romaine, principalement des camps et des forts romains.
- Autre : ce type concerne uniquement les momies des tourbières et correspond au lieu de "dépôt" du corps. Il s'agit d'un type particulier car aucun autre vestige n'a été observé sur le site excepté la momie.

Pour un même lieu géographique (ville/village), les activités peuvent varier d'un site ou secteur de site à l'autre. Le type de site correspondant est défini d'après l'ensemble des activités pratiquées, la structure du site ou encore le domaine d'activité. En revanche l'activité

est définie uniquement d'après les échantillons étudiés. De même que pour les sites, une typologie a été définie pour les activités :

- Agropastoral : concerne les activités d'élevage et de culture.
- Artisanal : il s'agit d'activités liées au travail manuel comme les ateliers de foulons.
- Boucherie : sont regroupés ici les sites pour lesquels les restes osseux animaux retrouvés sur le site permettent d'envisager l'hypothèse d'une activité liée à l'exploitation des animaux pour leur viande.
- Domestique : il s'agit de sites de logement tel que les quartiers d'habitation ou les *domus*.
- Funéraire : les groupements de sépultures forment ce groupe comme par exemple les cimetières et les nécropoles. Il s'agit de lieux dévolus à l'inhumation des corps.
- Industriel : ce type regroupe des sites ayant des activités industrielles.
- Infrastructure : les études regroupées sous ce type concernent les infrastructures des villes comme par exemple les rues ou les aménagements portuaires.
- Mercantile : sur ces sites sont pratiquées des activités commerciales, des boutiques y sont par exemple retrouvées.
- Militaire : ce type regroupe l'ensemble des activités liées à l'armée romaine et à la défense. L'ensemble des camps militaires appartient à ce type.
- Pastorale : une activité strictement liée à l'élevage est pratiquée sur ces sites.
- Public : ce type concerne des activités liées au domaine public au sens large, les latrines publiques en font par exemple partie.
- Religieux : sous cette appellation sont regroupés les sites pour lesquels une activité religieuse, voire liée à un culte, est pratiquée.

Sur les sites ou secteurs de sites étudiés, les activités pratiquées sont généralement uniques mais elles peuvent être multiples. Dans ce cas, plusieurs types d'activités peuvent être associés, comme par exemple "Agropastoral et domestique" ou "Domestique et mercantile".

Pour chacun des quatre-vingts sites étudiés, les informations issues des données publiées et fournies par les responsables d'opération permettent, dans la plupart des cas, de déterminer la part de chaque type de site étudié en paléoparasitologie, et celle de chaque type d'activité pratiquée sur ces sites pour l'époque romaine

Pour les études suffisamment renseignées, la Figure 10 (p. 63) présente le pourcentage de chaque type de site, et la Figure 11 (p. 64) le pourcentage de chaque type d'activité recensé. Les types non renseignés (NR) ont été écartés des résultats présentés ici.

Le tableau détaillé des effectifs correspondants à chaque type de site et celui correspondants à chaque type d'activité pratiquée sont présentés en Annexe 3 (Volume 2, Tableau 2, p. 6 et Tableau 3, p. 7).

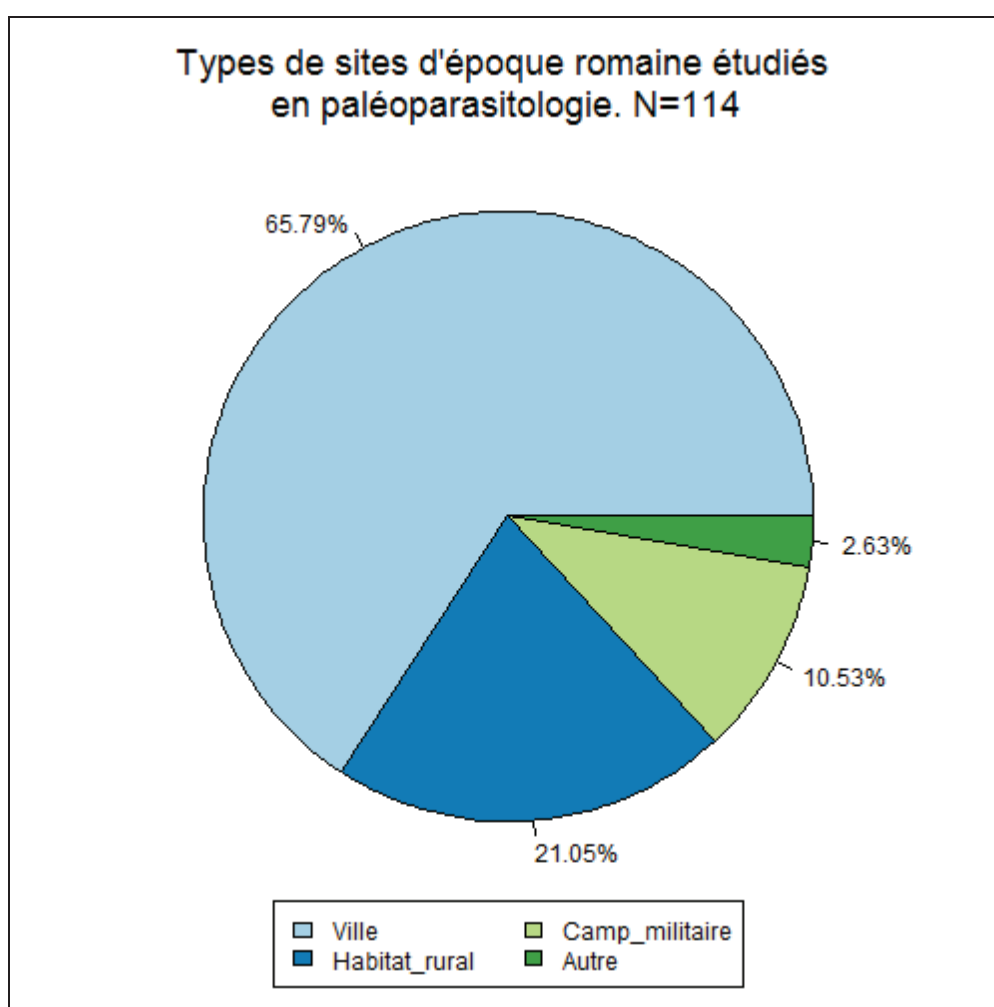


Figure 10 : Types de sites d'époque romaine étudiés en paléoparasitologie (cent-quatorze sites sur cent-vingt-cinq, soit 91 %).

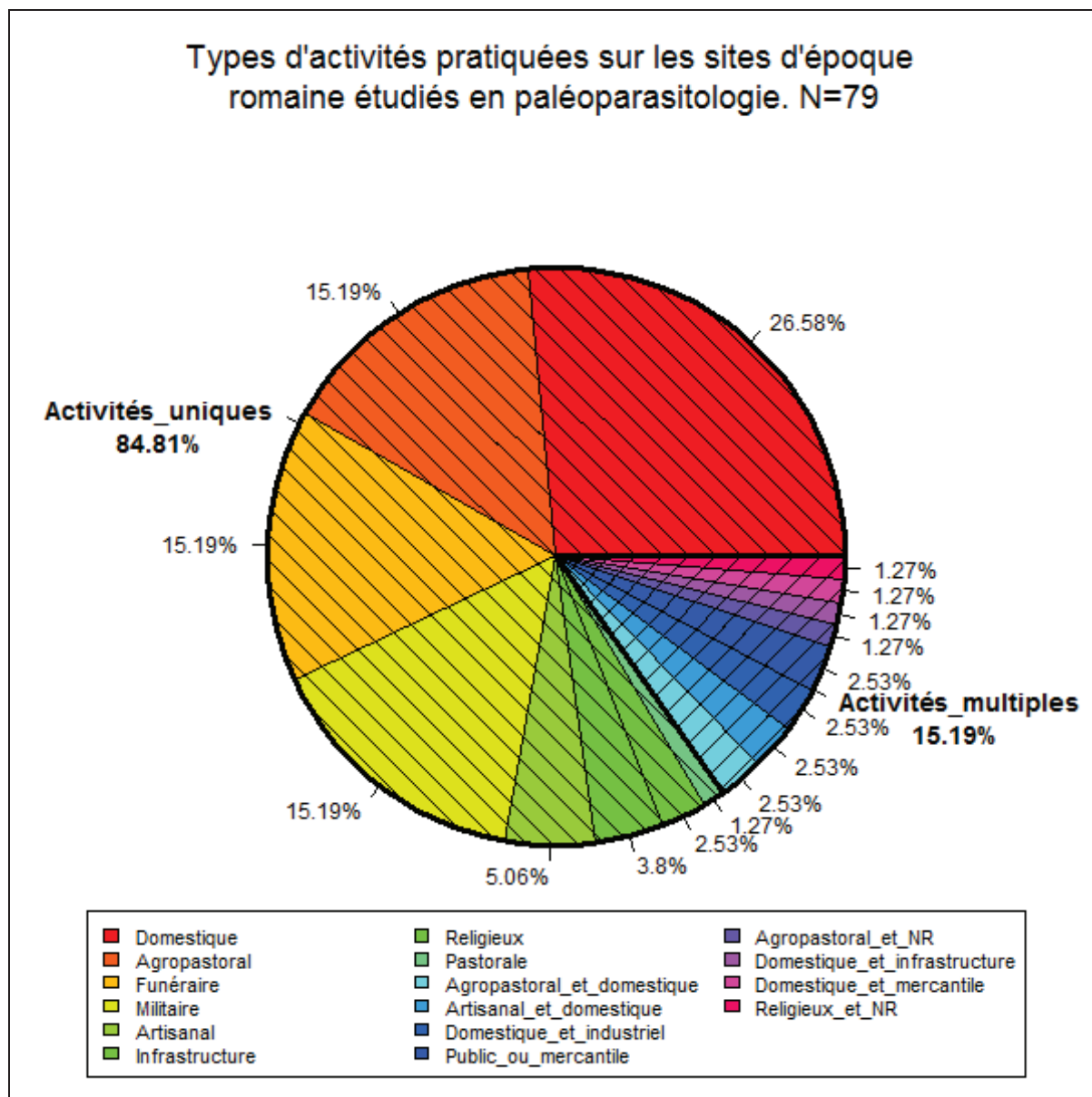


Figure 11 : Types d'activités pratiquées sur les sites d'époque romaine étudiés en paléoparasitologie (soixante-dix-neuf études sur cent-vingt-cinq, soit 63 %).

La majorité des études paléoparasitologiques ont été réalisées sur des sites de type ville (65.79 %) et habitat rural (21.05 %). Concernant les types d'activités, les informations sont plus lacunaires car seul 63 % des études ont pu être comptabilisées. La majorité d'entre elles correspondent à des activités uniques (84.81 %) et en particulier à des activités domestiques, agropastorales, funéraires et militaires. Les autres activités (artisanal, religieux...) sont quant à elles beaucoup moins représentées.

Les activités multiples sont elles aussi beaucoup moins nombreuses (15.19 %) mais ont été étudiées dans des proportions similaires (environ 2 à 3 %). Elles associent le plus souvent le type "activité domestique" avec une autre activité (dans cinq des huit types d'activités multiples).

3.2.3 Echantillons, vestiges d'origines et origines biologiques

Comme pour les sites étudiés, les auteurs et les responsables d'opération désignent les échantillons par différentes appellations (sédiment, tufs archéologiques, tissus stomacaux...). Ainsi, les échantillons sont de différentes natures. Nous avons défini trois types d'échantillons :

- Sédiment : il s'agit principalement d'échantillons de sédiment provenant du type de vestige d'origine "Structures en creux". Certains échantillons peuvent correspondre à des prélèvements de sédiments issus de la cavité abdominale de squelettes.
- Coprolithe et assimilés : cette catégorie regroupe les coprolithes (excréments individualisés desséchés, minéralisés ou en voie de minéralisation), les concrétions minéralisées (il peut s'agir par exemple d'un échantillon issu d'une couche de coprolithes) et les dépôts sédimentaires concrétionnés (de type tartre ou tufs archéologiques par exemple).
- Organe ou contenu organique : il s'agit d'échantillons de tissus ou de contenus organiques. Le plus souvent ils sont issus de momies (naturelles et artificielles) mais ils peuvent être issus de squelettes (dans le cas des kystes hydatiques calcifiés).

L'origine de ces échantillons est elle aussi variée. Les échantillons peuvent provenir de couches archéologiques, d'unités stratigraphiques, de faits, de structures, de momies, de squelettes... Pour palier à cette différence de terminologie concernant l'appellation archéologique d'origine des échantillons, le terme très général "vestige" sera utilisé dans notre étude. L'ensemble des vestiges étudiés peut être classé en sept types différents :

- Structure en creux : il s'agit de creusements faits par l'homme pour son installation ou ses différentes activités comme par exemple, les fosses, les latrines ou les puits.

- Squelette : ce type regroupe les squelettes et autres restes osseux retrouvés en connexion. Dans le cadre de notre travail la plupart correspondent à des squelettes humains et quelques-uns à des squelettes équins.
- Structure en élévation : les structures correspondant à ce type sont en élévation, au contraire des structures en creux, et regroupent notamment les bâtiments.
- Couches et strates hors structure : ce type concerne les couches, les strates et autres unités stratigraphiques étudiées qui ne sont pas associées à une structure spécifique (couche située à l'extérieur d'un bâtiment par exemple). Les échantillons issus de carottages sont classés dans ce type.
- Momie : il s'agit ici de corps dont les tissus organiques sont conservés naturellement ou artificiellement (momie des tourbières et momies égyptiennes par exemple).
- Structure funéraire : ce type particulier correspond aux structures associées à des restes humains comme par exemple les sépultures ou les monuments funéraires. Les cercueils de plomb en font partie.
- Structure de combustion : ce type correspond aux structures liées au feu qui ont subi une combustion ou en montre les traces (foyer...).

Au total pour l'époque romaine, quatre cent deux vestiges différents et neuf-cent-un échantillons ont fait l'objet d'analyses paléoparasitologiques. Les vestiges considérés ici sont ceux dont les informations sont assez complètes pour permettre leur classification. Le nombre d'échantillons est sans doute plus élevé car certaines études publiées ne mentionnent pas le nombre d'échantillons traités. Par manque d'information, il a été décidé pour ces études particulières de les considérer comme réalisées sur un seul échantillon. Certaines entrées de la table échantillons doivent donc correspondre à un ensemble plutôt qu'à un unique échantillon étudié.

Pour chaque type de vestige d'origine, quelques sous-types rassemblant des vestiges similaires ont été déterminés pour simplifier la présentation des résultats :

- Caniveau : Caniveau, Caniveau en bois.
- Egout : Egout, Egout lié à des latrines, Réseau d'égout.
- Fosse : Fosse aménagée, Fosse aménagée (latrines ?), Fosse aménagée indéterminée, Fosse aménagée indéterminée (latrines ?), Fosse avec aménagements en bois, Fosse avec branches, Fosse carrée, Fosse cuvelée, Fosse d'extraction de gravier, Fosse d'un

artisan cornetier, Fosse indéterminée (aménagée ?), Fosse non aménagée, Fosse quadrangulaire (latrines ?), Fosse rectangulaire, Fosse ronde, Fosse/cave, Fosse/dépression, Fosse/trou.

- Latrines et fosses d'aisances : Latrines, Fosse d'aisance, Latrines ? cuvelées, Latrines cuvelées, Latrines non parementées, Latrines parementées, Latrines publiques.
- Puits : Puits, Puits circulaire, Puits cuvelé, Puits cuvelé en bois, Puits maçonné, Puits/citerne.

Pour les échantillons assez renseignés, la Figure 12 (p. 68) présente le pourcentage de chaque type d'échantillon, et la Figure 13 (p. 69) le pourcentage de chaque type de vestige d'origine.

Comme pour les types de sites et d'activités, les types de vestiges d'origine et d'échantillons non renseignés (NR) ont été écartés des résultats présentés ici.

Le tableau détaillé des effectifs pris en compte pour chaque type de vestige d'origine, et celui correspondant à chaque type d'échantillon sont présentés en Annexe 4 (Volume 2, Tableau4, p. 8 et Tableau 5, p. 10).

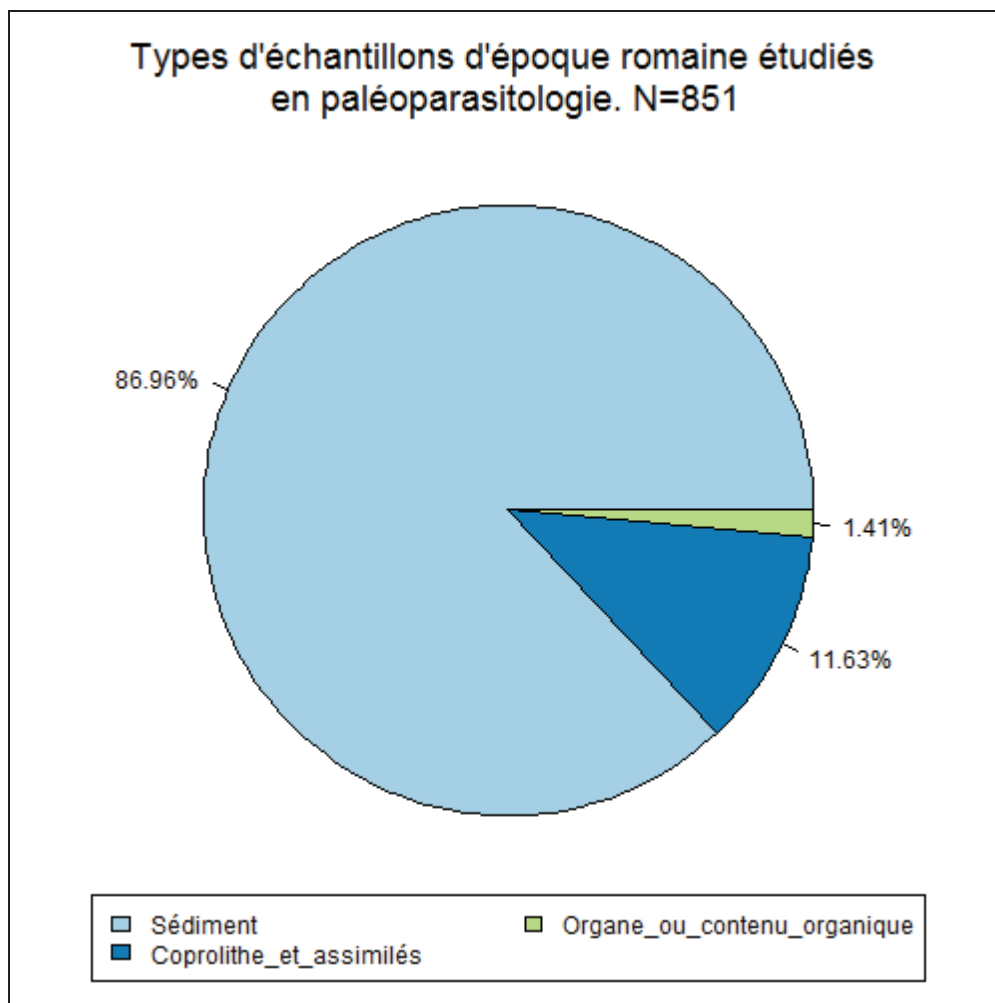


Figure 12 : Types d'échantillons d'époque romaine étudiés en paléoparasitologie (huit cent cinquante-et-un échantillons sur neuf-cent-un, soit 95 %).

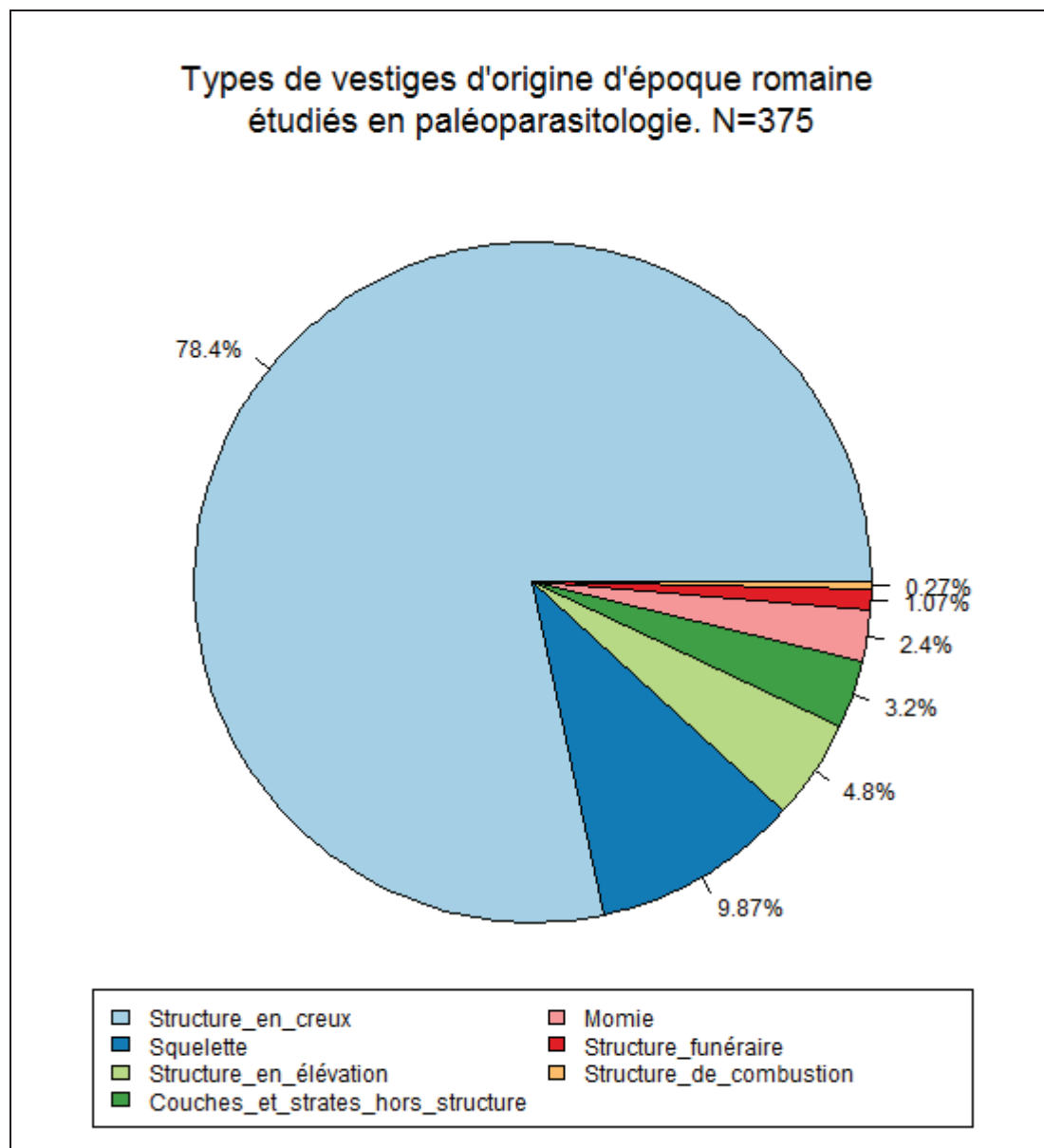


Figure 13 : Types de vestiges d'origine d'époque romaine étudiés en paléoparasitologie (trois cent soixante-quinze vestiges sur quatre-cent-deux, soit 93 %).

Les vestiges étudiés correspondent principalement à des structures en creux (78.40 % des vestiges), et en particulier à des fosses, des puits ainsi qu'à des latrines et fosses d'aisances (voir Volume 2, Annexe 4, Tableau 5, p. 10). Les autres vestiges comme les squelettes et les momies (respectivement 9.87 % et 2.40 %), ainsi que les structures funéraires (seulement 1.07 %) sont peu étudiés (Figure 13, p. 69). Concernant les types d'échantillons, ils correspondent principalement à des sédiments (86.96 %). Les coprolithes et assimilés ainsi que les organes et contenus organiques (respectivement 11.63 % et 1.41 %) sont en revanche beaucoup moins étudiés (Figure 12, p. 68).

Pour chacun des échantillons, une origine biologique est définie afin de permettre l'interprétation des résultats. Elle est déterminée en fonction du type d'échantillon étudié et du type de vestige d'origine. Elle peut être unique ou multiple. Dans le premier cas, et dans le cadre de ce travail de thèse, elle correspond à l'homme ou au cheval. En effet, des restes humains ont été étudiés pour l'époque romaine (squelettes et momies) mais également des squelettes de chevaux. A notre connaissance il s'agit d'ailleurs de la seule espèce animale dont les restes ont fait l'objet d'analyse en paléoparasitologie pour l'époque romaine. Certains des coprolithes étudiés ont une origine humaine.

Dans le second cas, lorsqu'il est difficile d'attester d'une origine unique pour les rejets étudiés et qu'un mélange est possible (fosse dépotoir par exemple), l'origine biologique est alors considérée comme multiple.

La typologie définie pour l'origine biologique des échantillons est la suivante :

- Humaine : les échantillons étudiés sont issus de restes humains ou ont une origine humaine stricte attribuée (coprolithe par exemple).
- Equine : il s'agit d'échantillons issus de restes de chevaux ou d'origine strictement équine.
- Mixte : cette origine biologique multiple est associée aux échantillons de sédiments pour lesquels un mélange de rejet est possible (issus de fosses dépotoirs par exemple) ainsi qu'à certains échantillons de type "coprolithe et assimilés".

La Figure 14 (p. 71) présente le pourcentage des origines biologiques correspondant à chaque échantillon étudié pour l'époque romaine.

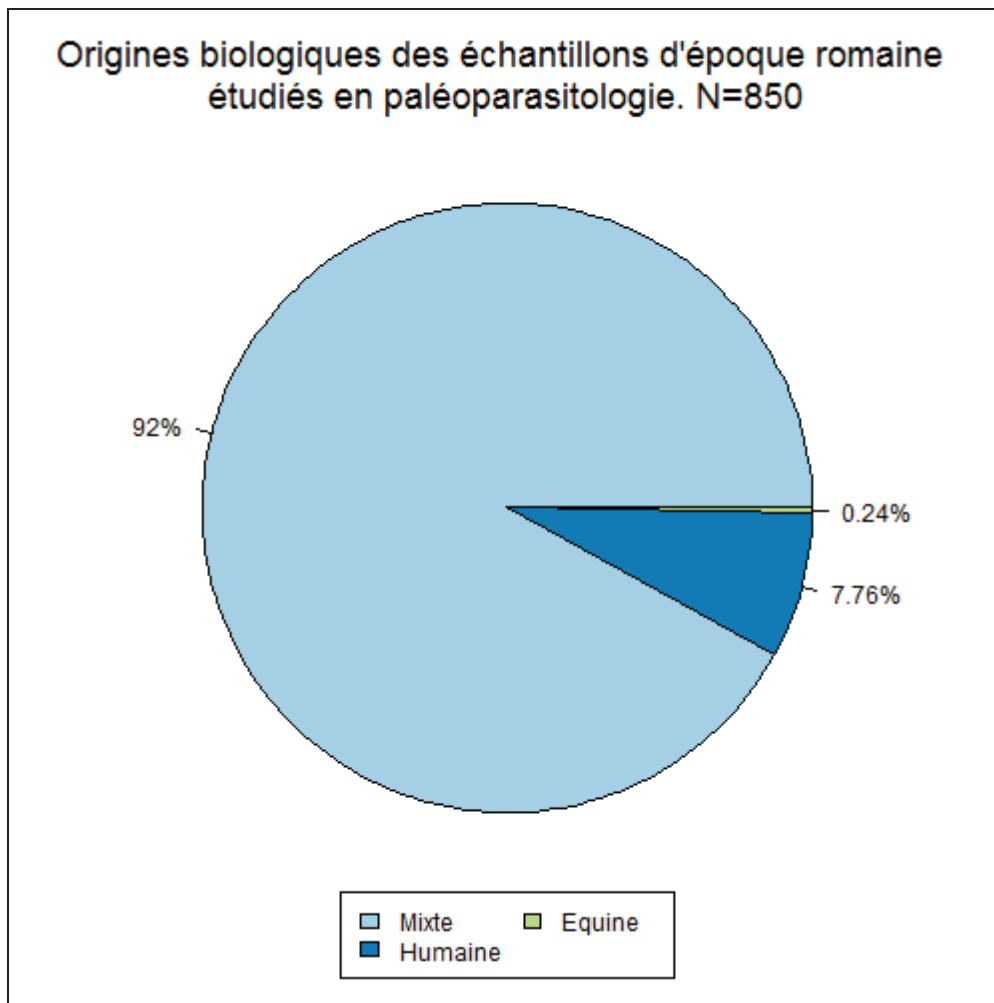


Figure 14 : Origines biologiques des échantillons d'époque romaine étudiés en paléoparasitologie (huit-cent-cinquante échantillons référencés).

La plupart des échantillons étudiés ont une origine biologique mixte (92 %). Les échantillons d'origine uniquement humaine ne représente que 7.76 %, et ceux d'origine équine seulement 0.24 %.

3.2.4 Localisation géographique et chronologie des sites

Les cent-vingt-cinq entrées de la table Etude correspondent à quatre-vingt sites, répartis dans tous l'Empire romain et sa périphérie. Pour chaque entrée de la base de données, les coordonnées géographiques des sites et les datations sont renseignées, ce qui permet de les replacer sur une carte et d'étudier leur répartition, tant au niveau géographique qu'au niveau chronologique.

Quatre des sites font partie des régions limitrophes et ne sont pas compris dans les limites de l'Empire romain : Karwinden man (S_0027), Zweeloo woman (S_0025), Feddersen wierde (S_0011) et Oasis de Dakhleh (S_0017). Cependant les Romains avaient des contacts et des échanges avec les peuples voisins (Pitts, 1989).

Le site S_0044 n'a pas de localisation géographique. Il correspond à l'étude d'une momie égyptienne, datée de l'époque ptolémaïque tardive (vers le 1er s. AEC), mais provient de la collection d'un musée italien, et son site d'origine est inconnu.

La carte suivante (Figure 15 p. 73) présente les sites étudiés et la limite de l'Empire romain à son apogée. Pour chacun d'entre eux un diagramme circulaire représente la part de chaque type d'étude réalisée, avec en rouge les ETP, en bleu les ETI et en vert les ETC.

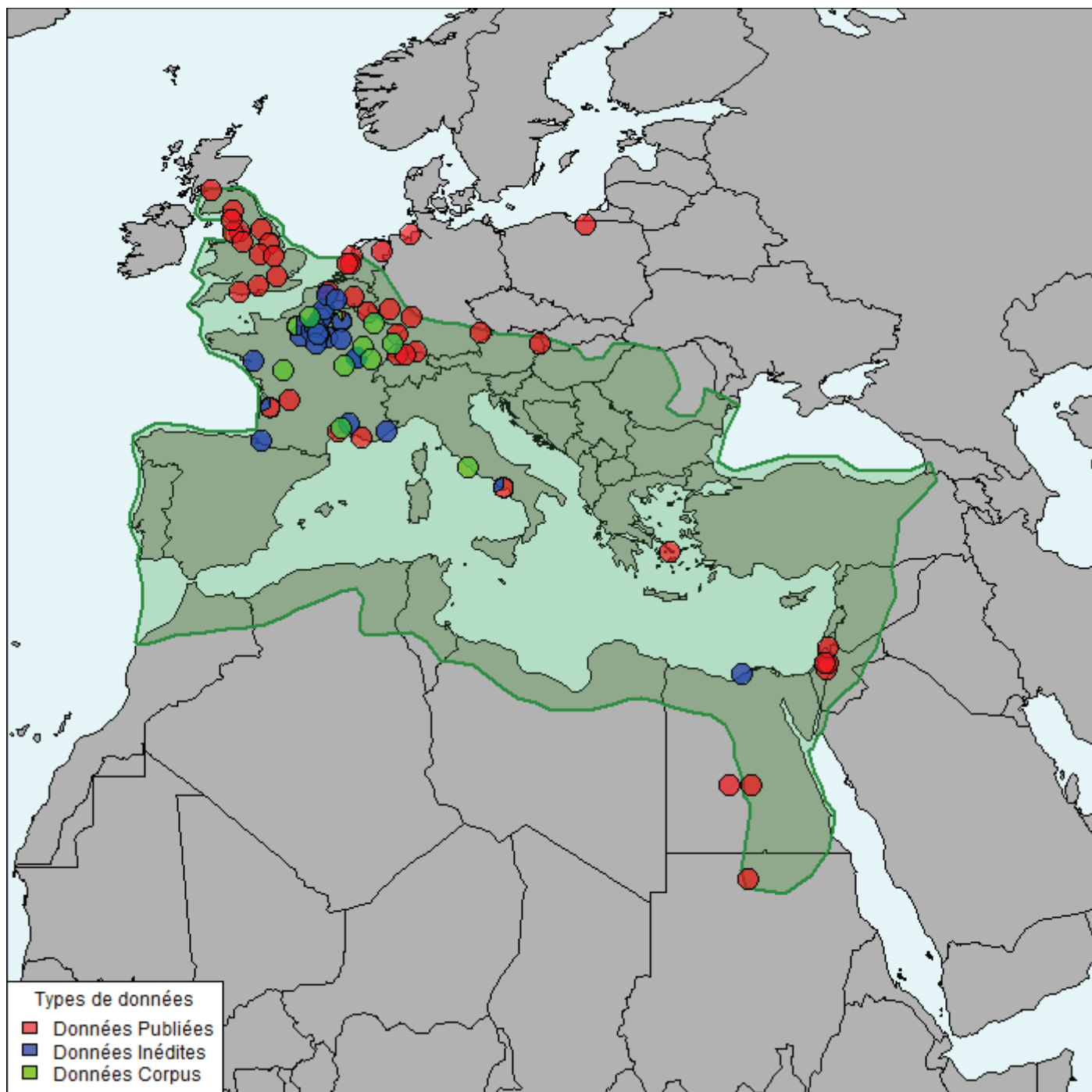


Figure 15 : Localisation des sites étudiés et part de chaque type d'étude (ETP en rouge, ETI en bleu et ETC en vert).

Les sites publiés sont localisés pour la plupart au Royaume-Uni, dans l'Ouest de l'Allemagne, au Pays-Bas, en Belgique et en Suisse. Les sites inédits sont localisés en France, excepté deux sites localisés à Alexandrie (Egypte) et à Pompéi (Italie). Enfin les sites corpus sont situés en France et en Italie. Ils font le lien entre les sites inédits et les sites publiés, en comblant une partie du hiatus géographique existant entre les sites renseignés par ces deux types d'études.

Quatre des sites ont fait l'objet de plusieurs types d'études : Reims (ETP, ETI, ETC), Bordeaux (ETP et ETI), Evreux (ETI et ETC) et Pompéi (ETP et ETI) (voir *supra* 3.2.1 Sites et notion de site en archéologie, p. 58).

La plupart des sites étudiés sont donc localisés en Europe de l'Ouest : au Royaume-Uni, en France, en Suisse, dans l'Ouest de l'Allemagne, au Pays-Bas et en Belgique.

Avec soixante-cinq sites sur les quatre-vingts étudiés (soit 81.25 %), le quart Nord-Ouest de l'Empire romain est plutôt bien renseigné. En comparaison, le reste du monde romain est quasiment vierge de toute étude, notamment sur le pourtour méditerranéen (en particulier sur la côte Nord africaine), excepté quelques rares sites localisés dans l'Ouest du Moyen-Orient (Egypte, Israël, Palestine et Jérusalem-Est).

Ces quatre-vingts sites sont répartis dans quinze pays différents. Le graphique suivant représente le nombre de sites, le nombre d'études ainsi que le nombre de chaque type d'étude par pays.

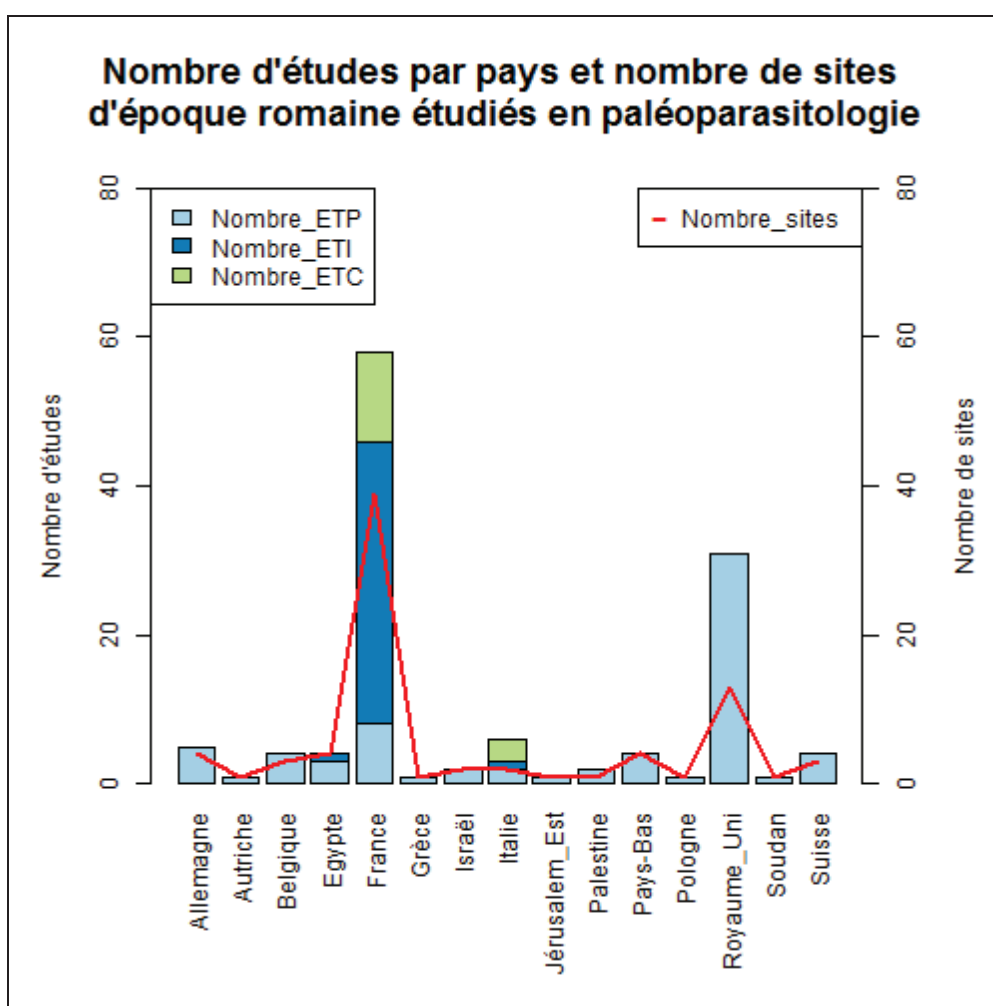


Figure 16 : Nombre de Sites, d'études (ET), d'études publiées (ETP), d'études inédites (ETI) et d'études corpus (ETC) par pays.

Sur l'ensemble des pays étudiés, la France et le Royaume-Uni rassemblent plus de la moitié des sites (respectivement 39 sites soit 48.75 % et 13 sites soit 13.25 %). Ce déséquilibre s'explique par la présence dans ces deux pays d'équipes de recherches et de chercheurs qui se sont intéressés aux parasites (par exemple A.K.G. Jones et H. Kenward en Angleterre, F. Bouchet et M. Le Bailly en France). En effet, le nombre important d'études réalisées en France correspond principalement aux ETI réalisées dans le laboratoire de Reims et dans celui de Besançon ainsi qu'aux ETC réalisées au cours de ce travail de thèse. Pour le Royaume-Uni, l'ensemble des informations provient des données publiées (14 rapports d'analyses, 6 articles et 5 ouvrages) et essentiellement de rapports fournis par l'Environmental Archaeology Unit de l'Université de York.

Ce nombre plus important de site pour la France et le Royaume-Uni résulte donc d'une surreprésentation due à ces rapports d'analyses et aux données inédites et corpus, disponibles uniquement pour ces deux pays. En effet, en excluant ces sources d'information, le nombre de sites étudiés redescend à huit pour le Royaume-Uni et sept pour la France, ce qui est beaucoup plus proche du nombre de sites pour les autres pays (entre un et quatre).

Comme le montre le graphique suivant, les datations des études réalisées sur chacun de ces sites correspondent pour la plupart à un intervalle de plusieurs siècles. Par ailleurs, vingt-et-un sites ont des datations imprécises et sont uniquement datés de l'époque romaine dans son ensemble. Les dates de début et de fin de l'époque romaine, ou pour être plus précis de l'occupation romaine, varient selon les pays et expliquent les légères différences de dates observées.

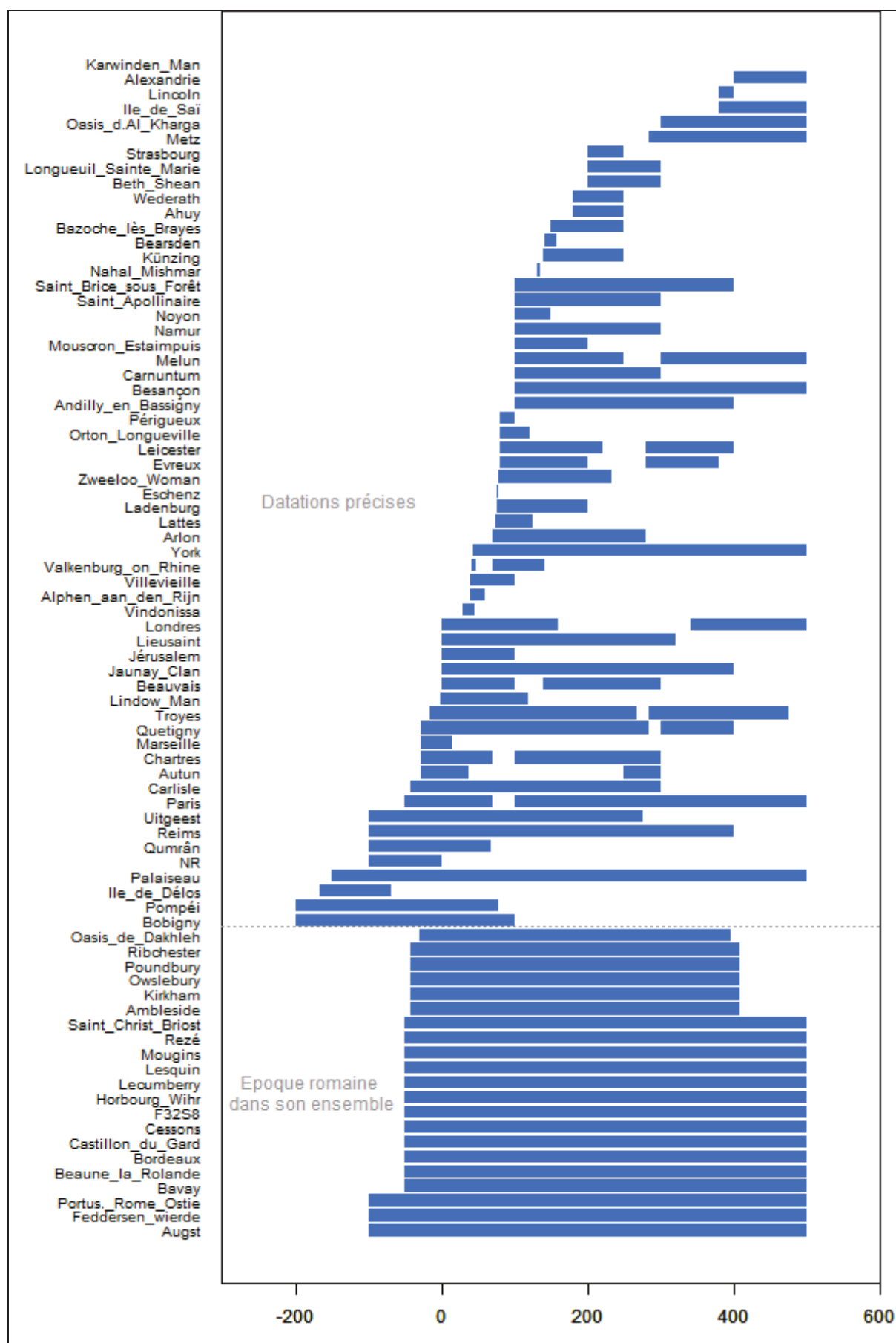


Figure 17 : Datations des sites étudiés classés du TPQ le plus ancien au plus récent.

Le graphique suivant représente par une courbe cumulative le nombre de sites étudiés par année, de 200 AEC à 500 EC. Les sites datés uniquement de l'époque romaine ont été écartés de ce graphique. Comme nous pouvons le voir, les sites étudiés sont datés pour la plupart entre le 1er s. EC et le 3ème s. EC, le début et la fin de l'époque romaine sont beaucoup moins étudiés.

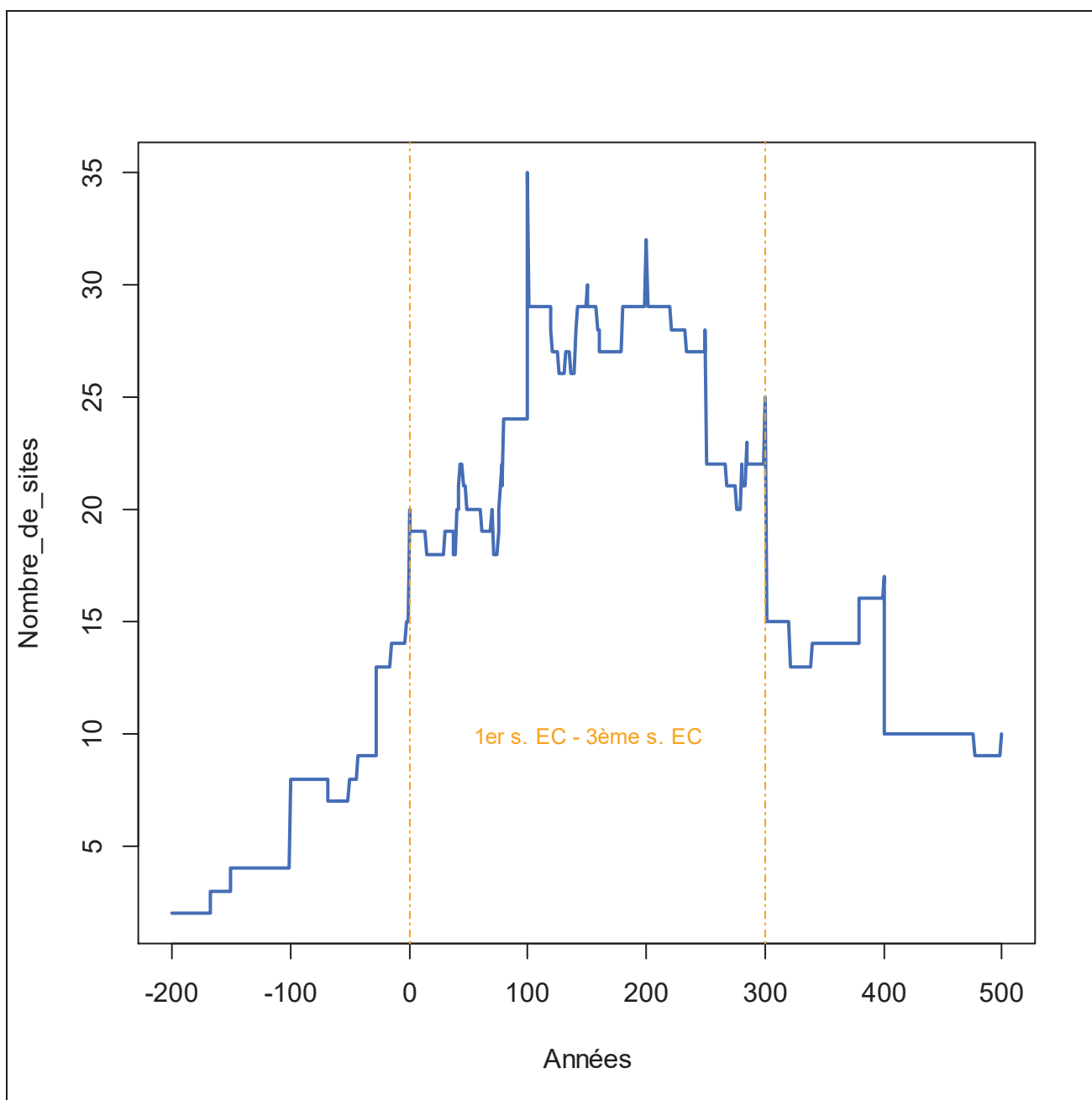


Figure 18 : Courbe cumulative du nombre de sites étudiés de 200 AEC à 500 EC.

3.3 Synthèse des données étudiées pour l'époque romaine et perspectives

La plupart des sites étudiés sont localisés dans le Nord-Ouest de l'Empire romain (pays ouest-européens) alors que le reste de l'Empire est beaucoup moins renseigné. Le pourtour méditerranéen n'est que très peu étudié et seul le Sud-Est de l'Empire est un peu plus étudié, dans les régions de l'Ouest du Moyen-Orient (Égypte, Soudan, Israël, Palestine et Jérusalem Est). Entre ces deux régions seuls trois sites sont présents (deux en Italie et un en Grèce). Il conviendrait de réaliser plus d'études dans les régions de l'Empire romain encore trop peu renseignées, ou vierges de toutes études.

Jusqu'à présent, les types de sites les plus étudiés correspondent pour la plupart au type Ville et au type Habitat rural. Les deux autres sont en revanche beaucoup moins étudiés (Camp militaire et Autre) mais cette différence pourrait être liée à une réalité archéologique. En effet, étudier ou non un site par des analyses est un choix, alors que l'objet de l'étude dépend en grande partie de ce qui est retrouvé au moment de la fouille. Le nombre important d'études pour les sites de type Ville et Habitat rural pourrait peut-être s'expliquer simplement par le fait qu'ils font principalement l'objet de fouilles.

Les types d'activités sont étudiés dans des proportions équivalentes pour les activités uniques comme pour les activités multiples (les activités uniques étant beaucoup plus étudiées que les activités multiples). Parmi les activités uniques, les types d'activités Artisanal, Infrastructure, Religieux et Pastoral sont peu étudiés. De même que pour les types de sites, les types d'activités étudiés dépendent des sites retrouvés en fouilles (voir *supra* 3.2.2 Sites étudiés et activités des sites, p. 61).

Les structures en creux sont majoritairement retrouvées en fouille, expliquant que ce type de vestige soit le plus couramment étudié. En revanche, les coprolithes et assimilés ainsi que les vestiges liés à des restes humains (structures funéraires et squelettes) sont très minoritaires et beaucoup moins étudiés. Dans le cas des coprolithes, le problème de la conservation de ces éléments dans le sol pourrait expliquer qu'ils soient moins retrouvés et donc moins étudiés. En revanche ce n'est pas toujours le cas pour les types liés à des restes humains. Bien que ces deux types soient moins fréquemment étudiés, ils correspondent à un matériel

particulièrement intéressant en paléoparasitologie puisqu'ils ont une origine biologique définie.

Des origines biologiques définies permettent en effet une précision accrue des identifications de parasites, et donc des discussions mieux ciblées pour les résultats obtenus en paléoparasitologie (voir *infra* **4.3.2 Discussion des identifications**, p. 85). L'origine biologique majoritairement étudiée correspond dans notre étude à Mixte ce qui s'explique par la grande part de sédiment analysé. Dans la plupart des cas, l'origine biologique est considérée par défaut comme multiple, associant l'homme aux animaux. En effet ces sédiments proviennent majoritairement de structures en creux susceptibles de contenir un mélange de matière organique d'origine variée. Il est difficile pour ce type de vestige d'attribuer l'origine du dépôt à l'homme ou à l'animal. Ainsi l'étude plus fréquente d'échantillons issus de vestiges des types Structure funéraire, Squelette ainsi que Coprolithe et assimilés permettrait d'apporter plus d'informations sur les parasites spécifiques de l'homme et des animaux.

Les restes animaux doivent également être pris en compte plus fréquemment. A notre connaissance, il n'existe à ce jour pour l'époque romaine qu'un seul exemple en paléoparasitologie. Il s'agit des restes de chevaux associés aux restes humains du site d'Evreux (France, le clos au duc, S_0057, ETI_0018). Ce manque d'étude des restes animaux n'est d'ailleurs pas spécifique de l'époque romaine.

Concernant la chronologie, les études sont les plus nombreuses pour la période comprise entre le 1er s. EC et le 3ème s. EC. Il serait intéressant de pouvoir accéder à des sites datés du début et de la fin de l'époque romaine. Ils pourraient par exemple apporter des informations sur les conquêtes romaines ou encore la chute de l'Empire romain.

La présentation détaillée des études issues des différentes sources (données publiées, inédites et corpus), compilées dans la base de données, permet de renseigner d'une manière globale pour l'époque romaine les sites (localisations, datations...) et le matériel étudié en paléoparasitologie (vestiges les plus étudiés...). La description du matériel analysé pour les différentes catégories associée aux résultats obtenus pour chaque taxon permet la synthèse des données paléoparasitologiques pour l'époque romaine. La partie qui suit présente les taxons observés pour chaque étude réalisée. Comme nous allons le voir, les données parasitologiques de chacun de ces taxons et l'exploitation de la base de données renseignent certains aspects sociétaux (hygiène, alimentation...), les répartitions géographiques des taxons ou encore leurs variations dans le temps.

4 LES RESULTATS OBTENUS EN PALEOPARASITOLOGIE

4.1 Résultats avant l'époque romaine

Avant de présenter les résultats obtenus pour l'époque romaine, il convient de s'intéresser aux résultats de la période précédente. Pour le second Age du Fer (La Tène), au moins huit sites ont été étudiés en paléoparasitologie. Le Tableau 12 (p. 81) présente pour la période comprise entre le 4ème s. AEC et 80 AEC les résultats publiés pour les sites d'Allemagne, d'Autriche, du Danemark, de France, d'Italie, du Kazakhstan et de Suisse. Au total treize taxons ont été observés : *Ascaris lumbricoides*, *Ascaris* sp., *Trichuris trichiura*, *Trichuris* sp., *Capillaria* sp., *Oxyuris equi*, *Metastrongylus* sp., Strongle, *Fasciola hepatica*, *Fasciola* sp., *Taenia/Echinococcus* sp., *Hymenolepis* sp., *Raillietina* sp. Comme nous le verrons par la suite, l'ensemble de ces taxons est observé au cours de la période romaine à l'exception de *Metastrongylus* sp. (parasite du porc) et de *Raillietina* sp. (parasite d'oiseaux).

Site	Pays	Datation	<i>Ascaris lumbricoides</i>	<i>Ascaris</i> sp.	<i>Trichuris trichiura</i>	<i>Trichuris</i> sp.	<i>Capillaria</i> sp.	<i>Oxyuris equi</i>	<i>Metastrongylus</i> sp.	Strongle	<i>Fasciola hepatica</i>	<i>Fasciola</i> sp.	<i>Taenia/Echinococcus</i> sp.	<i>Hymenolepis</i> sp.	<i>Railletina</i> sp.	Références
Hallstatt	Autriche	2300 ans			X											Aspöck <i>et al.</i> , 1973
Hallein, Salzburg	Autriche	2000 ans	X		X						X		X			Aspöck <i>et al.</i> , 1999
Tollund Man, Central Jutland	Danemark	375 AEC - 210 AEC			X											Helbaek, 1958
Grauballe Man, Silkeborg	Danemark	vers 290 AEC			X											Helbaek, 1958
Lattes	France	4ème s. AEC		X		X	X		X					X	X	Jouy-Avantin et Moné, 2003
Parme, Place Garibaldi	Italie	2ème 1/2 3ème s. - début 2ème s. AEC				X										Bosi <i>et al.</i> , 2011
Berel'	Kazakhstan	293 - 294 AEC						X		X						Le Bailly <i>et al.</i> , 2008
Basel, GasFabrik	Suisse	150 - 80 AEC		X		X						X				Pichler <i>et al.</i> , 2014

Tableau 12 : Résultats publiés obtenus en paléoparasitologie pour les sites du second Age du Fer.

4.2 Les taxons identifiés d'après les différentes sources

Au total, quarante-quatre taxons différents d'helminthes et deux parasites unicellulaires ont été observés ainsi que sept taxons non identifiés (six helminthes et un unicellulaire). Le nom des taxons dépend du degré de précision possible pour l'identification des parasites (du phylum à l'espèce) ou relèvent de la nomenclature interne propre au laboratoire de Reims et de Besançon (données inédites, par exemple *Trichuris* sp. gros). Les deux tableaux suivants présentent les taxons observés et une partie de la classification correspondante. Une classification plus détaillée est donnée en Annexe 5 (Volume 2, p. 12-13).

Taxon	Phylum	Classe
<i>Trichuris trichiura</i>	Nemathelminthes	Nematoda
<i>Trichuris</i> sp.		
<i>Trichuris</i> type 531		
<i>Trichuris ovis</i> ou <i>Trichuris globulosa</i>		
<i>Trichuris</i> sp. gros		
<i>Capillaria</i> sp.		
<i>Capillaria</i> ponctué		
<i>Capillaria</i> réticulé		
<i>Capillaria</i> type hepatica		
Trichuridae ou Capillariidae		
<i>Diectophyma renale</i>		
<i>Ascaris lumbricoides</i>		
<i>Ascaris</i> sp.		
Ascaridé		
<i>Parascaris</i> sp.		
<i>Toxocara canis</i>		
<i>Toxocara</i> sp.		
<i>Oxyuris equi</i>		
<i>Enterobius vermicularis</i>		
<i>Strongyloides</i> sp.		
<i>Ankylostoma</i> sp.		
Ankylostomidé		
Strongle		
Strongylida		
<i>Macracanthorhynchus</i> sp.	Acanthocephala	Acanthocephala
Acanthocephala		
<i>Hymenolepis nana</i>	Plathelminthes	Cestoda
<i>Taenia solium</i>		
<i>Taenia saginata</i>		
<i>Taenia saginata</i> ou <i>Taenia solium</i>		
<i>Taenia</i> sp.		
<i>Echinococcus granulosus</i>		
<i>Taenia</i> / <i>Echinococcus</i> sp.		
<i>Diphyllobothrium latum</i>		
<i>Diphyllobothrium</i> sp. lisse		
<i>Diphyllobothrium</i> sp.		
<i>Diphyllobothrium</i> sp. ponctué		
<i>Diphyllobothrium</i> sp. très ponctué		
<i>Diphyllobothrium</i> / <i>Spirometra</i> sp.		
<i>Fasciola hepatica</i>		Trematoda
<i>Fasciola</i> sp.		
<i>Dicrocoelium dentriticum</i>		
<i>Dicrocoelium</i> sp.		

Trématodes	Plathelminthes ?	Trematoda ?
Œuf operculé	Plathelminthes ?	Trematoda ?
Type A	Non identifié	
Type B	Non identifié	
Type C	Non identifié	
Indéterminé	Non identifié	

Tableau 13 : Taxons d'helminthes observés pour l'époque romaine en paléoparasitologie d'après les différentes sources.

Taxon	Ordre	Famille
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amoebida	Entamoebidae
Amibes	Non identifié	
<i>Giardia intestinalis</i>	Diplomonadida	Hexamitidae

Tableau 14 : Taxons de protozoaires parasites intestinaux observés pour l'époque romaine en paléoparasitologie d'après les différentes sources.

4.3 Discussion des identifications

Avant de pouvoir exploiter les résultats issus des données publiées, des données inédites et des données corpus, il a été décidé d'uniformiser les résultats. En effet, le nombre total de taxons identifiés s'élève à cinquante-et-un. Parmi ces résultats, certaines identifications ne sont rencontrées que sur quelques études, voire parfois même que sur une seule. Afin d'uniformiser les données et de faciliter leur utilisation nous avons choisi d'adapter les identifications proposées dans les différentes sources en fonction de paramètres d'identification des taxons. Ces critères sont discutés ci-dessous.

4.3.1 L'identification des œufs de parasites : généralités et limites

En paléoparasitologie, l'identification des œufs se base sur les référentiels actuels. Le postulat posé est qu'il n'y a pas de différences significatives entre les parasites anciens et les parasites actuels, et par conséquent entre les œufs de parasites anciens et les œufs de parasites actuels. Dans notre discipline nous sommes donc tributaires de l'existence de référentiels présentant les œufs de parasites ainsi que de la description et de l'illustration des œufs (dessins ou photographies). Les caractéristiques morphologiques et morphométriques issues de ces référentiels permettent l'identification des œufs observés dans les échantillons archéologiques.

Si les descriptions des espèces pouvant affecter l'homme (*Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Capillaria hepatica*...) ou certains animaux domestiques (*Oxyuris equi*, *Toxocara* sp., *Eucoleus aerophilus*...) sont bien documentées, il n'en va pas de même pour l'ensemble des espèces parasites. Ainsi dans la littérature, les descriptions s'attachent généralement plus aux parasites adultes qu'aux œufs, et lorsqu'ils sont représentés ou décrits, l'ensemble de leurs caractéristiques (surface de la coque notamment) n'est pas toujours visible.

Même si les informations concernant certains œufs de parasites particuliers sont parfois lacunaires (*Capillaria* notamment) et qu'elles ne permettent pas une identification précise au niveau spécifique, les caractéristiques des œufs associées à d'autres paramètres (origine biologique des échantillons par exemple) permettent dans la plupart des cas de les associer à un groupe de taxon particulier ou de proposer une identification au niveau de l'embranchement, de la classe, voire du genre des parasites.

4.3.2 Discussion des identifications

L'identification des œufs de parasite dépend de leur morphologie, de leurs dimensions, de l'origine biologique de l'échantillon et de la région géographique du site étudié. La datation des échantillons est également nécessaire puisqu'elle permet de définir les limites de diffusion des parasites au cours du temps via les migrations humaines et animales.

Les parasites habituellement pris en compte pour les identifications sont ceux correspondant aux hôtes présents dans les aires géographiques des sites pour les périodes chronologiques étudiées. Cependant, il convient de garder à l'esprit que certains animaux ont pu être importés par les Romains dans certaines régions de l'Empire d'où ils étaient absents avant la Conquête romaine. Par exemple dans les provinces du Nord, le chat et l'âne sont introduits (et présents dans ces régions depuis cette date) (Jussiau *et al.*, 2009) comme parfois d'autres espèces plus "exotiques". Par exemple, des restes de camélidés (chameaux et dromadaires) ont ainsi été retrouvés sur des sites du Nord de l'Empire romain (Pigière et Henrotay, 2012) dont certains sont étudiés en paléoparasitologie : Arlon (S_0034), Autun (S_0077), Bordeaux (S_0042) et Vindonissa (S_0037). Parfois, d'autres espèces de parasites non endémiques des régions étudiées en paléoparasitologie doivent aussi être prises en compte pour l'identification des œufs.

Au sein d'une même famille, différentes espèces, parasitant des hôtes différents, peuvent produire des œufs possédant des caractéristiques morphologiques et des dimensions très proches. Ainsi lorsqu'une origine biologique unique n'est pas attestée, et en l'absence d'informations complémentaires sur le site ou d'analyses supplémentaires (immunologie, biologie moléculaire...), le seul simple examen microscopique ne permet pas toujours d'identifier les œufs au niveau spécifique. Pourtant, l'étude des données publiées montre que treize des quarante-quatre taxons retrouvés sont identifiés au niveau de l'espèce, alors que l'origine biologique des échantillons est parfois de type "Mixte", voire indéterminée. En effet, la plupart des échantillons étudiés en paléoparasitologie proviennent de structures en creux (latrines, fosses...) (voir par exemple Figure 13, p. 69), et les sédiments analysés sont susceptibles de contenir un mélange de rejets organiques d'origine mixte.

Pour la plupart des informations issues des données publiées et inédites, les méthodes d'étude des parasites sont connues à l'exception de quelques anciennes publications (Jansen et Over 1962 par exemple). Parmi ces méthodes, l'immunologie est parfois utilisée, en particulier pour la recherche d'unicellulaires parasites (*E. histolytica* et *G. intestinalis*, kits commerciaux immunologiques de type Elisa). Des outils de diagnostic d'helminthes existent aussi en immunologie mais sont très rarement utilisés du fait des difficultés à les mettre en œuvre. Néanmoins, parmi les données publiées, une étude réalisée en immunologie par Bruschi *et al.* (2006) sur une momie égyptienne datée de la fin de la période Ptolémaïque (1er s. AEC, ETP_0068, S_0044) a permis d'identifier précisément le ténia du porc, *Taenia solium*. Il

s'agit à notre connaissance de la seule et unique étude de ce type pour la période antique. De même, pour le moment, aucune étude n'a été publiée en biologie moléculaire pour la recherche de parasites en période antique, même si les premières extractions d'ADN ancien issu d'œufs de parasites intestinaux (*Ascaris* sp.) sont réalisées depuis 2001 (Loreille *et al.*, 2001).

Ainsi, lorsque l'origine biologique d'un échantillon n'est pas attribuable, soit par les données archéologiques, soit par des méthodes d'investigations complémentaires, il convient de garder une certaine prudence sur l'identification des œufs de parasites, afin de ne pas fausser la réalité. C'est notamment le cas pour les genres *Ascaris*, *Trichuris*, *Taenia* et *Diphyllobothrium*.

Par exemple, sur le site de Londres (S_0010, ETP_0010, Hibernia Wharf, Southwark), les taxons suivants ont été identifiés : *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Diphyllobothrium latum* et *Taenia saginata* (De Rouffignac, 1985). Les espèces de ces taxons sont celles affectant l'homme. Cependant ces identifications doivent être considérées avec prudence car l'échantillon provient d'un puits, dont le remplissage peut contenir des rejets organiques d'origine mixte.

En effet, pour chacun de ces genres, plusieurs espèces qui parasitent des hôtes différents possèdent des œufs dont les caractéristiques morphologiques sont identiques, et dont les dimensions sont parfois proches⁹. En particulier pour les œufs d'*Ascaris*, les caractéristiques morphologiques des œufs (coque mamelonnée) et les dimensions pour les deux espèces (*A. lumbricoides*, parasite de l'homme, et *A. suum*, parasite du porc) sont très proches. De même celles des œufs de *Trichuris* (forme de citron et bouchon polaire à chaque extrémité) sont identiques pour l'ensemble des espèces de ce genre, et plusieurs d'entre elles peuvent avoir des dimensions proches (par exemple *T. trichiura*, parasite de l'homme, et *T. suis*, parasite du porc) (voir *infra* deuxième partie, **4 Etude micromorphométrique des œufs de parasites**, p. 277). Une fois encore, les œufs de *Diphyllobothrium latum* ont des caractéristiques (œuf operculé et coque lisse) qui se trouvent chez plusieurs espèces de ce genre (chez *D. dentriticum* par exemple) et les dimensions des œufs sont variables (Andersen et Alvorsen, 1978). Enfin, dans le cas du genre *Taenia*, les caractéristiques des embryophores (structure

⁹ Les caractéristiques morphologiques et les dimensions des œufs de l'ensemble des taxons observés pour l'époque romaine sont décrites par la suite en détails dans la partie **4.4 Informations sur les taxons et les groupes de taxons** (p. 101).

ellipsoïdique contenant une larve) sont identiques à celles observées chez le genre *Echinococcus* (coque épaisse à striation transversale), et plusieurs espèces ont des dimensions proches. Ces deux genres sont associés sous la dénomination *Taenia/Echinococcus* sp.

Ainsi, les taxons identifiés sur le site de Londres pourraient être identifiés comme : *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Diphyllobothrium* sp. et *Taenia/Echinococcus* sp.

Lorsque les taxons observés pour l'époque romaine sont identifiés au niveau spécifique alors que plusieurs espèces peuvent correspondre, et qu'aucune information n'est disponible pour étayer l'identification, nous avons pris le parti de diminuer le degré de précision. Le rang taxonomique supérieur a été choisi, généralement le genre.

Au contraire, certaines identifications sont restées au niveau du genre alors qu'une espèce pouvait être précisée, par exemple lorsque l'origine biologique humaine est attestée. Dans ce cas nous avons choisi de préciser les espèces.

Les identifications liées à des sites peu renseignés, pour lesquels les méthodes d'études sont connues, et dont l'origine biologique n'est pas clairement définie ont été conservées. De même, lorsque les méthodes d'étude ne sont pas connues, ou lorsqu'il n'y a pas d'information sur les sites, les études ou les vestiges en dehors des résultats obtenus pour les taxons, les identifications sont conservées sans modifications car rien ne permet de les discuter.

Le détail des taxons modifiés ainsi que les justifications et les règles suivies sont présentées en Annexe 6 (Volume 2, Tableau 8, p. 14).

4.3.3 Identifications adaptées et taxons observés

Après adaptation des identifications, trente-neuf taxons sont ainsi proposés¹⁰. Pour faciliter le traitement des résultats, les différents parasites ont également été classés par groupe de taxons. Les groupes déterminés correspondent aux classes qui englobent les taxons dont les œufs présentent des caractéristiques morphologiques et des dimensions similaires (voir Volume 2, Annexe 5, p. 12-13, et **4.4 Informations sur les taxons et les groupes de taxons**, p. 101). Au total, neuf groupes de taxons sont proposés. Ils sont nommés en associant "GR" (pour "GRoupe") devant le nom des neuf classes considérées. Les tableaux 15 et 16 (p. 90-91) présentent avec une classification simplifiée la liste des taxons d'helminthes et de protozoaires parasites intestinaux retenus pour la suite de notre étude, après adaptation des identifications. Le Tableau 17 (p. 91) détaille les taxons formant chaque groupe de taxons¹¹.

¹⁰ Les taxons non identifiés ont été écartés des résultats car le manque d'information à leur sujet ne permet pas de préciser leur identification.

¹¹ Une classification plus précise est donnée en Annexe 5 (Volume 2, Tableau 6, p. 12-13).

Taxon	Phylum	Classe
<i>Trichuris trichiura</i>	Nemathelminthes	Nematoda
<i>Trichuris</i> sp.		
<i>Trichuris ovis</i> ou <i>Trichuris globulosa</i>		
<i>Capillaria</i> sp.		
<i>Capillaria</i> ponctué		
<i>Capillaria</i> réticulé		
<i>Capillaria</i> type <i>hepatica</i>		
<i>Dioctophyma renale</i>		
<i>Ascaris lumbricoides</i>		
<i>Ascaris</i> sp.		
Ascaridé		
<i>Parascaris</i> sp.		
<i>Toxocara canis</i>		
<i>Toxocara</i> sp.		
<i>Oxyuris equi</i>		
<i>Enterobius vermicularis</i>		
<i>Strongyloides</i> sp.		
<i>Ankylostoma</i> sp.		
Ankylostomidé		
Strongle		
Strongylida		
<i>Macracanthorhynchus</i> sp.		Acanthocephala
Acanthocephala		
<i>Hymenolepis nana</i>	Plathelminthes	Cestoda
<i>Taenia solium</i>		
<i>Taenia saginata</i> ou <i>Taenia solium</i>		
<i>Taenia</i> sp.		
<i>Echinococcus granulosus</i>		
<i>Taenia/Echinococcus</i> sp.		
<i>Diphyllobothrium</i> sp. lisse		
<i>Diphyllobothrium</i> sp. ponctué		
<i>Diphyllobothrium</i> sp. très ponctué		
<i>Diphyllobothrium/Spirometra</i> sp.		
<i>Fasciola hepatica</i>		Trematoda
<i>Fasciola</i> sp.		
<i>Dicrocoelium dentriticum</i>		
<i>Dicrocoelium</i> sp.		

Tableau 15 : Taxons d'helminthes observés pour l'époque romaine en paléoparasitologie après adaptation.

Taxon	Ordre	Famille
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amoebida	Entamoebidae
<i>Giardia intestinalis</i>	Diplomonadida	Hexamitidae

Tableau 16 : Taxons de protozoaires parasites intestinaux observés pour l'époque romaine en paléoparasitologie après adaptation.

Groupe de taxon	Taxon
GRAscaris	<i>Ascaris lumbricoides</i>
	<i>Ascaris</i> sp.
	Ascaridé
GRTrichuris	<i>Trichuris trichiura</i>
	<i>Trichuris</i> sp.
	<i>Trichuris ovis</i> ou <i>Trichuris globulosa</i>
GRTaeniidae	<i>Taenia solium</i>
	<i>Taenia saginata</i> ou <i>Taenia solium</i>
	<i>Taenia</i> sp.
	<i>Echinococcus granulosus</i>
	<i>Taenia/Echinococcus</i> sp.
GRFasciolidae	<i>Fasciola hepatica</i>
	<i>Fasciola</i> sp.
GRDicrocoeliidae	<i>Dicrocoelium dentriticum</i>
	<i>Dicrocoelium</i> sp.
GRCapillariinae	<i>Capillaria</i> sp.
	<i>Capillaria</i> ponctué
	<i>Capillaria</i> réticulé
	<i>Capillaria</i> type <i>hepatica</i>
GRDiphyllbothriidae	<i>Diphyllbothrium</i> sp. lisse
	<i>Diphyllbothrium</i> sp. ponctué
	<i>Diphyllbothrium</i> sp. très ponctué
	<i>Diphyllbothrium/Spirometra</i> sp.
GRRhabditida_Strongylida	<i>Strongyloides</i> sp.
	<i>Ankylostoma</i> sp.
	Strongle
	Strongylida
	Ankylostomidé
GRToxocara	<i>Toxocara canis</i>
	<i>Toxocara</i> sp.

Tableau 17 : Détails des taxons composant chaque groupe de taxons.

Les deux tableaux suivants (Tableaux 18 et 19) présentent les résultats adaptés exprimés en présence/absence (1/0) pour chaque taxon et groupe de taxons observés sur chacun des quatre-vingts sites étudiés.

N° Site	Nematoda																	Acanthocephala				
	<i>Trichuris trichiura</i>	<i>Trichuris</i> sp.	<i>Trichuris ovis</i> ou <i>Trichuris globulosa</i>	<i>Capillaria</i> sp.	<i>Capillaria punctué</i>	<i>Capillaria réticulé</i>	<i>Capillaria</i> type <i>hepatica</i>	<i>Diocrophyma renale</i>	<i>Ascaris lumbricoides</i>	<i>Ascaris</i> sp.	Ascaridé	<i>Parascaris</i> sp.	<i>Toxocara canis</i>	<i>Toxocara</i> sp.	<i>Oxyuris equi</i>	<i>Enterobius vermicularis</i>	<i>Strongyloides</i> sp.	<i>Ankylostoma</i> sp.	Ankylostomidé	Strongle	Strongylida	
S_0001	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_0002	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_0003	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_0004	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
S_0005	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
S_0006	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
S_0007	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_0008	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
S_0009	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_0010	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_0011	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
S_0012	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_0013	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_0014	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

N° Site	Cestoda										Trematoda				Protozoaires parasites		Groupes de taxons									
	<i>Hymenolepis nana</i>	<i>Taenia solium</i>	<i>Taenia saginata</i> ou <i>Taenia solium</i>	<i>Taenia</i> sp.	<i>Echinococcus granulosus</i>	<i>Taenia/Echinococcus</i> sp.	<i>Diphyllobothrium</i> sp. lisse	<i>Diphyllobothrium</i> sp. ponctué	<i>Diphyllobothrium</i> sp. très ponctué	<i>Diphyllobothrium/Spirometra</i> sp.	<i>Fasciola hepatica</i>	<i>Fasciola</i> sp.	<i>Dicrocoelium dentriticum</i>	<i>Dicrocoelium</i> sp.	<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Giardia intestinalis</i>	GRAscaris	GRCapillariinae	GRDicrocoeliidae	GRDiphyllobothriidae	GRFasciolidae	GRRhabditiida_Strongylida	GRTaeniidae	GRToxocara	GRTrichuris	
S_0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
S_0002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
S_0003	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	
S_0004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
S_0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
S_0006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
S_0007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	
S_0008	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	
S_0009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	
S_0010	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	
S_0011	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	
S_0012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S_0013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	

4.4 Informations sur les taxons et les groupes de taxons

Les cycles de vie et la biologie des parasites apportent diverses informations concernant directement les populations parasitées (paléopathologies, hygiène...) ou relatives à certains aspects sociétaux (alimentation, gestion des déchets...). Pour chaque taxon et groupe de taxons, les informations parasitologiques actuelles relatives aux taxons observés sont détaillées ici afin de préciser quelles informations peuvent être apportées par la paléoparasitologie pour l'époque romaine.

4.4.1 Classe des Nématodes (Nematoda)

4.4.1.1 Le groupe Ascaris (GRAscaris)

Le groupe Ascaris (GRAscaris) comprend trois taxons : *Ascaris lumbricoides*, *Ascaris* sp. et Ascaridé.

Description des œufs

Les œufs d'*Ascaris* sp. (45-75 x 35-60 µm) sont de forme ovoïde et sont caractérisés dans leur configuration normale par une coque externe mamelonnée (Figure 19, p. 102). En contexte archéologique, les processus taphonomiques peuvent être à l'origine de la perte de cette coque externe caractéristique (Figure 20 à gauche, p. 102). Les œufs sont alors classés sous le type "Ascaridé" (Figure 20 à droite, p.102).

Les œufs du genre *Ascaris* observés correspondent à des espèces parasites de l'homme (*Ascaris lumbricoides*) et du porc (*Ascaris suum*). Les dimensions des œufs de ces deux espèces étant très proches, la distinction ne peut se faire sur la base des seules observations réalisées en microscopie optique. Dans le cas de notre étude, seule l'origine biologique des échantillons permet de faire la distinction. Si l'échantillon est d'origine humaine alors l'espèce

correspondant aux œufs observés est *Ascaris lumbricoides*. Dans le cas contraire ou lorsque l'origine biologique n'est pas renseignée, l'identification s'arrête au genre et les œufs correspondent alors à *Ascaris* sp.

A noter que bien qu'une distinction entre ces deux espèces soit faite encore actuellement, des analyses récentes en biologie moléculaire indiquent qu'il s'agit probablement de la même espèce chez l'homme et le porc (Leles *et al.*, 2012).

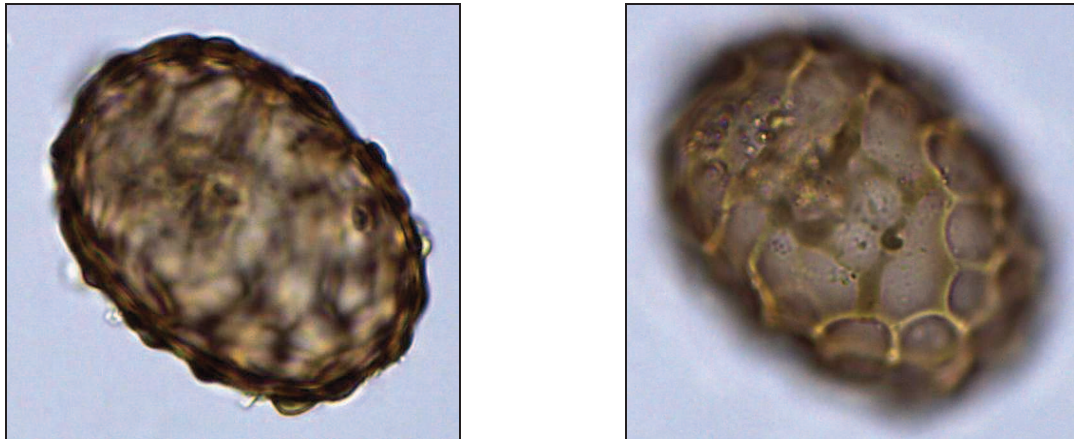


Figure 19 : Œuf d'*Ascaris* sp. vu en coupe à gauche, en surface à droite (68,59 x 49,58 μ m, site de Beauvais, S_0076, ETC_0007).

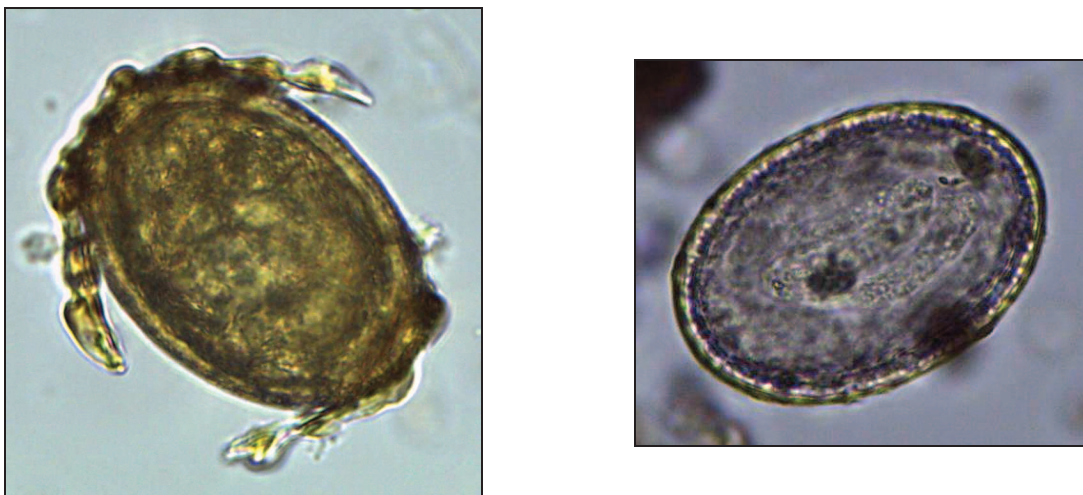


Figure 20 : Œuf d'*Ascaris* sp. perdant sa coque externe à gauche (site de Beauvais, rue Saint Laurent) et œuf de type Ascaridé à droite (65,24 x 45,32 μ m, site de Beauvais, S_0076, ETC_0007).

Biologie et cycle de vie

Le cycle de ce parasite est monoxène et fait intervenir un hôte unique. A l'état adulte, le parasite est localisé dans les intestins de l'hôte (homme ou porc) qui se contamine par ingestion involontaire d'œufs embryonnés qui peuvent souiller l'eau de boisson ou la nourriture, par géophagie accidentelle, ou encore directement par coprophagie (dans le cas du porc). Une fois dans l'intestin, l'œuf libère une larve qui migre alors vers le foie, puis vers les poumons, la trachée et enfin le pharynx. L'hôte est alors pris de toux et réingurgite la larve qui retourne vers l'intestin où elle se fixe et devient adulte. Les adultes se reproduisent puis pondent des œufs qui sont évacués dans le milieu extérieur avec les excréments de l'hôte (jusqu'à 200000 œufs/jour). Lorsque les œufs sont ingérés par des vers de terre ou des bousiers, ils peuvent éclore et libérer une larve qui peut alors infecter le porc lorsqu'il ingère ces animaux. A l'état adulte, le mâle mesure 15 à 25 cm de long pour environ 3 mm de diamètre et la femelle jusqu'à 41 cm pour 5 mm de diamètre (Kaufmann, 1996; Soulsby, 1982; Taylor *et al.*, 2007).

La maladie associée à ce parasite, l'ascaridiose, traduit un problème d'hygiène corporelle, aussi appelé "péril fécal" (mains sales par exemple), une mauvaise gestion des déchets fécaux humains ou animaux (voies de passages insuffisamment nettoyées), ou encore une utilisation des matières fécales comme fertilisant des aires de cultures (pratique connue dans l'Antiquité). Les ascaris font partie des géohelminthes, des nématodes transmis à leurs hôtes par le sol, lorsque des matières fécales le contaminent. Chez l'homme, les infestations massives par ce parasite provoquent douleurs abdominales, diarrhées, nausées, vomissements pouvant aller jusqu'à des occlusions intestinales et entraîner la mort. Chez le porc, l'infestation massive peut également provoquer des occlusions intestinales et entraîner la mort (Kaufmann, 1996).

Il existe d'autres espèces du genre *Ascaris* dont la forme des œufs est similaire. Par exemple, ceux d'*Ascaris laevis*, parasite de la Marmotte alpine (*Marmota marmota*), sont ovoïdes à coque épaisse mamelonnée et mesurent 67-69 x 51-54 μm (Ortega, 2011). Cependant, la coque mamelonnée semble moins prononcée que celle d'*Ascaris lumbricoides* et d'*Ascaris suum* (voir Figure 21, p. 104). Les Ascaridés étant des œufs d'*Ascaris* sp. ayant perdu leur coque externe mamelonnée, ils pourraient correspondre à des espèces d'*Ascaris* sp. différentes mais les dimensions des œufs de ce type observés généralement au cours de nos analyses sont plus proches des espèces parasites de l'homme et du porc.

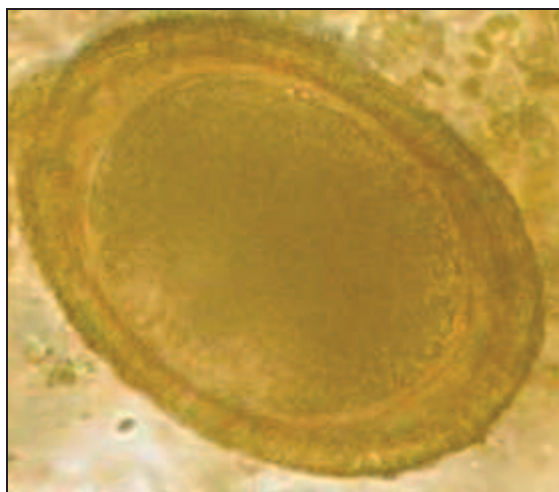


Figure 21 : Œuf d'*Ascaris laevis* (67-69 x 51-54 μm) (Ortega, 2011).

Les œufs de type Ascaridé auraient éventuellement pu correspondre à certains taxons de Nématodes (Ordre des Ascaridida) parasites de Canidés et de Félinés du genre *Toxascaris* (Figure 22 à gauche, p. 104), ou à des parasites d'oiseaux du genre *Ascaridia* ou *Heterakis* (Figure 22 au centre et à droite, p. 104). Cependant, les dimensions de ces œufs sont plus grandes comparées à celles du genre *Ascaris*. De plus, comparé aux œufs d'*Ascaris* sp., ceux d'*Heterakis* sp. et d'*Ascaridia* sp. sont plus allongés tandis que ceux du genre *Toxascaris* sont plus courts.

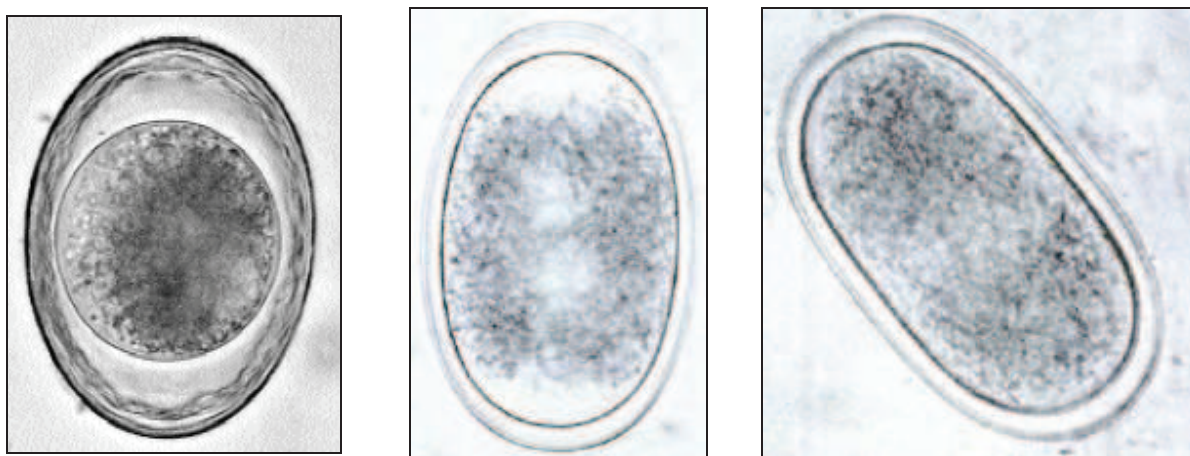


Figure 22 : Œuf de *Toxascaris leonina* à gauche (70 x 80 μm) (Bowman *et al.*, 2002), d'*Ascaridia galli* au centre (77-94 x 43-55 μm) (Kaufmann, 1996) et d'*Heterakis gallinarum* à droite (66-79 x 41-48 μm) (Kaufmann, 1996).

Plusieurs œufs d'*Ascaris* sp. observés au cours de nos analyses possédaient une coque externe partiellement détachée du reste de l'œuf comme le montre la Figure 20 (à gauche, p. 102). Comme il est possible de le voir, en faisant abstraction de la coque partiellement détachée, l'œuf correspond exactement aux œufs de type Ascaridé Figure 20 (à droite, p. 102), ce qui justifie par ailleurs l'association de ce taxon à ceux du genre *Ascaris* dans le groupe GR*Ascaris*.

4.4.1.2 Le groupe Trichuris (GR*Trichuris*)

Le groupe *Trichuris* (GR*Trichuris*) comprend trois taxons : *Trichuris trichiura*, *Trichuris* sp. et *Trichuris ovis* ou *Trichuris globulosa*.

Description des œufs

Les œufs du genre *Trichuris* ont une forme de "citron" et présentent une ouverture à chaque extrémité appelée bouchon polaire (Figure 23, p. 106). Ce genre est très ubiquiste et se trouvent chez de nombreux mammifères (dont l'homme) à l'exception des équidés. Les dimensions des œufs varient selon les espèces ce qui permet parfois de différencier plusieurs formes différentes de *Trichuris* et peut-être plusieurs espèces. Cependant, pour une même espèce, il peut exister des œufs anormaux de dimension plus importante (voir deuxième partie, **4.1 Les œufs du genre *Trichuris***, p. 278).

Généralement les dimensions observées en paléoparasitologie (47-54 x 24-30 µm environ) sont compatibles avec les espèces parasitant l'homme et le porc, respectivement *Trichuris trichiura* et *Trichuris suis* (Figure 23 à droite, p. 106). Dans le cas de notre étude, l'origine biologique strictement humaine de certains échantillons nous a permis d'extrapoler l'identification des œufs observés à *Trichuris trichiura*, l'espèce de l'homme. Dans le cas contraire ou lorsque l'origine biologique n'est pas renseignée, l'identification s'arrête au genre et les œufs correspondent alors à *Trichuris* sp. Parfois les dimensions des œufs observés peuvent permettre de différencier plusieurs espèces (voir deuxième partie, **4.1.3 Etude micromorphométrique des œufs de *Trichuris* sp.**, p. 284).

Le taxon *Trichuris ovis* ou *Trichuris globulosa* n'a été observé que sur un seul site. Ces deux espèces parasitent des ruminants et leurs œufs ont des dimensions légèrement plus

importantes que celles de *Trichuris trichiura*, également observé sur ce site. Le manque d'information concernant cette étude ne permet pas de déterminer si l'identification de ce taxon s'est faite sur la base des dimensions des œufs observés ou d'après l'origine biologique des échantillons étudiés.

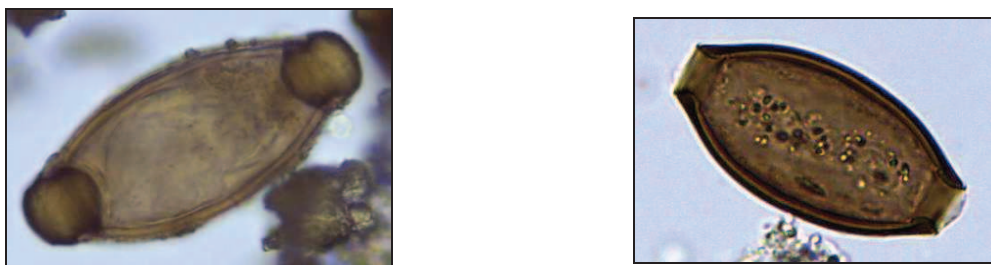


Figure 23 : Œuf de *Trichuris trichiura* à gauche (57,13 x 24,85 μm , site de Jaunay-Clan, S_0078, ETC_0010) et œuf de *Trichuris* sp. à droite (50,20 x 26,50 μm , site de Beauvais, S_0076, ETC_0007).

Biologie et cycle de vie

Les *Trichuris* présentent un cycle monoxène (à un seul hôte). A l'état adulte, le parasite est localisé dans les intestins de l'hôte unique. L'infestation survient par ingestion involontaire d'œufs embryonnés provenant du sol et présents dans la nourriture ou l'eau de boisson.

Après ingestion les œufs embryonnés éclosent dans l'intestin grêle puis les larves migrent jusqu'au cæcum où elles s'attachent à la muqueuse par leur extrémité antérieure. Une fois adulte, la femelle pond des œufs qui sont évacués dans le milieu extérieur avec les selles. Ces œufs nécessitent une période de maturation sur le sol avant de devenir infectieux. Les dimensions des vers adultes varient selon les espèces de *Trichuris*, la femelle et le mâle ayant des dimensions proches. Les plus petites espèces mesurent 30 mm de long au minimum et les plus grandes jusqu'à 80 mm de long (Kaufmann, 1996; Soulsby, 1982).

Tout comme l'ascaridiose, la trichuriose ou trichurose, est également liée à un problème d'hygiène corporelle ("péril fécal"), à l'utilisation de matières fécales comme engrais dans les cultures ou à une mauvaise gestion des déchets organiques (voie de passage et sols insuffisamment nettoyés). De même que pour *Ascaris* sp., les parasites de ce genre font partie des géohelminthes. Chez l'homme cette parasitose est généralement asymptomatique, mais lorsque l'infestation est massive elle provoque des douleurs abdominales et des diarrhées sanglantes.

4.4.1.3 Le groupe Capillariinae (GRCapillariinae)

Le groupe Capillariinae (GRCapillariinae) comprend quatre taxons : *Capillaria* sp., *Capillaria* ponctué, *Capillaria* réticulé et *Capillaria* type *hepatica*.

Description des œufs

Les œufs de type *Capillaria* ont une forme comparable à *Trichuris* avec deux bouchons polaires, différents types d'ouvertures et certains d'entre eux présentent une ornementation de la surface de la coque (ponctuée ou réticulée) qui permet de les différencier de ceux du genre *Trichuris*. Certains œufs présentent néanmoins une surface lisse, mais ont un type d'ouverture différent des œufs de *Trichuris* sp. Dans notre étude, les différents types de *Capillaria* observés ont été répartis dans quatre grands types de taxons, d'après l'ornementation de leur coque et sa densité :

- *Capillaria* ponctué : la surface de la coque est ponctuée peu dense (Figure 24, p. 108).
- *Capillaria* réticulé : la surface de la coque est réticulée (Figure 25, p. 108).
- *Capillaria* type *hepatica* : la surface de la coque est ponctuée dense (Figure 26, p. 108).
- *Capillaria* sp. : ce dernier taxon rassemble les œufs de *Capillaria* ayant une surface lisse.

L'identification des espèces de *Capillaria* correspondantes aux différents types observés (ponctué, réticulé et lisse) est difficile et nous avons choisi pour notre étude de regrouper les œufs par grands types, même si des différences ont parfois été observées au cours des analyses.



Figure 24 : Œuf de *Capillaria* ponctué vu en coupe à gauche et en surface à droite (63,78 x 30,43 μm , site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0006).



Figure 25 : Œuf de *Capillaria* réticulé vu en coupe à gauche et en surface à droite (56,99 x 27,18 μm , site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).



Figure 26 : Œuf de *Capillaria* type *hepatica* vu en coupe à gauche et en surface à droite (55,50 x 30,74 μm , site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).

Biologie et cycle de vie

Les *Capillaria* parasitent principalement le tractus digestif, mais aussi le système urinaire, respiratoire et le foie des animaux (herbivores, carnivores, piscivores, rongeurs, oiseaux...). Certaines espèces se retrouvent également chez l'homme. Dans l'état actuel de nos

connaissances, seul *Capillaria* type *hepatica* peut être rapproché de l'espèce éponyme *Capillaria hepatica*.

Les œufs de *Capillaria hepatica* ont une forme de "tonneau" et présentent une coque externe finement ponctuée. Ils mesurent 40 à 68 µm de long et 27 à 37,5 µm de large. Ce parasite se trouve chez les mammifères comme les rongeurs (rat, souris...), le plus souvent, mais également chez les écureuils, les lapins, les mustélidés et parfois chez le chien, le chat et l'homme. Quelques cas sont également rapportés chez le cheval.

Le cycle de ce parasite est direct (un seul hôte). A l'état adulte il est localisé dans le foie de l'hôte unique où la femelle pond des œufs. Contrairement aux autres helminthes, ils ne sont pas rejetés directement dans le milieu extérieur mais restent dans le foie où ils s'encapsulent. La poursuite du cycle de vie du parasite nécessite que ces œufs soient ingérés par un nouvel hôte soit avec le foie lorsqu'il y a prédation ou nécrophagie, soit lorsqu'ils sont présents sur le sol suite à la décomposition de l'hôte. Une fois ingérés, les œufs embryonnés éclosent et les larves migrent vers le foie via la lymphe et la circulation sanguine. Parvenu à l'état adulte, ils y pondent des œufs et le cycle se poursuit. Les vers adultes sont très fins et mesurent plusieurs centimètres de long.

L'infestation massive par ce parasite provoque différentes pathologies hépatiques pouvant aller jusqu'à la mort de l'hôte : hépatites, cirrhoses, ascites... (Soulsby, 1982; Taylor *et al.*, 2007).

Les autres *Capillaria* observés en paléoparasitologie pour l'époque romaine ne correspondent pas à des espèces connues chez l'homme. Ils correspondraient donc à des parasites d'origine animale. Ils pourraient se retrouver chez l'homme dans le cas d'une pseudoparasitose induite par la consommation de viande parasitée d'animaux porteurs (poisson par exemple), d'aliments ou d'eau de boisson contaminés par des matières fécales animales (de rongeurs par exemple).

4.4.1.4 *Dioctophyma renale*

Description des œufs

Les œufs de *Dioctophyma renale* (60-80 x 40-45 µm) présentent une coque épaisse sculptée de nombreuses dépressions polygonales caractéristiques avec deux bouchons polaires (Figure 27, p. 110).



Figure 27 : Œuf de *Dioctophyma renale* (70,20 x 37,23 µm, site de Troyes, S_0054, ETI_0013).

Biologie et cycle de vie

Dioctophyma renale, ou ver géant du rein, parasite principalement les canidés ainsi que les mustélidés. Il se retrouve parfois chez le porc, le chat, le cheval, le bétail, et rarement chez l'homme. A l'état adulte, le mâle mesure jusqu'à 35 cm de long pour 3 à 4 mm de diamètre et la femelle jusqu'à 1,03 m de long pour un diamètre de 5 à 12 mm. Le cycle de ce parasite est hétéroxène et fait intervenir un hôte intermédiaire, un hôte définitif et éventuellement un hôte paraténique.

L'hôte intermédiaire est un ver annélide porteur d'une forme larvaire du parasite. Un hôte paraténique, poisson ou batracien, peut également ingérer cet hôte intermédiaire. L'hôte définitif s'infecte par ingestion de l'hôte intermédiaire, ou de l'hôte paraténique. La larve

migre alors de l'estomac vers la cavité péritonéale et le foie avant de devenir adulte dans les reins.

Localisés dans le rein à l'état adulte, les symptômes de la dioctophymose sont essentiellement urinaires et se traduisent le plus souvent par une hématurie, mais aussi possible pyurie, colique néphrétique et dysurie. Des fièvres et des lombalgies peuvent aussi survenir. La localisation rénale des adultes parasites fait que les œufs de ce parasite sont évacués par les urines de l'hôte définitif (Kaufmann, 1996; Soulsby, 1982; Taylor *et al.*, 2007).

4.4.1.5 *Parascaris* sp.

Description des œufs

Les œufs de *Parascaris* sp. ($\pm 100 \times \pm 90 \mu\text{m}$) sont presque sphériques avec une coque finement ponctuée (Figure 28, p. 111).

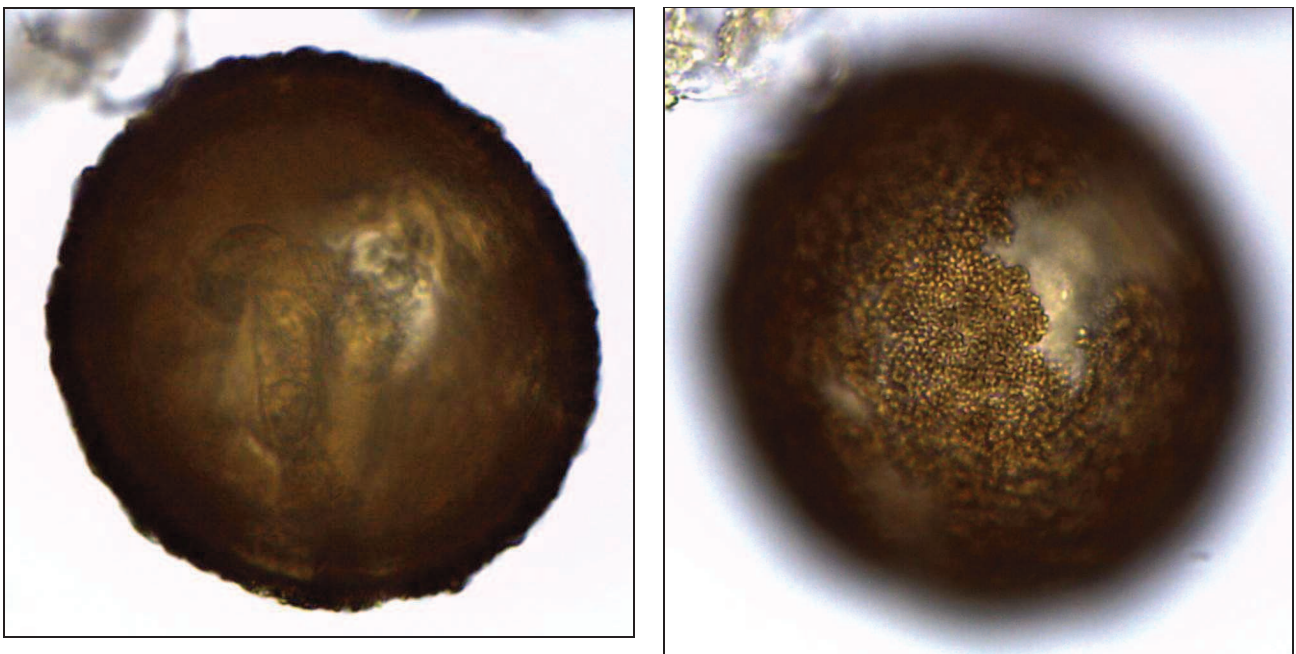


Figure 28 : Œuf de *Parascaris* sp. vu en coupe à gauche et en surface à droite (96,91 x 89,41 μm , site de Beauvais, S_0076, ETC_0007).

Biologie et cycle de vie

Le genre *Parascaris* est un parasite spécifique des équidés. Il comprend deux espèces différentes *Parascaris equorum* et *Parascaris univalens*. Le cycle de ce parasite est monoxène (un seul hôte). A l'état adulte il est localisé dans les intestins de l'hôte unique. Les animaux sont infestés par ingestion accidentelle d'œufs embryonnés présents sur le sol dans l'herbe ou la paille. Une fois dans l'intestin, l'œuf éclot et la larve migre vers le foie, les poumons, la trachée et enfin vers le pharynx ce qui provoque une toux chez l'hôte, qui réingurgite de cette façon la larve. Une fois dans l'intestin, elle devient adulte, se reproduit puis la femelle pond des œufs qui sont évacués dans le milieu extérieur avec les excréments de l'hôte. A l'état adulte, le mâle mesure de 15 à 28 cm de long et la femelle jusqu'à 50 cm pour un diamètre de 5 mm.

Lorsque l'infestation est massive, ce parasite peut provoquer chez l'animal des diarrhées, coliques et occlusions intestinales (Kaufmann, 1996; Soulsby, 1982; Taylor *et al.*, 2007).

4.4.1.6 Le groupe Toxocara (GRToxocara)

Le groupe Toxocara (GRToxocara) comprend deux taxons : *Toxocara canis* et *Toxocara* sp.

Description des œufs

Les œufs du genre *Toxocara* sont de forme ovoïde et possèdent une coque épaisse alvéolée caractéristique (Figure 29, p. 113). Ce genre comprend plusieurs espèces parasites de carnivores et d'herbivores. Quatre espèces sont présentes dans nos régions (celle des sites étudiés où ce genre a été observé) : trois espèces parasites de carnivores *Toxocara canis*, *Toxocara cati* et *Toxocara genettae*, parasite respectifs des Canidés, des Félidés et des Viverridés, ainsi qu'une espèce parasite d'herbivores *Toxocara vitulorum* (Borecka, 2010).

Les œufs de *T. vitulorum* mesurent 75-95 x 60-74 µm, ceux de *T. canis* 71,6-91,2 x 63,4-79,0 µm, ceux de *T. cati* 63,7-88,1 x 53,3-73,3 µm et ceux de *T. genettae* 85-72 x 66-55 µm (Uga *et al.*, 2000; Warren, 1972).

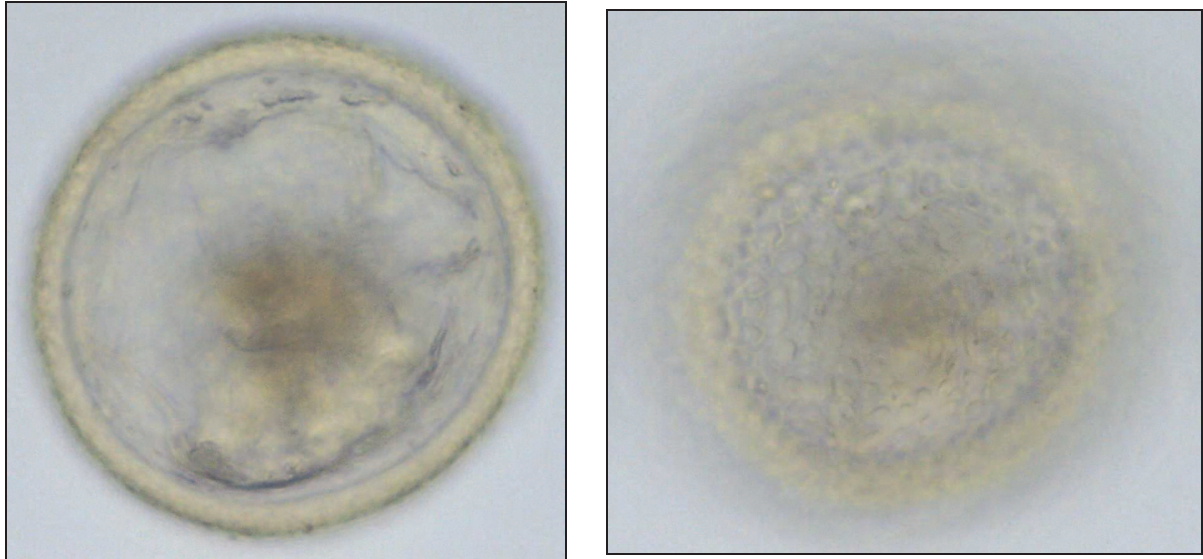


Figure 29 : Œuf de *Toxocara* sp. vu en coupe à gauche et en surface à droite (82,66 x 79,08 μ m, site de Metz, S_0080, ETC_0014).

Biologie et cycle de vie

Le cycle de ces parasites est monoxène (un seul hôte). Les parasites du genre *Toxocara* sont localisés à l'état adulte dans les intestins de l'hôte unique, qui s'infeste par ingestion d'œufs embryonnés présents dans le milieu extérieur ou d'hôtes paraténiques porteurs de larves du parasite (rongeurs, oiseaux...), pour les espèces parasites de carnivores. La mère peut également transmettre à ses petits des larves par voie trans mammaire lors de l'allaitement et par voie transplacentaire lors de la gestation (sauf pour *T. canis* chez le chien). Lorsqu'il y a ingestion d'œufs embryonnés, les larves issues des œufs éclos dans le tube digestif subissent une migration hépato-pulmonaire via la circulation sanguine depuis les intestins (depuis l'estomac seulement pour *T. cati*), arrivent dans la trachée et provoquent une toux ce qui permet leur réingurgitation. Une fois dans les intestins, les larves passent à l'état adulte. Dans le cas où la larve arrive directement dans l'hôte (prédation et transmission par la mère), elle n'accomplit pas de migration et devient directement adulte dans les intestins de l'hôte. Le cycle de *T. genettae* doit être similaire mais aucune information autre que sa description n'a été trouvée le concernant. A l'état adulte, le mâle de *T. canis* mesure jusqu'à 10 cm de long et la femelle jusqu'à 18 cm. Le mâle de *T. cati* mesure de 3 à 6 cm de long et la femelle de 4 à 10 cm de long. Le mâle de *T. genettae* mesure de 17 à 25 mm de long et la femelle de 12 à 41 mm de long.

La toxocarose entraîne chez le chien et le chat, une croissance ralentie, des troubles du comportement alimentaire, des troubles gastro-intestinaux ainsi qu'une perte de vitalité, symptômes plus visibles chez les jeunes que chez les adultes. Chez les herbivores elle provoque notamment diarrhée et obstruction intestinale (Kaufmann, 1996, Petithory *et al.*, 1996; SanMartin *et al.*, 1992; Soulsby, 1982; Taylor *et al.*, 2007).

4.4.1.7 *Oxyuris equi*

Description des œufs

Les œufs d'*Oxyuris equi* (74-99 x 38-45 µm) sont de forme ovoïde allongée, légèrement asymétriques et présentent un opercule à une extrémité (Figure 30, p. 114) (Baylis, 1936; Kassai, 1999). Comme pour *Parascaris* sp., ce parasite est spécifique des équidés.



Figure 30 : Œuf d'*Oxyuris equi* (84,39 x 40,82 µm, site de Beauvais, S_0076, ETC_0007).

Biologie et cycle de vie

Le cycle de ce parasite est monoxène (un seul hôte). A l'état adulte, l'oxyure du cheval est localisé dans le gros intestin (*caecum*, colon) de l'hôte unique. Le mâle mesure de 9 à 12 mm de long et la femelle jusqu'à 15 cm. Après fertilisation par les adultes mâles, les femelles

gravides migrent vers l'anus pour pondre leurs œufs dans un mucus collant, au niveau de la marge anale, entraînant une irritation intense (Taylor *et al.*, 2007). Les œufs peuvent alors tomber sur le sol, infecter la nourriture ou l'eau des animaux, et polluer l'environnement. Les équidés s'infestent par ingestion d'œufs embryonnés. Une transmission inter-individus du parasite peut également survenir lorsque les chevaux se tiennent tête à queue pendant des toilettes mutuels. Fréquemment durant ces épisodes, un animal pose sa tête sur la croupe d'un autre et lèche son congénère. Les œufs ingérés vont alors libérer des larves infestantes dans les intestins où elles se fixent et deviennent adultes. L'infestation par ce parasite est généralement asymptomatique, mais les irritations péri-anales poussent le cheval à frotter sa croupe sur les équipements de l'étable ou tout autre objet solide provoquant éraflures, inflammations, plaies, perte de condition, et la queue du cheval présente un aspect de "queue de rat" (Kaufmann, 1996 ; Rauzy, 2001; Soulsby, 1982).

4.4.1.8 *Enterobius vermicularis*

Description des œufs

Les œufs d'*Enterobius vermicularis* (50-60 x 20-32 µm) sont ovoïdes et asymétriques avec une face aplatie (Figure 31, p. 115). Ce parasite est spécifique de l'homme.

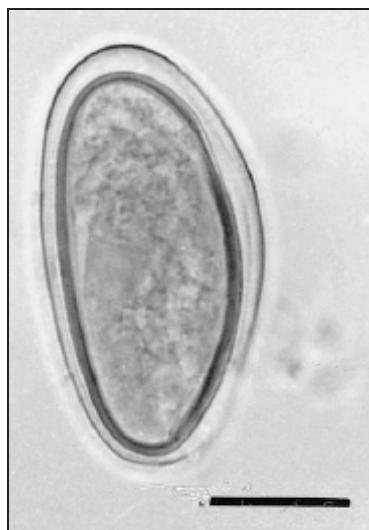


Figure 31 : Œuf d'*Enterobius vermicularis* (barre d'échelle 20 µm, site de l'Oasis de Dakhleh, S_0017, ETP_0017) (Horne 2002).

Biologie et cycle de vie

Le parasite adulte se situe dans les intestins de l'hôte et son cycle de vie est similaire à celui d'*Oxyuris equi*. Le mâle mesure de 2 à 5 mm de long et la femelle de 8 à 13 mm. Après fertilisation par les mâles, les femelles gravides migrent vers l'anus pour y pondre des œufs ce qui entraîne une intense irritation chez l'hôte. L'infestation se produit par ingestion d'œufs embryonnés. Il s'agit généralement d'une transmission inter-individus lorsqu'il existe un problème d'hygiène corporelle ("péril fécal", mains sales) et il peut alors y avoir aussi dans ce cas auto-infestation, les œufs passant directement de la main ou d'un objet contaminé à la bouche. Cette parasitose, fréquente chez les enfants, se caractérise par un prurit anal intervenant généralement le soir ou la nuit (Ash et Orihel, 2007; Soulsby, 1982).

4.4.1.9 Le groupe Rhabditida_Strongylida (GRRhabditida_Strongylida)

Le groupe Rhabditida_Strongylida (GRRhabditida_Strongylida) comprend cinq taxons : *Strongyloides* sp., *Ankylostoma* sp., Ankylostomidés, Strongle et Strongylida.

Description des œufs

Les œufs des taxons correspondant à ce groupe sont de forme ovoïde et possèdent une coque incolore, transparente, mince et lisse (Figure 32, p. 117). Les dimensions des œufs de ce groupe sont variables et peuvent aller jusqu'à une centaine de μm de long. Les œufs d'*Ankylostoma* sp. mesurent par exemple 56-75 x 36-40 μm et ceux de *Dictyocaulus arnfieldi* 80-100 x 50-60 μm . Certaines espèces parasites sont spécifiques des animaux (*Strongyloides papillosus*...) tandis que d'autres sont communes à l'homme et à l'animal (*Trichostrongylus axei*, *Strongyloides stercoralis*...) (Ash et Orihel, 2007; Soulsby, 1982; Thienpont *et al.*, 1979).

Les œufs observés peuvent correspondre à plusieurs nématodes parasites (Ankylostomes, Strongles...) mais, en l'absence de donnée moléculaire sur les œufs et de données concernant leur origine biologique, les analyses ne permettent généralement pas d'être plus précis. Les

taxons Ankylostomidés, Strongle et Strongylida correspondent à ce cas de figure. De plus certains nématodes libres du sol possèdent également des œufs de ce type.



Figure 32 : Œuf de Strongylida (51,62 x 38,90 μm , site de Portus, Rome-Ostie, S_0074, ETC_0009).

Biologie et cycle de vie

Ces nématodes peuvent être parasites du tractus digestif ou de l'appareil respiratoire d'oiseaux et de mammifères dont l'homme. Le cycle de ces parasites est monoxène (un seul hôte) et la contamination se fait par voie transcutanée ou orale. Les larves subissent ensuite des migrations au sein de l'hôte, variables selon les espèces. A l'état adulte, ces parasites mesurent jusqu'à environ 10 mm. L'infestation par ces parasites peut provoquer des troubles digestifs (diarrhées...) et respiratoires (toux...) (Ash et Orihel, 2007; Kaufmann, 1996; Soulsby, 1982; Taylor *et al.*, 2007).

4.4.2 Classe des Acanthocéphales (Acanthocephala)

Deux taxons appartiennent à la classe des Acanthocéphales : Acanthocephala et *Macracanthorhynchus* sp.

Le taxon *Acanthocephala* comprend deux types peu renseignés. Le premier est présent sur le site de Reims mais aucune information n'est disponible à son sujet et leur identification s'arrête à la classe.

Le second s'observe sur le site de l'Oasis de Dakhleh (Horne, 2002). Les œufs observés sont symétriques de forme ovale et présentent une coque lisse peu épaisse. Ils mesurent en moyenne 73,2 x 33,1 µm et ont été observés dans des échantillons humains (Figure 33, p. 118). Là encore, l'identification du taxon s'arrête à la classe ce qui limite les informations apportées.



Figure 33 : Œuf d'*Acanthocephala* (barre d'échelle 20 µm, site de l'Oasis de Dakhleh, S_0017, ETP_0017) (Horne 2002).

4.4.2.1 *Macracanthorhynchus* sp.

Description des œufs

Les œufs de *Macracanthorhynchus* sp. (90-110 x 50-65 µm) sont de forme ovoïde et ont une coque caractérisée par trois enveloppes distinctes dont la plus externe présente une ornementation en réseau caractéristique (Figure 34, p. 119).

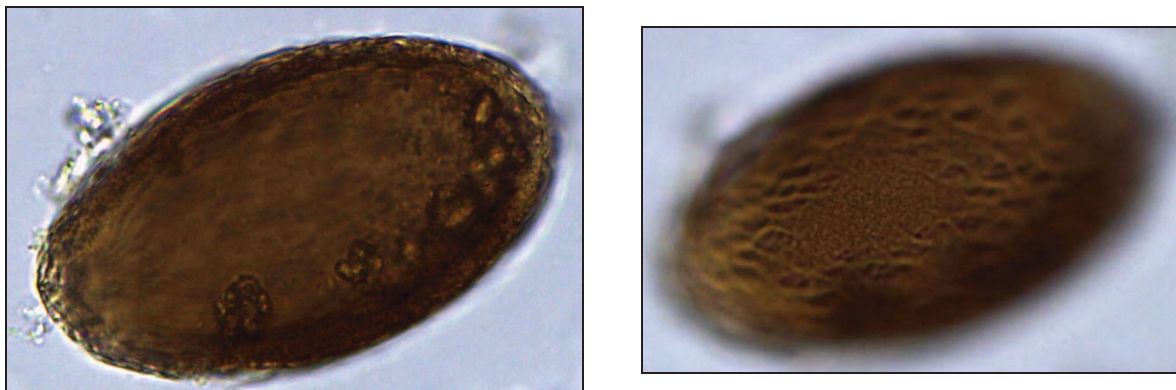


Figure 34 : Œuf de *Macracanthorhynchus* sp. vu en coupe à gauche et en surface à droite (88,49 x 49,49 μ m, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).

Biologie et cycle de vie

Dans nos régions (celle des sites étudiés où ce taxon a été observé) deux espèces sont connues : *M. hirudinaceus*, parasite du porc et de l'homme ainsi que *M. catulinus*, parasite des Canidés et des Mustélidés (Golvan, 1994)¹². A l'état adulte, le parasite se fixe dans les intestins de l'hôte et mesure entre 30 et 35 cm de long. Le cycle est hétéroxène et fait intervenir un hôte intermédiaire, un insecte, et un hôte définitif (porc, homme, canidés, mustélidés). L'infection se fait chez le porc par ingestion d'insectes (scarabées, larve de hanneton, crickets...) porteurs d'une forme larvaire du parasite. Chez les canidés/mustélidés, l'infection est plutôt due à l'ingestion d'hôtes paraténiques (serpents, lézards, grenouilles...) eux-mêmes porteurs de la forme larvaire du parasite. Une fois dans les intestins de l'hôte définitif, la larve se fixe et devient adulte (Kaufmann, 1996; Taylor *et al.*, 2007).

Ce parasite peut éventuellement parasiter l'homme dans les cas d'entomophagie (consommation d'insectes) volontaire, pratique actuellement rare dans nos régions, mais peut-être pratiquée pour l'époque romaine (Fraval, 2009; voir *infra* 4.5.6.1 **Matériel étudié et premiers résultats**, p. 174), ou involontaire par exemple par ingestion accidentelle d'insectes de grains stockés. Il peut également s'agir d'une pseudoparasitose provoquée par l'ingestion d'œufs contaminant la nourriture, l'eau de boisson ou par géophagie accidentelle.

Il provoque douleur abdominale, fièvre, perte de poids et d'appétit, nausée, vomissement, diarrhée et constipation (Kaufmann, 1996).

¹² Une troisième espèce, *M. ingens*, parasite des carnivores et est endémique de la région Néarctique (Dingley et Beaver, 1985; Golvan, 1994; Pearce *et al.*, 2001).

4.4.3 Classe des Cestodes (Cestoda)

4.4.3.1 *Hymenolepis nana*

Description des œufs

Les œufs d'*Hymenolepis nana* (44-62 x 30-55 µm) sont de forme ronde à ovale et contiennent un embryophore hexacanthé attaché par des filaments aux deux pôles de l'œuf (Figure 35, p. 120). Leurs faibles tailles les distinguent de ceux de l'espèce *H. diminuta*, de même structure, mais dont la taille est plus importante (72-86 x 60-79 µm).



Figure 35 : Œuf actuel d'*Hymenolepis nana* (45 x 35 µm, photographie : Association française des enseignants de Parasitologie et Mycologie).

Biologie et cycle de vie

Ce genre parasite l'homme et les rongeurs. Le cycle de ce parasite peut être monoxène (un seul hôte) et dans ce cas les œufs éclosent dans l'intestin de l'hôte unique, se fixent et y deviennent adulte. Il peut aussi être hétéroxène et faire intervenir comme hôte intermédiaire des insectes (coléoptères du genre *Tribolium*, mouches). A l'état adulte il est localisé dans les intestins de l'hôte unique/définitif qui s'infeste par ingestion involontaire d'œufs lorsqu'il

existe un problème de "péril fécal" ou lorsque la nourriture ou l'eau de boisson sont polluées par de la matière fécale. Le ver adulte mesure 25 à 40 mm de long.

Lorsque l'infestation est massive elle provoque chez l'hôte troubles nerveux (convulsion, épilepsie...), perte de poids, vomissements, obstructions intestinales, entérite, anorexie et prurit anal (Ash et Orihel, 2007; Soulsby, 1982; Taylor *et al.*, 2007).

4.4.3.2 Le groupe Taeniidae (GRTaeniidae)

Le groupe Taeniidae (GRTaeniidae) comprend cinq taxons : *Taenia solium*, *Taenia saginata* ou *Taenia solium*, *Taenia* sp., *Echinococcus granulosus* et *Taenia/Echinococcus* sp.

Description des embryophores

Les œufs de ce groupe ne sont pas retrouvés car leur membrane est fragile (Figure 36 à gauche, p. 122) et ne résiste pas aux processus taphonomiques. Seuls les embryophores qui correspondent à la partie de l'œuf qui contient la larve sont observés. Les embryophores (structure ellipsoïdique contenant une larve) des genres *Taenia* et *Echinococcus* présentent les mêmes caractéristiques et ne peuvent être différenciés sur les seuls critères observés en microscopie optique¹³ (Ash et Orihel, 2007). Leur coque est épaisse à striation transversale caractéristique et présentent selon les espèces de ces deux genres un diamètre compris entre 20 et 43 µm environ (Figure 36 à droite, p. 122). Même si des différences de tailles importantes existent, plusieurs espèces ont des embryophores possédant des dimensions proches.

¹³ Par abus de langage le terme "œuf" est parfois utilisé pour parler des embryophores.

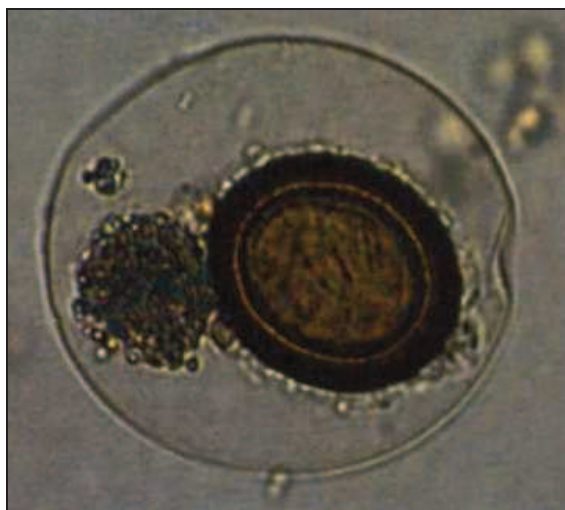


Figure 36 : Œuf complet de *Taenia saginata* à gauche (Gentilini *et al.*, 2012) et embryophore de *Taenia/Echinococcus* sp. à droite (36,08 x 35,73 μ m, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).

Biologie et cycle de vie

Ces vers parasitent des carnivores/omnivores par ingestion de viandes ou d'abats d'animaux porteurs crus ou mal cuits contenant les formes larvaires enkystées du parasite. L'homme et les carnivores en général (Canidés, Félidés, Mustélidés...) peuvent être porteurs de ténias (s.l.).

Dans les régions étudiées pour l'époque romaine (celles correspondant aux sites pour lesquels ce genre a été observé), les espèces pouvant contaminer l'homme sont *Taenia saginata* (via la consommation de viande de bœuf contaminée) et *Taenia solium* (via la consommation de viande de porc contaminée)¹⁴. Ces deux parasites mesurent à l'état adulte de 3 à 8 m de long. Chez les canidés se trouvent non seulement des espèces du genre *Taenia* comme *T. multiceps* (via la consommation de cervelle et de viande d'herbivore), mais aussi du genre *Echinococcus* comme *E. granulosus* (via la consommation d'abats d'herbivores sauvages et/ou domestiques) et *E. multilocularis* (via la consommation de rongeurs). Les adultes du genre *Echinococcus* sont beaucoup plus petits et ne mesurent que quelques millimètres de long (par exemple 2 à 7 mm pour *E. granulosus*). De même ceux du genre *Taenia* affectant les Canidés

¹⁴ Une troisième espèce endémique des pays est-asiatiques, *Taenia asiatica*, peut parasiter l'homme via la consommation de porc (Eom, 2006).

sont également plus petits et mesurent jusqu'à 1 m de long (par exemple jusqu'à 60 cm pour *T. taeniaeformis*).

Le cycle de ces parasites est donc hétéroxène et fait intervenir un hôte intermédiaire et un hôte définitif. L'hôte intermédiaire s'infeste par ingestion d'œufs ou de proglottis (segment de ver) présent par exemple sur le sol ou contaminant sa nourriture. Une fois dans les intestins, les embryophores éclosent et les larves migrent via la circulation sanguine vers les muscles ou les organes de l'hôte intermédiaire ou elles évoluent en cysticerques et s'enkystent. Dans les hôtes intermédiaires, les larves de parasites du genre *Taenia* sp. sont localisées dans les muscles (voire dans le cerveau) et celles d'*Echinococcus* sp. dans le foie (voire dans les poumons). Lorsque l'hôte définitif consomme la chair et les organes crus ou mal cuits des hôtes intermédiaires, les cysticerques sont libérés dans ses intestins où ils se fixent et deviennent adultes. Des proglottis sont ensuite émis dans le milieu extérieur avec les excréments de l'hôte définitif.

La plupart des infestations sont asymptomatiques, avec prurit anal. Il existe parfois des troubles digestifs, une boulimie, des douleurs abdominales et plus rarement, des nausées, des vomissements et des manifestations allergiques (Kaufmann, 1996; Soulsby, 1982; Taylor *et al.*, 2007).

Parfois des embryophores d'*Echinococcus granulosus*, le ténia du chien, sont ingérés accidentellement par l'homme via un contact direct avec des Canidae quand il existe un problème d'hygiène corporelle ("péril fécal") ou lorsque la nourriture et l'eau de boisson sont contaminées par des déjections animales. L'homme joue alors le rôle d'hôte intermédiaire et les larves s'enkystent dans le foie des hôtes (le plus souvent) et forment des "kystes hydatiques" qui se calcifient. Au moment de la fouille de certains squelettes humains ces kystes hydatiques calcifiés peuvent alors être repérés et identifiés. Ces kystes sont de forme ellipsoïde, mesurent de 3 à 5 cm de long et possèdent une paroi fine de moins d'1 mm d'épaisseur (Figure 37, p. 122)¹⁵.

¹⁵ De même l'homme peut être porteur d'*E. multilocularis*, le ténia du renard, lorsqu'il ingère accidentellement les œufs de ce parasite, dans les mêmes conditions que pour *E. granulosus*. Les larves se trouvent alors en impasse parasitaire, généralement dans le foie qu'elles peuvent détruire. L'Echinococcose alvéolaire est très présente en Europe de l'Ouest.

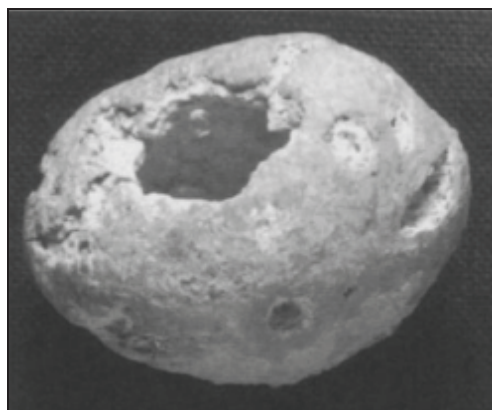


Figure 37 : Kyste hydatique calcifié d'*Echinococcus granulosus* (environ 3-5 cm de long, site de Jérusalem, S_0045, ETP_0069) (Zias, 1991).

4.4.3.3 Le groupe Diphylobothriidae (GRDiphylobothriidae)

Le groupe Diphylobothriidae (GRDiphylobothriidae) est composé de quatre taxons : *Diphylobothrium* sp. lisse, *Diphylobothrium* sp. ponctué, *Diphylobothrium* sp. très ponctué et *Diphylobothrium/Spirometra* sp.

Description des œufs

Les œufs du genre *Diphylobothrium* sont de forme ovoïde avec un opercule à une extrémité et un épaississement à l'autre extrémité appelé parfois mucron. Ils mesurent environ 70 x 50 µm. Les œufs de certaines espèces peuvent présenter une ornementation de la surface de la coque qui se caractérise par un aspect ponctué plus ou moins marqué. Dans notre étude, trois types d'œufs ont été observés : certains présentent un aspect lisse (*Diphylobothrium* sp. lisse, Figure 38, p. 125), certains présentent une ponctuation peu dense de la surface (*Diphylobothrium* sp. ponctué, Figure 39, p. 125), d'autres enfin présentent une ponctuation dense de la surface (*Diphylobothrium* sp. très ponctué, Figure 40, p. 125)¹⁶.

¹⁶ Certains œufs dont la surface présente un aspect lisse en microscopie optique peuvent être légèrement ponctué vue en microscopie électronique (Le Bailly *et al.*, 2005).

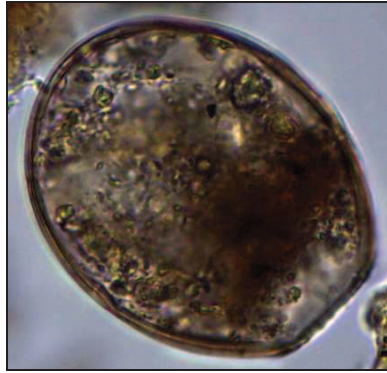


Figure 38 : Œuf de *Diphyllbothrium* sp. lisse (64,55 x 53,23 μm , site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).

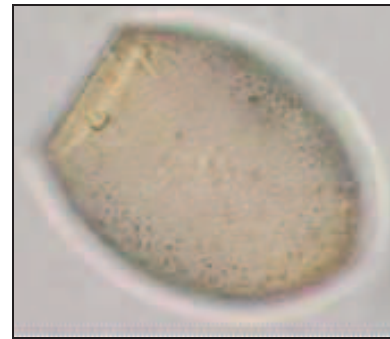


Figure 39 : Œuf de *Diphyllbothrium* sp. ponctué vu en coupe à gauche et en surface à droite (72,70 x 45,60 μm , site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0006).

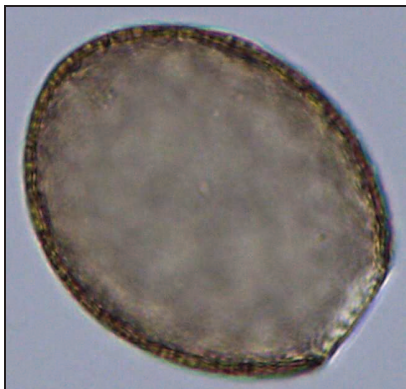


Figure 40 : Œuf de *Diphyllbothrium* sp. très ponctué vu en coupe à gauche et en surface à droite (64,02 x 51,97 μm , site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).

Biologie et cycle de vie

Les helminthes de la classe des Diphyllbothriidae parasitent des mammifères ichtyophages après ingestion de poissons contaminés, consommés crus ou insuffisamment cuits. A l'état adulte, le ténia du poisson est localisé dans les intestins de l'hôte. Le cycle est hétéroxène et fait intervenir deux hôtes intermédiaires, un copépode (crustacé) et un poisson ainsi qu'un hôte définitif, un mammifère ichtyophage. Il passe obligatoirement par le milieu aquatique. Les œufs présents dans l'eau éclosent et libèrent des coracidiums qui sont ingérés par des copépodes dans lesquels ils se développent en procercoïdes (premier stade larvaire). Les copépodes seront eux-mêmes consommés par des poissons dans lesquels les procercoïdes migrent vers les muscles et les viscères où ils se développent en plérocercoides (deuxième stade larvaire). Lorsque ces poissons sont ingérés crus ou mal cuits par l'hôte définitif, les larves plérocercoides enkystées dans la chair des animaux se fixent dans les intestins où elles passent à l'état adulte. Des œufs sont ensuite émis dans le milieu extérieur avec les excréments de l'hôte. Pour permettre la poursuite du cycle, les œufs doivent alors obligatoirement se retrouver dans le milieu aquatique. A l'état adulte, le ver mesure de 2 à 12 m de long (Ash et Orihel, 2007; Soulsby, 1982; Taylor *et al.*, 2007).

La contamination par *Diphyllbothrium*, ou bothriocéphale, entraîne des douleurs abdominales, des troubles du transit et parfois une anémie dite parabiérmérienne due à une carence en vitamine B12.

Diphyllbothrium sp. lisse pourrait correspondre à des espèces connues pour des poissons d'eau douce comme par exemple *D. latum* ou *D. dentriticum*. *Diphyllbothrium* sp. ponctué, *Diphyllbothrium* sp. très ponctué et *Diphyllbothrium/Spirometra* sp. pourraient quant à eux correspondre à des espèces connues pour des poissons marins comme par exemple *D. mansonoides* dans le cas de *Diphyllbothrium* sp. ponctué et *D. lanceolatum*, *D. alascense* ou *D. cordatum* dans le cas de *Diphyllbothrium* sp. très ponctué (Hilliard, 1972; Ishii *et al.*, 1991; Yamane *et al.*, 1976).

Remarque

Les œufs du dernier taxon *Diphyllbothrium/Spirometra* sp., observé sur un seul site, présentent les caractéristiques de ceux du genre *Diphyllbothrium* et ont une coque légèrement ponctuée. Les œufs du genre *Spirometra* peuvent être ponctués, mais ils ont généralement une

forme ellipsoïdique alors que ceux du genre *Diphyllbothrium* ont une forme ovoïde. De plus l'opercule est conique et plus proéminent que pour *Diphyllbothrium* sp. (Ash et Orihel, 2007). Aucune photo n'étant disponible pour ces résultats d'analyses nous avons choisi de conserver cette double identification.

4.4.4 Classe des Trématodes (Trematoda)

4.4.4.1 Le groupe Fasciolidae (GRFasciolidae)

Deux taxons sont présents dans le groupe Fasciolidae (GRFasciolidae) : *Fasciola hepatica* et *Fasciola* sp.

Description des œufs

Les œufs du genre *Fasciola* ou grande douve sont de grande taille (130-145 x 70-90 µm en moyenne), de forme ovoïde avec une ouverture polaire ou opercule (Figure 41, p. 127).

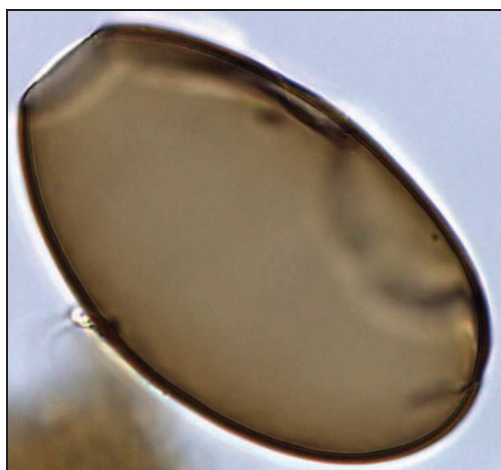


Figure 41 : Œuf de *Fasciola* sp. (118,66 x 72,62 µm, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).

Biologie et cycle de vie

Le cycle des taxons de la classe des Fasciolidae est hétéroxène et fait intervenir un hôte intermédiaire et un hôte définitif. Il passe obligatoirement par le milieu aquatique. Les parasites de la famille des Fasciolidae parasitent généralement des herbivores (hôtes définitifs) qui s'infestent par ingestion de végétaux de bords de rives (cresson, mâches, pissenlits) porteurs de métacercaires, une forme enkystée du parasite présents sous les feuilles des végétaux. Une fois ingérés, ils migrent ensuite des intestins vers le foie à travers la cavité abdominale et deviennent adulte dans les canaux billiaires. Des œufs sont alors émis dans le milieu extérieur avec les excréments de l'hôte définitif. Les œufs doivent alors se retrouver dans le milieu aquatique pour permettre la poursuite du cycle. Les œufs peuvent alors éclore et libèrent un miracidium (premier stade larvaire du parasite) qui infeste l'hôte intermédiaire, un gastéropode aquatique du genre *Lymnaea*. La larve s'y développe en cercaire puis quitte son hôte intermédiaire pour se fixer sur des végétaux de bord de rive. Elle s'y enkyste en métacercaire et devient infectante. L'hôte définitif, un herbivore, s'infeste ensuite en ingérant des végétaux porteurs de ces métarcercaires. A l'état adulte ces parasites mesurent quelques centimètres de long (par exemple 3 cm pour *F. hepatica*) (Kaufmann, 1996; Taylor *et al.*, 2007).

L'homme et certains autres mammifères (rongeurs par exemple) peuvent aussi être porteurs de ces parasites en tant qu'hôtes définitifs. Chez l'homme, cette parasitose indique la consommation de végétaux crus (salade...) non ou mal lavés. La fasciolose se traduit chez l'hôte par des fièvres irrégulières, des douleurs gastriques, des allergies ainsi que par une atteinte au foie pouvant évoluer en cirrhose.

4.4.4.2 Le groupe Dicrocoeliidae (GRDicrocoeliidae)

Le groupe Dicrocoeliidae (GRDicrocoeliidae) comprend deux taxons : *Dicrocoelium dentriticum* et *Dicrocoelium* sp.

Description des œufs

Les œufs du genre *Dicrocoelium* sont de petite taille (38-45 x 22-30 µm en moyenne), de forme ovoïde avec un opercule à une extrémité et présentent une asymétrie caractéristique (Figure 42, p. 129).

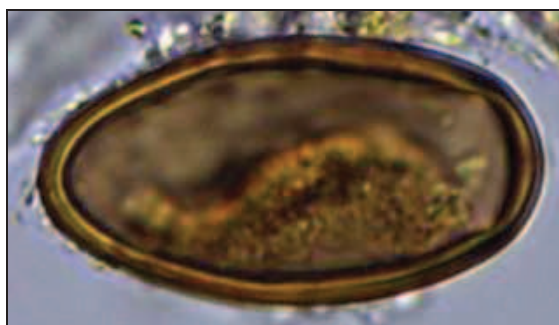


Figure 42 : Œuf de *Dicrocoelium* sp. (43,57 x 22,82 µm, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).

Biologie et cycle de vie

Le cycle de ce parasite est hétéroxène et fait intervenir deux hôtes intermédiaires, un gastéropode terrestre puis une fourmi, et un hôte définitif, un herbivore, principalement le mouton, les bovins, les chèvres... Une fois ingérés par le gastéropode, les œufs éclosent. Deux générations de sporocystes se développent puis produisent des cercaires. Ces cercaires sont ensuite ingérées par des fourmis dans lesquels ils se développent en métacercaires et induisent un contrôle sur l'insecte. La journée ces fourmis grimpent au sommet des végétaux où elles peuvent être ingérées par des herbivores, hôtes définitifs du parasite. Le soir elles vaquent à leurs occupations habituelles (Coustau et Hertel, 2008). Une fois dans les intestins de l'hôte, les métacercaires éclosent et les jeunes douves migrent vers le foie de l'herbivore où elles deviennent adultes dans le canal biliaire. A l'état adulte, ces parasites mesurent environ 1 cm de long (Kaufmann, 1996; Soulsby, 1982, Taylor *et al.*, 2007).

L'herbivore peut être atteint de troubles digestifs, de fièvres, son état général peut s'altérer et il peut y avoir des manifestations neurologiques. L'homme peut être porteur de cette parasitose mais actuellement les cas recensés sont rares. Lorsque ce parasite est retrouvé chez ce dernier il s'agit généralement d'une pseudoparasitose induite par la consommation de foie

parasité d'herbivore (créatophagie), les œufs se retrouvent alors en transit et ne traduisent pas de pathologie vraie.

4.4.5 Les protozoaires parasites intestinaux

Biologie et cycle de vie

Deux taxons de protozoaires parasites intestinaux sont identifiés pour l'époque romaine en paléoparasitologie : *Entamoeba histolytica* et *Giardia intestinalis*.

L'amibe pathogène, *Entamoeba histolytica*, est un unicellulaire intestinal spécifique de l'homme. Le parasite évolue sous deux formes, une forme végétative et une forme kystique. Sous l'influence de facteurs assez mal connus, les formes végétatives s'enkystent et sont expulsées via les voies naturelles. L'homme se contamine en ingérant des aliments, de l'eau, ou encore par les mains sales, pollués par des kystes infestants ("péril fécal"). Le parasite, localisé dans les intestins de son hôte (l'homme) provoque parfois chez ce dernier un syndrome dysentérique (Ash et Orihel, 2007; Nozais *et al.*, 1996).

Giardia intestinalis est un protozoaire flagellé intestinal, parasite de l'homme mais également d'autres mammifères (bovins, chiens, chats...). Comme pour l'amibe, son cycle présente une alternance entre une forme végétative et une forme kystique qui assure la dissémination et la contamination interhumaine, liée de nouveau au péril fécal (aliments contaminés ou mains sales). Généralement cette parasitose est asymptomatique mais elle peut dans de rares cas provoquer chez l'hôte diarrhée modérée, douleurs abdominales, nausées et anorexie (Ash et Orihel, 2007; Nozais *et al.*, 1996).

4.5 Synthèse des informations de la paléoparasitologie

4.5.1 Les informations apportées pour l'époque romaine

Les taxons et groupes de taxons observés sur l'ensemble des sites étudiés apportent des informations à plusieurs niveaux, et renseignent notamment la présence humaine et animale sur les sites ainsi que le mode de vie des populations (hygiène, alimentation...). Certains taxons ne peuvent cependant pas apporter d'informations par manque de précisions à leur sujet ou concernant les sites dans lesquels ils ont été observés. Pour ces raisons *Capillaria* sp., *Capillaria* réticulé, *Capillaria* ponctué, Ankylostomidés, Strongle, Strongylida, *Strongyloides* sp., et *Acanthocephala* ne seront pas évoqués ici.

Les deux groupes de géohelminthes GR*Ascaris* et GR*Trichuris* indiquent l'existence d'un problème de péril fécal, l'utilisation de matières fécales pour amender les champs et une mauvaise gestion des déchets organiques sur les sites étudiés. Certains taxons appartenant à d'autres groupes peuvent également être liés à ces problèmes comme *Hymenolepis nana*, *Echinococcus granulosus* et *Giardia intestinalis*.

Trois taxons, identifiés au niveau de l'espèce, montrent que l'homme est en partie responsable de ce problème de péril fécal : *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura* et *Entamoeba histolytica*. Ils pourraient également indiquer l'utilisation de rejets d'origine humaine pour amender les cultures, au moins en partie.

Les taxons identifiés mettent en évidence non seulement la présence de l'homme (en écartant les résultats liés directement aux restes humains), mais aussi celle d'animaux de plusieurs types identifiés au niveau de l'espèce, de la famille ou de l'ordre : porc, cheval et équidés, rongeurs, canidés, félidés et mustélidés. D'autres groupes de mammifères ne sont identifiés

que par leur régime alimentaire : herbivores, carnivores, ichtyophages, batracophages et omnivores¹⁷.

Le Tableau 20 (p. 132) présente les taxons indiquant la présence de l'homme et d'autres animaux. Le Tableau 21 (p. 133) présente quant à lui les taxons en fonction du régime alimentaire de leurs hôtes.

	Homme	Porc	Cheval et Equidés	Rongeurs	Canidés	Félidés	Mustélidés	Viverridés
<i>Ascaris</i> sp.	X	X						
Ascaridé	X	X						
<i>Ascaris lumbricoides</i>	X							
<i>Trichuris</i> sp.	X	X	Absent	X	X	X	X	X
<i>Trichuris trichiura</i>	X							
<i>Capillaria type hepatica</i>				X				
<i>Oxyuris equi</i>			X					
<i>Toxocara</i> sp.					X	X	X	X
<i>Toxocara canis</i>					X			
<i>Macracanthorhynchus</i> sp.	X	X			X		X	
<i>Entamoeba histolytica</i>	X							
<i>Giardia intestinalis</i>	X				X	X		
<i>Enterobius vermicularis</i>	X							
<i>Diocotophyma renale</i>					X		X	
<i>Parascaris</i> sp.			X					
<i>Hymenolepis nana</i>	X			X				

Tableau 20 : Taxons marqueurs de présence de l'homme et des principaux animaux qu'ils parasitent.

	Herbivores	Carnivores	Ichtyophages	Batracophages	Omnivores
<i>Trichuris ovis</i> ou <i>Trichuris globulosa</i>	X				
<i>Toxocara</i> sp.	X	X			
<i>Taenia/Echinococcus</i> sp.		X			X
<i>Taenia saginata</i> ou <i>Taenia solium</i>		X			X
<i>Fasciola</i> sp.	X				X
<i>Fasciola hepatica</i>	X				X
<i>Dicrocoelium</i> sp.	X				X
<i>Dicrocoelium dentriticum</i>	X				X
<i>Capillaria type hepatica</i>		X			X

¹⁷ Dans le cas de *Trichuris* sp., certains œufs observés dans les échantillons au cours des analyses sont plus gros comparé à d'autres. Ils peuvent correspondre à des œufs anormaux de la même espèce que les autres œufs observés ou à des espèces différentes (voir deuxième partie, 4.1 Les œufs du genre *Trichuris*, p. 277).

<i>Diphyllbothrium</i> sp. lisse			X		X
<i>Diphyllbothrium</i> sp. ponctué			X		X
<i>Diphyllbothrium</i> sp. très ponctué			X		X
<i>Diphyllbothrium</i> / <i>Spirometra</i> sp.			X		X
<i>Diocotophyma renale</i>			X	X	X

Tableau 21 : Taxons marqueurs de présence humaine et animale selon le régime alimentaire.

Outre les informations concernant la présence de ces animaux, les activités pratiquées sur les sites qui y sont liées sont par conséquent mises en évidence (élevage, artisanat...) ainsi que l'utilisation de leurs matières fécales (pratiques agricoles, artisanat...).

Echinococcus granulosus indique un contact entre l'homme et les canidés. La présence chez l'homme de ce parasite spécifique pourrait avoir les mêmes implications que pour les taxons de GR*Ascaris* et GR*Trichuris* avec la mise en évidence d'un problème de péril fécal (problème d'hygiène corporelle...), l'utilisation de matières fécales d'origine animale pour enrichir les cultures et une mauvaise gestion des déchets organiques.

Nous l'avons vu (Tableau 21, p. 133), d'autres taxons mettent en avant le régime alimentaire de leurs hôtes, homme compris. Ils peuvent aussi apporter des indications concernant le mode de préparation des aliments (cuisson...)¹⁸. Ceux de GR*Taeniidae* prouvent la consommation de viande crue ou mal cuite. Pour les taxons affectant l'homme, *Taenia solium* et *Taenia* sp., la consommation de viande de bœuf et/ou de porc est mise en évidence. Les taxons de GR*Diphyllbothriidae* indiquent la consommation de poissons crus ou mal cuits sur les sites (poissons d'eau douce et marins).

Les taxons de GR*Fasciolidae* indiquent la consommation de végétaux de bords de rives (cresson...) crus, non ou mal lavés. Dans le cas d'une pseudo-parasitose, ceux de GR*Dicrocoeliidae* indiquent la consommation de foie d'herbivore parasité. Lorsqu'il s'agit d'une parasitose vraie, ils peuvent mettre en évidence la consommation d'insectes (fourmis), volontaire ou non, comme pour *Macracanthorhynchus* sp. (scarabées, larve de hanneton...).

Capillaria type *hepatica* pourrait également indiquer la consommation de foie.

¹⁸ Les considérations concernant le mode de préparation des aliments concernent bien évidemment uniquement l'homme.

Les taxons apportent enfin des informations sur l'état de santé des populations humaines et animales. L'infestation par certains de ces parasites peut être asymptomatique mais peut également être à l'origine de symptômes surtout gastro-intestinaux (diarrhées, douleurs abdominales...), mais aussi hépatiques (cirrhose...), urinaires (hématurie...), ou avoir des effets autres, tels que prurit, nausées... Le tableau suivant présente la synthèse des pathologies et symptômes provoqués par les taxons et groupes de taxons observés pour l'époque romaine :

Taxon ou groupe de taxons	Généralement asymptomatique	Pathologies gastro-intestinales	Pathologies hépatiques	Pathologies urinaires	Autres symptômes ou pathologies
<i>Ascaris</i> sp.	Oui, si infestation faible	Diarrhée, douleurs abdominales, occlusions intestinales si infestation massive			Nausées, vomissements
<i>Trichuris</i> sp.	Oui, si infestation faible	Douleurs abdominales et diarrhées sanglantes si infestation massive			
<i>Capillaria hepatica</i>			Hépatite, cirrhose...		Ascites
<i>Diocotophyma renale</i>				Hématurie, pyurie, colique néphrétique, dysurie...	
<i>Parascaris</i> sp.		Colique, diarrhées, occlusions intestinales			
<i>Toxocara</i> sp.		Diarrhée et obstructions intestinales (Herbivores), troubles gastro-intestinaux (Canidés/Félinés)			Croissance ralentie, troubles du comportement alimentaire

<i>Oxyuris equi</i>	Oui				Prurit anal entraînant éraflures, inflammations, plaies, perte de condition, queue à l'aspect de "queue de rat" (symptômes indirects)
<i>Enterobius vermicularis</i>					Prurit anal le soir ou la nuit
<i>Macracanthorhynchus</i> sp.		Constipation, diarrhée, douleurs abdominales			Fièvre, perte de poids et d'appétit, nausée, vomissement
<i>Hymenolepis nana</i>		Entérite, obstructions intestinales			Anorexie, perte de poids, prurit anal, troubles nerveux (convulsion, épilepsie...), vomissements
GRTaeniidae (sauf <i>E. granulosus</i>)	Oui	Douleurs abdominales, troubles digestifs			Boulimie, manifestations allergiques, nausées, prurit anal, vomissements (symptômes plus rares)
<i>Echinococcus granulosus</i>			Kystes hydatiques		
GRDiphyllbothriidae		Douleurs abdominales, troubles du transit			Anémie parabiermérienne (déficit en vitamine B12)
GRFasciolidae		Douleurs gastriques	Atteinte au foie pouvant évoluer en cirrhose		Allergies, fièvres irrégulières
GRDicrocoeliidae		Troubles digestifs			Altération de l'état général, fièvres, manifestations neurologiques

<i>Entamoeba hystolytica</i>		Syndrome dysentérique parfois			
<i>Giardia intestinalis</i>	Oui	Diarrhée modérée, douleurs abdominales			Anorexie, nausées

Tableau 22 : Pathologies et symptômes provoqués par les taxons et groupe de taxons observés pour l'époque romaine.

Après avoir détaillé les informations apportées par chaque taxon et groupe de taxon, il convient à présent de s'intéresser aux résultats par sites, afin de déterminer lorsque cela est possible, l'importance de chaque parasitose pour l'époque romaine.

4.5.2 Fréquences des taxons et groupes de taxons par sites

Les résultats obtenus pour chaque taxon, exprimés en présence/absence par site (Tableau 18, p. 96, et Tableau 19, p. 100), permettent d'établir les fréquences correspondantes. La Figure 43 (p. 137) présente les fréquences d'observation des taxons et groupes de taxons pour l'ensemble des sites d'époque romaine ayant fourni des données paléoparasitologiques sur les helminthes. Les tableaux détaillés des effectifs et des fréquences correspondantes sont présentés en Annexe 7 (Volume 2, Tableau 9, 10 et 11, p. 15-17).

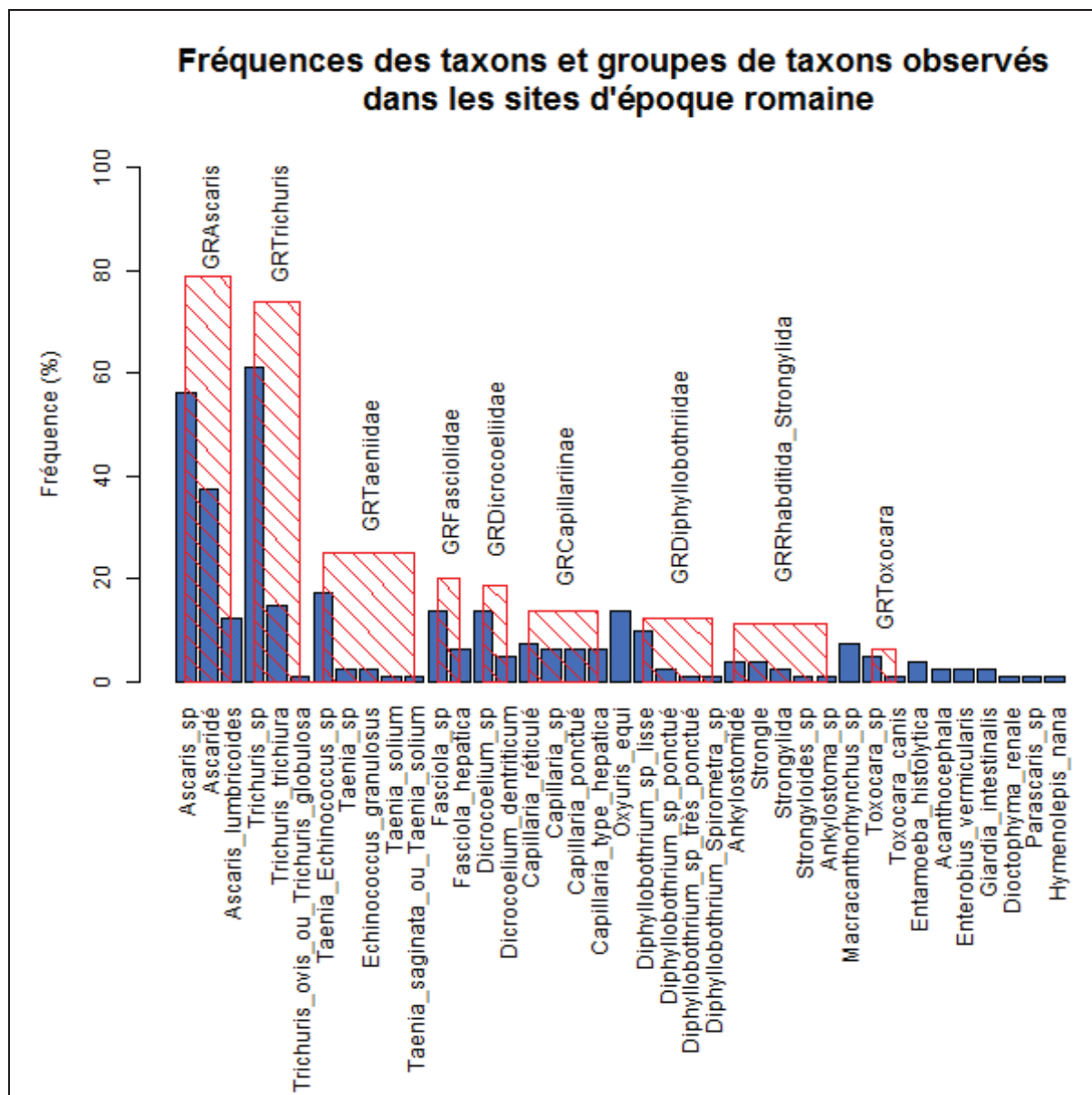


Figure 43 : Fréquences des taxons et des groupes de taxons pour l'ensemble des sites d'époque romaine ayant fourni des données en paléoparasitologie sur les helminthes.

Les groupes de taxons GRAscaris et GRTrichuris sont les plus fréquents et s'observent dans près de 80 % des sites étudiés. *Ascaris* sp. et *Trichuris* sp., présents dans 60 % des sites environ, correspondent aux deux taxons les plus représentés.

Ces fréquences importantes montrent que les taxons de ces groupes sont régulièrement observés dans les sites d'époque romaine. Ainsi, le problème de péril fécal, l'enrichissement des cultures par des matières fécales et la mauvaise gestion des déchets organiques semblent récurrents pour l'ensemble des sites étudiés de l'époque romaine. Ces trois voies de

contamination permettent la diffusion de ces parasites au sein des populations hôtes et le maintien de leurs cycles. Il est cependant difficile de déterminer la part de chacune d'entre elles dans cette diffusion et de dire s'il existe ou non une voie de contamination préférentielle. L'importance de ces taxons et leur présence quasi systématique indiquent également pour l'époque romaine une contamination générale de l'environnement pour tous les types de site.

Le problème de péril fécal existe lorsque l'hygiène corporelle est mauvaise ou lorsque la nourriture et/ou l'eau de boisson sont polluées par des matières fécales. Ce problème survient également lors de l'ingestion accidentelle de terres polluées (géophagie liée aux mains sales par exemple). Nous savons par les textes que dans les demeures aisées les convives se lavaient les mains avant les repas, et parfois même plusieurs fois entre chaque plats (Malissard, 1994). Cette pratique permet de réduire le risque de contamination par les géohelminthes comme *Ascaris* ou *Trichuris*. Il n'en était peut-être pas de même pour les autres classes de la société.

Parmi les taxons pouvant relever du péril fécal, *Enterobius vermicularis* peut être mentionné, malgré le très faible nombre de mentions pour la période romaine en Europe (2,5 % des sites). Le mode de transmission oral/fécal direct pourrait rendre aussi compte d'une mauvaise hygiène corporelle (voir cycle du parasite *supra* 4.4.1.8 *Enterobius vermicularis*, p. 115).

L'enrichissement des sols par des matières organiques d'origine humaine ou animale contribue à la diffusion chez l'homme des parasitoses géohelminthiques. Deux méthodes, bien connues par les textes antiques des agronomes latins, étaient utilisées à l'époque romaine pour enrichir les sols cultivés. La première consistait à laisser paître les troupeaux dans les champs mis en jachère qui servaient alors de pâturage. Les déjections des animaux enrichissaient alors naturellement les sols. Autre méthode, du fumier (mélange d'excréments animaux, d'urine et de litière) pouvait être apporté par l'homme pour amender les cultures. Parfois, des excréments humains pouvaient s'y trouver (Coulon, 2005; Jussiau *et al.*, 1999). Les fréquences importantes de *Trichuris* et d'*Ascaris* pourraient aussi être expliquées par ces pratiques.

La gestion des déchets organiques, en particulier dans les villes, est une question importante. A ce sujet, nous savons que le porc, animal omnivore, détritivore et charognard, avait un rôle non négligeable dans l'évacuation des déchets à l'époque romaine, et jouait un rôle "d'éboueur" (Ferdrière *et al.*, 2006). Les textes nous apprennent que ces animaux vivaient en

liberté dans les villes romaines. Ausone (poète du 4^{ème} s. ap. J.-C.) rapporte notamment la présence à Bordeaux du porc et du chien (Jaillette, 2003). La fréquence importante de GR*Ascaris* pourrait être une conséquence de la présence du porc sur les sites d'époque romaine.

En effet, le porc peut être parasité par des espèces des genres *Trichuris* et *Ascaris* qui lui sont spécifiques (*T. suis* et *A. suum*) mais aussi par celles se trouvant chez l'homme (*T. trichiura* et *A. lumbricoides*). De la même manière, l'homme peut être parasité par les espèces affectant le porc (Ash et Orihel, 2007; Beer, 1976). De même, le chien peut être coprophage et pouvait aussi présenter un risque pour l'homme et contribuer à la diffusion des parasites intestinaux. Certains parasites de l'homme et de l'animal peuvent également être transportés par des insectes.

Des études récentes ont mis en évidence sur le squelette externe et dans les intestins d'insectes (mouches et blattes) la présence de parasites intestinaux humains et animaux. Des helminthes ont été identifiés (*A. suum*, *A. lumbricoides*, *E. vermicularis*, *Taenia* sp., *Trichuris trichiura*...) ainsi que des protozoaires parasites intestinaux (*E. histolytica*, *Giardia intestinalis*...) (Förster *et al.*, 2009; Getachew *et al.*, 2007; Kinfu et Erko, 2008). Ces animaux sont alors des hôtes intermédiaires ou hôtes paraténiques, au niveau desquels les parasites ne subissent pas de transformation particulière. Ils pourront contribuer à diffuser les parasitoses dans l'environnement.

Si les insectes peuvent actuellement transporter des parasites, cela devait également être le cas dans le passé. Comme aujourd'hui, ils devaient constituer un risque supplémentaire de contamination et de pollution, en particulier pour la nourriture humaine et animale, qui s'ajoute au risque de péril fécal mis en évidence pour l'époque romaine. Une étude rapporte l'observation d'œufs d'*Ascaris* sp. et de *Trichuris* sp. dans des larves de mouches (Ephydridés et *Fannia scalaris*) prélevées dans des latrines médiévales de Strasbourg (Legendre *et al.*, 1987).

Les fréquences des autres taxons et groupes de taxons sont beaucoup moins importantes, et atteignent 25 % des sites au maximum. Quatre taxons sont observés sur une dizaine de sites (*Taenia/Echinococcus* sp., *Fasciola* sp., *Dicrocoelium* sp. et *Oxyuris equi*). Les derniers taxons (soit trente taxons) sont observés dans moins de dix sites (entre un et huit) (Figure 43, p. 137).

Peu de variation s'observent ce qui limite et rend difficile les interprétations. Les fréquences faibles peuvent être mises en relation avec une présence limitée des parasites à l'époque romaine. Il se peut également que les cycles des parasites soient bloqués parce que les voies de contamination sont coupées. La cuisson des aliments (viandes et poissons), ou la faible consommation des aliments à l'origine de la contamination, peuvent limiter les infections, et donc diminuer les fréquences des parasites observées dans les sites étudiés.

L'absence des hôtes définitifs porteurs des parasites adultes (et donc des œufs) peut aussi expliquer des fréquences réduites. Par exemple, les faibles fréquences de GRFasciolidae et de GRDicrocoeliidae ou encore d'*Oxyuris equi* pourraient indiquer que les herbivores étaient peu présents sur les sites étudiés, et peut-être utilisés ou traités à l'écart des zones habitées, limitant les transmissions en particulier à l'homme.

En outre, plusieurs paramètres conditionnent l'observation de chaque taxon et pourraient permettre d'interpréter plus finement les résultats :

- La conservation différentielle des œufs de parasites : il existe une conservation différentielle des œufs qui peut amener à une sur-représentation ou à une sous-représentation de certains taxons. Par exemple *Enterobius vermicularis* est très peu retrouvé au cours de nos analyses contrairement à d'autres espèces de la même famille comme *Oxyuris equi*, ce qui amène à penser que les œufs de ce taxon sont plus fragiles et qu'ils résistent moins bien aux processus taphonomiques. D'autres œufs, comme par exemple ceux du genre *Ascaris*, pourraient au contraire être très résistants et expliquer la surreprésentation de certains taxons.
- L'origine biologique des échantillons et le type de vestige d'origine étudié : si l'origine biologique de l'échantillon analysé diffère de celle de l'hôte naturel du parasite recherché, ou si le vestige étudié n'est pas en lien direct avec cet hôte, le parasite ne pourra pas être observé. Par exemple, les taxons parasites des Canidés (*Toxocara canis*...) ne seront pas retrouvés dans des échantillons d'origine biologique humaine et ceux parasitant les Equidés (*Parascaris* sp....) seront préférentiellement retrouvés dans les vestiges liés à des écuries. De même, seuls les taxons correspondant aux hôtes présents sur les sites étudiés (l'homme comme les animaux) seront renseignés.
- Le cycle biologique et l'écologie des parasites : le mode de libération des œufs de parasites dans le milieu extérieur est en particulier à prendre en compte. Les taxons pour lesquels les œufs ne sont pas libérés avec les excréments de l'hôte ne s'observent généralement pas dans les échantillons correspondant à ce type de rejet organique. Par

exemple les œufs d'*Oxyuris equi* sont déposés par la femelle en marge de l'anus et ceux de *Capillaria hepatica* sont libérés dans le milieu extérieur avec la décomposition de l'hôte. Si les échantillons analysés correspondent à des coprolithes, ces deux taxons ont donc moins de chance d'être observés¹⁹.

- La prévalence des parasites et le nombre d'hôtes présents : les fréquences d'observation des taxons dépendent également de la prévalence des parasites au sein de chaque population d'hôte et du nombre d'hôtes présents sur le site. En effet pour un taxon si la prévalence est faible et que la population d'hôte présente est peu importante, alors le parasite pourrait être observé moins fréquemment sur le site. Au contraire, lorsque les populations d'hôtes sont importantes (concentration de populations par exemple), les parasites pourraient s'observer plus fréquemment et ce quelque soit leur prévalence au sein des populations parasitées.

Ainsi, l'échantillonnage et le contexte du site étudié sont à prendre en compte pour discuter les fréquences de chaque taxon. Pour mieux interpréter et discuter ces fréquences, il convient de s'intéresser à présent aux fréquences des taxons non par sites mais pour les différents types de sites, d'activités, de vestiges d'origine, d'échantillons et d'origines biologiques. Des variations tant au niveau de la biodiversité parasitaire qu'au niveau des fréquences de chaque taxon pourrait ainsi être mises en évidence et permettre une meilleure vue d'ensemble des résultats pour la période romaine.

4.5.3 Fréquences des principaux taxons par catégories

Pour chaque étude réalisée et chaque site étudié, une typologie a été définie (voir **3.2.2 Sites étudiés et activités des sites**, p. 61, et **3.2.3 Echantillons, vestiges d'origines et origines biologiques**, p. 65). La biodiversité parasitaire et les fréquences de chaque taxon varient au sein de ces catégories.

¹⁹ Dans le cas de *Capillaria hepatica*, des œufs peuvent néanmoins se retrouver dans les excréments d'un prédateur (pseudo-parasitose dans ce cas).

Seules les catégories bien représentées (5 fois au minimum) et les taxons retrouvés plusieurs fois (5 fois au minimum) sont discutés ci-dessous²⁰.

Au total sont donc retenus :

- Seize taxons : *Trichuris trichiura*, *Trichuris* sp., *Capillaria* sp., *Capillaria* ponctué, *Capillaria* réticulé, *Capillaria* type *hepatica*, *Ascaris lumbricoides*, *Ascaris* sp., Ascaridé, *Oxyuris equi*, *Macracanthorhynchus* sp., *Taenia/Echinococcus* sp., *Diphyllobothrium* sp. lisse, *Fasciola hepatica*, *Fasciola* sp. et *Dicrocoelium* sp.
- Trois types de sites : Camp militaire, Habitat rural et Ville.
- Quatre types d'activités : Agropastoral, Domestique, Funéraire et Militaire.
- Cinq types de vestiges d'origine : Couches et strates hors structure, Momie, Squelette, Structure en creux et Structure en élévation.
- Trois types d'échantillons : Coprolithe et assimilés, Organe et contenu organique ainsi que Sédiment.
- Deux types d'origines biologiques : Humaine et Mixte.

4.5.3.1 Fréquences par types de sites et d'activités

La figure suivante présente les fréquences des taxons pour chaque type de sites et d'activités. Les tableaux détaillés des fréquences sont présentés en Annexe 8 (Volume 2, Tableau 12 et 13, p. 18-19).

²⁰ Ce minimum de cinq est un choix personnel.

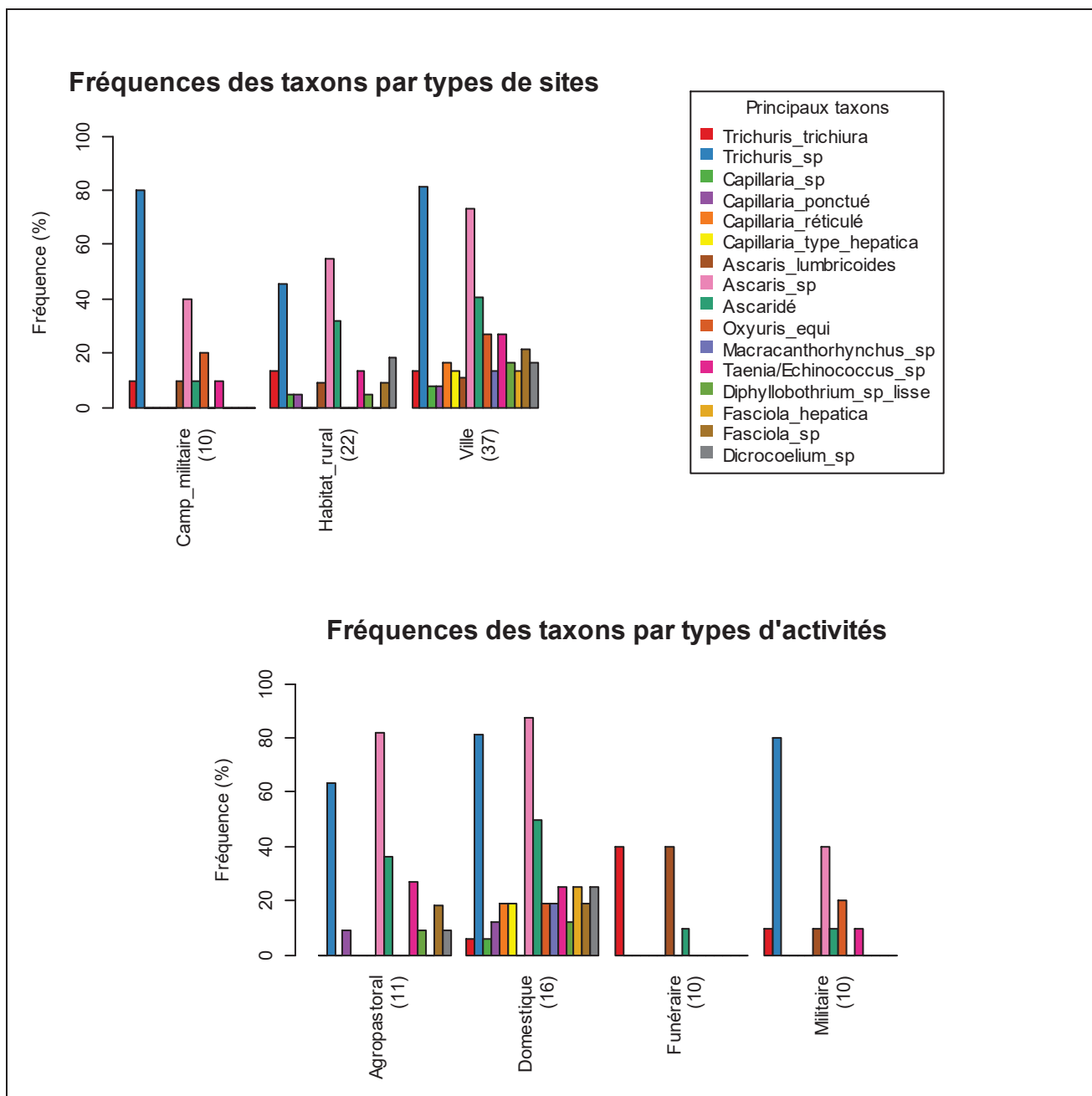


Figure 44 : Fréquences des principaux taxons pour les principaux types de sites et d'activités étudiés en paléoparasitologie sur les sites d'époque romaine (effectif des types entre parenthèses).

4.5.3.1.1 Fréquences par types de sites

La biodiversité parasitaire est maximale pour les sites de type Ville et un peu moins élevée dans les sites de type Habitat rural. Pour le type Camp militaire, elle est beaucoup plus faible.

Ce nombre important de taxons pourrait s'expliquer par une diversité et des concentrations de populations (humaines comme animales) plus fortes dans les villes, comparé aux campagnes et aux camps militaires. Le nombre plus élevé d'études réalisées dans les sites de type Ville est un biais également envisageable.

Dans le cas des taxons communs aux types Ville et Habitat rural, les fréquences sont plus importantes pour le type Ville, excepté pour *Trichuris trichiura* et *Dicrocoelium* sp. dont les fréquences sont très proches. Les différences de fréquences pour les taxons de GRFasciolidae (*Fasciola* sp. et *Fasciola hepatica*), *Diphyllbothrium* sp. lisse et *Taenia/Echinococcus* sp. sont plus marquées et pourraient être liées aux concentrations de populations plus importantes en contexte urbain. L'homme pouvant être atteint de fasciolose, les fréquences plus importantes de cette maladie en contexte urbain pourrait là encore être dues à la population humaine plus grande.

Le type de site Camp militaire se distinguent des deux autres par l'absence des taxons de la classe des Trématodes (*Fasciola hepatica*, *Fasciola* sp. et *Dicrocoelium* sp.). Leur absence pourrait indiquer que les herbivores ne sont pas présents dans ce type de site, ou encore que les zones d'utilisations du bétail, potentiellement liées aux sites militaires, sont éloignées, et sont pas conséquent sans impact visible. Les études archéozoologiques attestent de la consommation d'herbivores par les troupes (Kuijper et Turner, 1992), et Végèce parle des pâturages pour les animaux quand il évoque les camps militaires (Campbell, 2009). Il est donc possible que les échantillons analysés proviennent de secteurs du camp non fréquentés par le bétail, et en particulier par les herbivores.

Oxyuris equi est cependant observé et atteste de la présence des Equidés (cheval, âne et mules) dans les camps militaires. Ce résultat est probablement à mettre en relation avec son utilisation par l'armée romaine pour le transport des troupes et du matériel. Leur présence est aussi attestée par les découvertes archéologiques (écuries...) (Campbell, 2009).

Nous savons enfin par les textes et les découvertes archéologiques que l'alimentation du soldat comporte principalement des céréales (blé), de la viande, du poisson, mais peu de légumes (Fornaris et Aubert, 1998; Jodry et Schnidzler, 2011). Bien que des restes de salades et de cressons (végétaux liés à la fasciolose) soient parfois identifiés dans les camps militaires, cette faible consommation de légume pourrait aussi expliquer l'absence des

Fasciolidae dans les sites de ce type. L'absence des Dicrocoeliidae pourrait indiquer que les abats n'étaient pas consommés par les soldats (foie d'herbivore en particulier).

Les textes antiques et les découvertes archéologiques attestent donc que le poisson était consommé par les soldats. Par exemple, sur le site d'Alphen aan den Rijn des restes de poissons d'eau douce s'observent dans l'ensemble des échantillons étudiés en paléoparasitologie (Kuijper et Turner, 1992). L'absence de *Diphyllbothrium* sp. lisse pourrait alors indiquer que le poisson était consommé bien cuit. *Taenia/Echinococcus* sp. est quand à lui observé sur un site (site d'Alphen aan den Rijn, S_0003, ETP_0003) et indique dans ce cas la présence de carnivores sur le site et la consommation de viande crue ou mal cuite. L'observation de *Taenia/Echinococcus* sp. sur un seul des dix sites étudiés et l'absence des taxons de GRDiphyllbothriidae de l'ensemble des sites de ce type pourraient aller dans le sens d'une bonne cuisson des aliments. Les habitudes alimentaires des soldats pourraient être différentes de celles des populations présentes sur les autres types de site. Il est également possible que ce parasite provienne de carnivores autre que l'homme, le chien par exemple, utilisé par l'armée romaine.

4.5.3.1.2 Fréquences par types d'activités

C'est l'activité de type Domestique qui présente le maximum de biodiversité parasitaire, ce type d'activité s'observant uniquement dans les sites de type Ville, là où les concentrations de populations sont plus fortes (voir *supra*). Les fréquences plus élevées des taxons de Trématodes (*Fasciola* sp., *Fasciola hepatica* et *Dicrocoelium* sp.) pourraient indiquer une présence plus importante d'herbivores en contexte domestique, mais pourraient aussi être mises en relation avec les infections humaines. Associées aux fréquences plus importantes de *Diphyllbothrium* sp. lisse et de *Taenia/Echinococcus* sp., elles pourraient être le reflet d'une alimentation plus variée chez l'homme dans les sites d'activité domestique (consommation de poisson et de viande crus ou mal cuits).

Oxyuris equi ne s'observe que pour les types d'activités Domestique et Militaire indiquant la présence du cheval et des Equidés uniquement dans les sites correspondant à ces types d'activités. Pourtant les Equidés peuvent être utilisés pour les travaux agropastoraux notamment comme animaux de bât ou de traits. L'absence de ce taxon pourrait indiquer que

d'autres types d'animaux comme le bœuf étaient peut-être préférentiellement utilisés pour occuper ces fonctions. Cependant le nombre d'études reste tout de même peu important et d'autres paramètres concernant les échantillons étudiés sont aussi à prendre en compte (origine biologique, type d'échantillon...) dans l'interprétation des résultats (voir *infra* 4.5.5.2

Répartitions géographiques : l'exemple d'*Oxyuris equi*, p. 171.

Le type d'activité Funéraire correspond uniquement à des lieux d'inhumation (cimetières, nécropoles...) et à l'étude de restes humains, ce qui explique que seuls des taxons parasitant spécifiquement l'homme s'observent. Cependant, l'identification spécifique se fait d'après l'origine biologique du matériel étudié. *Trichuris trichiura* et *Ascaris lumbricoides* y sont présent de même que les Ascaridés qui correspondent sans doute à *Ascaris lumbricoides*. Ces taxons confirment chez l'homme au cours de l'époque romaine l'existence d'un problème de péril fécal. Les parasitoses humaines seront détaillées ultérieurement (voir *infra* 4.5.6

Discussion autour du matériel d'époque romaine d'origine humaine, p. 174).

Enfin, le spectre de fréquence du type d'activité Militaire étant identique à celui du type de site Camp militaire, les informations apportées sont les mêmes.

4.5.3.2 Fréquences par vestiges d'origine et par types d'échantillons

La figure suivante présente les fréquences des taxons pour chaque type de vestiges d'origine et d'échantillons. Les tableaux détaillés des fréquences sont présentés en Annexe 8 (Volume 2, Tableau 14 et 15, p. 20- 21).

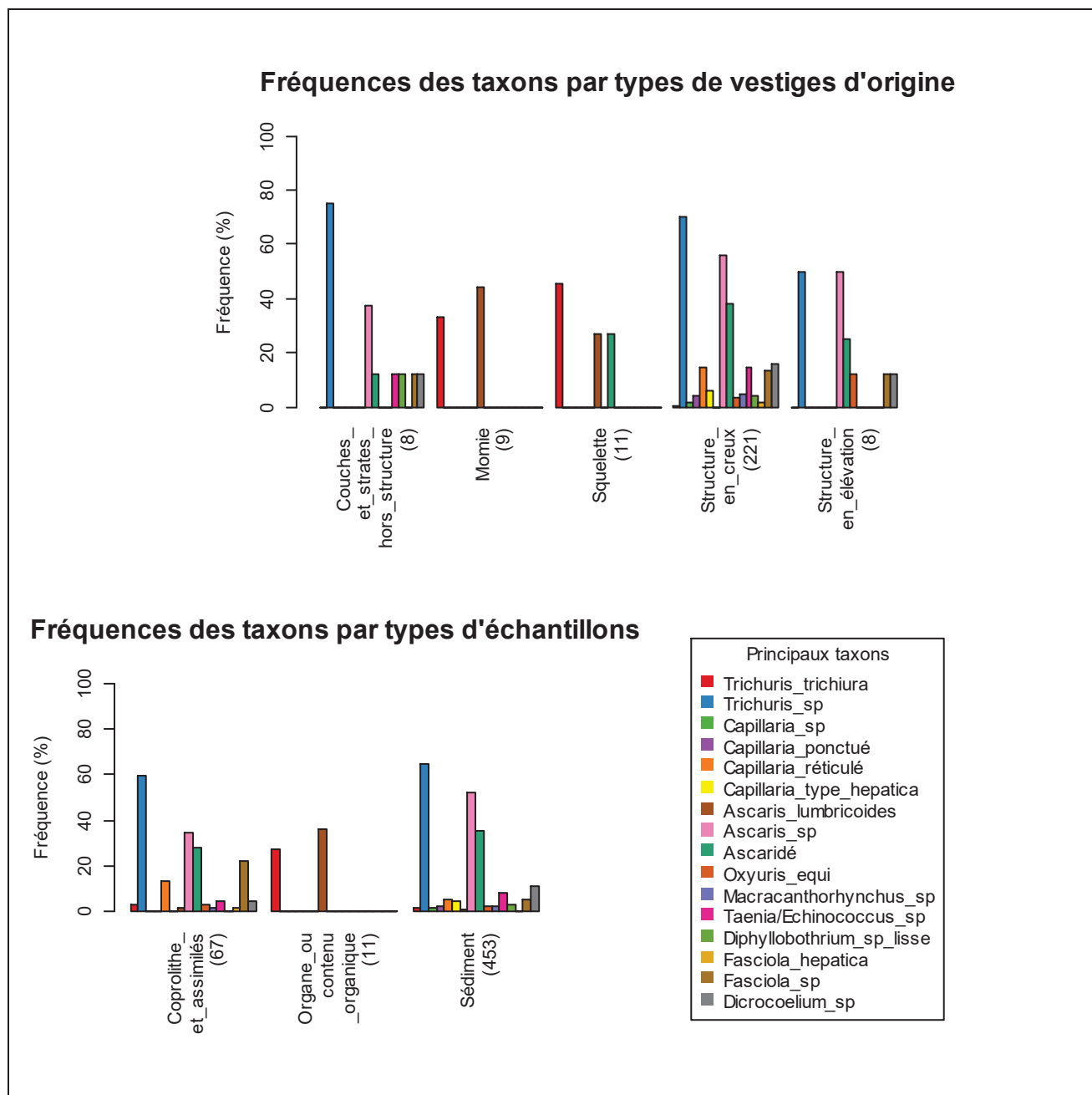


Figure 45 : Fréquences des principaux taxons pour les principaux types de vestiges d'origine et d'échantillons étudiés en paléoparasitologie sur les sites d'époque romaine (effectif des types entre parenthèses).

4.5.3.2.1 Fréquences par types de vestiges d'origine

La biodiversité maximale se retrouvent dans les vestiges d'origine de type Structures en creux, ce qui peut s'expliquer par le nombre important de vestiges étudiés de ce type (deux cent vingt et un), comparé aux autres types (entre huit et dix). *Trichuris* sp., *Ascaris* sp. et Ascaridé indiquent de nouveau un problème de péril fécal.

Près de 20 % des échantillons provenant de ce type de structures contiennent les taxons *Dicrocoelium* sp. et *Fasciola* sp. ce qui pourrait indiquer le rejet fréquent de matières organiques liées à des herbivores (litière, fumier...) dans ce type de vestige d'origine. Cependant, l'homme pouvant être porteur de ces deux parasites, un doute subsiste quant à l'origine de ces parasites. La fréquence de *Taenia/Echinococcus* sp. est également très proche et atteste de la présence dans ces structures de rejets liés à des carnivores, dont l'homme fait partie. Ceci amène à penser qu'une partie des taxons appartenant aux Trématodes (*Dicrocoelium* sp. et *Fasciola* sp.) pourraient effectivement avoir une origine humaine.

Comparé au taxon précédent, la fréquence de *Diphyllbothrium* sp. est faible ce qui pourrait indiquer que le poisson était consommé bien cuit à l'époque romaine, contrairement à la viande, ou qu'il était peu consommé. La fréquence du parasite elle-même peut être moins importante dans certaines régions.

Capillaria type *hepatica* pourrait montrer la présence de rongeurs dans ces structures (voir *supra* 4.4.1.3 Le groupe **Capillariinae** (GR**Capillariinae**), p. 107). Mistrot (2000) indique en effet que les quantités d'ossements de micromammifères sont généralement plus importantes dans certaines couches comme les niveaux d'abandons et certaines structures en creux. Dans le cas des niveaux d'abandon, il précise que l'accumulation de restes peut être due à la présence d'un prédateur. Même chose pour les structures en creux de type puits, les superstructures servant alors de perchoir pour les rapaces. Il indique également que les cadavres des nuisibles tués dans l'habitation peuvent être rejetés dans les latrines. Cependant, ce taxon pourrait aussi être lié à la présence de rejets de carnivores.

Les vestiges d'origine correspondant au type Structure en élévation sont plus variés (bâtiment, rues...). Une nouvelle fois les taxons de GR*Ascaris* et GR*Trichuris* sont très représentés et apportent les mêmes informations (voir *supra*).

Les vestiges d'origine de type Couches et strates hors structures correspondent à des échantillons prélevés en dehors de toute structure. Ils apportent des renseignements à l'échelle du site et non plus seulement sur un secteur de site. Peu de taxons s'observent dans ces types de vestiges d'origine. Une nouvelle fois, *Trichuris* sp., *Ascaris* sp. et Ascaridé sont majoritaires contrairement aux autres taxons.

Enfin pour les vestiges d'origine de type Momie et Squelette, les taxons observés sont tous spécifiques de l'homme (*Trichuris trichiura*, *Ascaris lumbricoides* et Ascaridé). Pour ces deux types, les considérations sont les mêmes que pour le type d'activité Funéraire.

4.5.3.2.2 Fréquences par types d'échantillons

La biodiversité parasitaire maximale s'observe dans les échantillons de type Sédiment ce que peut expliquer le nombre très élevé d'échantillons analysés de ce type (quatre-cent-cinquante-trois).

Ascaris sp. et *Trichuris* sp. se retrouvent dans près de 40 % des échantillons de type Coprolithe et assimilés analysés ce qui indique qu'ils correspondent en partie à des rejets humains ou porcins. De même, dans les échantillons de type Sédiment, les fréquences de ces deux taxons atteignent près de 50 % ce qui indiquent qu'une part importante d'entre eux contient des rejets humains et/ou porcins.

Fasciola sp. est présent dans un peu plus de 20 % des échantillons de type Coprolithe et assimilés, indiquant qu'ils correspondent à des rejets d'individus omnivores ayant consommé des végétaux²¹.

²¹ Les coprolithes comportant ce taxon proviennent tous du site de Metz (S_0080, ETC_0014) et sont attribués d'après leur forme à des carnivores ou à des omnivores.

Dans ce type d'échantillon, l'importante fréquence de *Fasciola* sp., comparé aux autres taxons (en dehors de *Trichuris* sp., d'*Ascaris* sp. et d'Ascaridé), pourrait être liée à taille des œufs de ce taxon. En effet, il a été observé que les œufs de parasites sont parfois moins nombreux dans le coprolithe comparé au sédiment sous-jacent, les phénomènes de weathering (lessivage en particulier) contribuant à faire migrer les œufs verticalement, sous le coprolithe²². Les œufs de *Fasciola* sp. étant très gros (un peu plus d'une centaine de µm de long environ, voir *supra* 4.4.4.1 Le groupe Fasciolidae (GRFasciolidae), p. 127) pourraient se déplacer moins facilement que les autres œufs de parasites, qui ont des tailles inférieures. Cette observation indique également que chaque fois qu'un coprolithe est étudié, le sédiment sous-jacent doit lui aussi être analysé afin d'avoir accès à l'ensemble des informations possible et limiter l'éventuelle surreprésentation de certains taxons.

Enfin, les résultats obtenus pour les échantillons de type Organe ou contenu organique montrent uniquement la présence de *T. trichiura* et d'*A. lumbricoides*, deux parasites spécifiques de l'homme. Une nouvelle fois les considérations sont les mêmes que pour le type d'activité Funéraire.

4.5.3.3 Fréquences par types d'origines biologiques

La figure suivante présente les fréquences des taxons pour chaque type d'origine biologique. Le tableau détaillé des fréquences est présenté en Annexe 8 (Volume 2, Tableau 15, p. 21).

²² Sur le terrain, lors du prélèvement d'un coprolithe pour son analyse en paléoparasitologie, il est préférable pour cette raison de prélever également dans le même temps les quelques centimètres de sédiments situés directement sous le coprolithe.

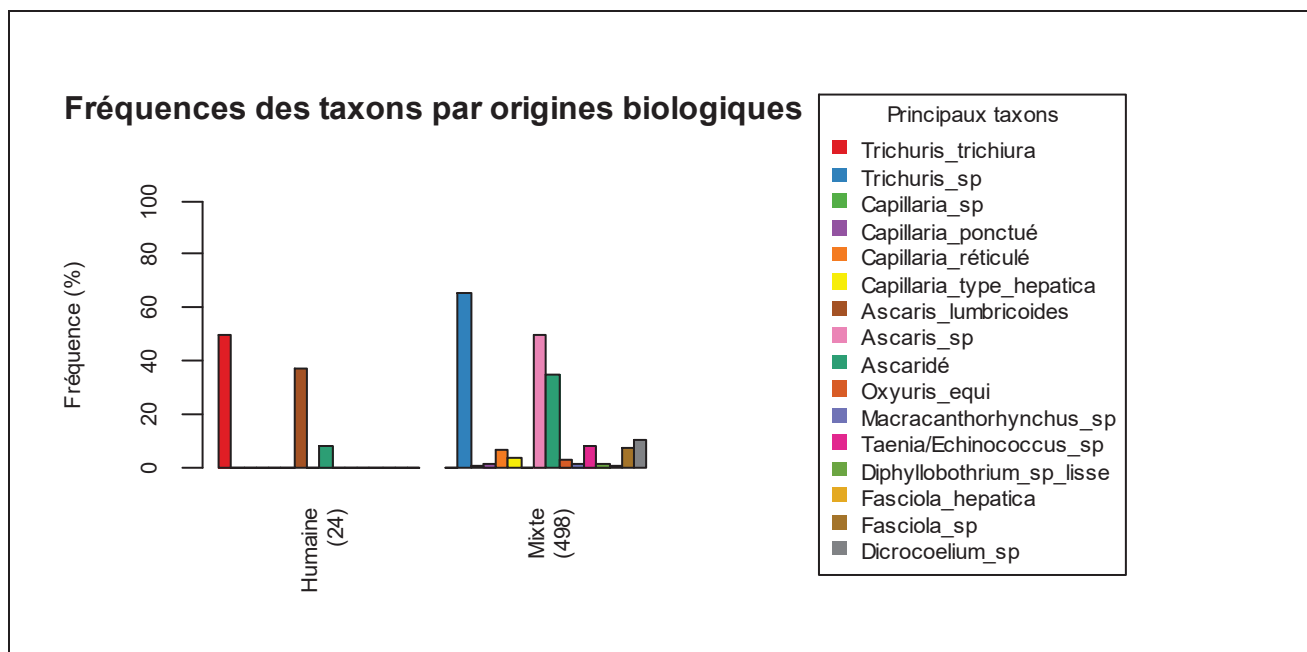


Figure 46 : Fréquences des principaux taxons pour les types d'origines biologiques étudiées en paléoparasitologie sur les sites d'époque romaine (effectif des types entre parenthèses).

La biodiversité parasitaire et les fréquences des taxons de l'origine biologique Mixte sont très proches de celles du type d'échantillon Sédiment. Ceci s'explique par le fait que la quasi-totalité des échantillons dont l'origine biologique est mixte correspond à des échantillons de sédiment (quatre-cent-dix-neuf échantillons sur quatre-cent-cinquante-trois, soit 92 % environ). Les considérations pour le type d'origine biologique Mixte sont donc les mêmes que celles du type d'échantillon Sédiment.

De même, la biodiversité ainsi que les fréquences des taxons de l'origine biologique Humaine se rapproche de celles du type d'activité Funéraire. La majorité des échantillons correspondant à cette origine biologique provient en effet de restes humains associés à ce type d'activité. Les considérations sont donc les mêmes que pour ce type d'activité.

4.5.4 Répartitions géographiques des taxons

4.5.4.1 Aires de répartitions maximales

La localisation géographique des sites permet de s'intéresser à la répartition des occurrences de chaque taxon ou groupe de taxons observés au cours de l'époque romaine. Sur les quatre-vingt sites étudiés, seuls deux n'ont pas de localisation géographique (S_0044 et S_0069) et ne pourront donc pas être pris en compte. Les figures 47 à 50 (p. 154 à 158) présentent respectivement les cartes de répartitions maximales des différents taxons retrouvés. Sur les cartes, les lignes matérialisent les aires de répartition, et les triangles inversés, la localisation des taxons observés sur un seul site. Dans le cas des protozoaires, il a été choisi de matérialiser les aires de répartition par des lignes pointillées car les informations disponibles sont peu nombreuses. Des cartes précises figurant les localisations des sites positifs pour chaque taxon et groupes de taxons sont présentées en Annexe 9 (Volume 2, p. 22-34).

Pour les Nématodes (Figure 47, p. 154), **GRAscaris** et **GRTrichuris** sont présents dans tout l'Empire romain et couvrent des aires de répartitions similaires du Royaume-Uni à l'Ouest du Moyen-Orient (Israël à Egypte). *Oxyuris equi* est lui aussi présent au Royaume-Uni mais son aire de répartition ne s'étend pas au-delà de la France et de l'Ouest de l'Allemagne. Les autres taxons de Nématodes sont absents du Royaume-Uni.

Parascaris sp. et *Dioctophyma renale* sont présents chacun sur un seul site (site de Beauvais ETC_0007, S_0076 et site de Troyes ETI_0013, S_0054). Ces observations constituent à ce jour les seules occurrences connues de ces deux parasites pour l'époque romaine. Notons également que ces deux taxons sont rarement observés en paléoparasitologie, et seules quelques mentions sont connues pour d'autres périodes chronologiques. Par exemple, *Parascaris* sp. a été observé sur le site médiéval français de Charavines (Bouchet et Bentréd, 1997) et *Dioctophyma renale* sur le site néolithique suisse d'Arbon-Bleiche 3 (Le Bailly *et al.*, 2003c).

Enterobius vermicularis est également rarement observé au cours de nos analyses. Jusqu'à présent, il a été observé pour l'époque romaine uniquement en Egypte et à Israël alors que des échantillons spécifiquement d'origine biologique humaine ont été étudiés dans d'autres pays de l'Ouest de l'Empire. Cette localisation spécifique pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs. Tout d'abord, dans le cas de la mention égyptienne, les deux momies humaines correspondent

à un contexte particulier d'étude réalisée. Ensuite, l'autre observation ayant été réalisée dans un échantillon de sédiment, il existe peut-être dans ces régions des conditions climatiques plus favorables à la préservation des œufs d'*E. vermicularis* comparé aux pays ouest-européens²³. En effet, les œufs de ce parasites, semble-t-il plus fragiles, n'ont été observés en Europe de l'Ouest qu'à deux reprises : sur un site médiéval allemand et sur un site danois de la même période (Gonçalves *et al.*, 2003).

***Macracanthorhynchus* sp.**, **GRCapillariinae** et **GRToxocara** occupent quasiment la même aire de répartition localisée principalement dans le Nord de la France qui s'étend jusqu'à l'Ouest de l'Allemagne et en Belgique, excepté pour *Macracanthorhynchus* sp.

Acanthocephala est présent de l'Europe de l'Ouest jusqu'à l'Egypte et **GRRhabditida_Strongylida** est présent de l'Europe de l'Ouest jusqu'au Soudan. L'absence d'identification pour les taxons correspondants limite les interprétations concernant leur répartition.

²³ Deux autres sites du Soudan sont également positifs pour *Enterobius vermicularis* (Harter 2003).

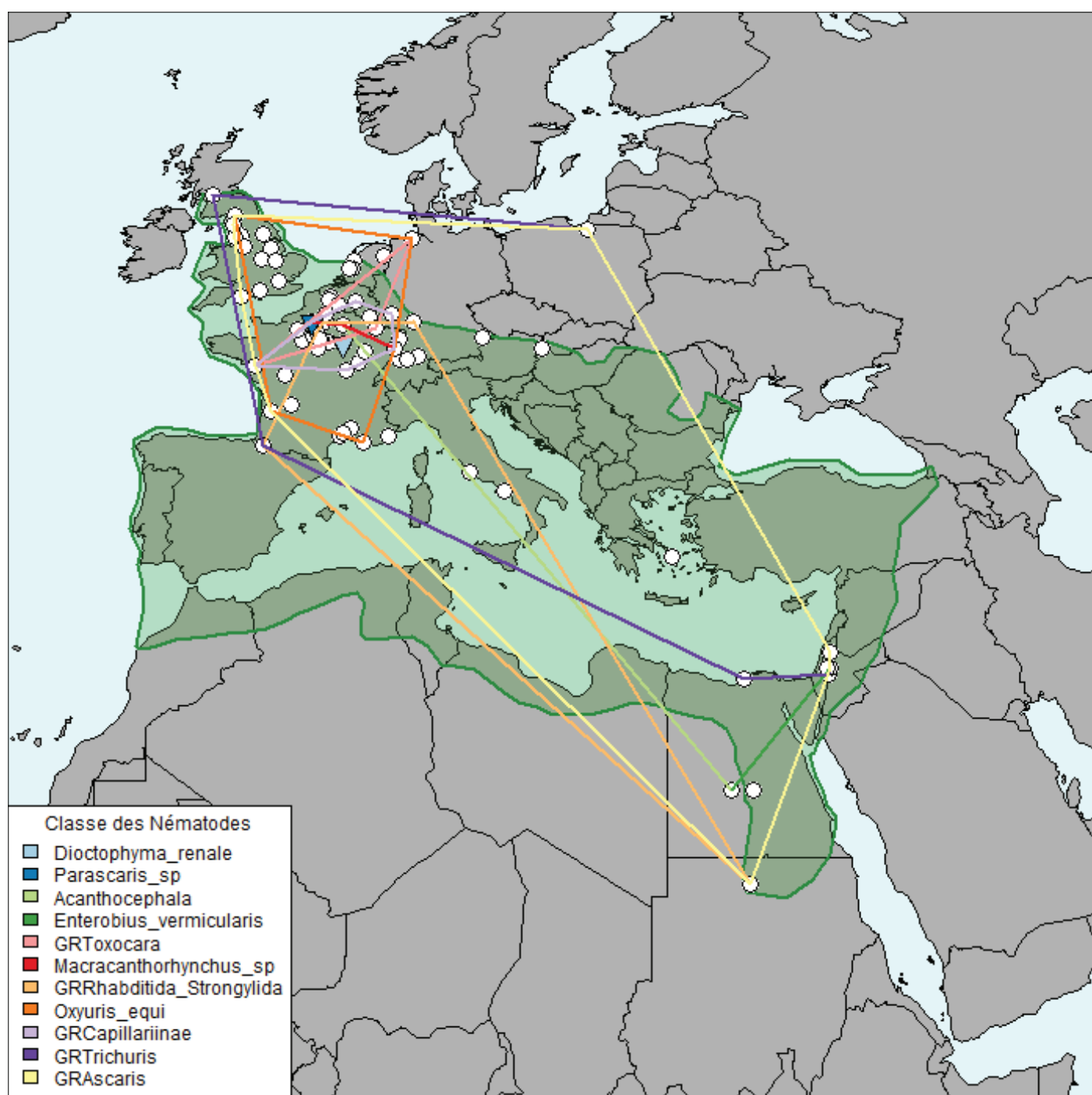


Figure 47 : Aires de répartitions maximales des taxons et groupes de taxons de la classe des Nématodes observés pour l'époque romaine (les lignes matérialisent les aires de répartition et les triangles inversés la localisation des taxons présents sur un seul site).

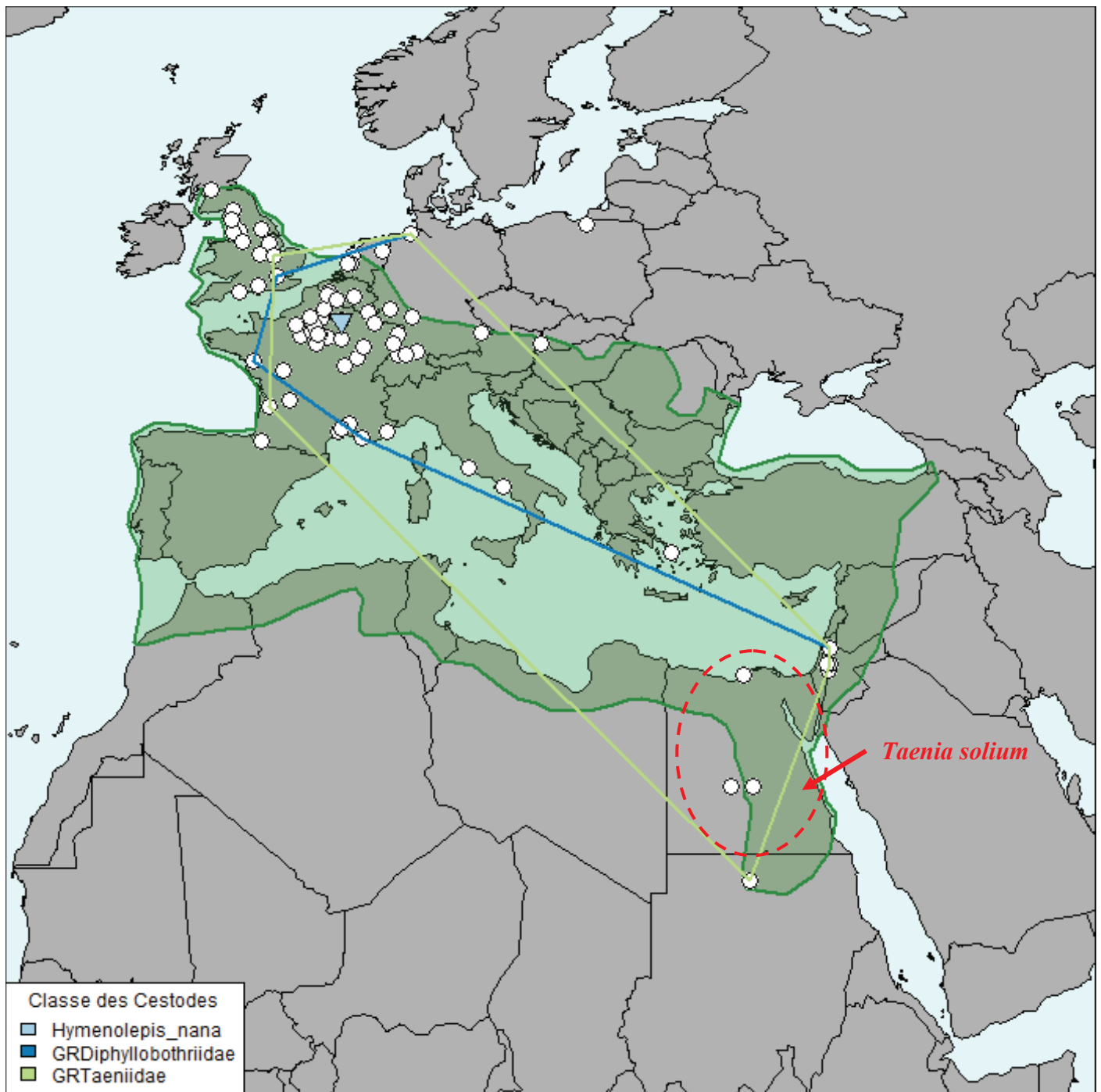


Figure 48 : Aires de répartitions maximales des taxons et groupes de taxons de la classe des Cestodes observés pour l'époque romaine (les lignes matérialisent les aires de répartition et les triangles inversés la localisation des taxons présents sur un seul site, la zone en pointillé représente la localisation approximative de *Taenia solium*).

La répartition des deux groupes de Cestodes (Figure 48 ci-dessus), **GRDiphylobothriidae** et **GRTaeniidae**, est similaire pour l'Europe de l'Ouest. En particulier, ils ne sont pas observés dans le Nord du Royaume-Uni contrairement à certains Nématodes. Pour le Moyen-Orient,

les Diphyllbothriidae sont absents d'Egypte et du Soudan au contraire des Taeniidae. Ils semblent apparaître plus tardivement, au moment des croisades, et auraient pu avoir été importé par les Européens (Le Bailly et Bouchet, 2013).

Taenia solium, le ténia du porc, est lui aussi identifié en Egypte dans une momie (ETP_0068, S_0044) dont la provenance exacte n'est pas connue. Conservée dans un musée italien, le sarcophage qui la contient provient du site de la nécropole d'Edfu (el Hassaia o Nag el Hassaia). Cependant la momie qu'il contient est celle d'une femme, alors que le sarcophage est celui d'un homme (Manacorda et *al.*, 2012). Il s'agit probablement d'une association réalisée au début du 20^{ème} siècle entre un sarcophage vide et une momie sans sarcophage, pratique courante à l'époque.

Enfin *Hymenolepis nana* s'observe seulement sur un site (site de Reims, S_0008) ce qui ne permet pas de discuter sa répartition dans l'Empire romain. Cette occurrence correspond également à la seule mention connue de ce parasite pour l'époque romaine.

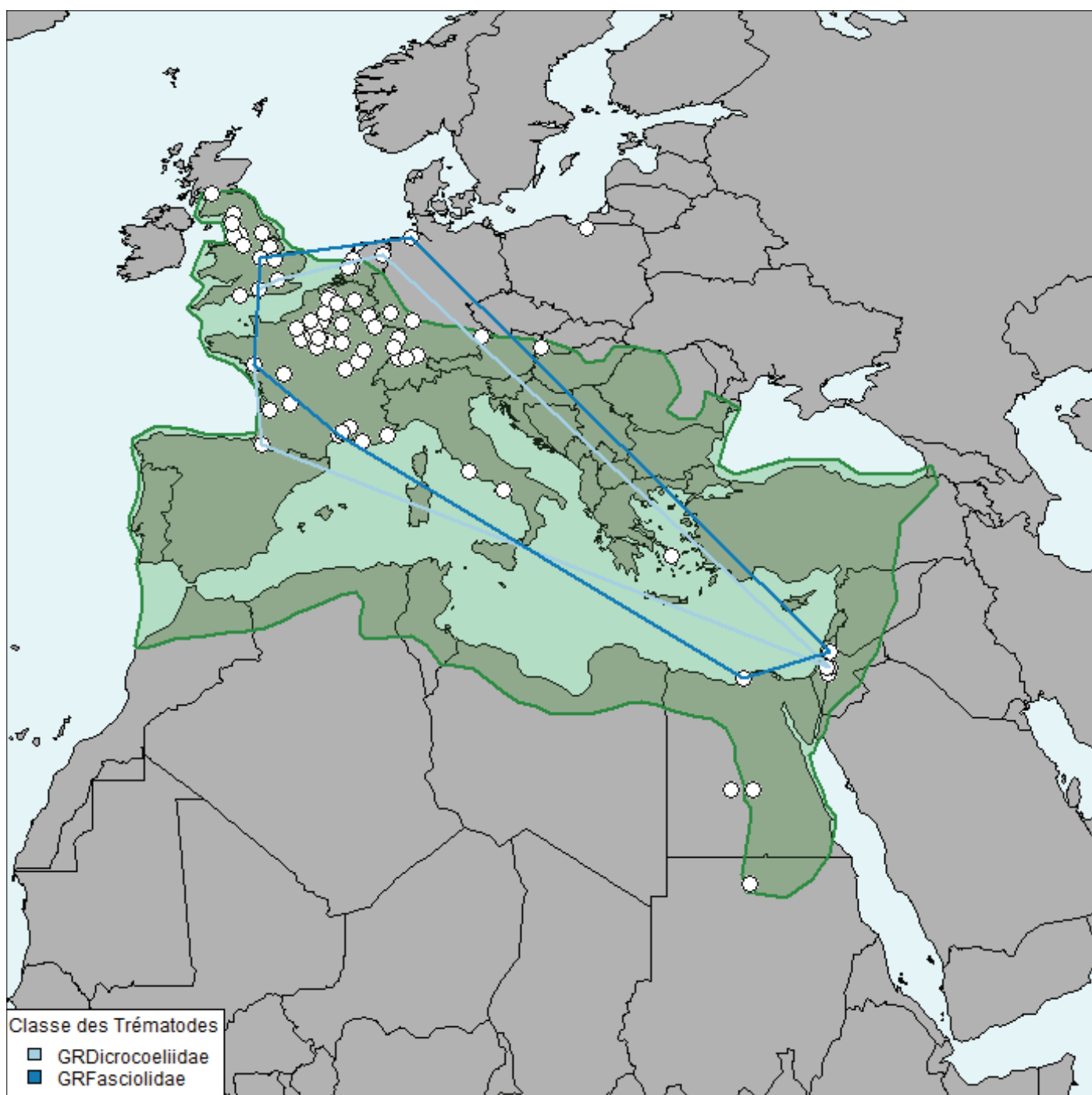


Figure 49 : Aires de répartitions maximales des taxons et groupes de taxons de la classe des Trématodes observés pour l'époque romaine (les lignes matérialisent les aires de répartition).

Les aires de répartition des Trématodes (Figure 49 ci-dessus) présentent des points communs avec celles des Diphylobothriidae. En particulier, ils ne sont pas observés dans le Nord du Royaume-Uni.

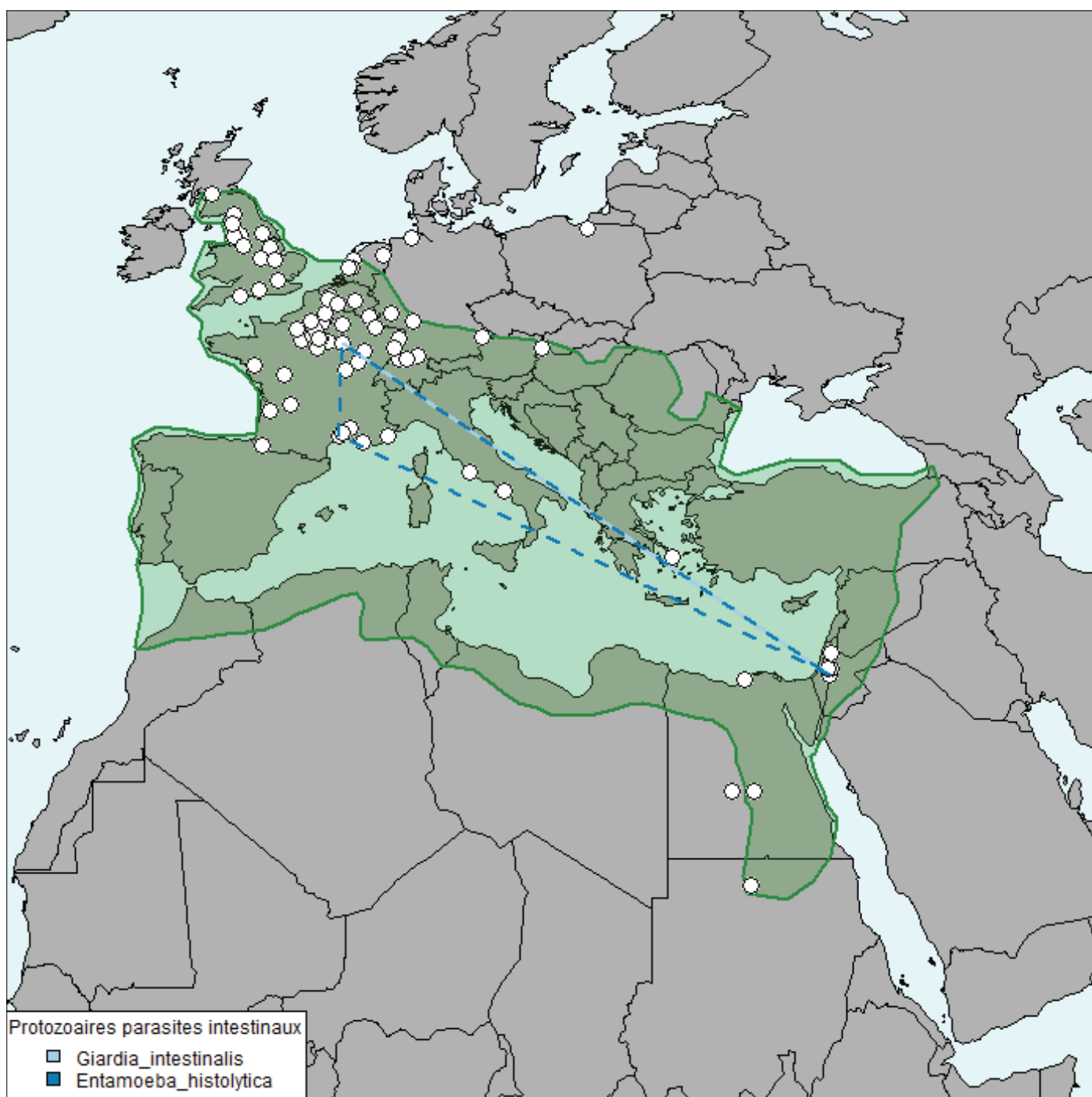


Figure 50 : Aires de répartitions maximales des taxons de protozoaires parasites intestinaux observés pour l'époque romaine (les lignes pointillées matérialisent les aires de répartition possibles mais non vérifiées).

Les protozoaires parasites intestinaux (*Entamoeba histolytica* et *Giardia intestinalis*) sont observés pour l'époque romaine avec certitude sur seulement deux sites situés en France (site de Troyes, S_0054 et site de Lattes, S_0009). En effet, pour le site de Nahal Mishmar (S_0028, ETP_0045) il convient de considérer les occurrences comme une suspicion de

présence et non comme une présence confirmée, car aucune photographie ne vient attester de leur observation (Witenberg, 1961). Pour le moment il n'y a donc pas assez d'informations disponibles pour discuter de leur répartition.

4.5.4.2 Informations apportées par les aires de répartition et discussion

A l'échelle de la zone d'étude, des aires géographiques particulières se différencient par rapport à l'aire de répartition de l'ensemble des sites étudiés.

Ces secteurs géographiques particuliers pourraient par exemple mettre en évidence des différences dans les habitudes alimentaires des populations de l'Empire romain ou encore dans les types d'élevages pratiqués dans certaines zones géographiques.

Les aires de répartitions maximales indiquent tout d'abord que les taxons observés en paléoparasitologie le sont dans tout l'Empire romain, même si la densité des sites est variable. Le nombre de sites étudiés est en effet plus important dans le Nord-Ouest que dans le reste de l'Empire romain ce qui explique par ailleurs le manque d'information pour le pourtour méditerranéen et les pays à l'Est de l'Empire, limitant les interprétations. En revanche dans la zone géographique la plus étudiée (Nord-Ouest de l'Empire romain), quelques taxons sont moins présents voire absents de certaines régions.

Pour les zones assez renseignées, l'absence de mise en évidence peut tout simplement indiquer l'absence des parasites. Il convient dans ce cas de prendre en considération les parasites connus pour les époques antérieures. Par exemple les taxons de GRCapillariinae ne sont pas observés au Royaume-Uni alors qu'ils le sont sur au moins un site daté du Mésolithique (Dark, 2004)²⁴.

Cependant d'autres biais sont à considérer, comme la taphonomie et la conservation différentielle des œufs de parasites (cas d'*Ascaris* sp. ou d'*E. vermicularis*) ou

²⁴ Les œufs observés dans cette étude sont attribués à *Trichuris* sp. mais les caractéristiques présentent sur les photographies correspondent à celles des taxons de GRCapillariinae.

l'échantillonnage, parfois inadapté à la mise en évidence de certains parasites. L'écologie des parasites doit aussi être prise en compte. Certaines zones géographiques, de par leur climat, ne sont pas favorables au développement des cycles parasitaires.

Une fois ces différents biais potentiels écartés ou discutés, certaines zones géographiques se distinguent néanmoins. Le Royaume-Uni, par exemple, se distingue des autres pays étudiés par le nombre plus faible de taxons de Nématodes observé (seulement quatre sur les douze taxons présentés), ainsi que par l'absence dans sa partie Nord des taxons de la classe des Cestodes et de celle des Trématodes.

Cette biodiversité plus faible pourrait tout d'abord être liée au fait que le Royaume-Uni est formé par des îles. En effet il a été observé que pour une même espèce hôte, les populations insulaires sont moins parasitées que les populations continentales (Courchamp et Sugihara, 1999).

Ces différences auraient pu aussi s'expliquer par le nombre d'études réalisées. Or, le Royaume-Uni se situe dans la zone la plus renseignée de l'Empire romain, et correspond au deuxième pays le plus étudié après la France (voir Figure 16, p. 74, et **3.2.4**

Localisation géographique et chronologie des sites, p. 72).

Une autre information intéressante concerne la prévalence des taxons. Actuellement *Dicrocoelium dentriticum* est largement répandu en Europe mais sa distribution au Royaume-Uni est limitée. La prévalence de ce taxon est importante sur certaines îles de la côte ouest de l'Ecosse et les mentions en Angleterre sont rares (Cranwell *et al.*, 2010; Tarry, 1969). Il en était peut-être de même à l'époque romaine ce qui pourrait expliquer l'absence des taxons de GRDicrocoeliidae.

Il est difficile de savoir si les prévalences de chaque taxon pour l'époque romaine correspondent ou non aux prévalences actuelles car le nombre d'occurrence est trop faible et ne permet pas de déterminer les valeurs anciennes de ces prévalences.

Cependant, les informations concernant la faible présence de *Dicrocoelium dentriticum* au Royaume-Uni remontent au moins à 1966, soit il y a 50 ans (Pike et Biddle, 1966), ce qui pourrait indiquer que ce taxon est faiblement présent dans cette région depuis plus longtemps. Un élément de l'environnement pourrait y être défavorable car il s'observe principalement dans les régions qui possèdent des sols secs, calcaires et alcalins qui favorisent ses hôtes intermédiaires (gastéropode terrestre et fourmis) (Berger, 2015; Chartier et Reche, 1992; Otranto et Traversa, 2003).

L'humidité des sols dépend de plusieurs facteurs (composition, épaisseur des horizons...) et principalement du climat ainsi que des précipitations (Jones *et al.*, 2005). Il est difficile de déterminer si les sols de certaines régions de l'Empire romain étaient plus secs que d'autres d'autant plus que des changements climatiques ont eu lieu au cours de la période romaine (Büntgen *et al.*, 2011).

Au contraire, la composition des sols et leur pH dépend en grande partie des roches sous-jacentes. Concernant les valeurs du pH du sol, Reuter *et al.* (2008) précisent que les valeurs les plus basses correspondent à des sols développés sur des roches acides (granite...), alors que les valeurs les plus hautes sont liées à la présence de sédiments calcaires et des roches basiques. Selon la base de référence mondiale pour les ressources des sols²⁵ (WRB), deux types de sols sont calcaires : les Calcisols et les Leptosols.

²⁵ Système international de classification des sols approuvé par l'Union internationale des sciences du sol (International Union of Soil Sciences - IUSS).

Pour l'Europe, la Figure 51 (p. 163) présente la répartition de ces deux types de sols (Jones *et al.*, 2005), et la Figure 52 (p. 163) le pH des sols à gauche (JRC of the European Communities, 2010) et les sites d'époque romaine comportant des taxons de GRDicrocoeliidae à droite (en vert).

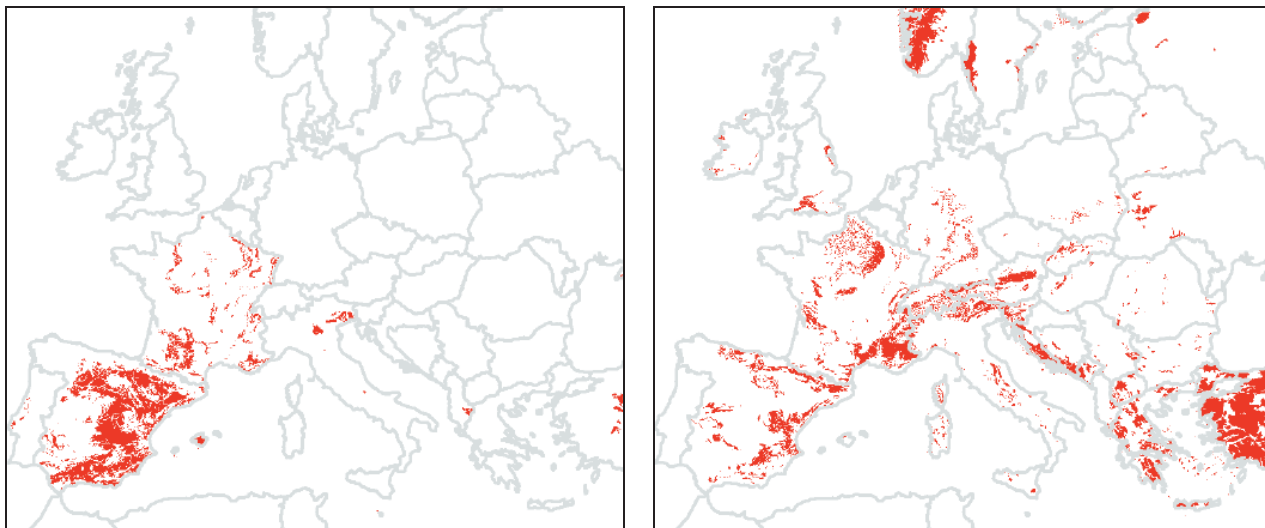


Figure 51 : Répartition en Europe des sols calcaires de type Calcisols à gauche et Leptosols à droite (cartes modifiées d'après Jones *et al.*, 2005).

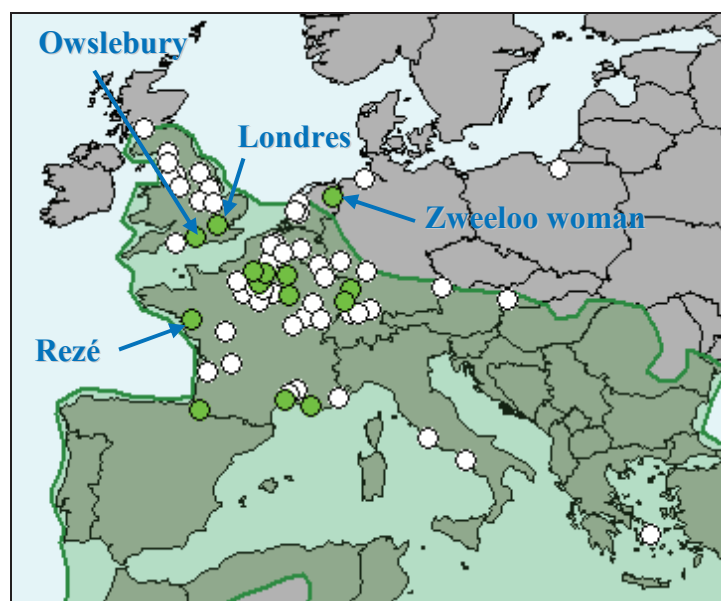
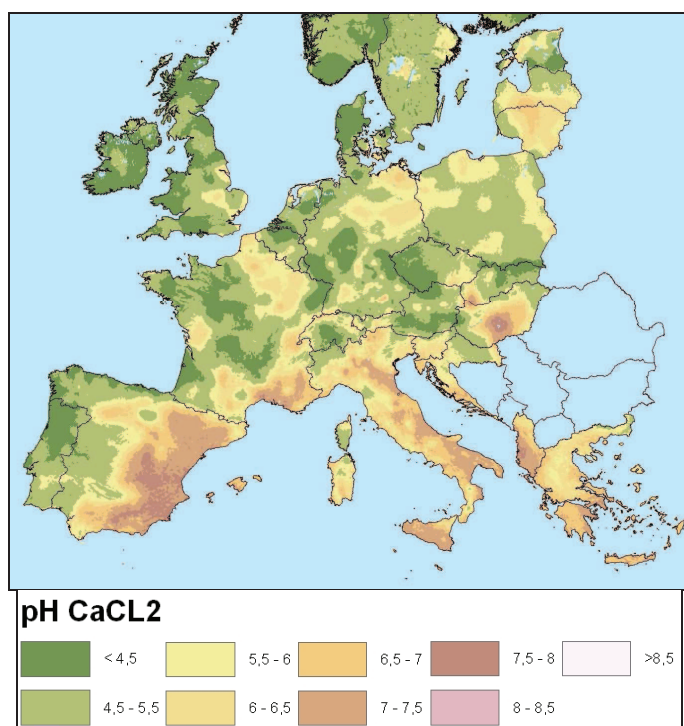


Figure 52 : Carte du pH des sols en Europe à gauche (modifiée d'après JRC of the European Communities, 2010) et sites d'époque romaine comportant des taxons de GRDicrocoeliidae (autres sites étudiés en blanc et nom des sites particuliers en bleu).

Les cartes montrent que le pH des sols au Royaume-Uni est plutôt acide, en particulier dans le Nord, et qu'aucun sols calcaires n'est présent, semble-t-il, à l'exception d'une zone sur la côte Sud et d'une autre sur la côte Est un peu plus au Nord (Leptosols). La plupart des sites étudiés au Royaume-Uni se trouvent donc dans une région où les sols sont plutôt acides et non calcaires. Concernant les deux sites positifs pour le genre *Dicrocoelium*, Owslebury (S_0020, ETP_0032) se trouve au niveau de la zone comportant des sols calcaires sur la côte Sud. L'autre site positif, Londres (S_0010, ETP_0029), se trouve en revanche sur une zone pour laquelle le sol est acide et non calcaire.

En dehors de ce pays, les autres sites d'époque romaine comportant ce taxon se trouvent sur des sols calcaires et/ou alcalins sauf le site de Rezé (S_0071), et le site de découverte de la femme de Zweeloo (Zweeloo woman, S_0025). Pour le Nord du Royaume-Uni, le pH des sols plutôt acide et le fait qu'aucun sol calcaire n'y soit présent pourrait donc expliquer l'absence de ce taxon dans cette région.

Certaines études ont cependant, montré la présence de *Dicrocoelium* dans des régions où les sols sont peu calcaires (Ducháček et Lamka, 2003). Pour vérifier cette hypothèse concernant la présence de *Dicrocoelium* sp. en lien avec les types de sols, il faudrait à présent multiplier les études en paléoparasitologie afin de compléter la liste des occurrences de ce taxon. Il faudrait en particulier contrôler les paramètres environnementaux de chacun des sites étudiés (types de sol, pH...).

Pour les autres taxons et groupes de taxons, la répartition des sites est homogène au sein des aires de répartition maximales (voir Volume 2, Annexe 9, p. 22-34) et aucune zone particulière n'est visible en dehors du Royaume-Uni discuté ici.

4.5.5 Variations par siècles

Les résultats obtenus au cours de ce travail de thèse sont présentés pour l'époque romaine dans son ensemble. Initialement, un découpage chronologique plus précis était prévu, mais les intervalles de temps correspondant aux datations de chaque échantillon étudié sont trop variables (Intervalle compris entre 1 et 6), et s'étendent le plus souvent sur plusieurs siècles. De plus, certains échantillons ont des datations non renseignées ou sont datés de "l'époque romaine", sans plus de précision. Afin de prendre en compte l'ensemble des résultats obtenus, il a donc été décidé de ne procéder à aucun découpage chronologique particulier. Cependant l'époque romaine correspond à une période de six siècles, du 1^{er} s. AEC au 5^{ème} s. EC, et des variations pourraient s'observer par exemple dans les fréquences ou les répartitions géographiques de certains taxons.

Le tableau suivant présente les effectifs correspondant à chaque intervalle de temps, compris entre 1 et 6, pour les échantillons étudiés :

Intervalle	Nombre d'échantillons	Nombre de sites
1	446	38
2	192	33
3	64	10
4	25	5
5	4	2
5 ou 6 (Epoque romaine)	170	22

Tableau 23 : Effectifs des échantillons et des sites pour chaque intervalle de temps.

Les intervalles les plus représentés correspondent à une période de un à deux siècles (641 échantillons sur 901, soit environ 71 % du total) et permettent de proposer un découpage chronologique par siècle. Les résultats de chaque siècle d'Intervalle égal à 1 sont associés à ceux d'Intervalle égal à 2 dont le TAQ correspond au siècle considéré. Par exemple pour le 2^{ème} s. EC, les résultats des échantillons datés de 2_EC sont associés à ceux datés entre 1_EC et 2_EC. Le tableau suivant présente le nombre de sites correspondant aux taxons²⁶ pour chaque siècle de l'époque romaine :

²⁶ Certains taxons sont observés dans des échantillons dont la datation s'étend sur plus de deux siècles ou datés de l'époque romaine ce qui explique leur absence de ce tableau (*Diphyllbothrium* sp. très ponctué par exemple).

Taxons	1_AEC (5)	1_EC (20)	2_EC (21)	3_EC (23)	4_EC (6)	5_EC (8)
<i>Trichuris trichiura</i>	0	1	4	1	0	1
<i>Trichuris sp.</i>	4	16	16	18	5	5
<i>Capillaria sp.</i>	0	0	1	3	0	0
<i>Capillaria</i> ponctué	0	2	1	2	0	0
<i>Capillaria</i> réticulé	0	3	2	4	0	1
<i>Capillaria</i> type <i>hepatica</i>	0	3	1	3	0	0
<i>Dioctophyma renale</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Ascaris lumbricoides</i>	0	1	3	0	0	2
<i>Ascaris sp.</i>	2	12	13	19	1	4
Ascaridé	3	8	7	9	2	1
<i>Parascaris sp.</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Toxocara sp.</i>	0	1	0	1	0	1
<i>Oxyuris equi</i>	0	7	3	1	0	0
<i>Enterobius vermicularis</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Strongyloides sp.</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Ankylostoma sp.</i>	0	0	0	0	0	1
Ankylostomidé	0	2	2	2	0	0
Strongle	0	1	0	1	0	0
Strongylida	0	0	0	0	0	1
<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	0	3	1	1	0	0
Acanthocephala	0	1	0	0	0	0
<i>Hymenolepis nana</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Taenia solium</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Taenia sp.</i>	0	0	0	0	0	2
<i>Echinococcus granulosus</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Taenia/Echinococcus sp.</i>	1	8	3	4	0	0
<i>Diphyllobothrium sp.</i> lisse	0	3	2	2	0	0
<i>Diphyllobothrium sp.</i> ponctué	0	0	1	0	0	1
<i>Diphyllobothrium/Spirometra sp.</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Fasciola hepatica</i>	0	2	1	2	0	0
<i>Fasciola sp.</i>	0	1	2	4	0	3
<i>Dicrocoelium dentriticum</i>	0	0	1	1	1	0
<i>Dicrocoelium sp.</i>	0	6	3	5	0	0
<i>Entamoeba histolytica</i>	0	1	2	0	0	0
<i>Giardia intestinalis</i>	0	1	1	0	0	0

Tableau 24 : Nombre de sites par taxons pour chaque siècle de l'époque romaine. Les lignes en gras correspondent aux taxons les plus représentés (Nombre de sites positifs pour chaque siècle entre parenthèses, 1_AEC=1_AEC+2_AEC - 1_AEC, 1_EC=1_EC+1_AEC - 1_EC, 2_EC=2_EC+1_EC - 2_EC, 3_EC=3_EC+2_EC - 3_EC, 4_EC=4_EC+3_EC - 4_EC et 5_EC=5_EC+4_EC - 5_EC).

4.5.5.1 Fréquences des principaux taxons par siècle

Pour chaque siècle, des variations s'observent au sein de chaque taxon. Afin de permettre la comparaison et l'interprétation de ces variations, nous avons retenu ceux présents sur au moins cinq sites (en gras dans le Tableau 24 ci-dessus). Le Tableau 25 (p. 167) présente pour chaque siècle les fréquences des principaux taxons retenus et la Figure 53 (p. 168) leur évolution par siècle. Les Ascaridés correspondant à *Ascaris* sp. (altération des œufs due à la taphonomie), les résultats obtenus pour ces deux taxons ont été associés afin de limiter les effets de variation dus à la conservation différentielle des œufs de parasites.

Taxons/GRTaxons	1_AEC (5)	1_EC (20)	2_EC (21)	3_EC (23)	4_EC (6)	5_EC (8)
<i>Trichuris</i> sp.	80	80	76,19	78,26	83,33	62,50
<i>Ascaris</i> /Ascaridé*	80	70	71,43	91,30	50	50
<i>Oxyuris equi</i>	0	35	14,29	4,35	0	0
<i>Taenia</i> / <i>Echinococcus</i> sp.	20	40	14,29	17,39	0	0
<i>Dicrocoelium</i> sp.	0	30	14,29	21,74	0	0

Tableau 25 : Fréquences des principaux taxons et groupes de taxons par site pour chaque siècle de l'époque romaine. * : *Ascaris*/Ascaridé correspond aux résultats associés d'*Ascaris* sp. et d'Ascaridé (Nombre de sites positifs pour chaque siècle entre parenthèses;
 $1_AEC = 1_AEC + 2_AEC - 1_AEC$, $1_EC = 1_EC + 1_AEC - 1_EC$, $2_EC = 2_EC + 1_EC - 2_EC$,
 $3_EC = 3_EC + 2_EC - 3_EC$, $4_EC = 4_EC + 3_EC - 4_EC$ et $5_EC = 5_EC + 4_EC - 5_EC$).

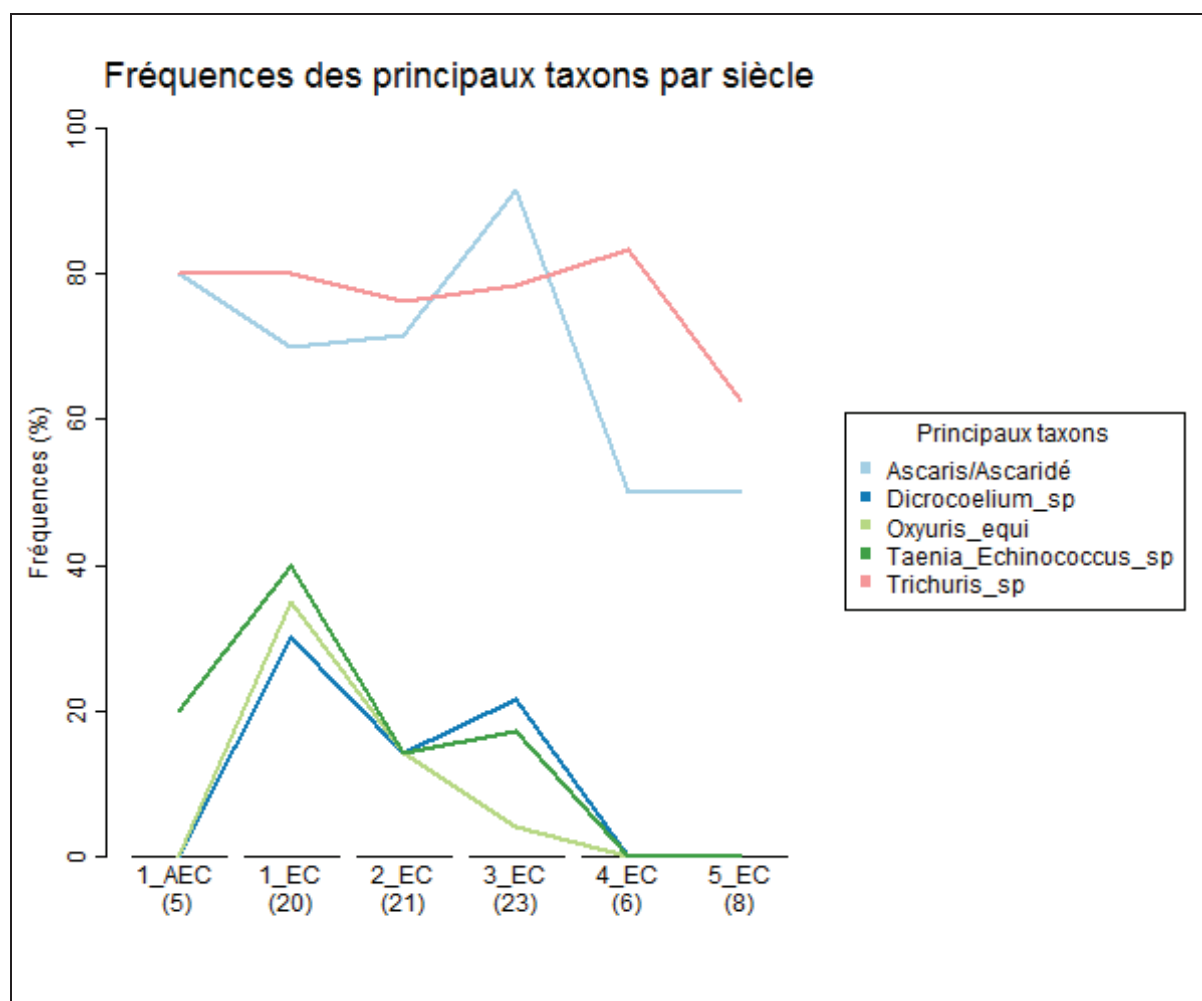


Figure 53 : Evolution des fréquences par siècle des principaux taxons (Nombre de sites positifs pour chaque siècle entre parenthèses; 1_AEC=1_AEC+2_AEC - 1_AEC, 1_EC=1_EC+1_AEC - 1_EC, 2_EC=2_EC+1_EC - 2_EC, 3_EC=3_EC+2_EC - 3_EC, 4_EC=4_EC+3_EC - 4_EC et 5_EC=5_EC+4_EC - 5_EC).

Pour chacun des principaux taxons, des variations de fréquences sont visibles entre le 1er s. AEC et le 5ème s. EC. Les courbes des taxons semblent mettre en évidence des alternances de phases hautes et basses. Dans la plupart des cas, les fréquences des taxons ont tendance à augmenter au 1er s. EC et à diminuer au 2ème s. EC, puis à augmenter au 3ème s. EC avant de diminuer de nouveau au 4ème s. EC.

Cependant, le nombre de sites étudiés pour le 1er s. AEC et du 4ème au 5ème s. EC est faible et les sites étudiés en paléoparasitologie pour l'époque romaine sont datés pour la plupart entre le 1er s. EC et le 3ème s. EC (voir *supra* **3.2.4**

Localisation géographique et chronologie des sites, p. 72).

Ainsi, les variations de fréquences observées pour cette période semblent indiquer que le 2ème s. EC pourrait correspondre à une période particulière de l'époque romaine. Ces fréquences plus faibles observées pourraient indiquer qu'un changement ou un évènement défavorable aux parasites étudiés ici est survenu au 2ème s. EC. En effet, cette baisse de fréquence concerne l'ensemble des taxons et ne se limite pas à certains d'entre eux ce qui montre que ce phénomène pourrait être global et non isolé.

Certains helminthes ont des cycles de vie qui dépendent des conditions environnementales. Par exemple, la prévalence d'*Ascaris lumbricoides* est plus importante dans les pays chauds et humides en comparaison des pays tempérés (Ash et Orihel, 2007).

Une étude récente (Büntgen *et al.*, 2011) présente les variations climatiques européennes des 2500 dernières années. La Figure 54 (p. 170) montre qu'au cours du 2ème s. EC les résultats mettent en évidence une augmentation des températures et une baisse des précipitations.

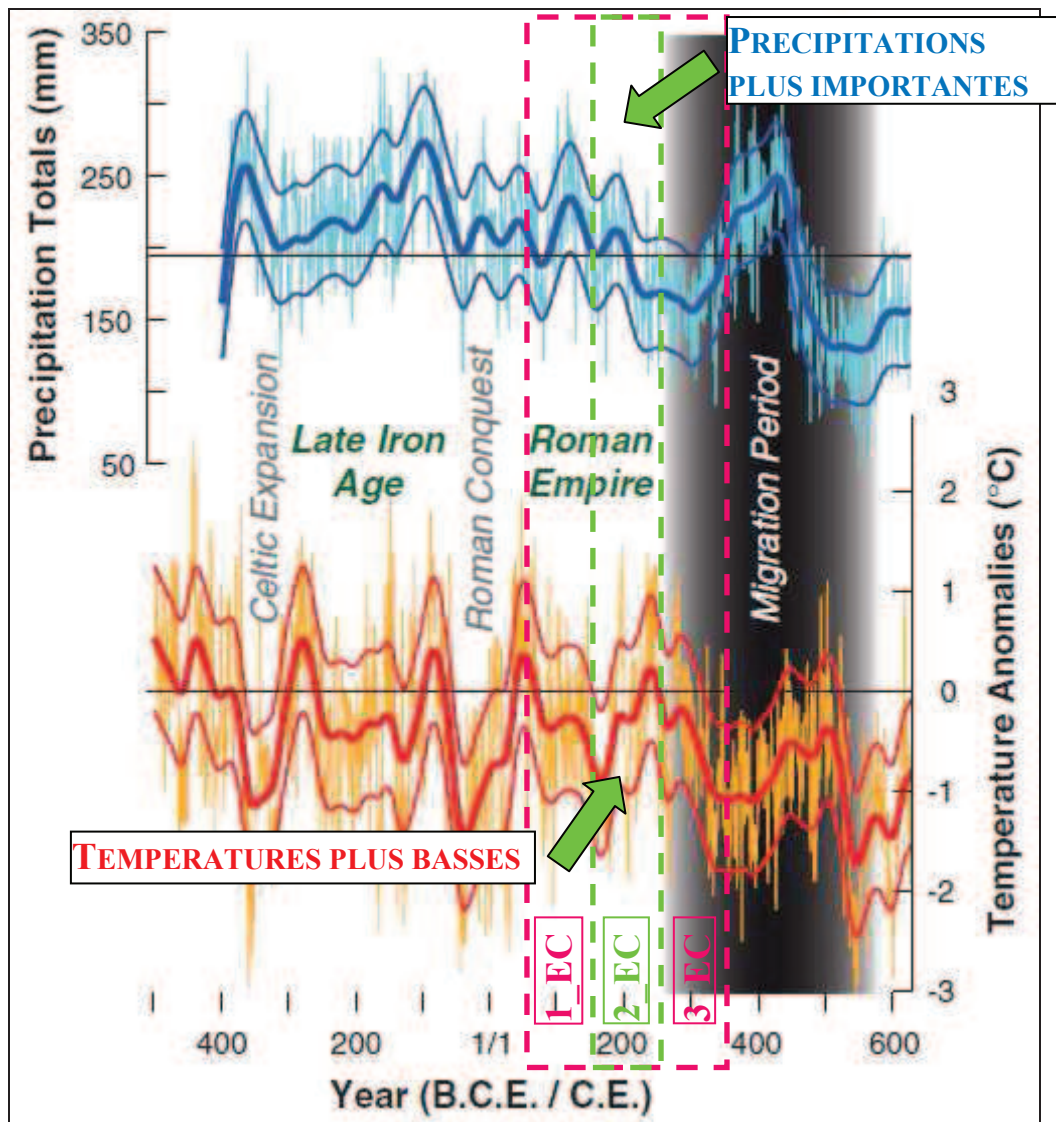


Figure 54: Evolution des températures et des précipitations. Les flèches indiquent les anomalies de température pour le 2ème s. EC (modifié d'après Büntgen *et al.* 2011).

Ces changements climatiques pourraient contribuer à expliquer les variations observées dans les fréquences des parasites. Il reste cependant difficile de déterminer s'ils peuvent en être à l'origine ou s'ils ne font qu'y contribuer.

Pour les principaux taxons étudiés, des variations de fréquences s'observent par siècles au cours de l'époque romaine. Si la période de temps considérée est plus importante, d'autres variations peuvent exister. Dans la partie suivante, le cas particulier d'*Oxyuris equi* qui est traité montre des variations au niveau de ses aires de répartitions maximales entre l'Age du Fer et l'époque moderne.

4.5.5.2 Répartitions géographiques : l'exemple d'*Oxyuris equi*

Au cours de ce travail de thèse, *Oxyuris equi* a fait l'objet d'un travail particulier. Lors des différentes synthèses de connaissances, tant dans les textes anciens que d'après les données paléoparasitologiques disponibles, nous nous sommes aperçus que l'oxyure du cheval était présent de manière importante au cours de la période antique. Ainsi une collecte globale des données sur ce parasite a été réalisée pour toutes les périodes, et synthétisées dans deux articles²⁷. Cette synthèse a permis d'étudier l'évolution de sa répartition de la Protohistoire à l'époque contemporaine. Le tableau détaillé des occurrences et les informations les concernant est présenté en Annexe 10 (Volume 2, p. 35). La Figure suivante représente les aires de répartition de ces occurrences regroupées par grandes périodes chronologiques :

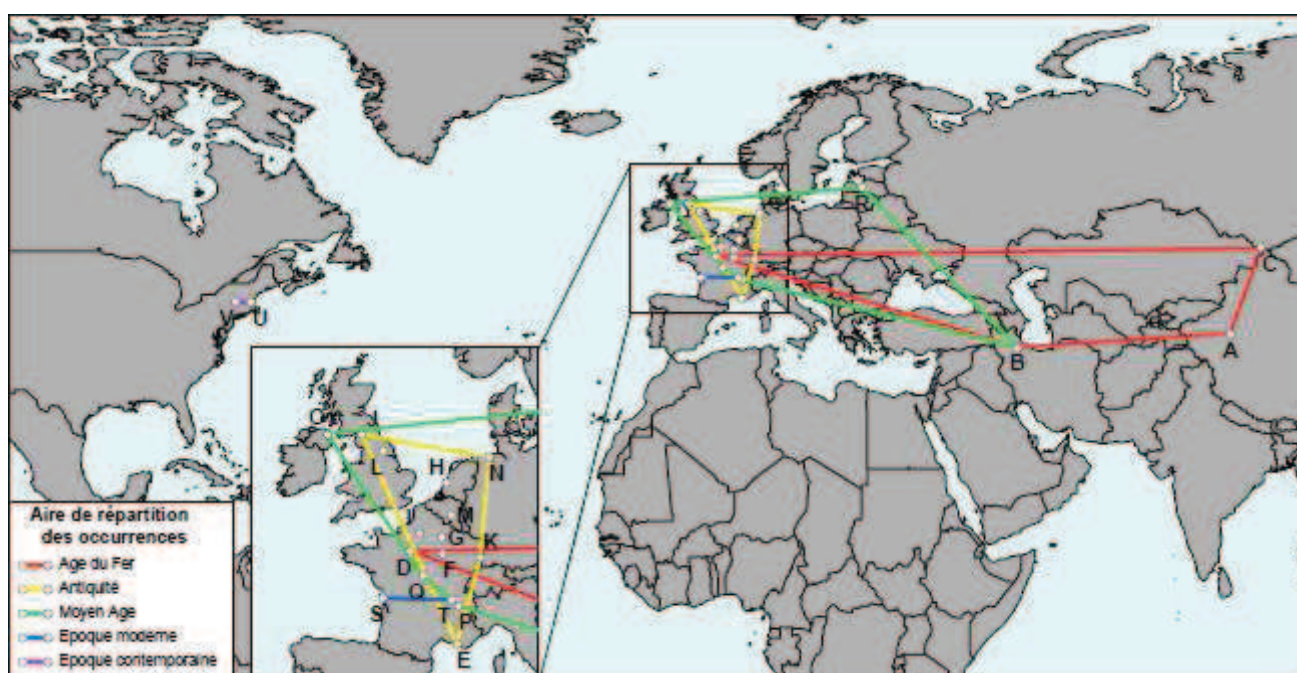


Figure 55 : Localisation des sites comportant *Oxyuris equi* sur une carte mondiale (points blancs : sites positifs pour *O. equi*; A: Djoumboulak Koum; B: Chehrabad; C: Berel'; D: Fontaine la Guyon; E: Marseille; F: Troyes; G: Reims; H: Valkenburg on Rhine; I: Beauvais; J: Carlisle; K: Horbourg-Wihr; L: York; M: Namur; N: Feddersen wierde; O: Deer Park Farms; P: Charavines; Q: Bourges; R: Riga; S: Brouage; T: Lyon; U: Lowell; V: Albany).

²⁷ Ce travail est publié dans la revue *Infection Genetics and Evolution* (Dufour *et al.*, 2015) et dans la revue *Archéopages* (Dufour et Le Bailly, 2015).

Les aires de répartitions semblent montrer une progression du parasite de l'Est vers l'Ouest au cours du temps, de la Protohistoire à l'époque contemporaine. Cependant, pour l'Ancien monde, cette apparente progression trouve un biais dans un échantillonnage pas toujours favorable à l'observation du parasite et par la rareté des chevaux sur les sites étudiés pour les périodes les plus anciennes.

En effet, le cycle de vie, la biologie et la haute spécificité de ce parasite avec les équidés, leurs hôtes, implique une transmission interindividuelle. Chaque individu est infecté par ses congénères (voir **4.4.1.7 *Oxyuris equi***, p. 114), et par conséquent il existe également une transmission du parasite des ancêtres à leurs descendants. Hugot *et al.* (2014) ont récemment identifié un œuf d'Oxyuridé dans un coprolithe associé à des espèces de proto-mammifères de la classe des Cynodontes, ce qui pourrait indiquer que les Oxyuridés sont associés aux mammifères depuis des millions d'années. Les équidés ont donc pu être porteurs d'*Oxyuris equi* depuis leur apparition ce qui rend étonnant le fait de ne pas retrouver ce taxon avant l'Age du Fer.

Nous l'avons vu, plusieurs paramètres conditionnent l'observation des parasites (voir **4.5.2 Fréquences des taxons et groupes de taxons par sites**, p. 136) auxquels vient s'ajouter la nature des sites archéologiques étudiés ainsi que la présence des hôtes uniques ou définitifs sur les sites. En effet, l'ensemble des études paléoparasitologiques sont réalisées sur des sites occupés par l'homme. Par conséquent, l'observation de l'oxyure du cheval n'est possible que si des équidés sont présents sur le site soit parce qu'ils sont chassés et consommés, soit parce qu'ils sont domestiqués et utilisés par l'homme (traction, transport, déplacement...). Pour la période précédant leur domestication (survenue avant la fin du Néolithique), les restes de chevaux sont peu nombreux en Europe de l'Ouest, ce qui indique d'une part que les chevaux étaient peu chassés (Arbogast *et al.*, 2002) et pourrait expliquer d'autre part l'absence du parasite avant l'Age du fer.

Cependant, le site néolithique de "Chalain 3" fait exception et compte un nombre important de restes de chevaux. Les études réalisées sur les ossements retrouvés montrent qu'il y avait à proximité du site abattage, partage des corps et consommation des animaux (Arbogast *et al.*, 2002). Ce même site a été étudié en paléoparasitologie (Dommelier-Espejo, 2001), mais aucun œuf d'*Oxyuris equi* n'a été observé alors que de nombreux autres taxons sont présents. Cependant, la grande majorité des échantillons étudiés correspondent à des coprolithes de carnivores et les quelques échantillons de couche d'occupation analysés se sont malgré tout révélés négatifs pour le parasite ce qui montre que l'origine biologique et la nature des

échantillons étudiés joue un rôle important dans l'observation de ce taxon, et de manière plus générale pour l'ensemble des parasites.

A partir de l'Age du Fer, les restes de chevaux sont plus nombreux sur les sites archéologiques et c'est à cette période que sont observés les premiers œufs d'*Oxyuris equi* sur le site de Djoumboulak Koum (Figure 55-A, désert du Taklamakan, Ouest de la Chine), de Chehrabad (Figure 55-B, mine de sel, Iran) et de Berel' (Figure 55-C, kourgane scythe, Kazakhstan). Pour l'époque romaine, les mentions de l'oxyure du cheval sont les plus nombreuses (douze des vingt-sept occurrences, soit environ 45 %). L'utilisation par l'armée au cours de la conquête romaine des chevaux, des ânes et des mules pour le transport des troupes, du matériel et du ravitaillement a pu contribuer à rendre plus présent le parasite sur les sites étudiés. Ce nombre plus élevé de mentions pour cette époque pourrait également indiquer que la prévalence de ce parasite était plus importante chez les équidés romains.

Concernant le continent américain, la diffusion du parasite de l'Est vers l'Ouest, autrement dit de l'Ancien au Nouveau monde, se vérifie. En effet, le cheval a disparu des Amériques autour de 8000 AEC, et n'a été réintroduit qu'au cours des 15^{ème} s. EC - 16^{ème} s. EC par les premiers conquistadors en Amérique centrale (Digard, 2004; Perriot, 1997). La haute spécificité d'*Oxyuris equi* liée à l'absence de son hôte le cheval entre le 8^{ème} millénaire AEC et le 15^{ème} s. EC suffit à expliquer l'absence du parasite sur le continent américain entre ces deux dates. Pour le moment les études paléoparasitologiques réalisées pour des périodes antérieures au 8^{ème} millénaire AEC sont peu nombreuses ce qui ne permet pas d'apporter des informations sur le parasite. Après le 15^{ème} s. EC, l'hôte du parasite est réintroduit mais l'oxyure du cheval n'est pas observé avant le 19^{ème} s. EC (Etats-Unis, site de "Boott Mills Boardinghouse" à Lowell, Figure 55-U, et site de Maiden Lane Pedestrian Bridge à Albany, Figure 55-V). L'absence de résultats pourrait s'expliquer non seulement par l'origine biologique des échantillons étudiés principalement humaine (momies...) mais aussi par le type de vestiges principalement étudié (structures funéraires...). Les deux seules mises en évidence de l'oxyure du cheval proviennent de l'étude d'échantillons de sédiments issus de latrines (Lowell) et du remplissage d'un caniveau en pierre (Albany), soit deux échantillons contenant probablement un mélange de matières fécales variées, dont certaines d'origine équine. Pour finir, ces deux mentions récentes nord-américaines pourraient aussi indiquer une introduction plus récente du parasite, via les importations de chevaux autour du 17^{ème} s. EC

(seconde colonisation européenne du Canada), comme cela a été démontré pour la petite douve du foie *Dicrocoelium lanceolatum* (Le Bailly et Bouchet, 2010).

L'étude de la répartition des parasites sur une plus longue période de temps peut donc montrer des variations, mais de nombreux paramètres sont à prendre en compte (biologie du parasite, échantillonnage, présence des hôtes...) pour interpréter les observations, et déterminer si elles sont effectives et liées uniquement au parasite étudié, ou si elles s'expliquent par les conditions d'analyse (échantillonnage, origine biologique...). Dans certains cas particuliers, d'autres paramètres viennent s'y ajouter. Comme nous allons le voir dans la partie suivante qui s'attache à l'étude particulière du matériel humain, donc d'origine biologique unique, la répartition géographique des taxons affectant l'homme ainsi que leurs fréquences dépendent surtout de l'échantillonnage, auquel s'ajoutent d'autres paramètres tels que par exemple les traitements funéraires.

4.5.6 Discussion autour du matériel d'époque romaine d'origine humaine

4.5.6.1 Matériel étudié et premiers résultats

Notre synthèse a montré qu'il s'agissait soit d'échantillons de coprolithes, soit d'échantillons liés à la présence de restes humains (sédiments, organe ou contenu organique...).

Deux coprolithes issus des données publiées et datés du 2^{ème} s. EC ont une origine biologique humaine. Le premier provient du site de York (Royaume-Uni, S_0015, ETP_0030) et le second du site de Nahal Mishmar²⁸ (Israël, S_0028, ETP_0045).

Le premier coprolithe contient *Ascaris lumbricoides* et *Trichuris trichiura*. Le second contient en plus de *Trichuris trichiura*, deux protozoaires parasites intestinaux identifiés comme étant *Entamoeba histolytica* et *Giardia intestinalis* (suspicion, car pas de photo). Au final, *Trichuris*

²⁸ Deux coprolithes ont été étudiés sur ce site mais aucune distinction n'est faite dans les résultats (Witenberg, 1961).

trichiura est présent dans ces deux coprolithes et *Ascaris lumbricoides* uniquement dans celui de York.

Les autres échantillons correspondent à quarante-six individus (momies et squelettes) issus de seize sites²⁹. Le Tableau 26 (p. 178) présente les individus étudiés classés par sites ainsi que les résultats obtenus, et la Figure 56 (p. 179) présente la localisation et les aires de répartitions maximales des taxons observés dans ces restes humains. Des cartes plus précises figurant la localisation des différents taxons retrouvés dans les individus étudiés sont présentées en Annexe 11 (Volume 2, p. 39-42).

Remarque

A noter qu'une étude mentionne la présence d'œufs de *Capillaria* type *hepatica* chez l'homme, dans des kystes hydatiques prélevés sur un squelette d'époque romaine du site d'Amiens (Mowlavi *et al.*, 2014). Cependant, les dimensions des œufs et les caractéristiques morphologiques qui s'observent sur les photographies présentées dans l'article correspondent plus à celles des œufs de *Trichuris* sp. Etant donné la localisation particulière de l'échantillon et le doute qui existe concernant cette identification, nous avons choisi d'écarter cette référence de notre étude.

²⁹ Les informations concernant quatre échantillons du site de Poundbury (S_0022) (NR) manquent ce qui ne permet pas de préciser le nombre total d'individus étudiés pour ce site.

N° Site	N° Vestige	Type d'échantillon	Type de vestige d'origine	Acanthocephala	Ankylostoma sp.	Ascaris lumbricoides	Ascaridé	Dicrocoelium dentriticum	Echinococcus granulosus	Enterobius vermicularis	Taenia sp.	Taenia solium	Trichuris trichiura	Présence
Bobigny (S_0002)	VSP_0001	Sédiment	Squelette	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
	VSP_0002	Sédiment	Squelette	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oasis de Dakhleh (S_0017)	VSP_0018	Organe ou contenu organique	Momie	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	VSP_0019	Organe ou contenu organique	Momie	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Poundbury (S_0022)	NR	Sédiment	NR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NR	Sédiment	NR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NR	Sédiment	NR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NR	Sédiment	NR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VSP_0057	Sédiment	NR	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
	VSP_0069	Organe ou contenu organique	Momie	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1
Lindow Man (S_0026)	VSP_0070	Organe ou contenu organique	Momie	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Karwinden Man (S_0027)	VSP_0071	Organe ou contenu organique	Momie	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Oasis d'Al-Kharga (S_0029)	VSP_0073	Sédiment	Momie	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Ile de Saï (S_0041)	VSP_0118	Organe ou contenu organique	Momie	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1
	VSP_0119	Organe ou contenu organique	Momie	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Orton Longueville (S_0043)	VSP_0123	Organe ou contenu organique	Squelette	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
NR, Egypte (S_0044)	VSP_0124	Organe ou contenu organique	Momie	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Jérusalem (S_0045)	VSP_0125	Organe ou contenu organique	Squelette	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

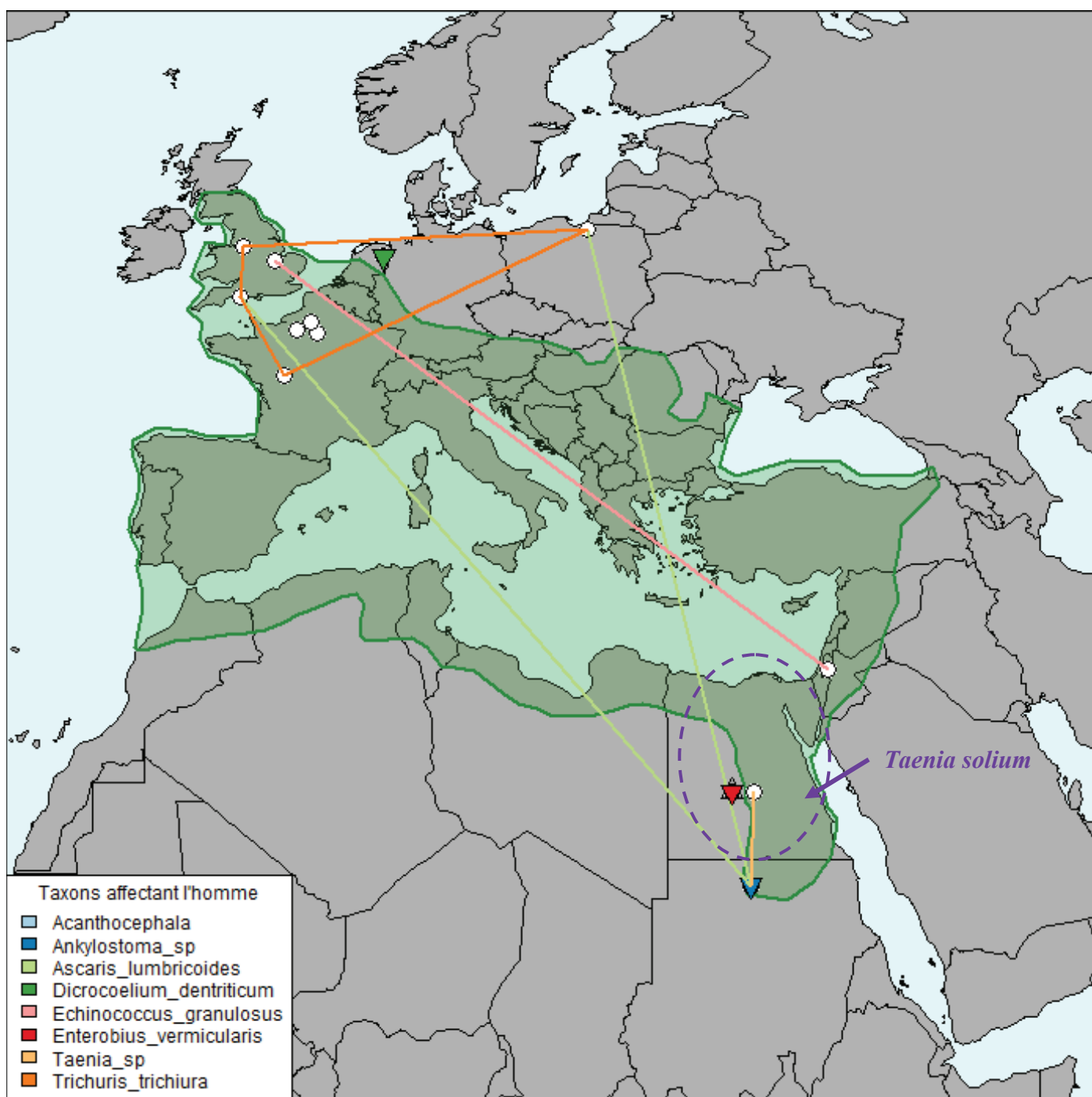


Figure 56 : Aires de répartitions maximales des taxons observés chez l'homme (les lignes matérialisent les aires de répartition et les triangles la localisation des taxons présents sur un seul site, la zone en pointillé représente la localisation approximative de *Taenia solium*; les résultats correspondant à Ascaridé ont été associés à *Ascaris lumbricoides*).

Les résultats indiquent tout d'abord que chaque individu porteur de parasite compte entre un et trois taxons différents. Au total, dix taxons sont observés dans tout l'Empire romain au cours

d'analyses de restes humains : *Trichuris trichiura*, *Ascaris lumbricoides*, Ascaridé, *Enterobius vermicularis*, *Ankylostoma* sp., Acanthocephala, *Taenia solium*, *Taenia* sp., *Echinococcus granulosus*, *Dicrocoelium dentriticum*, le taxon Ascaridé correspondant à *Ascaris lumbricoides* (altération des œufs due à la taphonomie).

La répartition des sites et des taxons montrent que l'homme est porteur d'*Enterobius vermicularis* et d'Acanthocephala uniquement dans l'Ouest du Moyen Orient, en Egypte. Des parasites du genre *Taenia* (*Taenia* sp. et *Taenia solium*) sont eux-aussi observés uniquement en Egypte et au Soudan. *Trichuris trichiura* est présent uniquement dans le Nord-Ouest de l'Empire, de même que *Dicrocoelium dentriticum*. Enfin, *Echinococcus granulosus* et *Ascaris lumbricoides* sont présents chez l'homme dans ces deux régions (Royaume-Uni et Jérusalem pour le premier, Royaume-Uni, France, Allemagne, Pologne et Soudan pour le second). Deux aires géographiques semblent se distinguer. Cependant, le nombre d'études réalisées sur du matériel d'origine humaine reste encore trop faible pour discuter plus de ces répartitions, d'autant que l'ensemble des observations, tout type d'échantillons confondus, montre que les parasites potentiellement humains ne se limitent pas à ces deux zones géographiques (voir **4.5.4 Répartitions géographiques des taxons**, p. 152).

Trichuris trichiura, *Ascaris lumbricoides*, Ascaridé et *Ankylostoma* sp. sont des géohelminthes et indiquent chez l'homme un problème de péril fécal. *Enterobius vermicularis*, de part son mode de contamination particulier (voir **4.4.1.8 Enterobius vermicularis**, p. 115) est également à mettre en lien avec des problèmes d'hygiène corporelle. Pour au moins un individu (NR, Egypte, S_0044) l'identification de cysticerques de *Taenia solium* par immunologie, le seul cas pour l'époque romaine (Bruchi *et al.*, 2006), prouve l'ingestion accidentelle des œufs du parasite, et par conséquent d'excréments humains, ou correspond à un cas d'auto-endo-infestation.

Les taxons du genre *Taenia* indiquent la présence du porc et du bœuf, de même que leur consommation en Egypte.

Chez l'homme, *Dicrocoelium dentriticum* n'a été observé qu'à une seule reprise, pour la femme de Zweeloo (Searcey *et al.*, 2013). L'observation de ce parasite dans le foie de cette femme momifiée, atteste d'une vraie dicrocoeliose humaine. C'est un cas unique pour l'époque romaine, mais aussi pour la paléoparasitologie. Ce parasite implique la

consommation ou au moins l'ingestion d'une fourmi porteuse de la forme intermédiaire du parasite (voir **4.4.4.2 Le groupe Dicrocoeliidae (GRDicrocoeliidae)**, p. 128). Rien ne permet de dire si la consommation de cette fourmi est volontaire ou accidentelle.

Cependant, nous savons par les textes que les Romains pouvaient consommer des insectes.

Pline nous apprend dans son Histoire Naturelle (Livre XVII) que les gros vers du chêne étaient consommés mais, comme pour certains vers intestinaux, les informations pouvant permettre son identification manquent. Certains y voient les larves du Cerf volant (*Lucanus cervus*) celles du Hanneton commun (*Melolontha melolontha*) ou encore celles du Grand Capricorne (*Cerambyx cerdo*). Chez les Grecs Aristote indique par exemple la consommation occasionnelle de sauterelles grillées et de cigales sous leur dernier stade larvaire (Fraval, 2009). A aucun moment il n'est donc fait mention de la consommation volontaire de fourmi dans l'Antiquité, et il serait donc plus probable que la femme de Zweeloo ait ingéré accidentellement une fourmi lors d'un repas. Cependant, le lieu de découverte de cette momie est situé dans les régions limitrophes de l'Empire romain et il est possible que des différences existent dans le mode de vie de ces populations.

La consommation de larve de hanneton en revanche semble attestée, ce qui peut représenter un risque pour l'homme, ses larves étant des hôtes intermédiaires possibles de *Macracanthorhynchus* sp. (voir **4.4.2.1 Macracanthorhynchus sp.**, p.118). Bien que ce taxon ne soit pas observé dans des échantillons d'origine biologique strictement humaine, il a été observé en association avec *Ascaris* sp. dans des échantillons de sédiment issus de latrines, ce qui indique que ce parasite aurait pu être présent chez l'homme à l'époque romaine. Cependant, s'agissant d'échantillons de sédiment susceptibles de contenir des rejets organiques d'origines variées, rien ne permet de le confirmer.

L'observation d'*Acanthocephala* n'a quant à elle pas permis de dire s'il s'agit d'une pseudo-parasitose (œufs en transit suite à la consommation d'un hôte parasité) ou s'il s'agit d'une parasitose vraie (induite par la consommation d'un hôte invertébré contaminé ou par une pollution de la nourriture par des œufs infectants) (voir *supra* **4.4.2 Classe des Acanthocéphales (Acanthocephala)**, p. 117). Enfin *Echinococcus granulosus* a été mis en évidence chez l'homme par l'observation dans la cavité abdominale des squelettes de deux individus de kystes hydatiques calcifiés. La présence de ce parasite chez l'homme implique un contact entre des canidés et ces individus (voir *supra* **4.4.3.2 Le groupe Taeniidae (GRTaeniidae)**, p. 121).

L'infestation par certains de ces parasites peut être asymptomatique mais ils provoquent le plus souvent des pathologies gastro-intestinales (douleurs abdominales, troubles digestifs...). Les pathologies et symptômes provoqués pour chacun des taxons identifiés sont présentés dans le Tableau 22 (voir *supra*, p. 136). Dans tous les cas, la mise en évidence d'œufs de parasites n'atteste pas du développement des symptômes liés à la présence des vers adultes. Il est cependant possible d'émettre l'hypothèse qu'une partie au moins de la population souffrait de ces symptômes.

4.5.6.2 Fréquence des parasitoses humaines à l'époque romaine

Le nombre total d'individus étudiés pour l'époque romaine est de quarante-six mais pour le calcul des fréquences ce nombre doit être adapté en fonction des taxons considérés. En effet, les individus n'ont pas tous été étudiés de la même façon.

Par exemple, les deux individus positifs pour *Echinococcus granulosus* n'ont pas fait l'objet d'analyses en paléoparasitologie dans la région correspondant aux intestins, et inversement pour les autres individus. De même, seul le foie de la femme de Zweeklo, positif pour *Dicrocoelium dentriticum* (S_0025) a été étudié sur les quarante-six individus. Pour finir, seul l'individu porteur de *Taenia solium* (NR, Egypte, S_0044) a fait l'objet d'une analyse en immunologie pour caractériser ce taxon.

Dans ces conditions, il est difficile de comparer l'ensemble des individus s'ils n'ont pas fait l'objet des mêmes analyses.

Enfin, il a été décidé d'écarter les résultats correspondant aux sites totalement négatifs ou trop peu renseignés.

Les échantillons du site de Poundbury (S_0022) sont ainsi écartés, car aucune information n'est disponible concernant la localisation des prélèvements analysés, et le nombre d'individus étudiés n'est pas précisé. De même, les individus du site de Besançon (S_0079) sont écartés, afin de ne pas sous estimer les fréquences car l'ensemble des échantillons est négatif, probablement du fait de la taphonomie. Pour la même raison l'individu de Rezé (S_0071) est négatif, et n'a pas été considéré ici car, aucun autre individu n'ayant été analysé sur ce site, il

est difficile de dire s'il n'est pas porteur de parasite, ou si l'absence de parasite est due à la taphonomie.

Ainsi, le nombre d'individus à considérer pour *E. granulosus* est de deux, d'un seul pour *Dicrocoelium dentriticum* comme pour *Taenia solium* et de vingt-six pour le reste des taxons (*T. trichiura*, *A. lumbricoides*, Ascaridé, *E. vermicularis*, *Ankylostoma* sp., *Acanthocephala* et *Taenia* sp.).

Le tableau suivant (Tableau 27, p. 183) présente les fréquences obtenues pour chaque taxon et le nombre d'individus correspondant. Afin de simplifier le calcul des fréquences, les résultats correspondant à Ascaridé ont été regroupés avec ceux d'*Ascaris lumbricoides* car cette différence de dénomination n'est due qu'à la taphonomie (voir *supra*).

	Fréquence (%)	Nombre d'individus
<i>Trichuris trichiura</i>	30.77	8 (26)
<i>Ascaris lumbricoides</i> *	34.62	9 (26)
<i>Enterobius vermicularis</i>	7.69	2 (26)
<i>Ankylostoma</i> sp.	7.69	2 (26)
<i>Acanthocephala</i>	3.85	1 (26)
<i>Taenia solium</i>	100	1 (1)
<i>Taenia</i> sp.	11.54	3 (26)
<i>Echinococcus granulosus</i>	100	2 (2)
<i>Dicrocoelium dentriticum</i>	100	1 (1)

Tableau 27 : Fréquence des helminthes observés chez l'homme à l'époque romaine (%) et effectifs des individus correspondant. (* : les résultats correspondant à Ascaridé ont été associés à *Ascaris lumbricoides*; nombre total d'individus considérés entre parenthèses).

Les fréquences de *Taenia solium*, d'*Echinococcus granulosus* et de *Dicrocoelium dentriticum* sont de 100 %, mais cette valeur n'est pas significative car le nombre d'individus correspondant à ces taxons est très faible (respectivement un, deux et un individu).

Parmi les autres fréquences, les plus importantes correspondent à *Ascaris lumbricoides* (34.62 %) et à *Trichuris trichiura* (30.77 %) ce qui montre une nouvelle fois que ces parasitoses sont fréquentes chez l'homme à l'époque romaine. Celles des autres taxons en revanche sont beaucoup plus faibles, autour de 10 %, et parfois moins. Au vu du nombre d'individus peu

important pris en compte pour déterminer ces valeurs, vingt-six individus, ces résultats doivent être pris avec prudence.

D'autres individus de l'époque romaine sont à présent à étudier pour compléter et préciser ces valeurs. De plus, il faudrait pouvoir prendre en compte dans le calcul des fréquences les échantillons positifs comme les échantillons négatifs. Cependant, la plupart du temps, les résultats issus des données publiées concernent uniquement des résultats positifs, et aucune information n'est donnée concernant les échantillons négatifs. Il est donc possible que parmi les études publiées, certaines ne rapportent que les individus parasités.

Le faible nombre d'individus étudiés, et positifs pour les helminthes, pourrait aussi être mis en relation avec les processus biologiques survenant après le décès de l'individu (thanatomorphose) et avec les traitements funéraires appliqués au corps. En effet, les parasites intestinaux sont éliminés avec les excréments et le bol alimentaire gastrique dans les heures et jours qui suivent le décès, à la fois par le haut (régurgitation) et par le bas (explosion anale par le relâchement sphinctérien et la pression des gaz abdominaux putréfactifs). De plus la cavité abdominale peut se rompre voire exploser sous la pression des gaz putréfactifs, lorsque la décomposition est avancée, ce qui favorise à ce moment l'expulsion de certains éléments présents dans la cavité abdominale ou pelvienne. Les vers intestinaux pourraient également être expulsés à ce moment. L'extériorisation des parasites est encore plus forte lors de la rupture de la paroi abdominale, lorsque la pullulation larvaire détruit celle-ci à un stade encore plus avancé de la putréfaction (communication personnelle de Philippe Charlier; Charlier et Durigon, 2008).

Parfois, certains paramètres peuvent influencer sur la putréfaction des corps. Par exemple, la putréfaction est plus lente dans l'eau, fortement retardée en milieu tourbeux (dû au milieu anaérobie associé aux propriétés antiseptiques des dérivés de l'ammoniaque présents dans l'environnement) et lente à l'abri de l'air (sarcophage en plomb par exemple). En milieu sec, la putréfaction s'arrête rapidement et le corps se momifie naturellement. Les liquides de décomposition sont absorbés ou évaporés avant qu'ils ne corrompent le corps. Même chose dans le cas d'une momification artificielle avec extraction des viscères et dépôt de substances déshydratantes ou antiseptiques (Charlier et Durigon, 2008). Des migrations postmortem de certains parasites intestinaux (*Hymenolepis diminuta* par exemple) (Platt et Villanueva, 1995) sont également observées. Cependant, elles se limitent à l'organe parasité et ne pourraient pas justifier une absence totale de parasites.

Cette évacuation naturelle suite à la mort de l'individu peut donc contribuer à rendre les parasites moins présents dans les échantillons, mais ne concerne cependant pas tous les parasites puisque des résultats positifs sont obtenus en paléoparasitologie³⁰. Dans le cas contraire, l'ensemble de nos résultats serait négatif. Seule la quantité de vers restant dans le corps est impactée.

Ainsi, ce processus biologique ne peut expliquer à lui seul l'absence de parasites dans certains individus et en particulier pour ceux de Besançon (S_0079) totalement négatifs. Dans ce cas, la mauvaise conservation des œufs peut être mise en avant. Une conservation différentielle peut aussi s'observer sur un même site, et conduire à des identifications uniquement pour certains échantillons.

Les gestes funéraires pratiqués à l'époque romaine dès la mort du défunt sont connus par les textes. Après sa mort il était par exemple disposé sur un lit mortuaire dans la pièce principale de sa maison puis, on procédait aux derniers adieux pour une durée variable. Selon le statut social du défunt ce temps pouvait varier de trois à sept jours pour les plus riches, et être de seulement quelques heures pour les plus pauvres. Passé ce délai, le corps était lavé à l'eau chaude, parfumé, puis habillé avant d'être inhumé (Poux, 2009). Le temps écoulé entre la mort de l'individu et son inhumation ainsi que le lavage du corps peut donc influencer sur l'évacuation naturelle des parasites et leur élimination, via les fluides de décomposition et autres éléments évacués après la mort (excréments...).

Les gestes funéraires pourraient donc influencer également sur les résultats obtenus en paléoparasitologie (biodiversité et nombre d'œufs). Cependant d'autres facteurs peuvent aboutir au même résultat. En particulier la conservation et la présence des œufs de parasites peuvent dépendre du mode d'inhumation et du type de décomposition du corps.

D'une manière générale, les animaux (taupes, lombrics, racines...) peuvent déplacer le mobilier et les éléments constitutifs du sol par bioturbation, de même que l'eau par infiltration (eau de pluie...) ou avec les mouvements de la nappe phréatique. Dans le cas d'une sépulture en pleine terre (avec ou sans contenant périssable), ces deux éléments viennent s'ajouter aux liquides de décomposition qui s'infiltrent dans le sol et sont absorbés par les sédiments. A

³⁰ Ces considérations concernent bien évidemment les parasites se trouvant à l'état adulte chez l'homme, ceux présents à l'état larvaire (cysticercose par exemple) n'étant pas ou peu impactés.

notre connaissance il n'existe actuellement aucune étude s'intéressant au déplacement des œufs de parasites dans le sol (au sein d'une sépulture de ce type) ou d'une manière générale à la percolation des œufs de parasites dans le sol. Cependant de telles études ont été réalisées pour les grains de pollen et montrent qu'ils peuvent percoler dans le sol avec des mouvements verticaux de l'ordre de 1 cm tous les 2-4 ans, et être déplacés par les vers de terre aussi bien horizontalement que verticalement (Lebreton, 2014).

Le programme de recherche InterArChive (Université de York, "Interred with their bones" - linking soil micromorphology and chemistry to unlock the hidden archive of archaeological human burials) pourrait apporter quelques éléments de réponse. Il s'intéresse aux informations obtenues par l'étude des sédiments directement adjacents aux squelettes humains, dans les sépultures, notamment par des analyses chimiques et micromorphologiques. Il s'intéresse également aux parasites intestinaux et des inhumations expérimentales ont été réalisées. Des porcs ont en effet été inhumés dans différents types de sols et de différentes manières (pleine terre, caisson en bois...). L'un d'entre eux a été peint afin de contrôler la migration des différents éléments du corps suite à la décomposition (Usai *et al.*, 2014). Ces sépultures expérimentales seront ouvertes et étudiées dans quatre ans.

Actuellement les échantillons étudiés dans une sépulture sont ceux prélevés dans la cavité abdominale, au niveau du bassin et des dernières vertèbres lombaires, sous et sur ces os (récupération par brossage). Ces trois prélèvements maximisent les chances d'observer des œufs de parasites intestinaux mais d'autres zones seraient peut-être à prélever en complément. Les individus peints du programme InterArChive pourraient alors peut-être permettre la mise en évidence d'autres zones à étudier en paléoparasitologie.

Dans le cas des cercueils de plomb, les éléments contenus dans le corps sont confinés dans un espace clos, sans échanges avec l'extérieur, ce qui empêche au contraire d'une inhumation en pleine terre, ou dans des matériaux périssables (linceul, cercueil de bois...), tout déplacement des œufs de parasites dans le sol et limite leur déplacement autour de l'individu. Ce type particulier de sépulture présente également l'avantage de rendre impossible toute pollution issue du milieu extérieur, comme cela pourrait être supposé dans certaines inhumations en pleine terre (si l'encaissant contient des œufs de parasites par exemple).

Dans le cas d'une momification, la situation est similaire. Le corps est préservé ce qui limite le mouvement du contenu intestinal vers l'extérieur. Les échantillons étudiés sont ceux prélevés dans les intestins ou dans la cavité abdominale. Dans le cas d'une momification artificielle, tout dépend du processus de momification. Par exemple les différentes étapes de la momification chez les égyptiens évoluent selon les périodes et le statut social de l'individu momifié. Dans certains cas les organes internes, intestins compris, sont retirés du corps. Dans le cadre de notre étude, les six momies égyptiennes et soudanaises étudiées (quatre naturelles et deux artificielles) possèdent toutes leurs organes internes. De même, toute pollution provenant de l'extérieur du corps est exclue.

Le cas des momies des tourbières (trois des individus étudiés) est particulier puisque le dépôt du corps est immédiat après la mort de l'individu. Les considérations concernant le délai d'inhumation ne sont pas à prendre en compte ici, et aucun lavage du corps ni autre traitement funéraire particulier n'intervient suite à la mort de l'individu. De plus les conditions particulières de la tourbière (milieu anaérobie, propriétés antiseptiques des dérivés de l'ammoniaque...) retardent fortement la décomposition. Tous ces éléments contribuent à contenir les vers parasites dans le corps de l'individu et dans son environnement immédiat.

4.6 Synthèses des données paléoparasitologiques pour l'époque romaine

L'approche pathographique des maladies parasitaires, réalisée au début de la première partie de ce travail de thèse, a montré que dix taxons affectant l'homme et les animaux sont connus dans l'Antiquité. Tous ces taxons ont été retrouvés en paléoparasitologie, à l'exception des Anoplocephalidae (vers plats du cheval).

Les analyses ont notamment montré que les trématodes sont présents à l'époque romaine alors qu'à priori aucune mention n'en est faite dans les textes.

Certaines maladies particulières mentionnées chez l'homme, par les auteurs de l'Antiquité, ont pu être observées en paléoparasitologie, par l'identification dans des restes humains de

marqueurs spécifiques. En particulier, un cas de cysticercose a été identifié par immunologie dans une momie égyptienne (Bruschi et *al.*, 2006). Deux cas d'échinococcose sont également confirmés par la découverte dans des squelettes humains de kystes hydatiques calcifiés (Wells et Dallas, 1976; Zias, 1991; Zias et Mumcuoglu, 1991).

Les fréquences des différents taxons, observées pour les catégories étudiées (sites, activités, vestiges, échantillons et origines biologiques), ainsi que les autres études réalisées (répartition géographique, étude du matériel humain...) montrent que certains taxons sont majoritaires à l'époque romaine. En particulier, deux taxons liés à des problèmes d'hygiène corporelle sont fréquemment observés : *Ascaris* sp. et *Trichuris* sp.

Selon les catégories, des différences s'observent dans les fréquences des taxons représentés. Les changements qui surviennent au cours de l'époque romaine (conquêtes, colonisations, migrations...) pourraient expliquer une partie de ces différences. Par exemple, la biodiversité maximale observée pour les sites de type Ville pourrait être mise en relation avec l'urbanisation croissante qui intervient à cette époque. De même, l'étude particulière réalisée sur *Oxyuris equi* a montré que ce parasite est plus présent à l'époque romaine comparé aux autres périodes historiques. Il pourrait y avoir une diffusion plus importante du parasite à cette époque, peut-être à mettre en relation avec la conquête romaine puisque les équidés étaient utilisés par l'Armée pour le transport des troupes et du matériel.

Les répartitions maximales des principaux taxons montrent que les parasites sont observés dans tout l'Empire romain. Cependant, le Nord du Royaume-Uni semble se distinguer par l'absence des Cestodes et des Trématodes. De plus, la biodiversité des Nématodes est moins importante dans cette région, comparée au reste du monde romain. Les conditions climatiques et l'obligation de certains parasites à effectuer une partie de leur cycle biologique à l'extérieur de leur hôte, peuvent être une barrière à l'installation de certains pathogènes dans une région. Cela peut expliquer l'absence de certains taxons dans des secteurs particuliers du monde romain.

Pour finir, les fréquences par siècles obtenues pour certains taxons semblent montrer qu'elles ont tendance à être plus faibles au 2ème s. EC. Cependant, il convient de rester prudent avec ce résultat car le nombre de sites considérés dans cette étude des variations de fréquence reste tout de même limité.

DEUXIEME PARTIE : METHODES D'EXTRACTION ET TRAITEMENT DES RESULTATS

L'exploitation de la base de données présentée dans la première partie de ce travail de thèse a montré que les techniques employées pour extraire les œufs de parasites dans les différents laboratoires sont variées (voir *supra* première partie, chapitre 3 **Les données de la paléoparasitologie**, p. 45). Parfois même, les échantillons anciens sont traités par les techniques modernes de coprologie alors que ces méthodes ne sont pas adaptées aux échantillons archéologiques (du fait des processus taphonomiques, de la nature des échantillons...). Dans ces conditions, la comparaison des données issues des différents laboratoires est difficile.

Dans les laboratoires français également, les méthodes d'extraction employées n'étaient jusqu'à présent pas standardisées. Autrement dit, la masse d'échantillon initialement traitée n'était pas fixe de même que les volumes de réactifs utilisés. Le temps de réhydratation pouvait aussi varier selon les types d'échantillons étudiés. Au cours de ces mises au point méthodologiques des ajustements concernant les lectures sous microscope ont été réalisés afin d'optimiser le nombre de lamelles lues en fonction de la qualité des échantillons.

Pour permettre le traitement et l'analyse des résultats obtenus pour l'époque romaine d'une manière globale, la standardisation de la méthode d'extraction utilisée au laboratoire Chrono-environnement, objet principal de cette seconde partie, était une étape nécessaire. La quantification précise des résidus permet alors la comparaison des résultats par échantillon autrement qu'en présence/absence, et l'utilisation d'outils de traitements des données (classification ascendante hiérarchique...) détaillés ici dans un second temps pour les échantillons de mon corpus.

1 METHODOLOGIE ET TECHNIQUES D'EXTRACTIONS

1.1 Etudes, marqueurs parasitaires et méthodes utilisées

La compilation des études réalisées pour l'époque romaine montre que trois types différents de marqueurs parasitaires ont été étudiés : les kystes hydatiques calcifiés³¹, les paléoantigènes et les œufs d'helminthes.

Les kystes hydatiques d'*Echinococcus granulosus* ont été observés dans des squelettes humains de deux sites : le site d'Orton longueville (S_0043, ETP_0067) et le site de Jérusalem (S_0045, ETP_0069). Ces kystes sont retrouvés dans la cavité abdominale des squelettes et s'observent à vue au moment de la fouille du squelette étudié. Les techniques de fouilles classiques sont employées, et aucune méthode d'extraction particulière n'est requise au contraire des deux autres types de marqueurs.

Les méthodes d'immunologie utilisées en paléoparasitologie permettant la mise en évidence des paléoantigènes sont peu nombreuses. Le plus souvent la technique ELISA est employée et des kits commerciaux sont utilisés (Le Bailly et Bouchet, 2006). Pour l'époque romaine, seuls trois sites de notre étude sont concernés. Deux études utilisent la technique ELISA sur des échantillons du site de Lattes (S_0009, ETP_0009) et du site de Troyes (S_0054, ETI_0013), afin de tester la présence d'*Entamoeba histolytica* et de *Giardia intestinalis*.

Avant l'emploi des kits, les échantillons sont réhydratés uniquement dans de l'eau ultrapure sans autre réactifs (formol...), afin d'éviter toute interférence dans les réactions de liaisons antigènes/anticorps, puis placés au réfrigérateur pour éviter la prolifération de

³¹ Classés avec les parasites adultes et avec les autres éléments macroscopiques bien qu'ils correspondent à des larves (voir première partie 4.4.3.2 Le groupe Taeniidae (GRTaeniidae), p. 121).

microorganismes (algues, micromycètes...). Le test ELISA est ensuite réalisé sur ces échantillons, à l'aide d'une plaque creusée de 96 puits. Deux sont utilisés pour le contrôle positif et le contrôle négatif tandis que les autres permettent de tester les échantillons archéologiques. Un anticorps spécifique du parasite recherché est tout d'abord fixé au fond des puits. Une fois les échantillons ajoutés, ces anticorps fixent l'antigène spécifique recherché, puis un anticorps de "dépistage" est ajouté. Il est ensuite complexé avec une enzyme peroxydase. Lors de la révélation avec le substrat, une coloration due au complexe enzyme-anticorps-antigène apparaît (jaune dans le cas d'*Entamoeba histolytica*, kit "*Entamoeba histolytica* II®" du laboratoire Techlab®) (Le Bailly, 2005; Le Bailly et Bouchet, 2006).

Les échantillons de tissus organiques issus de momies peuvent être testés par immunohistochimie. Pour l'époque romaine, cette méthode a été utilisée une seule fois (S_0044, ETP_0068).

Bruschi *et al.* (2006) ont identifié par cette méthode un kyste de *Taenia solium* observé dans la paroi stomacale d'une momie égyptienne datée de la fin de l'époque Ptolémaïque (2ème-1er siècle av. J.-C.). L'immunofluorescence indirecte et du sérum provenant d'un patient atteint de cysticercose ont été utilisés sur des coupes fines de tissus provenant de la momie (Bruschi *et al.*, 2006). Cette méthode nécessite deux étapes faisant intervenir deux anticorps successifs. La première consiste à mettre en contact l'échantillon à tester, contenant les antigènes, avec un anticorps primaire spécifique, ici contenu dans le sérum du patient. La seconde met en contact l'anticorps primaire avec un anticorps secondaire marqué par un fluorochrome (molécule fluorescente qui émet de la lumière fluorescente après excitation par des UV). L'échantillon est enfin observé sous un microscope muni d'un dispositif à immunofluorescence, s'il est positif (anticorps secondaire lié à l'anticorps primaire) une teinte verte apparaît (Dovero, 2006).

Le reste des études ne concerne que les œufs de parasites³². Notons que certaines études n'avaient pas comme objectif principal la recherche et l'étude des œufs d'helminthes, et que ceux-ci correspondent à des éléments observés à l'occasion de recherches paléoenvironnementales connexes.

³² Egaleme nt recherchés sur les sites de Lattes et de Troyes (ETP_0009 et ETI_0013). Seuls les restes de la momie égyptienne testée en immunologie (ETP_0068) et les deux squelettes contenant des kystes hydatiques (ETP_0067 et ETP_0069) n'ont pas fait l'objet d'une recherche d'œufs.

Ainsi la plupart de ces études (cent-vingt au total) s'intéressent exclusivement aux œufs d'helminthes, alors que d'autres se concentrent sur les grains de pollens (deux études, ETP_0003 et ETP_0062) et les microfossiles non polliniques (une étude, ETP_0001). Les techniques d'extraction utilisées relèvent principalement de la parasitologie et de la paléoparasitologie, tandis que les autres, beaucoup plus minoritaires, sont celles de la palynologie et de l'étude des microfossiles non polliniques ou npps (non pollen palynomorphs). Bien que les œufs de parasites fassent partie des npps, ils font l'objet d'une discipline d'étude particulière comme dans le cas d'autres éléments (diatomées par exemple). Certaines des méthodes utilisées s'inspirent parfois les unes des autres et associent des éléments de plusieurs techniques.

1.2 Méthodes de la parasitologie

Plusieurs méthodes d'examen actuellement utilisées en parasitologie médicale et vétérinaire permettent le diagnostic des parasitoses intestinales chez l'homme comme chez l'animal. Ces méthodes de coprologie peuvent consister en un examen direct des échantillons, ou faire appel à des préparations particulières en vue de concentrer les éléments parasitaires.

1.2.1 Méthodes d'examen direct

L'examen direct est réalisé en observant directement une fraction d'échantillon sous microscope sans préparation préalable.

En parasitologie, lorsque les selles sont liquides ou en bouse, une petite fraction de matière est diluée dans une goutte de solution saline. Lorsqu'elles sont moulées, de petites quantités de matière sont prélevées à différents endroits des selles, puis délayées dans un verre à pied à l'aide d'une solution saline et d'un agitateur. Ces préparations sont ensuite observées au microscope sous lame et lamelle (Bailenger, 1982).

1.2.2 Méthodes d'examen après concentration parasitaire

La concentration parasitaire vise à rendre les éléments parasitaires (œufs, larves et kystes) plus abondant tout en facilitant la lecture des lames, en éliminant une partie voire la totalité des éléments non parasitaires. Les méthodes de concentration utilisées en coprologie sont nombreuses et concentrent les éléments parasitaires de différente façon. Certaines permettent la concentration de l'ensemble des parasites, d'autres d'un parasite en particulier (Bailenger, 1982).

Les méthodes de concentration parasitaires sont classées en trois groupes : les méthodes physico-chimiques, les méthodes par éclaircissement et les méthodes biologiques.

Les méthodes de concentration biologiques font intervenir les propriétés biologiques des parasites recherchés : les larves (Strongles, Ankylostomes) et les miracidia (Schistosomes). Les larves sont en effet attirées par l'eau tiède et les miracidia peuvent éclore (Bailenger, 1982).

Les concentrations par éclaircissement utilisent des réactifs chimiques (glycérine et polyéthylène-glycol) pour éclaircir la préparation disposée sur une lame (Bailenger, 1982).

Enfin les concentrations physico-chimiques sont basées sur la densité des éléments parasitaires et leur propriétés hydrophiles/lipophiles. Elles constituent des caractères spécifiques à chaque parasite et peuvent être modifiées non seulement par les caractéristiques physiques du milieu (pH...), mais aussi par les réactions entre les groupements de la surface des œufs et les constituants du réactif (Zn, Hg...). Quatre types différents de concentration se distinguent (Bailenger, 1982) :

- La concentration par sédimentation : les selles sont diluées dans un liquide de densité moyenne qui permet le dépôt des parasites, tandis que les particules alimentaires non digérées et les cadavres microbiens restent en suspension. De multiples sédimentations/éliminations du surnageant permettent d'éliminer une grande partie des éléments non parasitaires et de concentrer les parasites en surface du dépôt.
- La concentration par centrifugation : le principe est identique à la méthode précédente, seule la centrifugation permet d'accélérer le dépôt des éléments parasitaires.
- La concentration par flottation : au contraire des deux méthodes précédentes, les selles sont diluées dans une solution plus dense que les éléments parasitaires qui vont surnager et se concentrer dans le film superficiel du mélange.

- La concentration diphase : deux réactifs non miscibles (éther et HCl par exemple) sont ajoutés à un échantillon de selle et forment deux phases l'une aqueuse et l'autre lipophile. Les éléments à prédominance lipophile se séparent de ceux à tendance hydrophile, dont font partie les œufs de parasites. Les réactifs permettent également la dissolution de certains des éléments fécaux (lipides...) et la densité des œufs de parasites supérieure à celle de l'eau favorise leur concentration dans la phase aqueuse. Après traitement, la phase aqueuse contenant le culot d'enrichissement des œufs de parasites est séparée de la phase organique non miscible à l'eau (éther...) par un "anneau" de débris (bactéries, résidus alimentaires...).

1.3 Méthodes de la paléoparasitologie

Pour l'époque romaine, trente-quatre méthodes différentes sont utilisées³³. Une méthode est le plus souvent employée, mais dans quelques études, plusieurs sont testées (travaux universitaires notamment). Le Tableau 17 présenté en Annexe 12 (Volume 2, p. 43-46) détaille pour chaque étude publiée les différentes étapes des méthodes employées ainsi que leur ordre. Le Tableau 18 présente les trente-quatre méthodes différentes (Volume 2, Annexe 12, p. 47-48) numérotées de M_0001 à M_0034.

1.3.1 Mise en solution des échantillons et étapes préalables

Avant toute mise en œuvre des méthodes d'extraction, une mise en solution de l'échantillon est nécessaire. En effet, comme en coprologie, l'échantillon ne peut être traité tel quel de part sa nature, qu'elle soit sédimentaire, concrétionnée ou organique (échantillons issus de momies par exemple). Les réactifs employés alors sont de deux types : il peut s'agir soit de réhydratants, soit de défloculants.

³³ Seules les méthodes des études publiées sont considérées ici. Les méthodes des données inédites et corpus du laboratoire de Reims et de celui de Besançon figurent parmi les données publiées.

Les réhydratants, comme leurs noms l'indiquent, permettent de réhydrater l'échantillon et de rendre leur forme initiale à des éléments biologiques desséchés et déshydratés. Il peut s'agir d'eau seule (distillée, ultrapure...), ou associée à des réactifs permettant une meilleure réhydratation.

En 1961, Witenberg utilise une solution de Triton pour réhydrater des coprolithes (ETP_0045). Il s'agit de la seule et unique utilisation de ce mode de réhydratation.

En 1947 Van Cleave et Ross, de même que Benninghoff, utilisent le phosphate trisodique (Na_3PO_4) pour réhydrater des spécimens zoologiques et botaniques. En 1960, Callen et Cameron l'utilisent pour réhydrater des coprolithes. En 1968, Pike utilise également cette méthode. A partir de cette date, elle est régulièrement employée pour la réhydratation des échantillons archéologiques.

Au laboratoire Chrono-environnement de Besançon, le phosphate trisodique et le glycérol, en solutions, sont utilisés conjointement pour réhydrater les échantillons étudiés en paléoparasitologie.

Le phosphate trisodique est un agent mouillant. Ce type de composé chimique réduit la tension de surface d'un liquide, qui peut alors se propager à travers une surface solide. Par conséquent la substance solide est pénétrée plus facilement par les liquides. Le glycérol est un composé hygroscopique. Utilisé en association avec le phosphate trisodique, il peut pénétrer plus facilement les échantillons. Sa faculté à retenir l'eau permet alors d'améliorer leur réhydratation (Baccaloni, 2012; Levi, 1966; Soap and Detergent Association, 1990).

Les défloculants ont un effet sur la matrice de l'échantillon. Ils agissent sur les argiles et permettent de séparer les "flocs" qui correspondent à des agrégats de particules fines. En paléoparasitologie, des polyphosphates sont utilisés dans ce but : le pyrophosphate de sodium ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) et le triphosphate de sodium ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$). Ils réagissent au niveau moléculaire en repoussant les feuillets qui les composent les uns des autres (Bates *et al.*, 1978).

Le phosphate trisodique est également un polyphosphate. Bien qu'utilisé surtout pour la réhydratation des échantillons, il a donc également un effet défloculant. De même, le glycérol

peut avoir un effet similaire puisqu'il s'intercale entre les feuillets qui composent les argiles (Walker, 1950).

En complément, d'autres étapes peuvent être réalisées comme par exemple un broyage afin d'homogénéiser l'échantillon et de séparer ses différents constituants, en particulier quand l'étude porte sur des coprolithes ou quand les échantillons sont très indurés.

Cette mise en solution n'est que partielle, puisque les réactifs utilisés n'agissent pas sur la structure des constituants de l'échantillon. Au contraire les acides peuvent dissoudre les minéraux et conduire à une dissolution quasi-totale de l'échantillon, à l'exception des éléments organiques. Cependant leur emploi correspond à une étape de la Concentration chimique (voir *infra*) et ne constitue pas une étape préalable aux différentes méthodes de concentration utilisées en paléoparasitologie, même si elle intervient en premier dans une combinaison de méthodes (Concentration chimique puis Filtration/Tamissage par exemple).

1.3.2 Les méthodes employées

1.3.2.1 Généralités et méthodes à utiliser

Initialement en paléoparasitologie certains chercheurs ont utilisé, avec plus ou moins de succès, les méthodes de coprologie pour analyser des échantillons archéologiques. Si en théorie l'examen direct peut s'appliquer à n'importe quel échantillon, d'autres méthodes modernes ne sont pas adaptées aux échantillons anciens, trop différents des échantillons coprologiques frais.

Les méthodes de concentration biologiques sont tout d'abord à écarter des techniques pouvant être utilisées. En effet, elles font appel aux propriétés biologiques des parasites, ce qui sous entend que les formes parasitaires étudiés doivent être vivantes. Ce n'est évidemment pas le cas pour nos échantillons archéologiques. De même, les concentrations par éclaircissement sont à écarter. Les réactifs chimiques qu'elles utilisent pour éclaircir les lames sont a priori

inefficaces sur les constituants des échantillons anciens, car ils ne possèdent plus les mêmes caractéristiques qu'un échantillon frais (dessèchement, minéralisation...).

Restent les méthodes de concentrations physico-chimiques. Alors que certaines d'entre elles peuvent être utilisées, d'autres doivent être proscrites car les processus taphonomiques peuvent modifier les œufs de parasites. De plus, des éléments non parasitaires, habituellement absents des échantillons fécaux (minéraux en particulier), peuvent être présents ce qui influe sur les résultats obtenus, et sur l'efficacité des méthodes coprologiques utilisées.

Les processus taphonomiques peuvent notamment entraîner une minéralisation des œufs, une altération de leur coque (déchirures, ouvertures...), une perte d'opercule ou de bouchon polaire... (Figure 57, p. 198). Par conséquent leur densité est susceptible de changer de même que les propriétés physico-chimiques de leur surface. Parmi les quatre types de méthodes de concentration physico-chimiques de la coprologie, seules les concentrations par sédimentation et centrifugation peuvent donc être utilisées en paléoparasitologie. Les deux autres sont à écarter, car les œufs ayant subi des modifications taphonomiques ne seraient pas extraits par ces méthodes, entraînant par la même occasion une perte d'information.

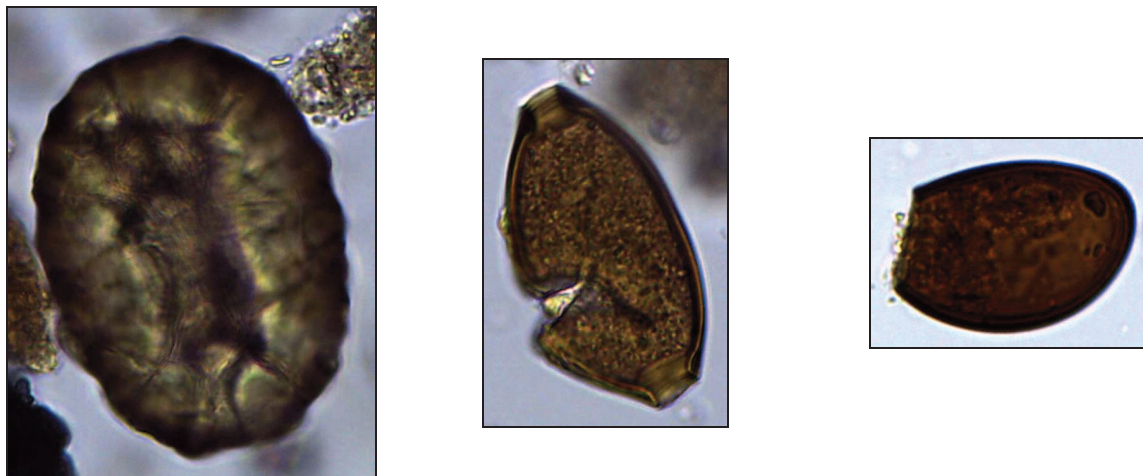


Figure 57 : Altérations visibles sur des œufs de parasites dues aux processus taphonomiques : œuf d'*Ascaris* sp. minéralisé à gauche, œuf de *Trichuris* sp. déchiré au centre et œuf de *Dicrocoelium* sp. ouvert sans opercule à droite (site de Beauvais, S_0076, ETC_0007).

La spécificité et les caractéristiques des échantillons archéologiques ont conduit les chercheurs à développer et utiliser d'autres méthodes de concentration particulières, parfois empruntées à d'autres disciplines (palynologie notamment).

1.3.2.2 L'examen direct

Peu de méthodes d'études utilisent l'examen direct pour traiter les échantillons (quatre sur trente-quatre soit 11.76 %, M_0003, M_0004, M_0006 et M_0021). Aucune précision supplémentaire n'est donnée sur la mise en œuvre exacte, ni sur l'observation sous microscope. Cette méthode est utilisée seule, sans association avec d'autres méthodes, au contraire des méthodes de concentration.

1.3.2.3 Les méthodes de concentration

Les méthodes de concentration sont beaucoup plus utilisées (trente sur trente-quatre soit 88.24 %, M_0001, M_0002, M_0005, M_0007 à M_0020 et M_0022 à M_0034). Elles permettent d'isoler les œufs de parasites des autres éléments présents dans les échantillons étudiés et de les concentrer. Elles peuvent être utilisées seules, mais le plus souvent elles sont associées à d'autres techniques (voir Volume 2, Annexe 12, Tableau 17, p. 44-46).

Filtration/tamissage et séparation micrométrique

La filtration et le tamissage des échantillons permettent d'éliminer les grosses particules et de concentrer les plus fines dont font partie les œufs de parasites recherchés. Cette méthode est réalisée respectivement au moyen de gaze ou de tamis métalliques à mailles fines.

Utilisée en complément de cette filtration/tamissage, la séparation micrométrique par tamissage permet de concentrer les éléments fins et de les trier par taille en séparant les plus gros des plus petits. Ainsi de cette manière les œufs les plus petits sont séparés des plus gros, ce qui facilite la lecture de l'échantillon sous microscope.

Concentration chimique

La concentration chimique est réalisée par emploi de réactifs chimiques acides (acide chlorhydrique, acide acétique...) qui permettent la mise en solution des minéraux et différents constituants indurés présents dans les échantillons. Le lavage à l'eau du surnageant (par

centrifugation, voir *infra*) élimine ces minéraux et concentre les éléments organiques, dont les œufs d'helminthes.

Sédimentation et centrifugation

La sédimentation permet de séparer, après homogénéisation de l'échantillon mis en solution, les grosses particules qui sédimentent les premières, des plus fines qui incluent les œufs de parasites, et qui sédimentent en dernières. Le dépôt superficiel où sont concentrés les œufs recherchés est ensuite observé.

La centrifugation utilise le principe de la sédimentation, mais accélère le dépôt des constituants de l'échantillon. De même, les œufs sont concentrés avec les particules fines dans le dépôt superficiel. La centrifugation est systématiquement utilisée dans la concentration chimique et permet d'éliminer, par lavage avec de l'eau, les réactifs acides contenant les minéraux dissous.

Concentration diphasique et flottation

Bien qu'inadaptées aux échantillons archéologiques, ces deux méthodes sont utilisées respectivement dans cinq et quatre méthodes (soit 14.71 % pour la concentration diphasique, et 11.76 % pour la flottation, dans M_0001, M_0013, M_0025, M_0028, M_0030, M_0031, M_0033 et M_0034).

Les flottations sont réalisées à l'aide de bromure de sodium (NaBr), de sulfate de magnésium (MgSO₄), de sulfate de zinc (ZnSO₄) et de liqueur dense³⁴.

Deux méthodes de concentration diphasique sont utilisées : la méthode de Ritchie (formol/éther), et celle de Telemann (HCl/éther). Dans une étude (M_0001) la concentration diphasique est utilisée, mais aucune précision n'est donnée quant à la méthode employée.

³⁴ Il est à remarquer qu'une étude mentionne le fait que la flottation ne donne aucun résultat sur les échantillons testés (site d'Owlesbury, S_0020, ETP_0032).

1.3.3 Principales méthodes utilisées

Les différents laboratoires de paléoparasitologie combinent plusieurs de ces méthodes pour extraire les œufs d'helminthes des échantillons archéologiques. Actuellement la plupart des méthodes utilisées dérivent de celle utilisée par Callen et Cameron (1960), qui consiste en une réhydratation suivie par une sédimentation. Dans les laboratoires américains par exemple, les échantillons sont réhydratés pendant 48 h dans du phosphate trisodique à 0.5 % puis l'échantillon est filtré à travers un tamis de 300 µm. Après sédimentation, les éléments fins contenus dans le filtrat sont observés sous microscope (Araújo *et al.*, 2011; Reinhard et Urban, 2003).

Pour la période romaine, la méthode RHM (Réhydratation-Homogénéisation-Microtamisage) (voir *infra*), qui dérive elle aussi de la méthode de Callen et Cameron (1960), et la méthode "squash" (Environmental Archaeology Unit de l'Université de York) sont les plus utilisées.

1.3.3.1 La méthode Réhydratation-Homogénéisation-Microtamisage (RHM)

La méthode Réhydratation-Homogénéisation-Microtamisage ou méthode RHM (Bouchet *et al.*, 2001b; Dufour et Le Bailly 2013; Harter et Bouchet, 2002; Le Bailly *et al.*, 2003) est utilisée en France depuis une vingtaine d'année. Mise au point dans le laboratoire de Reims (Université de Reims Champagne-Ardenne), aujourd'hui fermé, elle est utilisée à Besançon dans le groupe de recherche en paléoparasitologie du laboratoire Chrono-environnement (UMR CNRS 6249, Université de Bourgogne Franche-Comté). Cette méthode particulière est employée dans douze des études publiées (ETP_0006, ETP_0008, ETP_0009, ETP_0046, ETP_0047, ETP_0049, ETP_0053, ETP_0057, ETP_0061, ETP_0063, ETP_0066 et ETP_0070) et dans l'ensemble des études inédites. Dans le cadre de notre travail de thèse, cette méthode a été utilisée sans modifications pour les premières études corpus réalisées puis a été adaptée pour une approche intégrée des données recueillies (voir *infra* **3 Contributions de la paléoparasitologie à l'étude des structures en creux et spatialisation des résultats**, p. 241).

La méthode RHM se déroule en trois phases distinctes : la phase de réhydratation, la phase d'homogénéisation et la phase de microtamisage.

La phase de réhydratation

Les échantillons sont réhydratés une semaine dans une solution de phosphate trisodique (Na_3PO_4) à 0,5 % et de glycérol à 5 % à laquelle sont ajoutées quelques gouttes de formol à 10 % pour prévenir le développement de micromycètes (Figure 58, p. 203).

La phase d'homogénéisation

Un broyage au mortier permet l'homogénéisation des échantillons qui sont ensuite soumis à un traitement par ultrasons (50/60 Hz) pendant une minute (au maximum afin de ne pas abîmer les œufs de parasites) (Figure 59, p. 203, et Figure 60, p. 204). Cette étape permet d'une part de mettre en suspension les différents constituants de l'échantillon, et d'autre part de libérer les éléments parasitaires du reste de la matière organique et de la fraction minérale.

La phase de microtamisage

Les échantillons sont enfin tamisés dans une colonne composée de quatre tamis à mailles décroissantes de 315, 160, 50 et 25 μm (Figure 61, p. 204). Les deux premiers tamis (315 et 160 μm) permettent une première concentration des éléments fins par filtration/tamisage, et les deux derniers (50 et 25 μm) une seconde concentration des éléments fins par séparation micrométrique. Les œufs de parasites ayant une taille comprise entre 30 et 160 μm , les refus de tamis de 25 et 50 μm sont enfin récupérés. Ils sont transférés dans des tubes à hémolyse. Dans certains cas particuliers (coprolithe...), les refus de tamis de 315 et 160 μm peuvent également être récupérés en vue d'analyses complémentaires (Figure 62, p. 205), s'ils n'ont pas fait l'objet d'un broyage au mortier.

Chacun des tubes est ensuite observé au microscope optique sous lames et lamelles (22 x 22 mm) à raison de 10 lamelles par refus de tamis soit 20 lamelles par échantillon. Cette valeur permet la mise en évidence du maximum de diversité taxinomique. Les œufs observés sont alors identifiés, comptés, photographiés et mesurés. Un nombre d'œufs par lamelle est enfin déterminé ce qui permet une comparaison entre chaque échantillon.

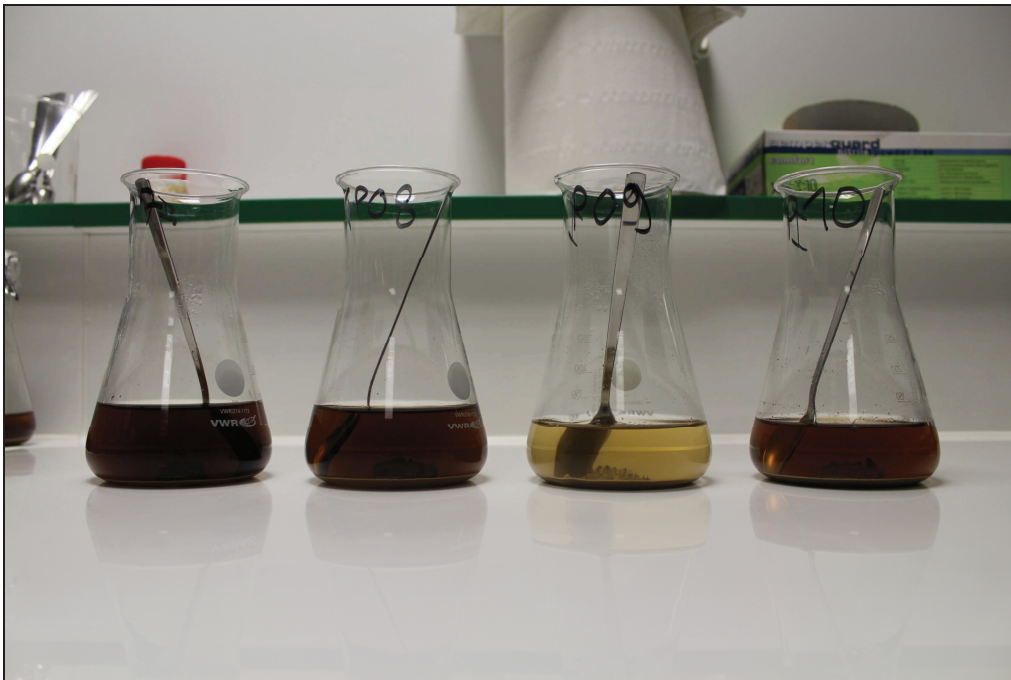


Figure 58 : Phase de Réhydratation de quatre échantillons.

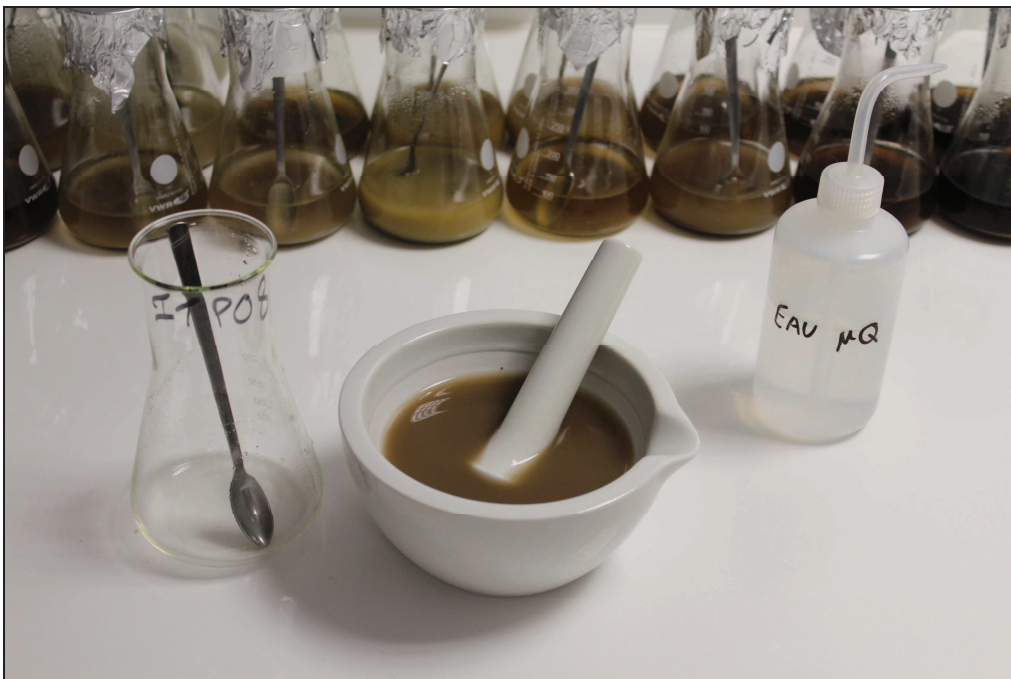


Figure 59 : Phase d'Homogénéisation : broyage au mortier.

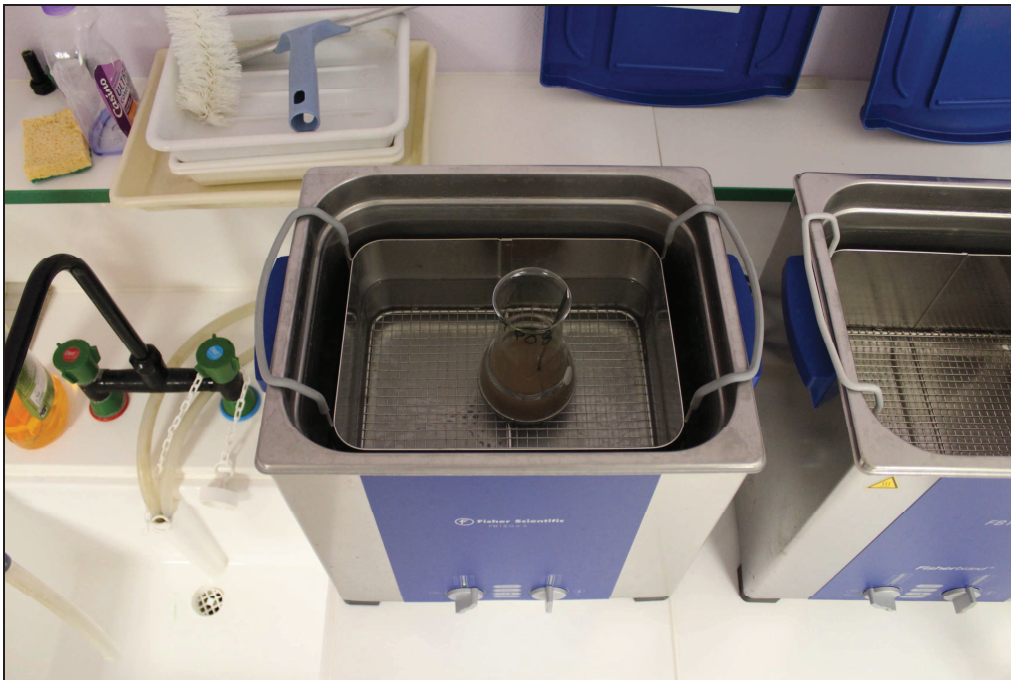


Figure 60 : Phase d'Homogénéisation : traitement par ultrasons.



Figure 61 : Phase de Microtamisage.

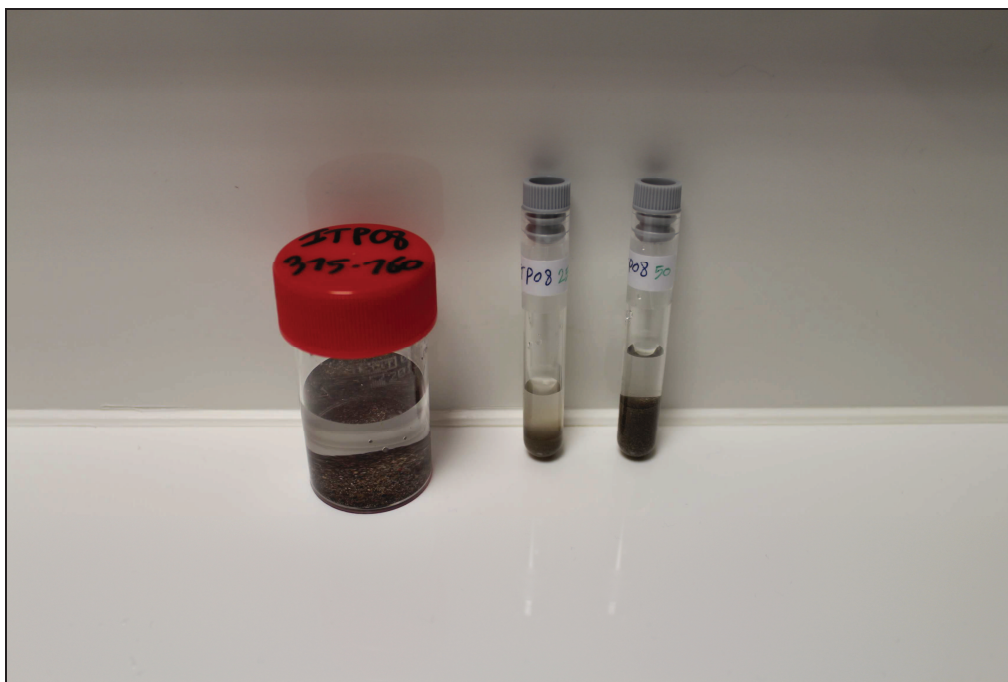


Figure 62 : Refus de tamis récupérés à l'issue de la phase de Microtamisage (315 et 160 μm à gauche, 25 μm au centre et 50 μm à droite).

1.3.3.2 La méthode "squash"

La méthode "squash" de Dainton (1992) est employée par certains laboratoires du Royaume-Uni dans douze études pour l'époque romaine (ETP_0016 et ETP_0018 à ETP_0028).

Cette méthode consiste à homogénéiser dans de l'eau par agitation trois petits morceaux d'échantillons, de 3 mm de diamètre environ, prélevés dans des points différents de l'échantillon (pour prendre en compte son hétérogénéité). Après avoir laissé reposer le mélange quelques instants afin de laisser sédimer les grosses particules, une goutte de surnageant prélevée à la pipette pasteur est observée sous microscope entre lame et lamelle pour rechercher les œufs de parasites (Dainton, 1992).

Cette méthode développée initialement pour la détection des œufs de nématodes parasites permet également de retrouver d'autres éléments environnementaux (phytolithes, spores...). Elle est utilisée pour estimer le contenu parasitaire et non parasitaire des échantillons, et ainsi évaluer les analyses à réaliser sur les échantillons prélevés (voir les différents rapports de l'Environmental Archaeology Unit de l'Université de York, EAU).

Cette méthode d'examen direct présente l'avantage d'être rapide à mettre en œuvre tout en n'employant ni matériel ni réactif particulier. Cependant, elle ne peut être utilisée qu'à titre de diagnostic, c'est d'ailleurs l'usage qui en est fait dans l'Université de York. En effet, la lecture d'une seule lame ne permet sans doute pas de mettre en évidence l'ensemble des parasites présents dans un échantillon. Même si plusieurs lames peuvent être lues, seuls les taxons majoritaires seront bien visibles alors que les taxons minoritaires pourront passer totalement inaperçus. De plus les œufs observés dans certains échantillon peuvent être sujet à des processus taphonomiques particuliers (minéralisations...) susceptibles de les rendre moins présents, voire absents du surnageant (voir *infra* et Figure 57, p. 198). Il convient alors d'utiliser d'autres méthodes d'extraction des éléments parasitaires afin d'optimiser l'observation des taxons présents dans l'échantillon étudié.

1.3.4 Les autres méthodes

D'autres méthodes spécifiques utilisées pour extraire les npps et les pollens sont à ajouter à cet inventaire des méthodes employées pour les sites d'époque romaine.

Méthode d'extraction des npps

Une étude (ETP_0001) utilise une méthode spécifique pour extraire les microfossiles non polliniques (van Geel *et al.*, 2003) basée sur une concentration chimique, suivie d'une filtration/tamissage. De la potasse à 5 % (KOH) est ajoutée à l'échantillon puis le tout est mis à ébullition pendant 5 mn. La solution obtenue est ensuite tamisée à 150 µm.

Méthodes de la palynologie

Deux études palynologiques ont permis l'observation d'œufs de parasites (ETP_0003 et ETP_0062). Ces méthodes associent une concentration chimique à une flottation, suivie d'une acétolyse pour la première étude, et complétée par une filtration pour la seconde. L'acétolyse permet de rendre plus visible la structure des grains de pollens en dissolvant leur contenu

cytoplasmique. Pour la concentration chimique, des acides permettent l'élimination des minéraux et des bases sont utilisées pour éliminer une partie de la matière organique.

Pour la première étude, de la potasse à 10 % (KOH) puis de l'acide chlorhydrique à 18 % (HCl) sont utilisés pour la concentration chimique. Une flottation à l'aide d'une solution de bromoforme/alcool de densité 2.0 est ensuite réalisée suivie d'une acétolyse. Les lames à observer sous microscope sont ensuite montées avec du glycérol.

La seconde étude apporte moins de détails quant à la méthode utilisée. De l'acide chlorhydrique et de l'acide fluorhydrique (HF) sont d'abord utilisés puis de la potasse. Les concentrations ne sont pas précisées. Une flottation par liqueur dense de densité 2.0 (non identifiée) est ensuite utilisée. Une filtration est également utilisée mais rien ne précise à quel moment elle intervient. Pour finir, 1/10^e de chaque lame est ensuite lu sous microscope.

2 STANDARDISATION DE LA METHODE RHM, ET TESTS DE NOUVELLES METHODES D'EXTRACTION

2.1 Avantages et inconvénients de la méthode RHM

La méthode RHM permet de retrouver et de concentrer tous les types d'œufs. Elle présente l'avantage d'être non sélective. En effet, elle concentre les œufs d'helminthes au même titre que les autres éléments non parasitaires présents initialement dans les échantillons comme les pollens, les champignons, les fragments de charbons et de bois, les diatomées, les restes d'insectes, les minéraux...

Cependant ces éléments, principalement les débris végétaux et les minéraux, sont parfois présents en quantité importante ce qui peut rendre difficile l'observation des œufs de parasites comme le montre la photo suivante (Figure 63, p. 209) et ainsi rendre fastidieuse la lecture des lamelles en microscopie optique. Même s'ils sont intéressants d'un point de vue paléoenvironnemental, nous nous sommes demandé s'il était possible d'éliminer ces éléments non parasitaires, ou au moins de réduire leur nombre, afin de rendre nos préparations plus claires et faciliter nos lectures sans altérer la biodiversité parasitaire et/ou la concentration des œufs de parasites.

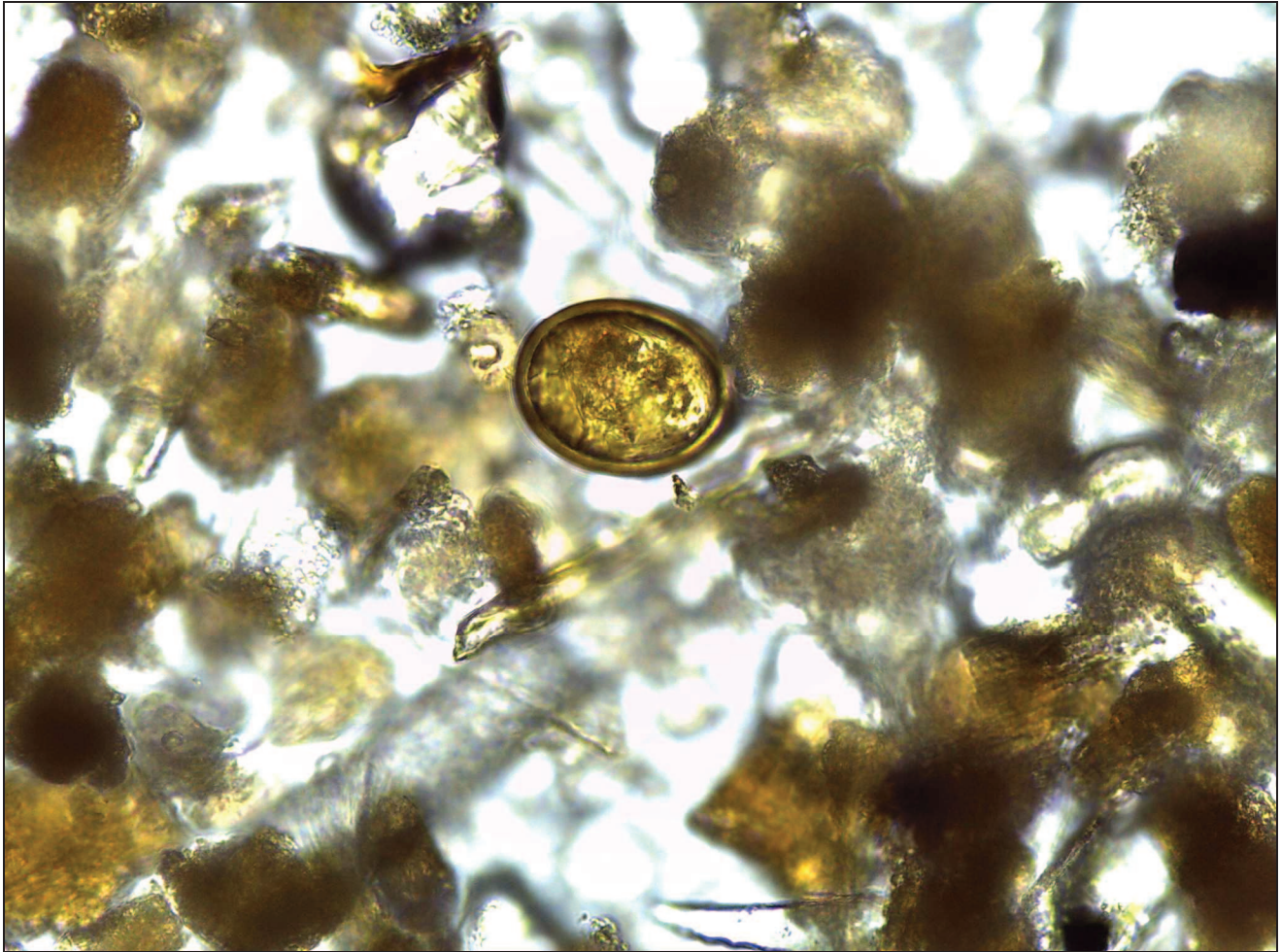


Figure 63 : Vue d'une lamelle chargée en minéraux et débris végétaux avec un œuf d'Ascaridé au centre (site de Beauvais, Rue Saint Laurent).

Parmi les éléments non parasitaires, les pollens sont régulièrement observés dans les lames associés aux œufs de parasites. Inversement les œufs de parasites sont parfois observés par les palynologues dans leurs préparations. De plus, les méthodes de palynologie permettent l'élimination de la matière organique végétale et des minéraux par l'emploi d'acides (acide chlorhydrique, HCl, et acide fluorhydrique, HF) et de bases (soude, NaOH, et potasse, KOH) (voir *supra* **1.3.4 Les autres méthodes**, p. 206).

Afin d'améliorer la méthode d'extraction des œufs de parasites, un des objectifs de mon travail a consisté à tester différentes combinaisons d'acides et de bases afin d'éliminer les éléments non parasitaires. Les effets de ces produits ont pu être observés sur les œufs de parasites.

Les résultats obtenus par ces tests de méthode ont fait l'objet d'un poster et d'une publication³⁵.

Plusieurs méthodes employées dans les études réalisées pour l'époque romaine utilisent des acides pour extraire les œufs de parasites (voir Tableau 17, Volume 2, Annexe 12, p. 44-46). Les bases en revanche sont uniquement utilisées dans les méthodes d'études des pollens. Reinhard *et al.* (1988) sont à notre connaissance, les premiers à avoir proposé d'utiliser certains éléments des méthodes de la palynologie pour extraire les œufs de parasites. La méthode habituellement utilisée en palynologie a été testée sur un échantillon contenant des œufs actuels. Les résultats montrent que certains œufs sont détruits après l'étape d'acétolyse (*Ascaris lumbricoides* notamment). Warnock et Reinhard (1992) propose par la suite une méthode qui permet d'extraire d'un même échantillon les œufs de parasites et les pollens³⁶.

La méthode RHM présente également l'inconvénient de ne pas être standardisée, autrement dit, la quantité d'échantillon initialement traitée par la méthode n'est pas fixe ce qui rend difficile la comparaison des quantités d'œufs observées pour plusieurs échantillons. Pour pallier à ce problème, la méthode RHM a été standardisée en fixant la quantité d'échantillon brut testée et les quantités de réactifs utilisés pour la phase de réhydratation³⁷.

³⁵ Poster : Dufour B., Le Bailly M. Tests of new extraction methods in Paleoparasitology and an attempt at quantification. *The 19th european meeting of the paleopathology association*, Lille, France, August 27 - 29, 2012.

Publication : Dufour B., Le Bailly M. (2013), Testing new parasite egg extraction methods in paleoparasitology and an attempt at quantification. *International Journal of Paleopathology*, 3, 3, pp. 199-203.

³⁶ En réalité, l'échantillon étudié est traité dans un premier temps par de l'acide chlorhydrique puis par de l'acide fluorhydrique, pour éliminer les minéraux, puis séparé en deux sous échantillons après concentration par liqueur dense. Le premier est observé pour rechercher les œufs de parasites tandis que l'extraction des pollens se poursuit sur le second (Warnock et Reinhard, 1992).

³⁷ Dans la suite du texte correspondant aux tests de méthode elle sera nommée "RHM" pour RHM standardisée.

2.2 Méthodes palynologiques et paléoparasitologie

En palynologie, quatre étapes principales sont le plus souvent utilisées :

- 1) Quelques grammes de sédiments sont pesés pour avoir la masse de l'échantillon. Une tablette de spore de *Lycopodium* est ensuite ajoutée pour déterminer le nombre de grains de pollen par gramme de sédiment.
- 2) L'échantillon est ensuite traité avec de la soude (NaOH) pour éliminer la matière organique.
- 3) De l'acide chlorhydrique (HCl) et de l'acide Fluorhydrique (HF) sont ensuite utilisés pour dissoudre les carbonates de calcium et les silicates.
- 4) Pour finir, les grains de pollen sont concentrés par centrifugation dans une solution dense (par exemple Chlorure de Zinc $ZnCl_2$).

Les échantillons sont ensuite observés sous microscope optique pour identifier et compter les grains de pollen, afin d'estimer leur nombre par gramme de sédiment³⁸.

En paléoparasitologie, les concentrations chimiques par acide et base utilisées en palynologie pourraient permettre d'éliminer, ou au moins de réduire, les minéraux et les éléments organiques présents dans les échantillons.

Les acides ont parfois été utilisés pour extraire les œufs de parasites. Par exemple, pour l'époque romaine, l'acide chlorhydrique a été employé dans les méthodes M_0016, M_0026, M_0027, M_0028, M_0032 et M_0033 (voir Tableau 18, Volume 2, Annexe 12, p. 47-48).

En revanche, les processus taphonomiques modifient les œufs de parasites ce qui change leur densité (voir *supra* 1.3.2.1 **Généralités et méthodes à utiliser**, p. 197). La concentration par solution dense ne peut donc pas être utilisée pour extraire les œufs de parasites, car une partie d'entre eux ne seraient pas extraits (par exemple ceux ayant subi une minéralisation) (voir Figure 57, p. 198).

³⁸ L'étape d'acétolyse endommageant les œufs de parasites, elle n'est pas évoquée ici.

Concernant la quantification, la méthode utilisant des spores de *Lycopodium*, bien qu'intéressante, ne peut être utilisée avec la méthode RHM. En effet, la taille des spores étant d'environ 30 µm (Živcová *et al.*, 2007), donc inférieure à 50 µm, l'ensemble des spores se trouveraient dans la fraction de 25 µm (dimensions comprises entre 50 et 25 µm) ce qui poserait problème pour quantifier les œufs de la fraction 50 µm (dimensions comprises entre 160 et 50 µm).

Afin de comparer les résultats de ces tests de méthodes avec la méthode RHM, nous avons donc choisi d'utiliser une méthode de quantification employée en parasitologie, dérivée de la méthode de Stoll (voir *infra*), qui permet de déterminer le nombre d'œufs par gramme à partir d'une masse traitée initiale d'échantillon fixe, d'un volume lu et total fixes pour chaque tube.

2.3 Méthodes testées et quantification

Huit méthodes acides/base combinant les étapes HCl, HF et NaOH ont été utilisées pour tester leurs effets sur les œufs de parasites anciens et sur les éléments non parasitaires :

- 1) NaOH seule
- 2) HCl seul
- 3) NaOH et HCl
- 4) NaOH, HCl et HF
- 5) HCl et NaOH
- 6) HCl et HF
- 7) HCl, NaOH et HF
- 8) HCl, HF et NaOH

Pour chacune de ces méthodes, les étapes utilisant les acides et les bases suivent la procédure d'extraction des pollens utilisée au laboratoire de Besançon (Laboratoire Chrono-environnement UMR CNRS 6249, Université de Bourgogne Franche-Comté). L'ensemble des réactifs chimiques utilisés étant dangereux et à manipuler avec précaution (acide

fluorhydrique en particulier), toutes les manipulations ont été réalisées sous sorbonne avec des protections adaptées (gants, masque, lunettes de protection...).

Etape soude NaOH

Lors de cette étape, 25 mL de NaOH 10% sont ajoutés à l'échantillon, homogénéisé puis placé au bain marie à 80°C pendant 1h00. Après ce temps, l'échantillon est centrifugé, le surnageant est éliminé et 35 mL d'eau distillée sont ajoutés pour le rincer. L'échantillon est centrifugé et le surnageant éliminé une seconde fois. Le rinçage est recommencé jusqu'à ce que le surnageant soit clair ce qui permet à l'échantillon de retrouver un pH neutre et d'être manipulé sans risque.

Etape acide chlorhydrique HCl

Quelques gouttes d'HCL 36% sont ajoutées à l'échantillon et après un court instant, 25 mL d'HCL 36% sont ajoutés progressivement en homogénéisant. Ensuite, quand il n'y a plus de réaction, l'échantillon est centrifugé et le surnageant est éliminé. 35 mL d'eau distillée sont ajoutés pour le rincer. L'échantillon est centrifugé et le surnageant éliminé une fois de plus. Le rinçage est recommencé jusqu'à ce que le surnageant soit clair ce qui permet à l'échantillon de retrouver un pH neutre et d'être manipulé sans risque.

Etape acide fluorhydrique HF

Pour cette étape, 20 mL d'HF 40% sont ajoutés progressivement à l'échantillon en homogénéisant. L'échantillon est ensuite laissé reposer pendant 24h00. Le matin suivant, de l'eau distillée est ajouté et l'échantillon est remué. Le surnageant est ensuite éliminé et 20 mL d'HCl 36% sont ajoutés. Après homogénéisation, l'échantillon est placé au bain marie à 80°C pendant 45 mn. L'échantillon est laissé refroidir à l'air libre. Après homogénéisation et centrifugation, le surnageant est éliminé et de l'eau distillée est ajoutée pour le rincer. L'échantillon est centrifugé et le surnageant éliminé une nouvelle fois. Le rinçage est recommencé jusqu'à ce que le surnageant soit clair ce qui permet à l'échantillon de retrouver un pH neutre et d'être manipulé sans risque.

Parallèlement à ces huit combinaisons d'acides et de bases, trois méthodes dérivées de la méthode RHM ont été testées, notamment pour vérifier l'effet des réactifs utilisés dans la phase de réhydratation et l'intérêt de la séparation micrométrique à l'aide de deux tamis (25 et 50 μm).

- RHMs : Méthode RHM standardisée
- RHMs-H₂O_d : Méthode RHM standardisée, avec uniquement de l'eau déminéralisée pour la réhydratation
- RHMs-25 : méthode RHM standardisée, avec uniquement le tamis de 25 μm et sans le tamis de 50 μm pour le microtamisage

Pour les méthodes acides/base, la procédure suivante a été suivie :

- 1) 5 g d'échantillon sont filtrés avec 10 mL d'eau distillée à travers un tamis de 200 μm pour éliminer les plus grosses particules.
- 2) Après centrifugation de l'échantillon et élimination du surnageant, les différentes étapes déjà décrites des huit combinaisons d'acides et de bases sont utilisées.
- 3) Après la dernière centrifugation et l'élimination du surnageant, 1 mL de formol à 10 % et 4 mL d'eau distillée sont ajoutés. Le volume total de chaque tube est alors déterminé.
- 4) Pour finir, 20 lamelles (22 x 22 mm) de 15 μL (soit 300 μL au total) prélevés à la micropipette eppendorf de chaque échantillon, sont observés sous microscope optique, après homogénéisation de l'échantillon au vortex.

Pour la méthode RHMs :

- 1) 5 g d'échantillon sont réhydratés pendant 10 jours dans une solution composée de phosphate trisodique (Na₃PO₄) à 0,5 % (25 mL) et de glycérol à 5 % (25 mL). Quelques gouttes de formol à 10 % sont ajoutées pour éviter le développement de micromycètes.
- 2) Le matériel est ensuite broyé dans un mortier puis passé dans une cuve à ultrasons pendant 1 mn.

- 3) L'ensemble est alors filtré à travers une colonne de tamis de maille décroissante de 315, 160, 50 et 25 µm. Les deux derniers refus de tamis et le 1er jus³⁹ sont placés dans un tube avec de l'eau puis centrifugés. Le surnageant est alors éliminé et 1 mL de Formol 10 % ainsi que 4 mL d'eau distillée sont ajoutés. Le volume de chaque tube est alors déterminé.
- 4) Pour finir, 20 lamelles (22 x 22 mm) de 15 µL (soit 300 µL au total) de chaque échantillon prélevé à la micropipette eppendorf, sont observées sous microscope optique après homogénéisation par vortex.

Pour la méthode RHMs-H₂O_d, le protocole suivi est identique au précédent à la différence que la réhydratation est réalisée uniquement dans de l'eau déminéralisée. Dans le cas de la méthode RHMs-25, le protocole suivi est identique à celui de la méthode RHMs à la différence que le microtamisage est réalisé uniquement avec une colonne constituée des tamis de 315, 160 et 25µm.

Pour permettre une comparaison des résultats entre les huit méthodes acides/base et les trois méthodes RHMs, le nombre d'œufs de parasite doit être connu. Pour quantifier les œufs, la méthode de comptage des œufs de Stoll utilisée actuellement en parasitologie (Ayres et Mara, 1997; Bailenger, 1982), et la méthode de Stoll modifiée par Jones utilisée en paléoparasitologie (Fugassa *et al.*, 2006; Jones, 1985b) ont été adaptées. Le nombre d'œufs par gramme d'échantillon sec est donné par la formule suivante :

$$OPG = \frac{OVL \times VT}{VL \times MS}$$

Où OPG = nombre d'œufs par gramme, OVL = nombre d'œufs comptés dans le volume lu, VT = volume total du tube d'échantillon (mL), VL = volume lu du tube d'échantillon (mL) et MS = masse d'échantillon sec (g).

5 g d'échantillon brut ont aussi été laissé sécher à température ambiante pour obtenir la masse d'échantillon sec (MS). Pour les méthodes combinant acides/base et la méthode RHMs, 5 mL de liquide ont été ajoutés (1 mL de formol à 10 % et 4 mL d'eau distillée) à chaque tubes. Pour finir, le volume total du tube est mesuré (volume final des sédiments + 5 mL) et 300 µL

³⁹ Le "1er jus" correspond au mélange de liquide passé à travers l'ensemble de la colonne de tamis. Il contient également les particules de dimensions inférieures à 25 µm.

(20 lamelles 22 x 22 mm de 15 µL) d'échantillon homogénéisé sont lus. Par conséquent, la masse d'échantillon sec est constante pour chaque méthode de même que le volume lu. La formule utilisée est alors :

$$OPG = \frac{O_{300} \times VT}{0.3 \times MS}$$

Où OPG = nombre d'œufs par gramme, O_{300} = nombre d'œufs comptés dans les 300 µL lus d'échantillon homogénéisé, VT = volume total du tube d'échantillon (mL) et MS = masse d'échantillon sec (g).

Dans le cas des trois méthodes RHMs, la somme du nombre d'œufs de chaque taxon obtenus pour chaque tube est réalisée (25µm, 50µm et 1er Jus pour RHMs et RHMs-H₂O_d; 25µm et 1er jus pour RHMs-25) afin d'obtenir un seul chiffre qui correspond alors à O_{300} .

En effet, la séparation micrométrique est réalisée pour faciliter nos lectures sous microscope. Il faut donc considérer qu'une lamelle se compose de 15 µL prélevés dans chaque tube. En théorie, il serait possible de procéder de cette manière pour réaliser les lamelles, mais en pratique la quantité de particules correspondant à l'association de chaque prélèvement de 15 µL est trop importante et la lamelle ainsi obtenue est illisible car trop chargée. En effet, la méthode RHM, même standardisée, reste non sélective pour les œufs de parasite et extrait également l'ensemble des éléments non parasitaires (débris végétaux, minéraux...) (voir *supra* **2.1 Avantages et inconvénients de la méthode RHM**, p. 208). Chacun des tubes obtenus doit donc être lu séparément afin de ne pas perdre l'avantage de cette séparation micrométrique. Pour cette raison, le nombre de lamelles lues dans chaque fraction doit également être identique.

Cette méthode de quantification permet d'obtenir le nombre d'œufs par gramme d'échantillon. Ainsi, la comparaison des résultats obtenus pour chaque méthode testée est possible. D'une manière générale, cette méthode de quantification peut être utilisée dans toutes les études paléoparasitologiques pour comparer entre eux les sites et les échantillons archéologiques.

2.4 Matériel étudié et résultats obtenus

Ces onze méthodes ont été testées sur un échantillon daté de 600-800 EC provenant d'un puits du site de Mas de Vignoles près de la ville de Nîmes (30, Gard). Cet échantillon déjà étudié en paléoparasitologie par la méthode RHM (non standardisée) contient des œufs de parasites de différents taxons, et plusieurs éléments non parasitaires.

Toutes les méthodes testées, RHMs et dérivées, ainsi que les combinaisons acides/base, ont permis l'observation d'œufs de parasites. Des variations dans la biodiversité et le nombre d'œufs comptés s'observent également. Le Tableau 28 (p. 218) présente la biodiversité parasitaire et le nombre d'œufs par gramme d'échantillon brut sec pour chaque méthode testée. Au total, huit taxons appartenant à trois classes ont été identifiés :

- Des Nématodes : *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Capillaria* type *hepatica* et *Capillaria* reticulé.
- Des Acanthocéphales : *Macracanthorhynchus* sp.
- Des Trématodes : *Dicrocoelium* sp., *Fasciola* sp. et *Paramphistomum* sp.

Méthode	<i>Ascaris</i> sp.	<i>Trichuris</i> sp.	<i>Capillaria</i> type <i>hepatica</i>	<i>Capillaria</i> réticulé	<i>Macracanthorhynchus</i> sp.	<i>Dicrocoelium</i> sp.	<i>Fasciola</i> sp.	<i>Paramphistomum</i> sp.	Nombre de taxons
1 (NaOH)	35,04	8,76	-	-	-	-	-	-	2
2 (HCl)	63,28	108,48	-	18,08	-	18,08	45,20	9,04	6
3 (NaOH_HCl)	24,28	48,56	-	8,09	-	-	-	-	3
4 (NaOH_HCl_HF)	55,57	-	-	-	-	-	-	-	1
5 (HCl_NaOH)	-	22,28	-	-	-	-	-	-	1
6 (HCl_HF)	129,43	236,01	-	38,07	-	-	-	-	3
7 (HCl_NaOH_HF)	6,95	6,95	-	6,95	-	-	-	-	3
8 (HCl_HF_NaOH)	-	6,95	-	-	-	-	-	-	1
RHMs	62,15	61,87	6,85	13,71	-	6,95	48,63	6,95	7
RMHs-H ₂ O _d	264,00	128,00	-	32,00	-	8,00	128,00	-	5
RHMs-25	192,00	72,00	-	40,00	8,00	16,00	136,00	8,00	7

Tableau 28 : Nombre d'œufs de parasites par gramme d'échantillon brut sec et variations de biodiversité pour les combinaisons acides bases et les protocoles RHMs (les valeurs en gras correspondent au nombre d'œufs maximal pour chaque taxon).

Pour chaque méthode RHMs, aucun œuf ne s'observe dans le 1er jus ce qui montre l'efficacité du tamis de 25 µm pour récupérer l'ensemble des œufs les plus petits.

Concernant la biodiversité parasitaire, deux des méthodes RHMs permettent d'observer le nombre le plus élevé de taxons (7) : la méthode RHMs et la méthode RHMs-25. Ces deux méthodes sont également les seules à permettre l'observation de *Capillaria* type *hepatica*, pour RHMs, et de *Macracanthorhynchus* sp., pour RHMs-25. Un nombre comparable de taxons est obtenu avec la méthode 2 (HCl, 6 taxons) et la méthode RHMs-H₂O_d (5 taxons). Les méthodes 3, 6 et 7 (NaOH_HCl, HCl_HF et HCl_NaOH_HF) donnent 3 taxons, la méthode 1 (NaOH) 2 taxons et les méthodes 4, 5 et 8 (NaOH_HCl_HF, HCl_NaOH, HCl_HF_NaOH) seulement 1 taxon. Les résultats obtenus sont présentés dans la Figure 64 (p. 219). Dans ces graphiques, le nombre d'œufs par gramme est transformé en logarithme (log10), les quantités d'œufs observés étant très différentes.

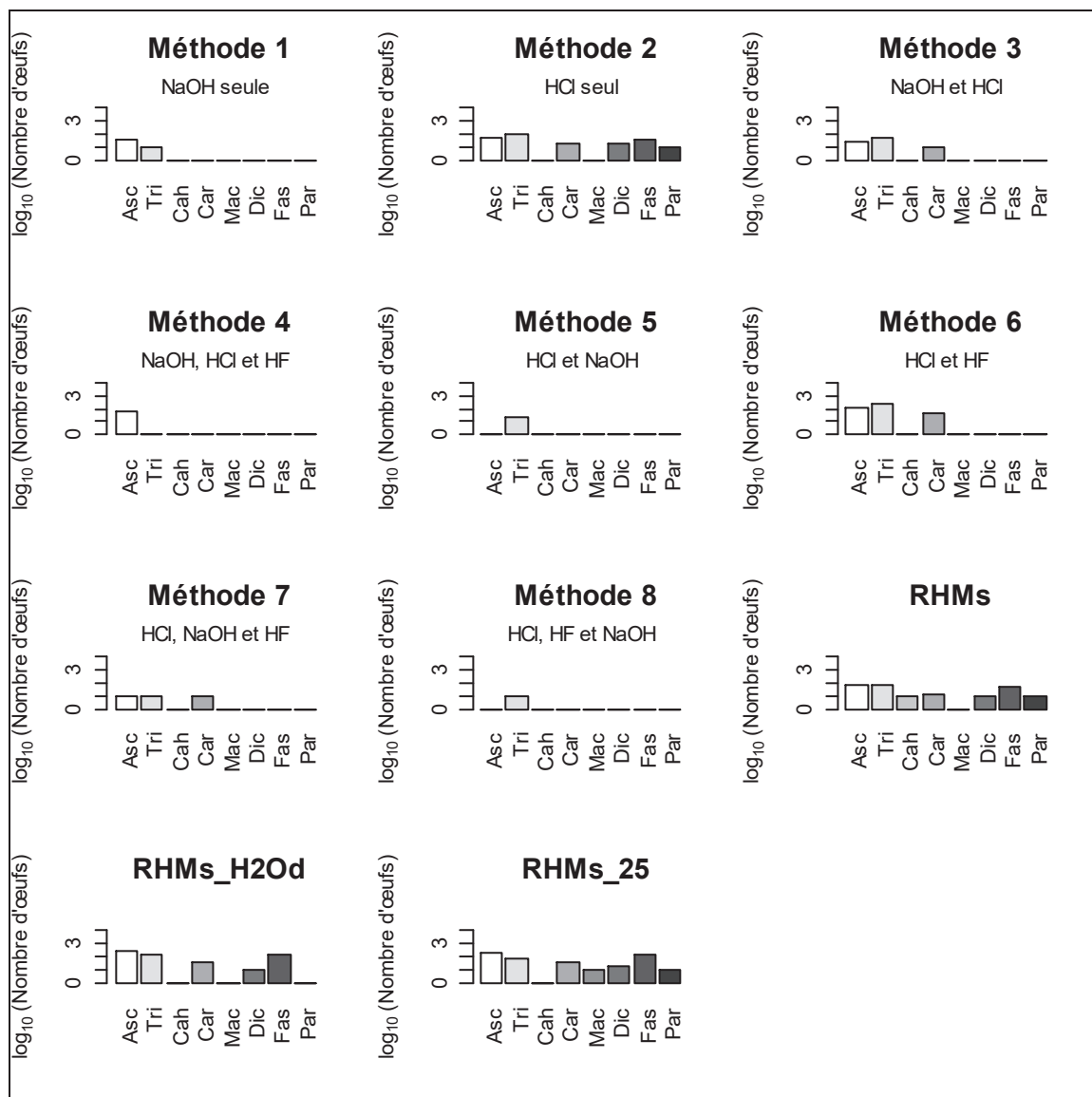


Figure 64 : graphiques des résultats pour chaque combinaisons acides/base et pour les méthodes RHM's (log10 du nombre d'œufs par gramme d'échantillon brut sec ; Asc = *Ascaris* sp., Tri = *Trichuris* sp., Cah = *Capillaria* type *hepatica*, Car = *Capillaria* réticulé, Mac = *Macracanthorhynchus* sp., Dic = *Dicrocoelium* sp., Fas = *Fasciola* sp. et Par = *Paramphistomum* sp.)

Pour chaque taxon, le nombre d'œufs varie en fonction de la méthode testée comme le montre la Figure 65 (p. 220). Pour *Ascaris* sp., ce nombre est le plus élevé avec la méthode RHM's-H₂Od et pour *Trichuris* sp., il est le plus élevé avec la méthode 6 (HCl et HF). La méthode RHM's-25 permet de retrouver le nombre le plus important d'œufs de *Capillaria* réticulé et de *Fasciola* sp. Enfin, le nombre d'œufs de *Dicrocoelium* sp. et de *Paramphistomum* sp. est le plus élevé avec la méthode 2 (HCl).

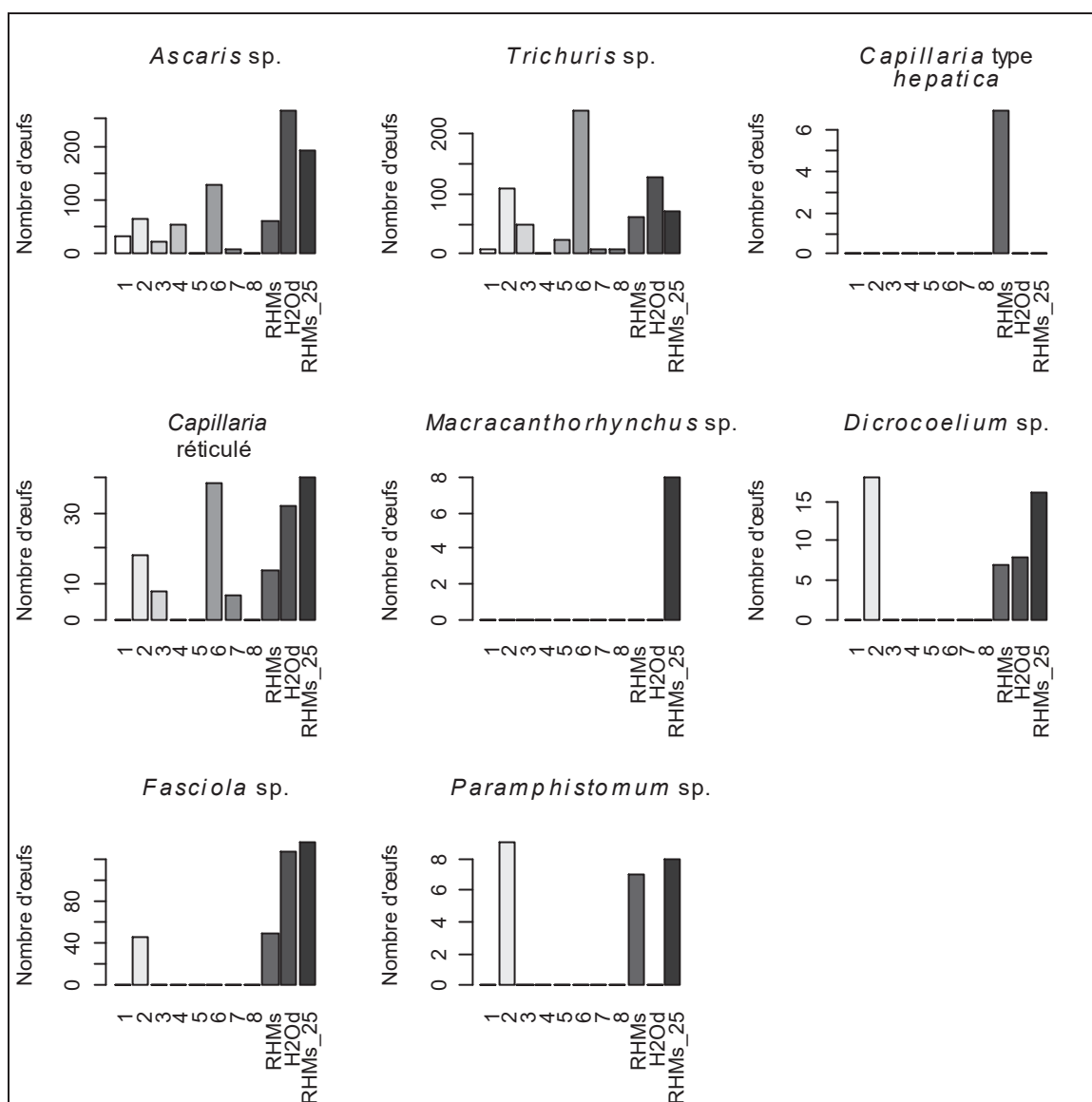


Figure 65 : graphiques des résultats pour chaque taxon (log10 du nombre d'œufs par gramme d'échantillon brut sec ; 1 = Méthode 1, 2 = Méthode 2, 3 = Méthode 3, 4 = Méthode 4, 5 = Méthode 5, 6 = Méthode 6, 7 = Méthode 7, 8 = Méthode 8 et H2Od = RHM_s-H2Od)

Pour finir, quelques précisions peuvent être apportées concernant les effets de ces méthodes sur la préparation et la lecture sous microscope des échantillons. Concernant les méthodes de combinaison acides/base, les végétaux observés sous microscope sont plus petits avec celles qui utilisent la soude (NaOH). Pour les méthodes incluant de l'acide chlorhydrique (HCl), les minéraux sont beaucoup moins présents dans les échantillons, et ils sont quasi absents de ceux traités avec de l'acide fluorhydrique (HF). Pour ces méthodes, les réactifs utilisés restent

dangereux et nécessitent des précautions d'emploi particulières (notamment avec HF) au contraire de ceux utilisés avec les méthodes RHMs.

Pour les méthodes RHMs testées, l'étape de microtamisage est beaucoup plus longue avec l'échantillon réhydraté uniquement dans l'eau déminéralisée (RHMs-H₂Od), car le mélange passe difficilement à travers la colonne à tamis, au contraire des deux autres méthodes utilisant le phosphate trisodique et le glycérol (RHMs et RHMs-25). Enfin, concernant les lectures sous microscope, celle de l'échantillon traité par la méthode RHMs-25 sont longues et difficiles car les particules présentes sont plus abondantes qu'avec la méthode RHMs et la méthode RHMs-H₂Od. De plus il est parfois difficile d'isoler les œufs observés afin de prendre les mesures pour les études en micromorphométrie.

2.5 Discussion des résultats

Comme le montre la Figure 64 (p. 219), les protocoles RHMs et la méthode 2 (HCl) montrent une plus grande biodiversité parasitaire (entre 5 et 7 taxons) comparé aux autres protocoles utilisant une combinaison acides/base (entre 1 et 3 taxons seulement).

Les méthodes utilisant NaOH (1, 3, 4, 5, 7 et 8) ont une biodiversité plus faible. En particulier, il semble qu'elles affectent les œufs de Trématodes (*Dicrocoelium* sp., *Fasciola* sp. et *Paramphistomum* sp.) qui ne s'observent pas avec ces méthodes. De même, HF pourrait les affecter également puisqu'ils ne sont pas observés dans les méthodes qui utilisent cet acide (4, 6, 7 et 8). Au contraire, ces taxons s'observent avec HCl (méthode 2) ce qui pourrait indiquer que cet acide ne les affecte pas, ou moins.

En ce qui concerne le nombre d'œufs observés (Figure 65, p. 220), les quantités les plus importantes s'observent avec la méthode 2, la méthode 6, la méthode RHMs-H₂Od et la méthode RHMs-25.

Pour les méthodes RHMs, les quantités d'œufs sont plus élevées avec la méthode RHMs-H₂Od et la méthode RHMs-25 qu'avec la méthode RHMs. Cette différence pourrait s'expliquer par l'hétérogénéité de l'échantillon étudié. En effet, les deux méthodes ont été testées dans un second temps, après les méthodes acides/base et la méthode RHMs (afin de

compléter les premiers résultats obtenus). Pour chaque test de méthode, les 5 grammes de sédiments utilisés proviennent de différents points de l'échantillon brut. Les sous-échantillons prélevés pour la première phase de tests (Méthodes 1 à 8 et méthode RHMs) ont été prélevés dans l'échantillon brut en des points proches. En revanche, pour la seconde phase (Méthode RHMs-H₂Od et RHMs-25) les points prélevés sont différents. En effet, les sous-échantillons ont été renvoyés au laboratoire Chrono-environnement après étude de cet échantillon en ADN ancien (travail de Nathalie Côté) qui a également nécessité une certaine quantité de sédiment de cet échantillon.

Pour *Ascaris* sp. les quantités d'œufs sont les plus importantes avec la méthode RHMs-H₂Od, puis avec la méthode RHMs-25 et avec la méthode 6. Pour *Trichuris* sp. la méthode 6 montre une quantité plus importante d'œufs suivie ensuite de la méthode RHMs-H₂Od et de la méthode 2, dans des proportions quasi équivalentes. Le nombre d'œufs de *Capillaria* réticulé est le plus élevé, dans des proportions quasi équivalentes avec la méthode RHMs-25 et la méthode 6, suivies de la méthode RHMs-H₂Od. Les quantités de *Dicrocoelium* sp. sont les plus élevées, quasi équivalentes, avec la méthode 2 et la méthode RHMs-25, suivies dans des proportions similaires plus faibles par la méthode RHMs et la méthode RHMs-H₂Od. Pour *Fasciola* sp. les quantités d'œufs sont les plus élevées, avec la méthode RHMs-25 et la méthode RHMs-H₂Od, suivies beaucoup plus faiblement, dans des proportions similaires, par la méthode 2 et la méthode RHMs. Les quantités d'œufs de *Paramphistomum* sp. sont quasi équivalentes pour la méthode 2, la méthode RHMs et la méthode RHMs-25.

Enfin, les œufs de *Capillaria* type *hepatica* et de *Macracanthorhynchus* sp. ne sont observés qu'avec les méthodes RHMs, respectivement RHMs et RHMs-25.

Au contraire des méthodes acides/base, les méthodes RHMs permettent d'observer l'ensemble des œufs appartenant aux taxons identifiés. Les différences de composition qui existent pour la coque des œufs de parasites pourraient en partie l'expliquer.

En effet, la composition de la coque des œufs d'helminthes diffère selon la classe, l'ordre et la famille auxquels ils appartiennent. Celle des Pseudophyllidae (comportant le genre *Diphyllbothrium*) est composée de sclérotine, celle des embryophores de Taeniidae de kératine et celle des œufs de Trématodes à la fois de sclérotine et de kératine. La coque des œufs de Nématodes se compose quant à elle de chitine et celle des Acanthocéphales de chitine et de kératine (Peters *et al.*, 1991; Smyth, 1994 ; Taraschewski *et al.*, 1992; Taraschewski et Peters, 1992; Wharton, 1980).

Etant donné ces différences de composition, les réactifs utilisés dans les protocoles acides/base pourraient agir différemment sur les œufs présents dans l'échantillon.

En effet, des analyses chimiques montrent que chaque composant de la coque des œufs de parasites (sclérotine, kératine et chitine) réagit avec les acides et les bases. La soude (NaOH) dissout la kératine (Nagai et Nikishawa, 1970) et la sclérotine se dissout en solution alcaline et acide (Richards, 1951). Enfin, la chitine est désacétylée en présence de soude et se transforme en chitosane, un composé soluble dans les solutions aqueuses acides (Lertsutthiwong *et al.*, 2002; Rouget, 1859). Dans ces conditions, la coque des œufs de parasites peut être altérée par certaines des méthodes acides/base testées, voir dissoute.

D'autres tests chimiques seraient à réaliser pour tester ces hypothèses. Concernant la chitine en particulier, certains paramètres environnementaux peuvent déjà apporter quelques éléments de réponse. En effet, le pH joue un rôle important dans sa conservation car un environnement acide peut augmenter sa dégradation (par hydrolyse acide) (Briggs *et al.*, 1999)⁴⁰.

Au contraire des acides et des bases, il n'y a aucune réaction entre les composants de la coque des œufs et ceux utilisés pour les méthodes RHMs (Na₃PO₄, glycérol et eau déminéralisée) qui agissent sur la matrice de l'échantillon et permettent seulement de rendre leur forme initiale aux œufs desséchés et déshydratés.

Même si ces méthodes acides/base présentent des avantages pour la lecture en microscopie (réduction des éléments végétaux et des particules minérales), les résultats montrent que leur utilisation entraîne une diminution quasi systématique de la biodiversité parasitaire. La méthode 2 pourrait éventuellement être utilisée pour extraire les œufs de parasites, mais elle présente un inconvénient important concernant la taille des œufs extraits.

Une étude de Hall *et al.* (1983) montre que les œufs de *Trichuris* sp. observés dans des échantillons traités par la méthode utilisée en palynologie sont plus petits que ceux observés dans le même échantillon désagrégué uniquement dans de l'eau. Concernant la méthode utilisée

⁴⁰ D'une manière plus générale, la conservation de la chitine dépend de l'environnement mais aussi de la nature de l'organisme considéré. Elle se dégrade plus rapidement en milieu marin qu'en milieu terrestre et un milieu acide peut favoriser sa dégradation. Les conditions de dépôts de l'organisme étudié ont également une influence sur le degré de préservation des molécules organiques qui le compose dont fait partie la chitine. Sa préservation est par exemple meilleure en milieu anoxique plutôt qu'en milieu oxygéné (Briggs *et al.*, 1999).

pour l'extraction des pollens, seule l'étape d'acétolyse est mentionnée, et les acides/bases utilisés ne sont pas précisés.

Si les méthodes utilisées en palynologie peuvent réduire la taille de certains œufs de parasite, il en est peut-être de même avec les méthodes acides/base testées, puisqu'elles dérivent de celles utilisées dans cette discipline.

Pour vérifier l'effet des méthodes testées sur les dimensions des œufs extraits, des mesures ont été réalisées sur l'ensemble des œufs observés avec les méthodes acides/base et avec les méthodes RHMs. Les largeurs et longueurs maximales ont été mesurées avec le logiciel Leica Application Suite V4.4 (voir *infra* **4 Etude micromorphométrique des œufs de parasites**, p. 277).

Parmi l'ensemble des mesures obtenues, seules celles réalisées avec la méthode 2, la méthode 6 et les méthodes RHMs pour les œufs de *Trichuris* sp. et d'*Ascaris* sp. ont des effectifs suffisants (au minimum 10) pour permettre une comparaison des dimensions obtenues. Les mesures des œufs extraits par la méthode RHMs et par la méthode RHMs-25 ont été associées car, pour ces deux protocoles, seuls les tamis utilisés diffèrent pour la séparation micrométrique (tamis de 50 µm retiré pour la méthode RHMs-25). Le reste de ces deux protocoles est identique.

L'échantillon étudié par ces tests provient d'un puits. Il pourrait donc contenir des rejets organiques différents, d'origine biologique mixte. Ainsi lorsque des œufs sont identifiés au niveau du genre, ils pourraient correspondre à plusieurs espèces. Les dimensions des œufs peuvent permettre de vérifier si plusieurs espèces sont présentes au sein d'un même échantillon (voir *infra* **4 Etude micromorphométrique des œufs de parasites**, p. 277). Pour un même genre, lorsque le nuage de points correspondant aux œufs mesurés n'est pas homogène, chaque sous ensemble peut correspondre à une espèce différente. Si plusieurs espèces sont présentes dans l'échantillon testé, la comparaison des dimensions en fonction des méthodes pourrait être faussée.

Pour les quatre méthodes retenues (2, 6, RHMs-H₂O_d et RHMs/RHMs-25), la Figure 66 (p. 225) représente les œufs d'*Ascaris* sp. mesurés et la Figure 67 (p. 226) celles des œufs de *Trichuris* sp. Les tableaux des mesures utilisées pour réaliser ces deux graphiques sont présentés en Annexe 13 (Volume 2, Tableau 19, p. 49-50 et Tableau 20, p. 50-51).

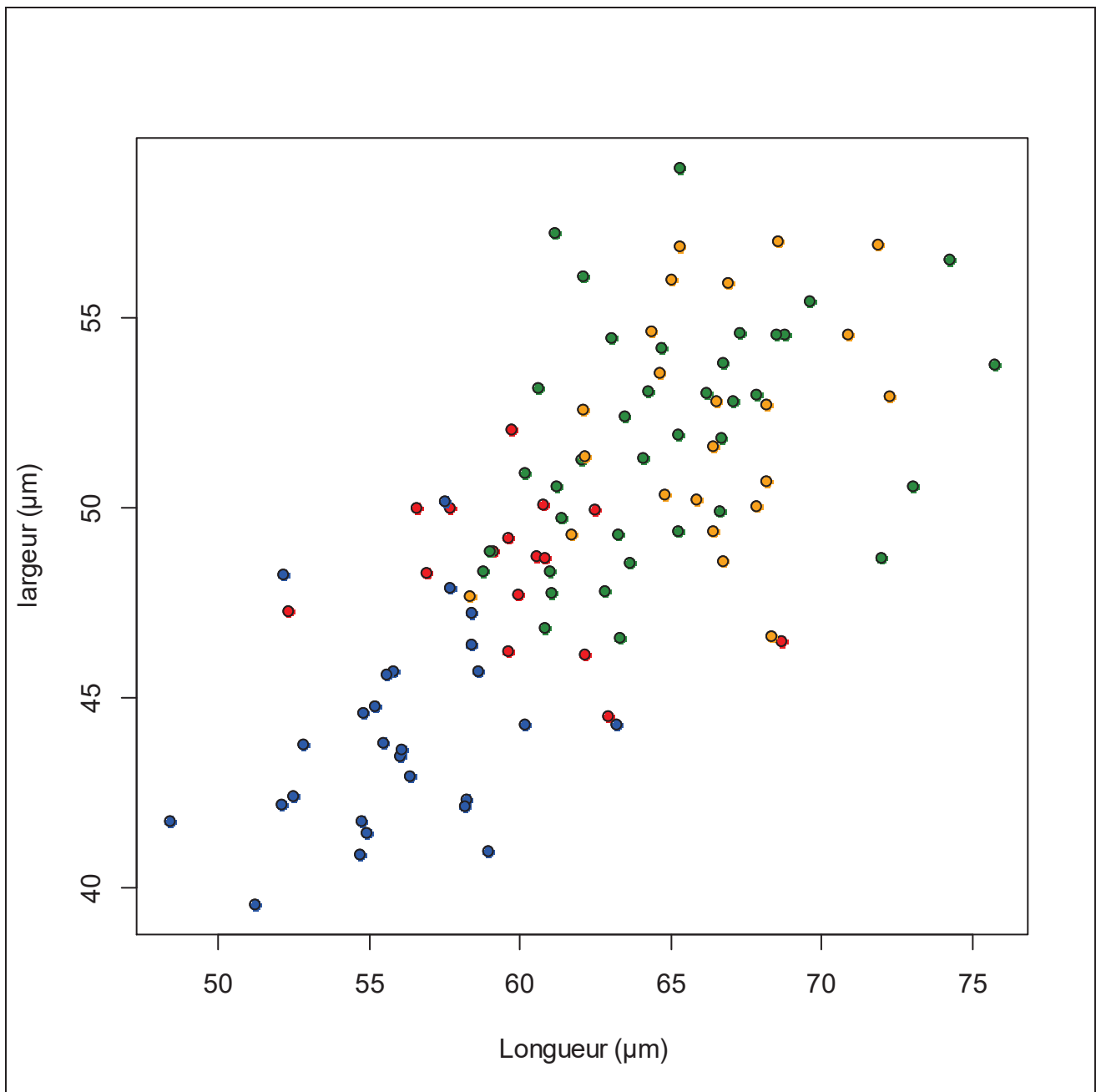


Figure 66 : Mesures des œufs d'*Ascaris* sp. extraits par la méthode 2 (en rouge), par la méthode 6 (en bleu), par la méthode RHMs- H_2O (en vert) et par les méthodes RHMs/RHMs-25 (en orange).

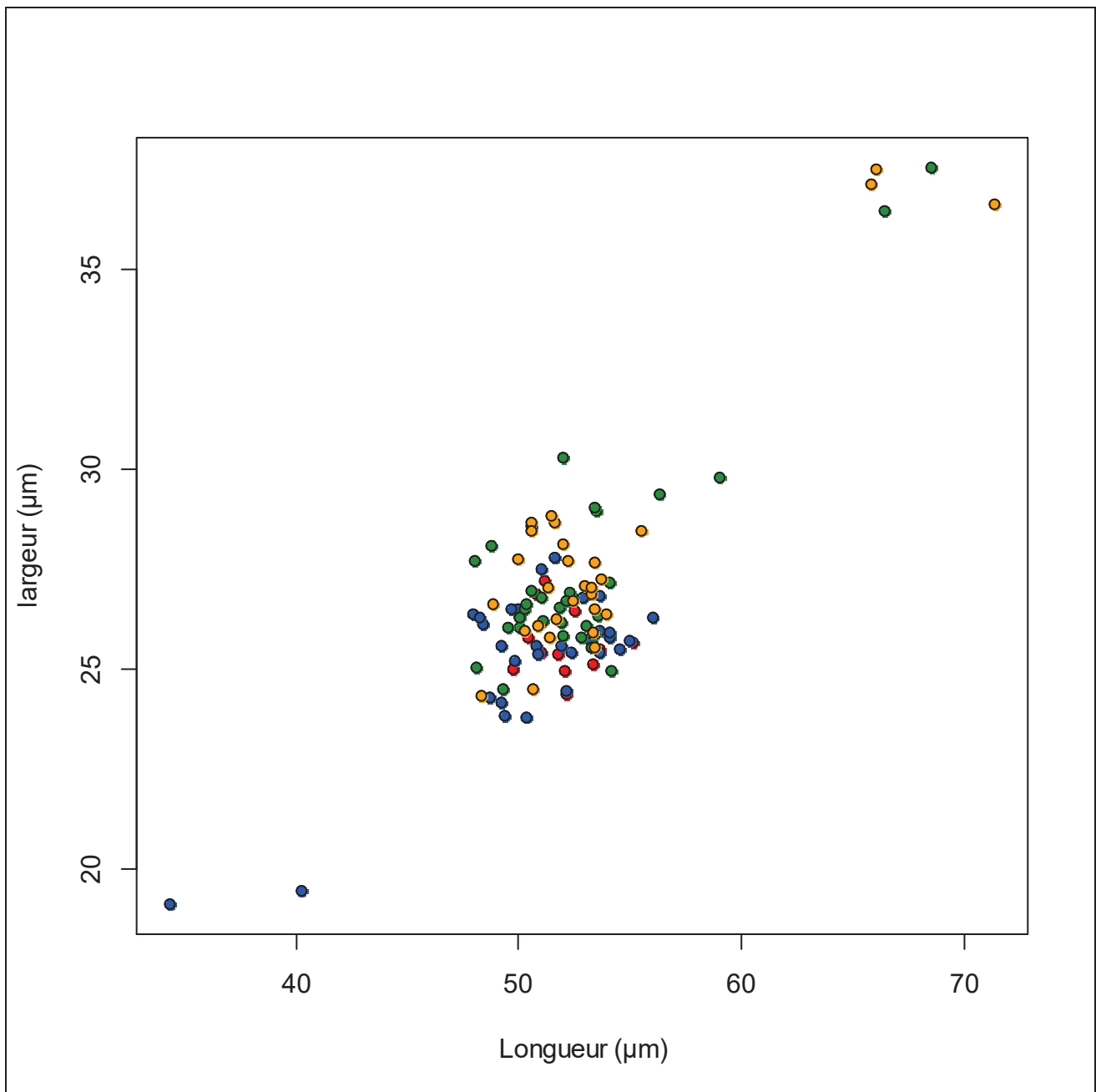


Figure 67 : Mesures des œufs de *Trichuris* sp. extraits par la méthode 2 (en rouge), par la méthode 6 (en bleu), par la méthode RHM/H₂O (en vert) et par les méthodes RHM/RHM-25 (en orange).

Pour les deux taxons, aucune subdivision dans les nuages de points n'est visible pour les quatre méthodes prises individuellement. Seuls quelques œufs de *Trichuris* sp. plus grands (70 x 37 µm environ, méthode RHM/H₂O et RHM/RHM-25) et d'autres plus petits (37 x 20 µm environ, méthode 6) pourraient correspondre à d'autres espèces.

Cela semble donc montrer que dans l'échantillon une seule espèce d'*Ascaris* est présente et qu'une seule espèce de *Trichuris* est majoritairement présente.

Afin de déterminer si ces quatre méthodes modifient ou non les dimensions des œufs d'*Ascaris* sp. et de *Trichuris* sp., les dimensions moyennes, les minimums et maximums ainsi que les intervalles de confiance à 95% ont été déterminés dans chaque cas⁴¹. La Figure 68 (p. 228) représente les différentes valeurs obtenues pour les œufs d'*Ascaris* sp. et la Figure 69 (p. 229) celles obtenues pour les œufs de *Trichuris* sp. Les tableaux des valeurs utilisées pour réaliser ces deux graphiques sont présentés en Annexe 13 (Volume 2, Tableau 21 et Tableau 22, p. 52).

⁴¹ Les œufs de *Trichuris* sp. de dimensions plus grandes et plus petites sont écartées car ils correspondent à priori à d'autres espèces.

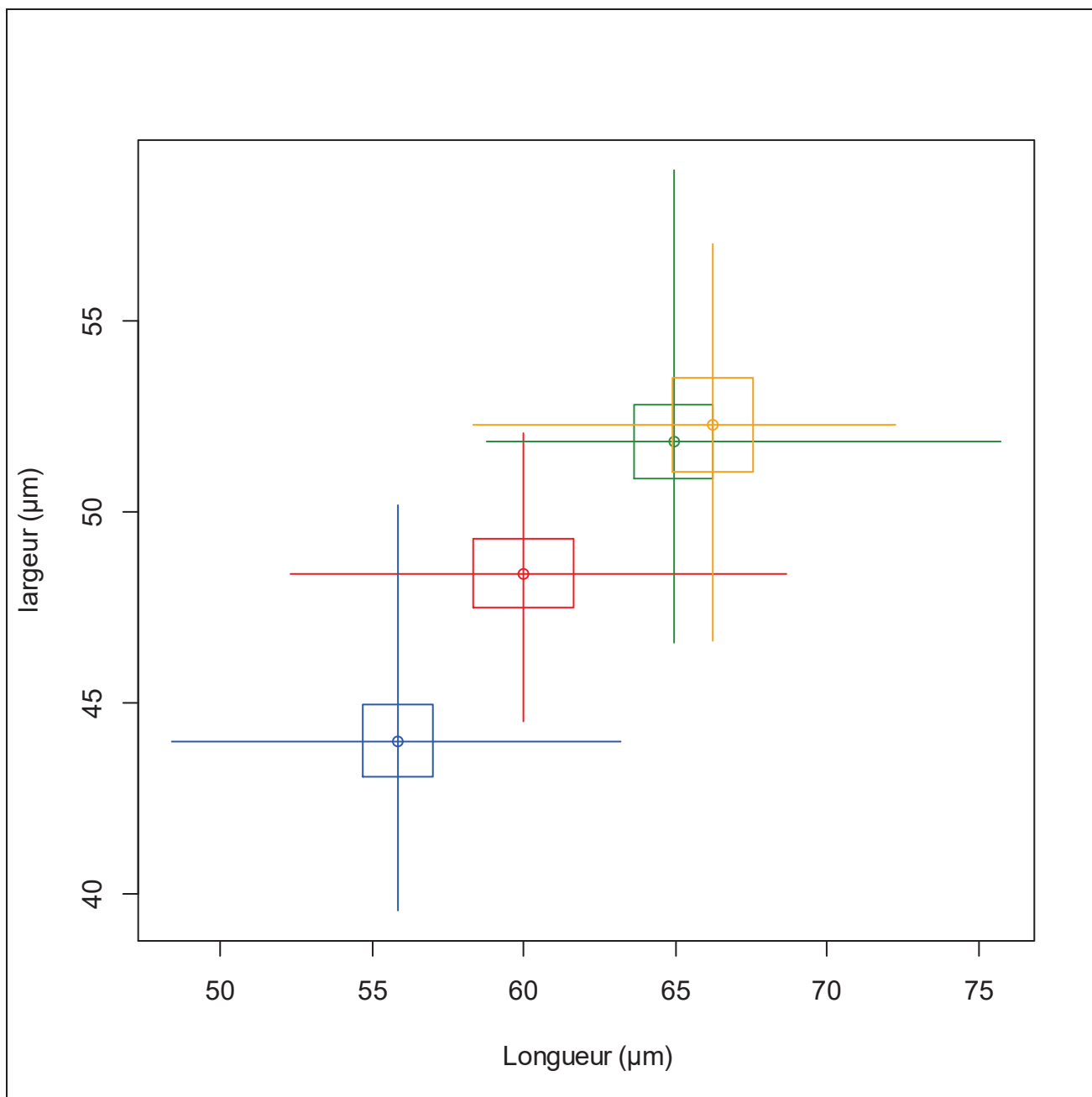


Figure 68 : Longueur (axe horizontal), largeur (axe vertical), moyenne (intersection des axes) et intervalle de confiance à 95 % (rectangle) pour les œufs d'*Ascaris* sp. extraits par la méthode 2 (en rouge), par la méthode 6 (en bleu), par la méthode RHMs-H₂O (en vert) et par les méthodes RHMs/RHMs-25 (en orange).

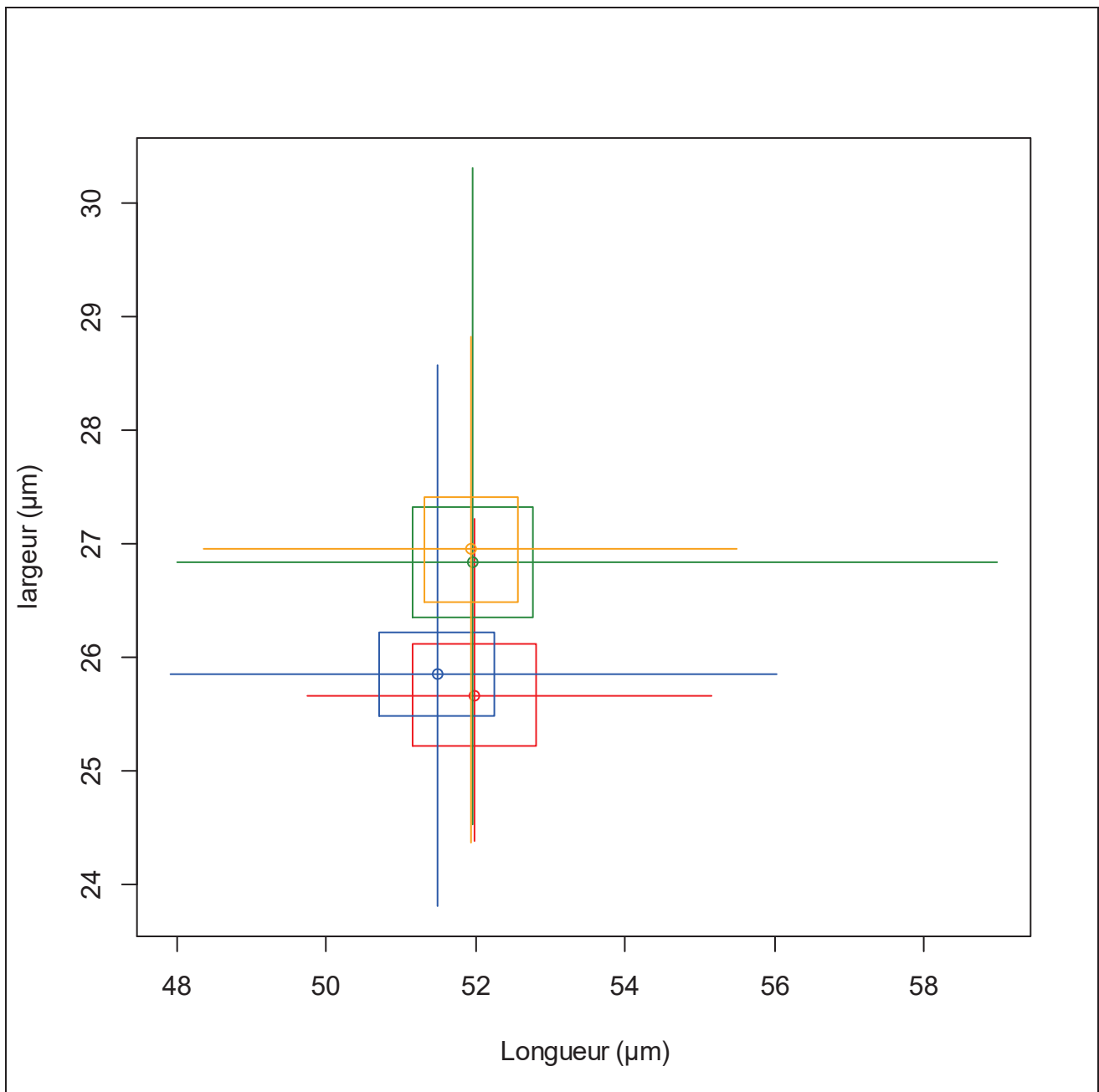


Figure 69 : Longueur (axe horizontal), largeur (axe vertical), moyenne (intersection des axes) et intervalle de confiance à 95 % (rectangle) pour les œufs de *Trichuris* sp. extraits par la méthode 2 (en rouge), par la méthode 6 (en bleu), par la méthode RHMs-H₂Od (en vert) et par les méthodes RHMs/RHMs-25 (en orange).

Les deux graphiques montrent tout d'abord que les dimensions des œufs d'*Ascaris* sp. et de *Trichuris* sp. extraits par les méthodes RHMs (RHMs-H₂Od, RHMs et RHMs-25) sont très proches et quasi-équivalentes. Ainsi, l'utilisation du phosphate trisodique et du glycérol n'entraîne aucun changement notable dans les dimensions des œufs de ces deux taxons comparé à l'utilisation de l'eau seule. En revanche, celles des œufs extraits par la méthode 2 et

par la méthode 6 sont plus faibles, ce qui montre que les acides (HCl et HF) diminuent la taille des œufs de ces deux taxons. Puisqu'elles en modifient la taille, les méthodes 2 et 6 ne peuvent donc être employées en paléoparasitologie pour extraire les œufs de parasites.

2.6 Synthèse des résultats et méthode retenue

Excepté pour la méthode 2, les résultats des tests réalisés montrent que les protocoles acides/base entraînent une diminution de la biodiversité parasitaire, comparé aux méthodes RHMs. Le nombre d'œufs observés est également plus faible avec les méthodes utilisant de la soude dans leur protocole comparé à ceux utilisant uniquement des acides. Ces protocoles ont donc un effet négatif sur les œufs de parasites. Les réactifs chimiques utilisés (HCl, HF et NaOH) peuvent en effet réagir avec les composés de la coque des œufs d'helminthes au contraire de ceux utilisés pour les méthodes RHMs (Na_3PO_4 , glycérol et eau déminéralisée). De plus les mesures réalisées sur les œufs d'*Ascaris* sp. et de *Trichuris* sp. montrent qu'avec la méthode 2 et la méthode 6 ces œufs sont plus petits que ceux extraits par les méthodes RHMs. Ainsi, ces méthodes dérivées des techniques utilisées en palynologie ne peuvent être utilisées pour extraire les œufs de parasites puisqu'elles affectent la biodiversité, le nombre d'œufs observés et la taille de certains œufs.

Au contraire, les méthodes RHMs sont plus adaptées pour extraire les œufs de parasites puisqu'elles permettent d'obtenir une biodiversité parasitaire plus importante, et n'affectent pas la taille des œufs. Cependant certaines d'entre elles présentent quelques désavantages.

En effet, concernant la préparation des échantillons, l'étape de microtamisage est plus longue avec la méthode RHMs- H_2O car le mélange passe difficilement à travers la colonne à tamis au contraire des deux autres méthodes. Pour la lecture sous microscope, les particules sont beaucoup plus nombreuses dans les lames avec la méthode RHMs-25 qu'avec les deux autres méthodes, ce qui rend long et difficile le traitement de chaque lamelle. Cette abondance de particule peut en outre empêcher la prise de mesure sur les œufs, car il est parfois difficile de les isoler.

Deux des méthodes RHMs sont donc à écarter : la méthode RHMs-H₂O_d car elle nécessite un temps de mise en œuvre plus long et la méthode RHMs-25 car la lecture des échantillons préparés par cette méthode est plus longue.

Au final, la méthode RHMs semble la mieux adaptée pour étudier nos échantillons en paléoparasitologie, à la fois en termes de biodiversité et de nombre d'œufs. De plus sa mise en œuvre présente moins d'inconvénients que les deux autres méthodes testées.

2.7 Tests de la méthode RHMs et adaptations

2.7.1 Adaptations préalables

Pour éprouver la mise en œuvre de cette méthode RHMs, des essais ont été réalisés sur des échantillons du site de Beauvais (60, Oise), d'époque médiévale à moderne, dans le cadre d'un des contrats d'analyses qui a financé ma thèse⁴².

Avant de débiter les tests, quelques modifications et adaptations ont été apportées au protocole. Tout d'abord les premier jus (filtrat de la colonne à tamis) n'ont pas été étudiés, car au cours des tests de méthodes aucun œuf de parasites n'y a été observé.

Ensuite, afin de faciliter le calcul du nombre d'œufs par gramme de sédiment sec, il a été décidé de fixer le volume total de chaque tube (sédiment final + liquide) après ajout de quelques gouttes de formol à 10 %⁴³ en ajustant le volume d'eau ajouté.

Initialement le volume final choisi était de 3 mL (valeur déterminée d'après les volumes de sédiment obtenus à l'issue des tests de méthodes). Cependant dans certains cas, il est apparu au cours de la préparation que les quantités finales de sédiment obtenues pour les échantillons de Beauvais étaient beaucoup plus importantes que pour l'échantillon du site de Mas de Vignoles, ce qui rendait impossible une homogénéisation du tube si le volume était fixé à 3 mL.

⁴² Contrat CDD avec le service archéologique de la ville de Beauvais (60, Oise).

⁴³ Pour prévenir le développement des micromycètes, quelques gouttes de formol 10 % suffisent.

Pour permettre une homogénéisation correcte de chaque tube, le volume total peut être fixé à 3 mL lorsque le volume de sédiment est inférieur ou égal à 1 mL. Lorsque le volume est supérieur à 1 mL il convient de fixer ce volume total à 6 mL.

Au final, certains échantillons ont un volume total de 3 mL alors que d'autres ont un volume total de 6 mL. Pour pallier à cette différence et pouvoir comparer les résultats, il a été décidé de lire 1/10^e de chaque tube, autrement dit une quantité équivalente pour chaque échantillon. Ainsi, 300 µL des tubes de 3 mL et 600 µL des tubes de 6 mL sont lus. Pour chaque tube, 20 lamelles sont lues, soit des lamelles de 15 µL pour les tubes de 3 mL et des lamelles de 30 µL pour les tubes de 6 mL.

Si le volume total est de 3 mL, la formule utilisée devient donc :

$$OPG = \frac{O_{300} \times 10}{MS}$$

Si le volume total est de 6 mL, la formule utilisée devient :

$$OPG = \frac{O_{600} \times 20}{MS}$$

Où dans les deux cas OPG = nombre d'œufs par gramme, O_{300} = nombre d'œufs comptés dans les 300 µL lus d'échantillon homogénéisé (somme du nombre d'œufs du tube de 25 µm et du tube de 50 µm), O_{600} = nombre d'œufs comptés dans les 600 µL lus d'échantillon homogénéisé (somme du nombre d'œufs du tube de 25 µm et du tube de 50 µm) et MS = masse d'échantillon sec (g).

La méthode RHMs ainsi adaptée a été appliquée aux treize échantillons du site de Beauvais.

2.7.2 Essais de la méthode RHMs et discussion des résultats

La préparation des échantillons n'a posé aucun problème particulier et le temps nécessaire à sa mise en œuvre ne diffère pas de celui nécessaire à la préparation du même nombre d'échantillons par la méthode RHM non standardisé.

En revanche, le temps de lecture sous microscope des échantillons est beaucoup plus long : entre 2 et 4 jours de lectures pour les tubes de 3 mL, et entre 2 et 6 jours pour les tubes de 6 mL. Le temps important passé sur chaque échantillon peut s'expliquer en partie par le très grand nombre d'œufs présents dans certains d'entre eux. Par exemple, 908 œufs de *Trichuris* sp. ont été comptés au maximum dans une seule lamelle pour un des échantillons traités.

Au contraire, la méthode RHM non standardisé ne nécessite généralement qu'un seul jour de lecture par échantillon, voire moins, et 2 jours maximum de lecture lorsque l'échantillon est riche tant en terme de biodiversité qu'en terme de nombre d'œufs.

Ce temps de lecture plus court s'explique par des différences entre ces deux méthodes dans le mode de prélèvement et dans les conditions de lectures. Tout d'abord le nombre de lamelles lues par échantillon diffère : 20 lamelles par tube et par échantillon avec la méthode RHMs, contre 10 lamelles par tube et par échantillon avec la méthode RHM non standardisée. Ensuite, le prélèvement réalisé dans le tube est différent : alors que pour la méthode RHMs il se fait dans le tube une fois homogénéisé, il se fait en surface de la fraction sédimentée pour la méthode RHM non standardisée.

Ce temps de lecture très long constitue un inconvénient pour la méthode RHMs. Autre inconvénient, les lamelles préparées avec les prélèvements de 30 μ L du tube homogénéisé de 6 mL comportent un grand nombre de particules, ce qui rend difficile leur lecture et contribue également à augmenter ce temps de lecture. En comparaison, les lamelles préparées avec les 15 μ L prélevés dans les tubes de 3 mL comportent beaucoup moins de particules et sont plus faciles à lire. Pour rendre la méthode RHMs moins chronophage et éventuellement réduire le nombre de particules dans les lames, d'autres adaptations sont nécessaires dans le mode de lecture des échantillons.

Le mode de prélèvement de la méthode RHM non standardisé aboutit à un temps de lecture plus court. Nous avons donc cherché à savoir s'il pouvait être utilisé dans la méthode RHMs sans réduire le nombre d'œufs obtenu, ni la biodiversité parasitaire. Pour cela, les résultats obtenus par des lectures réalisées en surface ont été comparés à ceux obtenus par des lectures après homogénéisation du tube.

Pour les lectures de surface réalisées avec la méthode RHM non standardisée, les prélèvements sont faits dans le tube à l'aide d'une pipette pasteur et le volume prélevé pour chaque lamelle n'est pas connu, même s'il reste constant pour un même lecteur. Afin de fixer ce volume de sédiment lu pour chaque lamelle, toujours dans le but de standardiser la méthode RHM, une micropipette eppendorf a été utilisée. Deux lectures différentes ont été réalisées : une avec des lamelles de 15 μ L et l'autre avec des lamelles de 30 μ L (afin de déterminer si le volume lu influait sur les résultats obtenus et si les lamelles n'étaient pas trop chargées en particules).

Le nombre de lamelles lues pour ces modes de prélèvements correspond à celui des méthodes de référence (au total 20 lamelles par échantillon pour les lectures des tubes homogénéisés et 10 lamelles pour les lectures de surface).

Le Tableau 29 (p. 234) présente les résultats obtenus et la Figure 70 (p. 235) les courbes correspondantes au nombre d'œufs par lamelle exprimé en log10, les nombres d'œufs obtenus étant différents.

Types de lectures	<i>Ascaris</i> sp.	Ascaridés	<i>Trichuris</i> sp.	<i>Dicrocoelium</i> sp.	<i>Fasciola</i> sp.	Nombre de taxons
Homogénéisé	54,8	32,1	140,8	0,1	0,05	5
30 μ l	79,9	55,8	279,9	-	-	3
15 μ l	49,7	46,6	187,5	-	-	3

Tableau 29 : Résultats obtenus pour le même échantillon avec les différentes méthodes de lectures comparées (résultats en nombre d'œufs par lamelle; 20 lamelles pour les lectures homogénéisé; 10 lamelles pour les lames de 30 μ L et de 15 μ L).

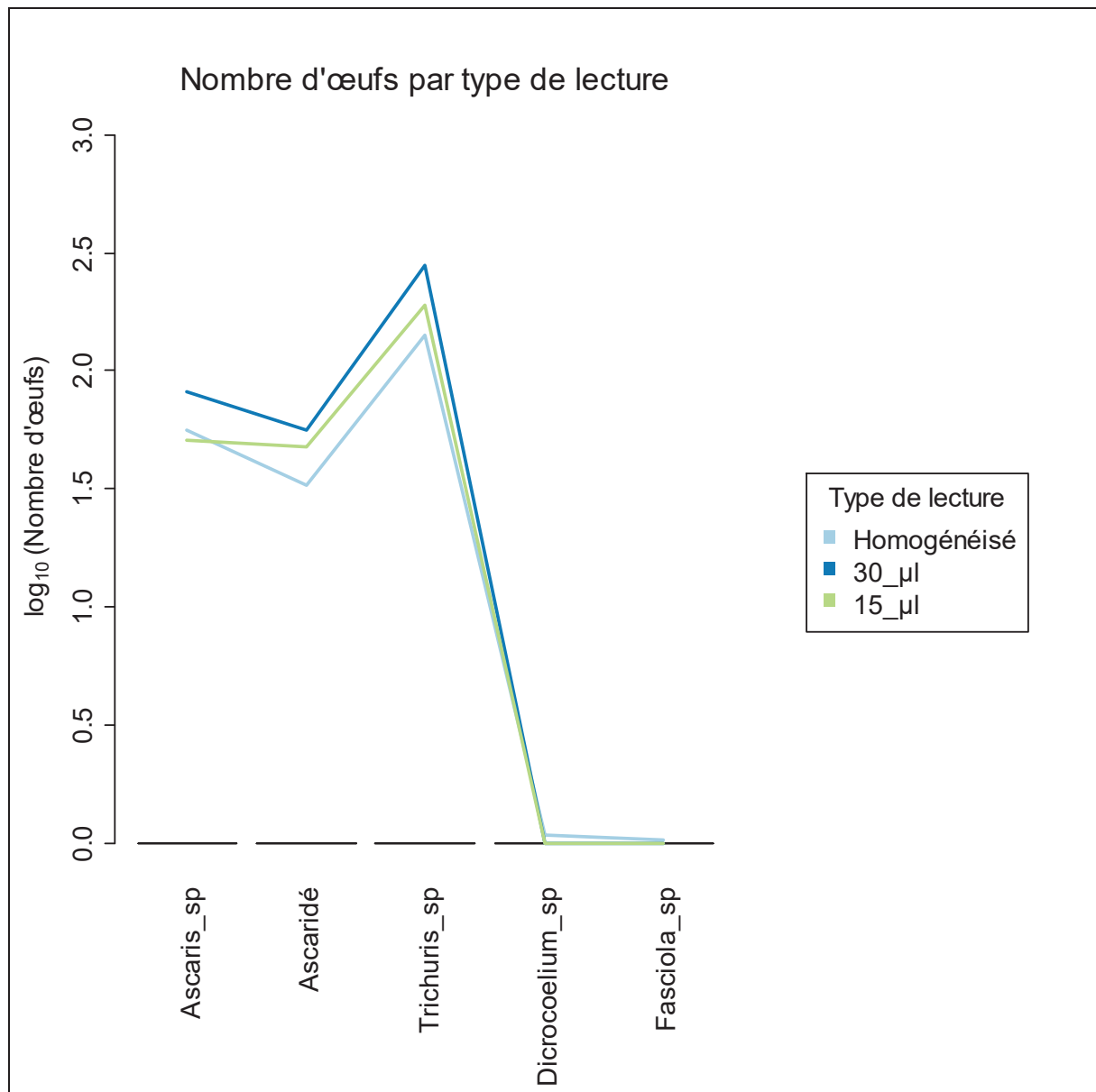


Figure 70 : Courbes du nombre d'œufs obtenues pour le même échantillon avec les différents modes de lectures (résultats en log₁₀ du nombre d'œufs par lamelle).

Les résultats montrent que ces trois lectures amènent à un nombre d'œufs quasi-identique pour les trois principaux taxons (*Ascaris* sp., Ascaridé et *Trichuris* sp.). Concernant le nombre de taxons, la lecture des tubes homogénéisés permet l'observation de deux taxons supplémentaires, mais dans des quantités très faibles (1 œuf de *Fasciola* sp. et 2 de *Dicrocoelium* sp.) ce qui pourrait expliquer leur absence des lectures de surface. Alors que les taxons majoritairement présents sont systématiquement observés, ceux très faiblement présents peuvent donc ne pas l'être.

Concernant la charge des lamelles en particules, les lames de 15µL sont moins chargées que les lames de 30µL et se lisent plus facilement.

Au vu de ces résultats, il est possible de remplacer les lectures de tubes homogénéisés par des lectures de la fraction sédimentée. Il a donc été décidé pour la méthode RHMs, de modifier le mode de prélèvement dans les échantillons (dernière étape du protocole). Pour chaque tube, 10 lamelles de 15 µL (5 en surface et 5 dans la partie sous-jacente) remplacent les 20 lamelles prélevées dans chaque tube homogénéisé. Ce mode de prélèvement spécifique permet d'avoir une vue d'ensemble de l'échantillon.

Etant donné que le tube n'est plus homogénéisé, la méthode de quantification du nombre d'œufs par gramme sec n'est plus applicable. Une semi-quantification en nombre d'œufs par lamelle remplace le calcul du nombre d'œufs par gramme. Ce nombre est obtenu par la formule :

$$OPL = \frac{O_{25} + O_{50}}{10}$$

Où OPL = nombre d'œufs par lamelle, O_{25} = nombre d'œufs comptés dans le tube de 25 µm et O_{50} = nombre d'œufs comptés dans le tube de 50 µm⁴⁴.

Cette modification du mode de lecture permet ainsi de diminuer considérablement le temps passé pour lire les échantillons. La méthode RHMs ainsi modifiée a été utilisée dans trois des études corpus (ETC_0007, ETC_0008 et ETC_0009).

Pour optimiser la méthode RHMs et en particulier réduire au maximum le temps de lecture, nous avons enfin cherché à savoir s'il était possible de diminuer le nombre de lamelles lues sans modifier le nombre de taxons observés. Pour le déterminer, nous avons réalisé des lectures de surface pour l'échantillon utilisé dans les tests de méthodes (voir *supra*

⁴⁴ Pour déterminer ce nombre d'œufs, le nombre de lamelles lues doit être identique dans le tube de 25 µm et dans le tube de 50 µm. En effet, la séparation micrométrique n'est réalisée que pour faciliter la lecture des échantillons. Il faut considérer qu'une lamelle se compose en théorie de 15 µL prélevé dans le tube de 25 µm associé à 15 µL prélevé dans le tube de 50 µm. En pratique, la charge en particule d'une telle lamelle rend difficile sa lecture et l'avantage de la séparation micrométrique serait perdu (voir *supra* **2.3 Méthodes testées et quantification**, p. 211).

2.4 Matériel étudié et résultats obtenus, p. 217) traité par la méthode RHMs (20 lamelles de 15 μ L de chaque tube). Cet échantillon a été choisi car le nombre maximum de taxons observés (6 taxons) n'est pas atteint dès la première lamelle. La Figure 71 (p. 237) représente la courbe du nombre cumulé de taxons observés pour 20 lamelles lues. Le détail du contenu de chaque lamelle est présenté en Annexe 14 (Volume 2, Tableau 23, p. 53).

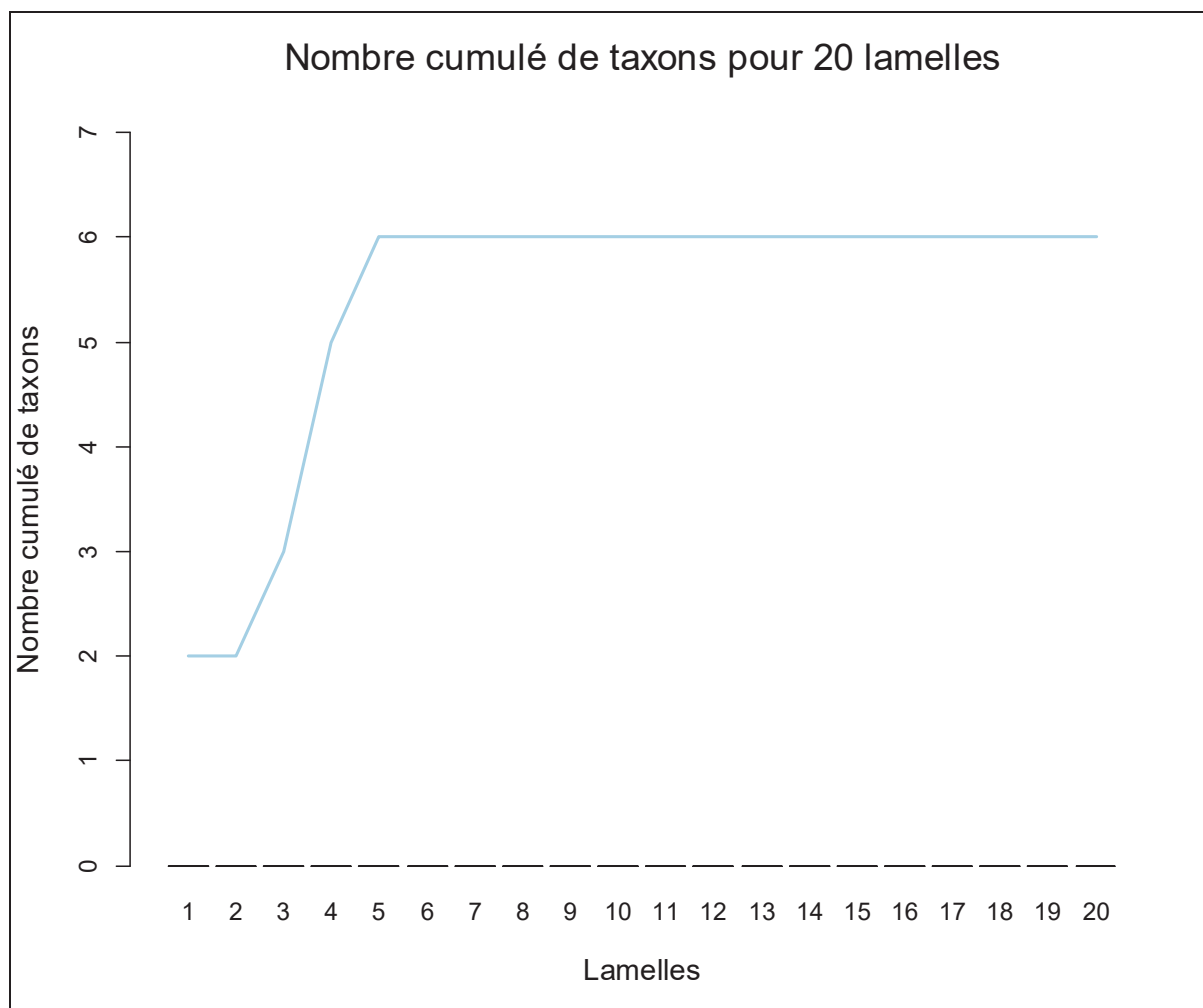


Figure 71 : Courbe du nombre cumulé de taxons observés pour 20 lamelles prélevées en surface de l'échantillon des tests de méthodes (méthode RHMs; 15 μ L de chaque tube par lamelle).

D'après ce graphique, 5 lamelles permettent d'observer le nombre de taxons maximum de l'échantillon (6), nombre qui reste constant des lamelles 6 à 20. Ainsi, le nombre minimum de lamelles à lire pourrait être diminué à 6.

De même que pour l'échantillon des tests de méthodes, les nombres cumulés de taxons pour les 10 lamelles lues des échantillons positifs des études ETC_0007 et ETC_0009 ont été déterminés. Pour ces deux études, le détail du nombre cumulé de taxons par lamelle est présenté en Annexe 14 (Volume 2, Tableau 24, p. 54).

Sur les soixante échantillons positifs de ces deux études, quarante-cinq atteignent le maximum de taxons dans les six premières lamelles ce qui représente 75 % du total. Dans le cas des 15 échantillons restants, les résultats par taxon indiquent que ceux observés au-delà de 6 lamelles correspondent à des taxons très minoritaires, représentés par seulement quelques œufs. Ces résultats montrent que le plus souvent les taxons majoritaires s'observent dans les six premières lamelles lues. Dans le cas des taxons plus minoritaires, plus le nombre de lamelles augmente et plus les chances de les observer augmentent.

Ainsi, réduire le nombre de lamelles lues en surface dans les échantillons traités par la méthode RHMs semble donc être un bon compromis et permet d'accélérer le délai de traitement des échantillons en réduisant le temps de lecture.

La formule de semi-quantification du nombre d'œufs par lamelle devient alors :

$$OPL = \frac{O_{25} + O_{50}}{6}$$

Où OPL = nombre d'œufs par lamelle, O_{25} = nombre d'œufs comptés dans le tube de 25 μm et O_{50} = nombre d'œufs comptés dans le tube de 50 μm .

Dans le cas des échantillons négatifs, le nombre de lamelles lues peut aussi être réduit. Que l'échantillon soit positif ou négatif, le nombre de lamelles lues est identique. S'il est négatif, lire le même nombre de lamelles que pour un échantillon positif représente une perte de temps. Pendant ce laps de temps, d'autres échantillons pourraient être étudiés. Pour réduire le nombre de lamelles lues pour les échantillons négatifs, nous avons cherché à savoir à partir de combien de lamelles les échantillons sont positifs. Pour ce faire, le nombre de lamelles nécessaires pour observer les premiers œufs de parasite a été déterminé pour les 60 échantillons positifs des études ETC_0007 et ETC_0009. Le graphique suivant représente les résultats obtenus.

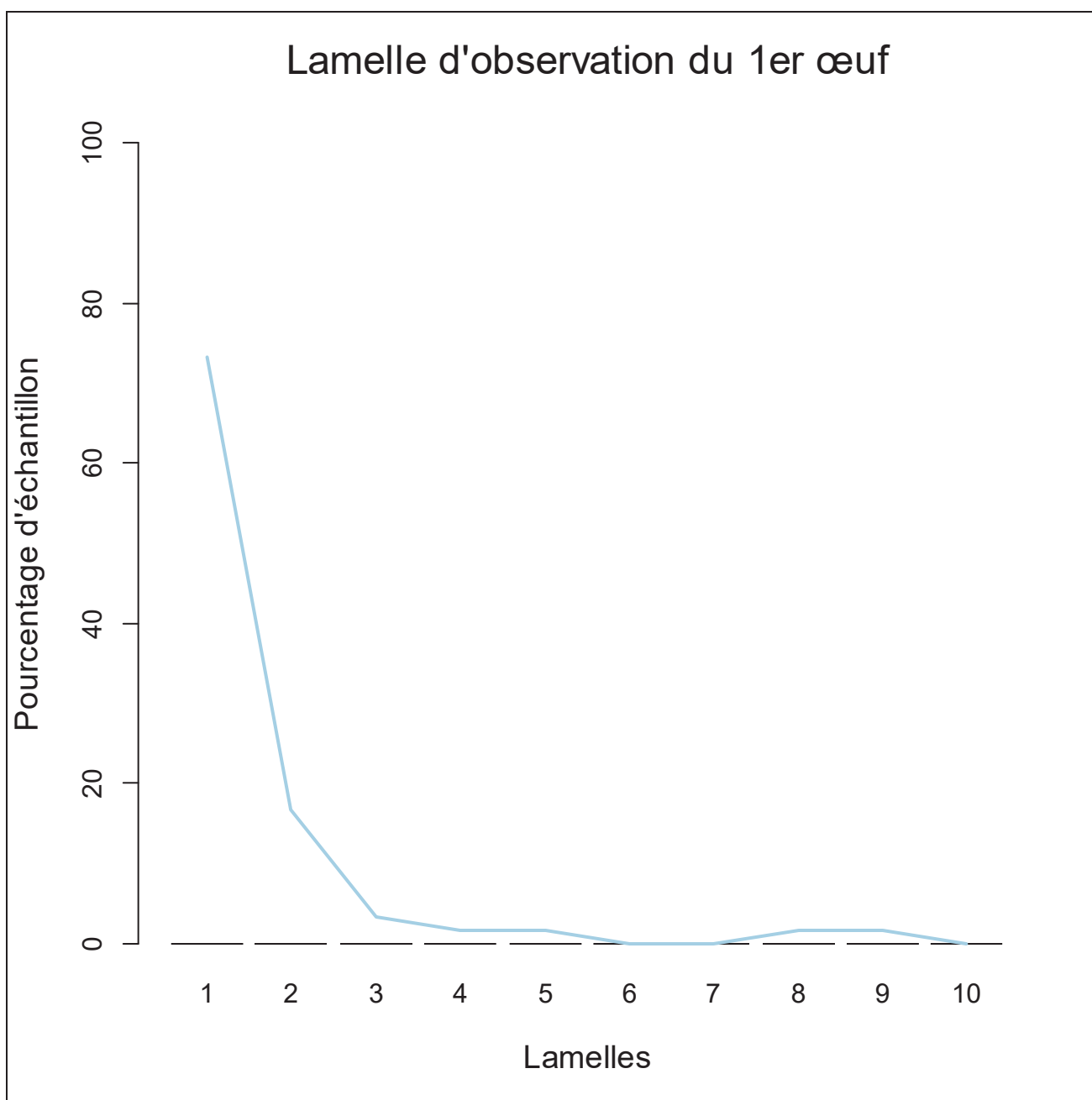


Figure 72 : Lamelle d'observation du 1er œuf pour les échantillons des études ETC_0007 et ETC_0009 (effectif par lamelle en %).

La courbe montre que la plupart des échantillons sont positifs dès la 1^{ère} ou la 2^{ème} lamelle (70 et 15 % environ) et que plus le nombre de lamelles augmente et plus le pourcentage d'échantillons positifs diminue. Au-delà de 4 lamelles, le nombre d'échantillons positifs est beaucoup plus faible, voire nul (2 % au maximum environ).

Si aucun œuf n'est observé dans les 4 premières lamelles lues, il y a donc 98 % de chance qu'il soit négatif. Sans risquer de faire trop d'erreur, le nombre de lamelles à lire peut dans ce cas être réduit à 4 au lieu de 6.

Après ces quelques modifications dans le mode de lecture des échantillons, le protocole RHMs devient :

- 1) 5 gramme de l'échantillon est réhydraté pendant une semaine dans une solution composée de phosphate trisodique à 0,5 % (50 mL) et de Glycérol à 5 % (50 mL). Quelques gouttes de formol à 10 % sont ajoutées pour éviter le développement de micromycètes.
- 2) Le matériel est ensuite broyé dans un mortier puis passé dans une cuve à ultrasons pendant 1 mn.
- 3) L'ensemble est alors filtré à travers une colonne de tamis de maille décroissante de 315, 160, 50 et 25 μm . Les deux derniers refus de tamis sont placés dans un tube avec de l'eau. Quelques gouttes de formol 10 % sont ajoutées à chaque tube pour éviter le développement de micromycètes.
- 4) Enfin des lamelles de 15 μL prélevées à la micropipette eppendorf dans chaque tube sont lues sous microscope optique à raison de 6 lamelles par tube (3 prélevées en surface et 3 dans la partie sous-jacente) lorsque l'échantillon est positif et 4 lamelles par tube (2 en surface et 2 dans la partie sous-jacente) lorsqu'il est négatif (aucun œuf observé dans les 4 premières lamelles).

Le nombre d'œufs par lamelle est obtenu par la formule suivante :

$$\text{OPL} = \frac{\text{O}_{25} + \text{O}_{50}}{6}$$

Où OPL = nombre d'œufs par lamelle, O_{25} = nombre d'œufs comptés dans le tube de 25 μm et O_{50} = nombre d'œufs comptés dans le tube de 50 μm .

La méthode RHMs ainsi adaptée a été utilisée au cours de ce travail de thèse pour les études ETC_0010 à ETC_0014. La quantification précise des résidus et le traitement des résultats obtenus permettent d'apporter des informations aussi bien à l'échelle des structures étudiées qu'à l'échelle des sites. Dans la partie suivante, nous allons voir que cette quantification précise permet de proposer des hypothèses quant à la fonction des structures en creux, la sectorisation des sites, de mettre en évidence de possibles changements d'utilisation pour les structures et apporte enfin des informations sur l'occupation des sites ainsi que sur leur environnement.

3 CONTRIBUTIONS DE LA PALEOPARASITOLOGIE A L'ETUDE DES STRUCTURES EN CREUX ET SPATIALISATION DES RESULTATS

3.1 Généralités sur l'étude des structures en creux

Les structures en creux font partie des vestiges les plus retrouvés en fouille et les plus analysés en paléoparasitologie. Pour l'époque romaine par exemple elles représentent près de 80 % des vestiges d'origine étudiés (voir *supra* 3.2.3 **Echantillons, vestiges d'origines et origines** biologiques, p. 65). Parmi ces vestiges, ceux contenant une accumulation de matière organique font souvent l'objet d'analyse (fosses, puits, latrines et fosses d'aisances, fossé...). Au contraire, les autres types de vestiges (Coprolithe et assimilés, Squelette...) sont beaucoup moins étudiés.

La paléoparasitologie peut apporter diverses informations sur les structures en creux. L'analyse de leur contenu peut tout d'abord aider à caractériser leur fonction : latrines, fosses dépotoirs, fosses artisanales, fosse à fumier... Lorsque plusieurs échantillons sont analysés par structure, les analyses peuvent parfois mettre en évidence des changements d'utilisation ou de fonction de ces structures.

Les taxons présents dans les échantillons étudiés peuvent permettre de caractériser les rejets organiques présents et les attribuer à l'homme, à l'animal ou à un mélange des deux. Dans certains cas, des taxons spécifiques peuvent même conduire à l'identification précise des hôtes parasités.

A l'échelle du site, les résultats peuvent apporter des informations sur la gestion des déchets organiques. Ils peuvent également renseigner la présence d'animaux particuliers et indiquer la

présence de certaines structures qui y sont liées, ou indiquer qu'une activité particulière liée à ces animaux était pratiquée sur le site.

Enfin, la paléoparasitologie complète les informations apportées par d'autres disciplines archéologiques et paléoenvironnementales (archéozoologie, palynologie, carpologie...).

3.2 Fonctions des structures et spatialisation des résultats : l'exemple d'Horbourg-Wihr

3.2.1 Matériel étudié et résultats

Le site d'Horbourg-Wihr, Kreutzfeld (Haut-Rhin, 68, S_0075, ETC_0006 et ETC_0011), correspond à un *vicus* gallo-romain (agglomération secondaire) daté du 1^{er} - 3^{ème} s. EC. Vingt-six structures en creux y ont été étudiées : dix structures cuvelées en bois, sept fosses aménagées pouvant correspondre à des latrines, quatre fossés fonctionnant avec l'axe de circulation identifié sur le site, trois fosses ne présentant aucun aménagement, une fosse non cuvelée, et un puits. A ces échantillons s'ajoutent deux prélèvements issus d'un bâtiment ne comportant aucune structure ni aménagement, et trois prélèvements issus de la zone vierge de construction située à l'Est de l'axe de circulation. Le Tableau 30 (p. 244) détaille pour les échantillons analysés les informations concernant les vestiges étudiés et les résultats obtenus en nombre d'œufs par lamelle. Afin de permettre un meilleur traitement des résultats, les nombres d'œufs obtenus pour *Ascaris* sp. et Ascaridé par échantillon ont été associés (voir *supra* 4.4.1.1 Le groupe *Ascaris* (GR*Ascaris*), p. 101).

Echantillon	Structure et Fait	US et localisation	Appellation archéologique Vestige	Ascaris sp. / Ascaridé	Trichuris sp.	Capillaria punctué	Capillaria réticulé	Capillaria type hepatica	Dicrocoelium sp.	Diphyllobothrium sp. lisse	Diphyllobothrium sp. ponctué	Diphyllobothrium sp. très ponctué	Fasciola sp.	Macracanthorhynchus sp.	Taenia/Echinococcus sp.	Oxyuris equi
ECC_0026	Structure 6054	-	Structure cuvelée en bois	40,49	799,17	0,00	0,09	2,64	0,18	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
ECC_0027	Structure 6084	-		23,80	291,60	0,00	0,00	1,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
ECC_0029	Structure 6224	-		28,20	303,60	0,00	0,10	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00
ECC_0031	Structure 7052	-		90,19	1290,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ECC_0032	Structure 7054	-	Structure cuvelée en bois	0,70	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,20
ECC_0033	Structure 7064	-		19,53	68,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ECC_0034	Structure 7073	-		38,80	361,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00
ECC_0035	Structure 7074	-		64,60	421,20	0,00	0,00	0,10	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ECC_0036	Structure 7082	-	Fosse aménagée	45,46	124,96	0,00	0,09	0,09	0,18	1,78	0,09	0,00	0,10	0,00	0,45	0,00
ECC_0037	Structure 7172	-		22,46	243,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
ECC_0146	Fosse 212	US 4478		213,83	543,50	0,00	0,00	0,17	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ECC_0153	Fosse 313	US 6455		298,83	295,17	0,00	0,17	0,67	0,00	3,83	0,17	0,83	0,17	0,00	0,50	0,00
ECC_0149	Fosse 336	US 6368	Fosse aménagée	37,00	74,50	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,00
ECC_0152	Fosse 344	US 6423		54,17	32,17	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,17	0,00
ECC_0139	Fosse 369	-		29,67	116,33	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00
ECC_0140	Fosse 437	-		46,17	31,83	0,00	0,00	0,00	0,50	0,83	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00

ECC_0151	Fosse 441	US 6419		4,17	3,33	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00
ECC_0143	Fossé 182	US 3085	Fossé	2,67	4,67	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00
ECC_0144		US 3096		4,67	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ECC_0141	Fossé 235	US 3082		10,00	11,67	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ECC_0142	Fossé 237	US 3084		11,67	6,33	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	1,17	0,17	0,00
ECC_0145	Fossé 276	US 3098		1,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ECC_0150	Fosse 335	US 6371		75,83	188,67	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ECC_0147	Fosse 383	US 6124		3,83	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,00
ECC_0148	Fosse 479	US 6152		129,33	318,83	0,00	0,00	0,17	0,17	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
ECC_0030	Structure 7032	-		0,19	1,11	0,00	0,65	0,00	0,09	0,00	0,00	13,70	0,00	0,00	0,00
ECC_0028	Structure 6210	-	Puits	53,40	576,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00
ECC_0134	Bâtiment 22	Bât. S.22-1	Bâtiment	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ECC_0135		Bât. S.22-2		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ECC_0136	Zone Est	Zone Est-1	Couches et Strates	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ECC_0137		Zone Est-2		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ECC_0138		Zone Est-3		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau 30 : Résultats obtenus pour le site d'Horbouurg-Wihr par échantillon analysés et informations concernant les vestiges d'origine (résultats en nombre d'œufs par lamelle; valeurs maximales en gras; lignes grisées = échantillons négatifs).

Les analyses ont mis en évidence treize taxons différents : *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Capillaria* ponctué, *Capillaria* réticulé, *Capillaria* type *hepatica*, *Oxyuris equi*, *Macracanthorhynchus* sp., *Taenia/Echinococcus* sp., *Diphyllobothrium* sp. lisse, *Diphyllobothrium* sp. ponctué, *Diphyllobothrium* sp. très ponctué, *Fasciola* sp. et *Dicrocoelium* sp.

3.2.2 Fonction des structures étudiées

Les taxons identifiés, le nombre d'œufs de chaque taxon, le nombre d'œufs total ainsi que l'origine biologique potentielle des rejets présents (déterminée à partir des taxons identifiés) permettent de proposer une fonction pour les structures étudiées en paléoparasitologie. Le plus souvent deux sont possibles : "latrines" et "fosse dépotoir".

D'une manière générale, les latrines correspondent à des structures qui contiennent uniquement des rejets humains (urine et excréments), alors que les fosses dépotoirs peuvent contenir des rejets animaux, ou un mélange de rejets humains et animaux. Si le nombre d'œufs de taxons humains est important, *Ascaris* sp. et *Trichuris* sp. le plus souvent, et que le nombre d'œufs des taxons animaux est plus faible, alors une utilisation en tant que latrines est proposée pour la structure. Au contraire si le nombre d'œufs de taxons humains est plutôt faible et que le nombre d'œufs de taxons animaux est plus important, alors une utilisation en tant que fosse dépotoir est proposée. De même cette fonction est associée aux structures dont le nombre total d'œufs observés est plutôt faible. Le tableau suivant présente pour chaque structure en creux les fonctions proposées.

Lorsque le nombre d'œufs observés est peu important, il peut s'agir d'un faible dépôt volontaire ou d'une pollution. Dans ce cas, seule l'origine biologique potentielle des rejets présents est donnée et aucune fonction ne peut donc être proposée. Les fossés étudiés sur le site correspondent à ce cas de figure et ne figurent donc pas dans le tableau suivant pour cette raison.

Structure et Fait	Fonctions proposées
Structure 6054	Fosse dépotoir
Structure 6084	Latrines
Structure 6224	Fosse dépotoir
Structure 7052	Fosse dépotoir
Structure 7054	Fosse dépotoir
Structure 7064	Fosse dépotoir
Structure 7073	Latrines
Structure 7074	Fosse dépotoir
Structure 7082	Fosse dépotoir
Structure 7172	Latrines
Fosse 212	Latrines
Fosse 313	Latrines
Fosse 336	Latrines
Fosse 344	Latrines
Fosse 369	Latrines
Fosse 437	Latrines
Fosse 441	Fosse dépotoir
Fosse 335	Latrines
Fosse 383	Fosse dépotoir
Fosse 479	Latrines
Structure 7032	Fosse dépotoir
Structure 6210	Latrines

Tableau 31 : Fonctions proposées pour les structures en creux du site d'Horbourg-Wihr.

Certains taxons peuvent cependant se retrouver chez l'homme comme chez l'animal (pseudo-parasitose ou parasitose vraie). De plus l'ensemble des structures en creux est susceptible de contenir un mélange de rejets d'origines différentes. Ainsi, lorsque pour une structure la fonction "latrines" est proposée, la fonction "fosse dépotoir" ne peut être totalement écartée. De même lorsque la fonction "fosse dépotoir" est proposée, une fonction de "latrines" peut aussi être envisagée.

La classification ascendante hiérarchique (ou CAH) est une méthode de classification automatique utilisée en analyse des données. Elle permet de répartir les différents individus d'un ensemble de données en différentes classes. Appliquée aux résultats obtenus en paléoparasitologie, la CAH permet de regrouper les structures selon leur remplissage. Les groupes ainsi formés possèdent un remplissage similaire ce qui pourrait aider à préciser la

fonction des structures étudiées. Chaque groupe de structure pourrait alors avoir la même fonction.

Les résultats obtenus pour le site d'Horbourg-Wihr ont été traités par CAH à l'aide du logiciel R (fonction hclust). Pour sa mise en œuvre, il a été choisi d'utiliser pour chaque échantillon les nombres d'œufs par lamelle, exprimés en \log_{10} . Le dendrogramme obtenu est présenté dans la figure suivante. Les fonctions proposées des structures sont indiquées : en rouge "latrines" et en vert "fosse dépotoir". Deux groupes de structures sont également matérialisés par des cadres : le premier en jaune et le second en bleu.

Site d'Horbourg-Wihr : Classification ascendante hiérarchique

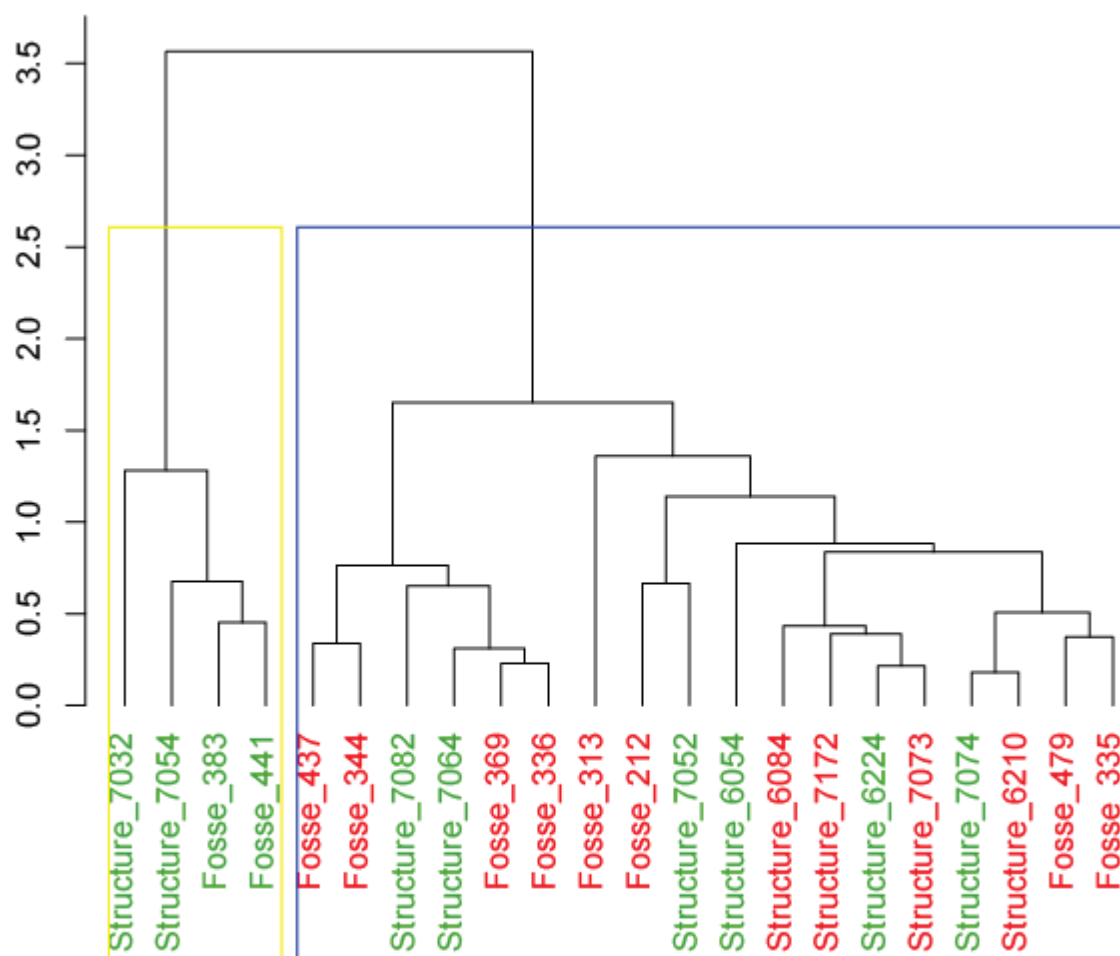


Figure 73 : Classification ascendante hiérarchique des résultats obtenus pour les structures en creux du site d'Horbourg-Wihr (log10 du nombre d'œufs par lamelle; fonction de type "latrines" en rouge et de type "fosse dépotoir" en vert; premier groupe de structure en jaune et second groupe en bleu).

Pour Horbourg-Wihr, la CAH montre que le premier groupe (en jaune) ne contient que des structures dont la fonction proposée est "fosse dépotoir" (en vert). Le second groupe (en bleu) contient principalement des structures dont la fonction proposée est "latrines" (en rouge) (douze des dix-huit structures).

Le premier groupe pourrait donc être associé uniquement à la fonction "fosse dépotoir" et le second à la fonction "latrines". L'utilisation de la CAH pourrait permettre de préciser les fonctions proposées pour les structures étudiées en paléoparasitologie.

Ainsi, si la fonction proposée d'une structure diffère de celle du groupe auquel elle appartient, elle pourrait être modifiée. Dans le cas d'Horbourg-Wihr, les structures dont la fonction initialement proposée est "fosse dépotoir" qui appartiennent au second groupe pourraient alors plutôt avoir une fonction de "latrines".

3.2.3 Spatialisation des résultats

Pour une partie des structures étudiées (Structures cuvelées, Structure non cuvelée et Puits) le plan du site est disponible ce qui permet de réaliser les premiers essais de l'utilisation en paléoparasitologie d'un Système d'Information Géographique (SIG).

La localisation de chaque structure sur le plan général du site étant connue, il est possible de replacer une partie des résultats obtenus à l'échelle du site. Toutes les structures sont datées du 2ème s. EC, excepté la structure 6054 qui est datée du 3ème s. EC. Ainsi mise à part cette dernière (St 6054), toutes les structures sont contemporaines et fonctionnent au même moment. Il est donc possible de s'intéresser à l'ensemble des structures d'une manière globale.

Les cartes des Figures 74 à 77 (p. 250 à 253) présentent les résultats obtenus à l'aide du logiciel ArcGIS (outils Symbolologie) à partir du plan du site figurant l'ensemble des structures (fourni par Pascal Flotté, archéologue responsable d'opération, Pôle d'Archéologie Interdépartemental Rhénan).

Le secteur du site étudié se compose d'une voie avec de part et d'autre des parcelles limitées à l'arrière par des clôtures. Comme le montre la Figure 74 (p. 251) la voie se situe au centre, dans un axe Nord-Est/Sud-Ouest, et l'ensemble des structures en creux étudié se situe dans le fond des parcelles, opposé à la voie, à l'exception de la structure non cuvelée 7032 située plus vers le centre de la parcelle.

Le nombre total de taxons par structure ne montre pas d'organisation particulière à l'échelle du site (Figure 75, p. 252). Au contraire, le nombre total d'œufs par structure (Figure 76, p. 253) met en évidence une zone qui contient moins d'œufs (en rouge sur la carte). Dans cette zone, les rejets organiques pourraient être moins présents que dans le reste du site, ce qui pourrait indiquer une gestion différente des déchets organiques dans cette zone comparé au reste du site.

Sur la Figure 77 (p. 254), les diagrammes circulaires représentent pour chaque structure les résultats en nombre d'œufs par lamelle exprimé en \log_{10} . La plupart des structures présentent un assemblage parasitaire similaire comportant une grande quantité d'*Ascaris* sp. et de *Trichuris* sp. Deux structures se distinguent néanmoins par un assemblage et des quantités d'œufs différents : la Structure 7032 et la Structure 7054. Ces deux structures sont par ailleurs dans la zone supposée contenir des rejets organiques moins importants. Elles font également partie des structures du premier groupe isolé par CAH dont la fonction correspond à "fosse dépotoir".

La structure 7032

Cette structure occupe une place particulière sur le site. Elle est en effet dans le fond d'une parcelle, comme les autres structures étudiées, mais elle est éloignée des clôtures qui la délimitent et se situe plus vers le centre de la parcelle. De plus, il s'agit d'une structure non cuvelée comparé aux autres structures de ce secteur.

Concernant les parasites identifiés, elle contient le nombre le plus élevé de *Fasciola* sp., un parasite que l'on retrouve principalement chez des herbivores et aussi le nombre le plus élevé de *Capillaria* réticulé, également parasite potentiel d'herbivore. Cette structure pourrait correspondre à une fosse à fumier.

La structure 7054

La seconde structure est la seule à contenir des œufs d'*Oxyuris equi*, un parasite caractéristique des équidés. Ce parasite atteste donc de la présence d'équidés sur le site (probablement le cheval) et indique qu'une activité liée à ces animaux était pratiquée sur le site. Il est donc également possible de supposer que cette structure correspond à une fosse à fumier. Elle est peut-être liée à une écurie dans ce secteur du site par exemple.

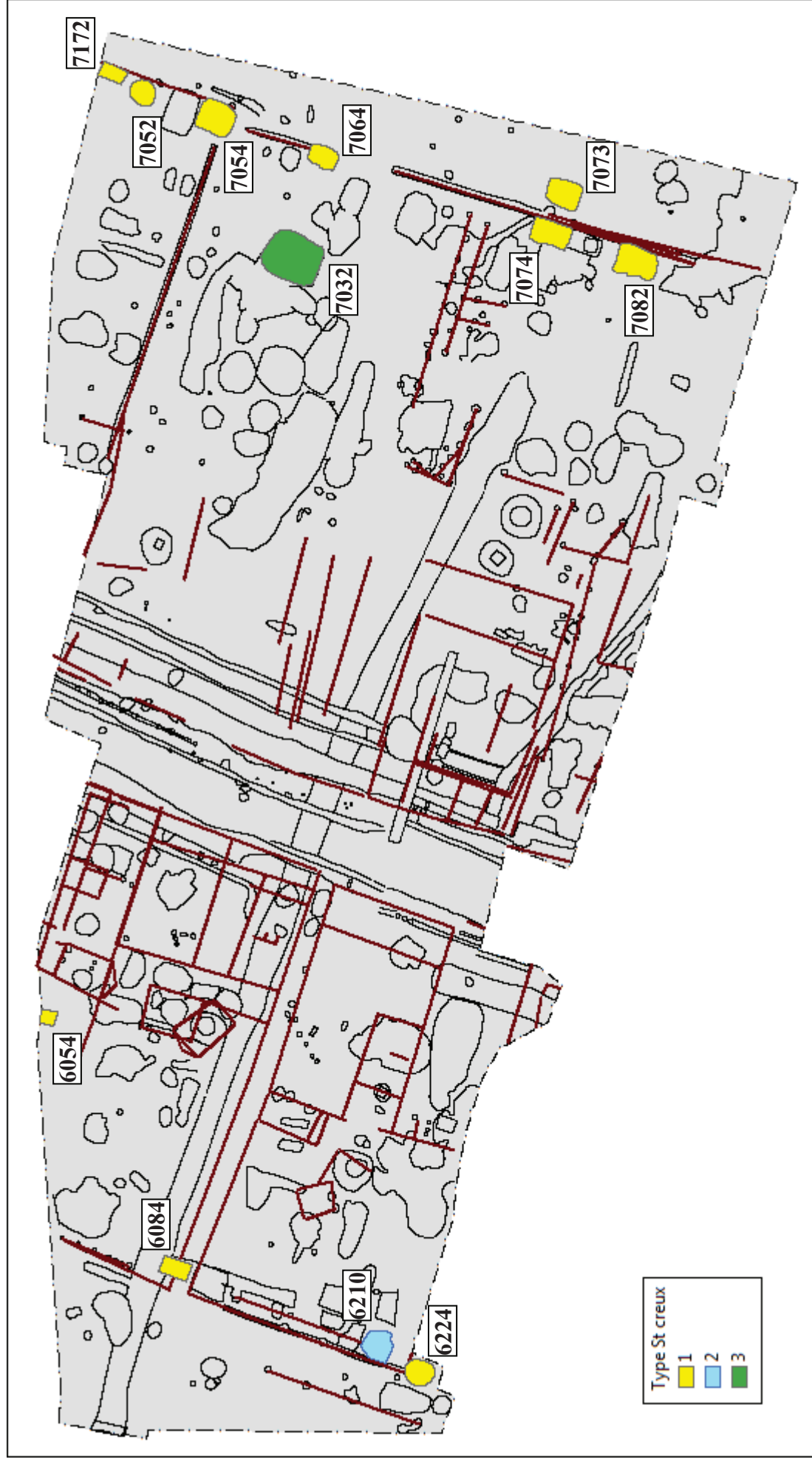


Figure 74 : Localisation des types de structure en creux étudiées sur le site d'Horbourg-Wihr (1 : Structures cuvelées en bois, 2 : Puits, 3 : Structure non cuvelée).

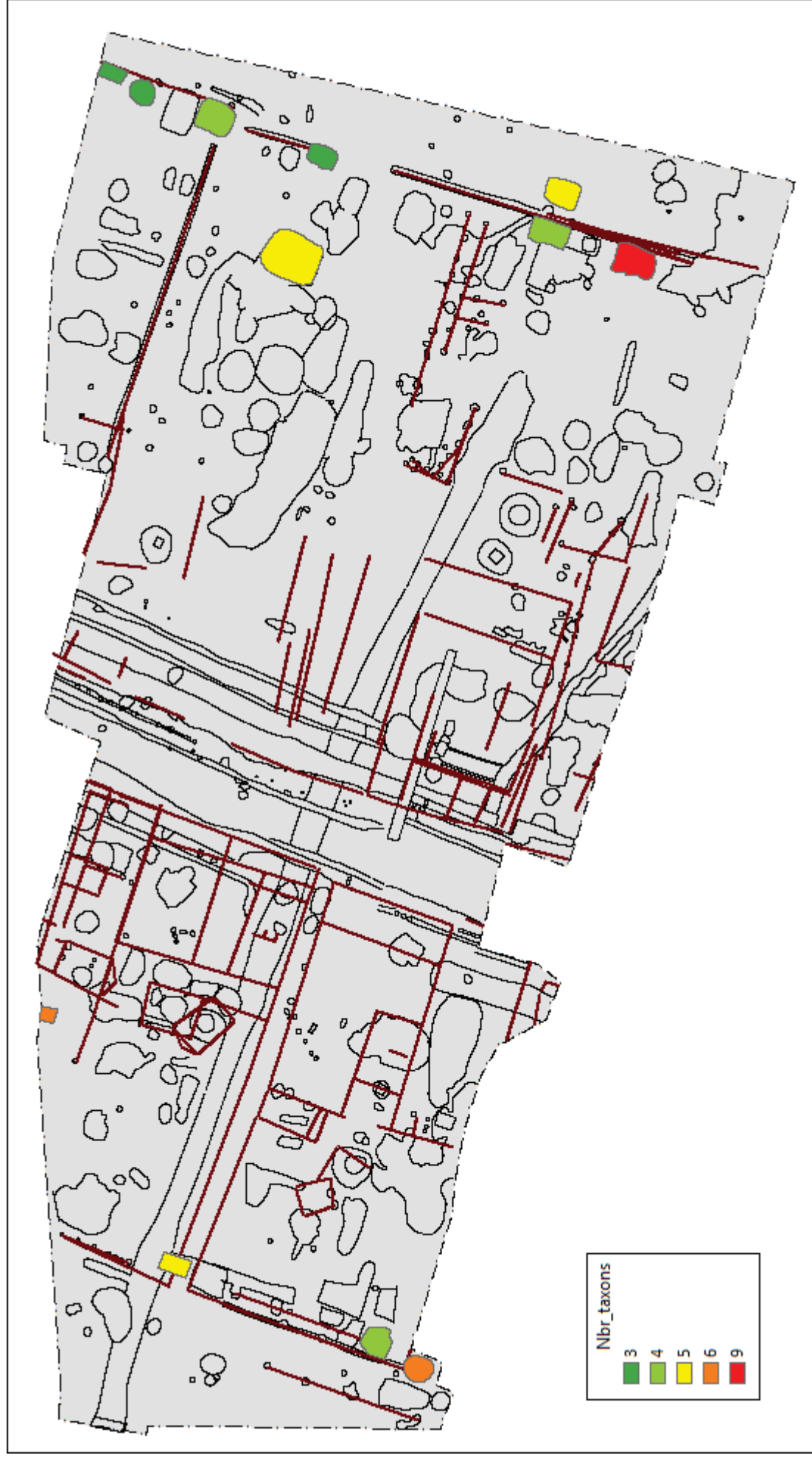


Figure 75 : Carte du nombre de taxons obtenu par structure sur le site d'Horboung-Wihr.

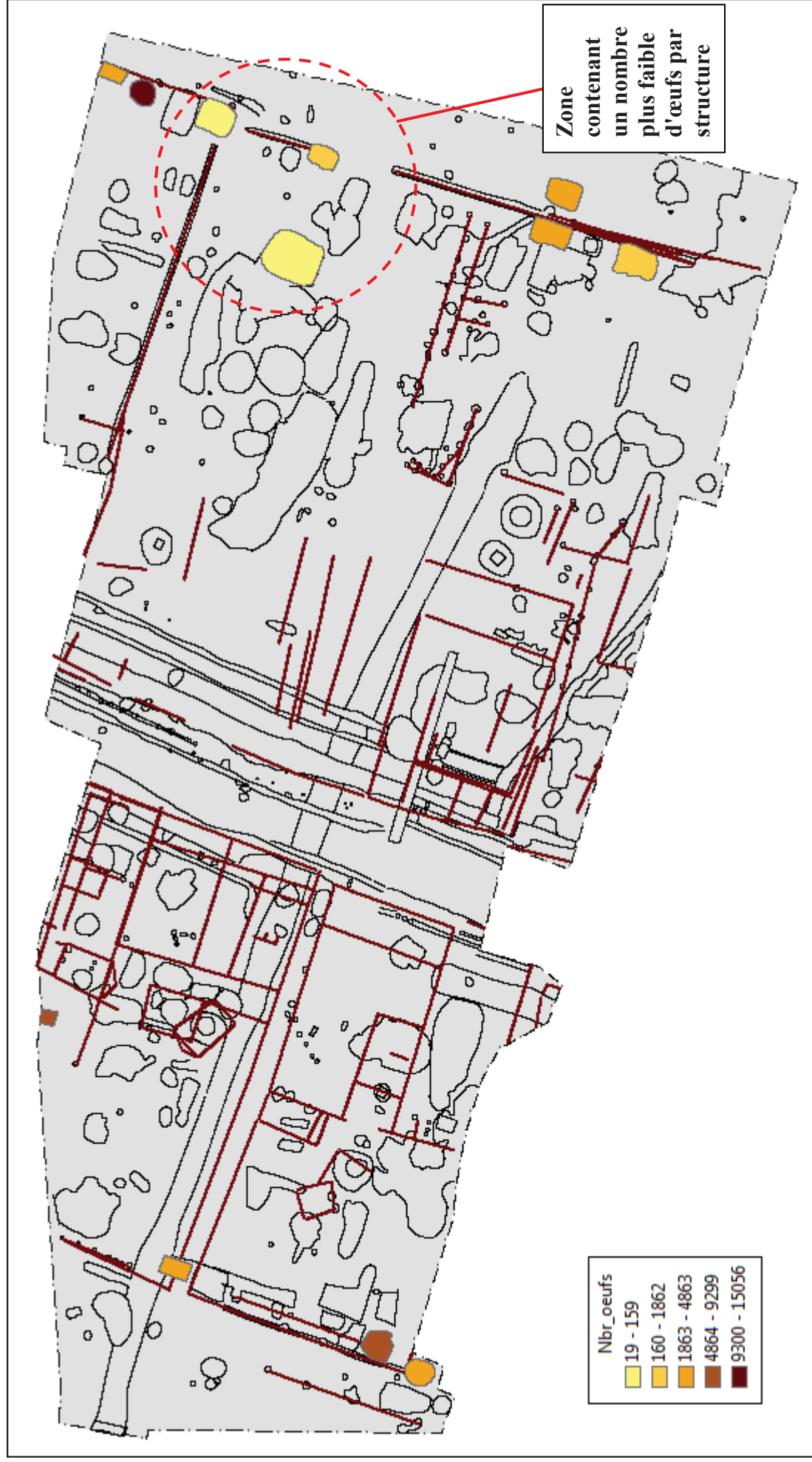


Figure 76 : Carte du nombre total d'œufs obtenu par structure sur le site d'Horbouurg-Wihr.

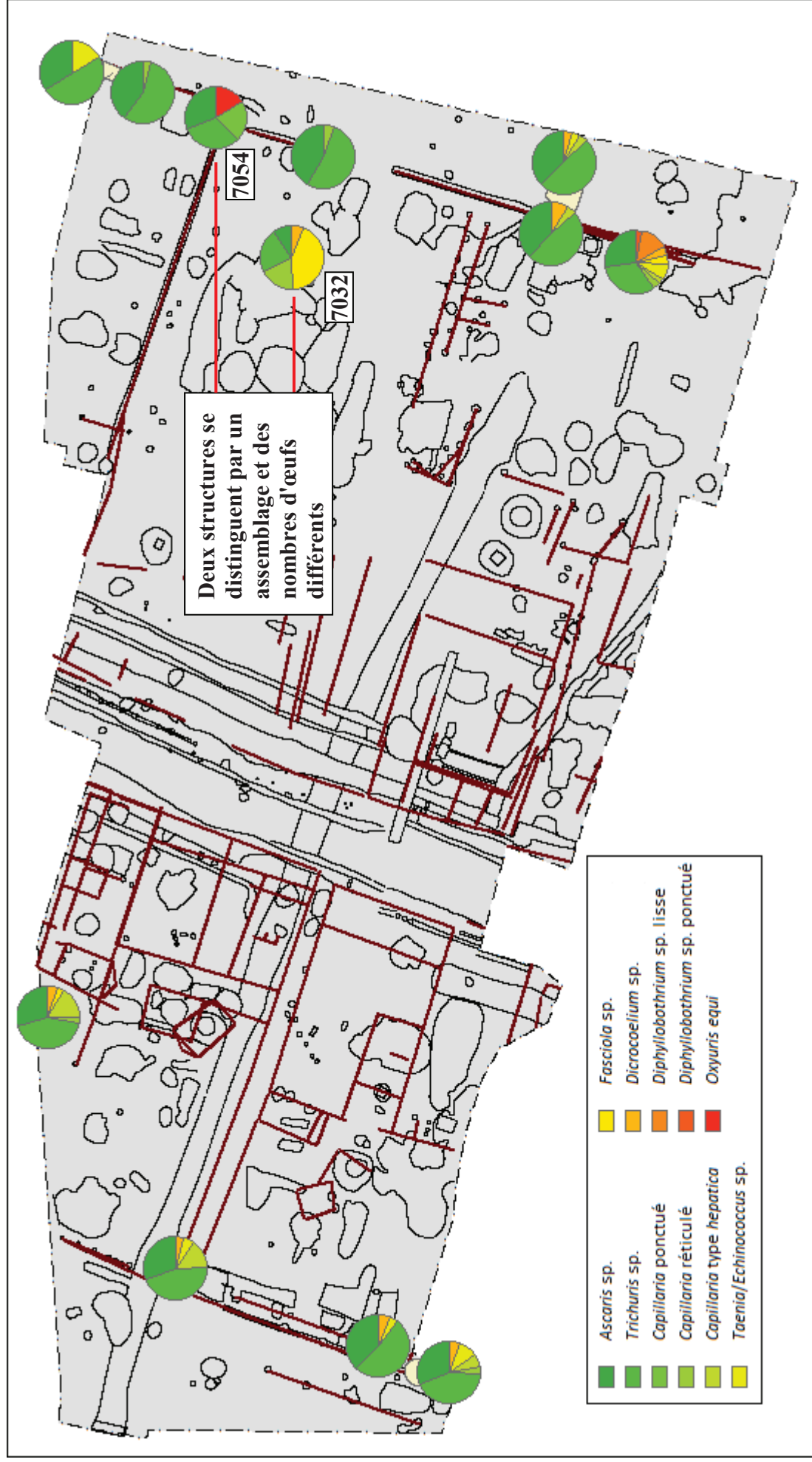


Figure 77 : Carte des résultats par structure sur le site d'Horbourg-Wihr (nombre d'œufs en log10).

3.2.4 Synthèse des informations apportées pour le site d'Horbourg-Wihr

Les résultats montrent tout d'abord que les structures étudiées ont toutes servi au rejet ou au stockage de matières organiques. L'interprétation des résultats permet de proposer pour chaque structure une fonction : "latrines" ou "fosse dépotoir".

L'emploi de la CAH sur les résultats peut permettre de préciser les fonctions pour certaines structures, en regroupant celles dont le remplissage est proche. Dans le cas du site d'Horbourg-Wihr, deux groupes se distinguent. Le premier rassemble uniquement des structures dont la fonction est "fosse dépotoir". Au contraire le second regroupe principalement des structures dont la fonction est "latrines". Il est possible d'associer au premier groupe la fonction "fosse dépotoir" et au second la fonction "latrines". Ainsi, pour chaque structure, lorsque la fonction principale proposée correspond à la fonction du groupe formé par CAH, cette fonction est conservée. En revanche, lorsqu'elle diffère, la fonction proposée initialement est remplacée par celle correspondant au groupe.

Ainsi, l'emploi de la CAH peut permettre une interprétation plus fine des fonctions possibles pour chaque structure. L'utilisation de cet outil, rendu possible par la quantification précise des résidus, pourrait prendre une place plus importante à l'avenir dans les études paléoparasitologiques.

Concernant la spatialisation des données, l'emploi du SIG a permis d'apporter des informations non seulement sur le site mais aussi sur certaines structures en creux.

Une sectorisation du site, par concentrations différentes de rejet est ainsi envisagée et deux fosses particulières se distinguent. Ces fosses dépotoirs particulières sont situées dans la même partie du site et pourraient correspondre à des fosses à fumier. Egalement dans ce secteur du site, la quantité de rejet organique est plus faible et pourrait indiquer une gestion différente des rejets organiques dans ce secteur du site.

L'observation dans l'une de ces fosses (St 7054) d'*Oxyuris equi*, parasite spécifique des équidés, atteste de la présence du cheval sur le site et indique qu'une écurie était peut-être présente dans cette partie du site. Enfin, il est intéressant de noter que la présence du cheval a été confirmée par l'archéozoologie. En effet des restes de chevaux ont été identifiés.

Sur le site d'Horbourg-Wihr, un seul échantillon du remplissage a été étudié pour chaque structure ce qui apporte des informations sur leur fonction et leur utilisation d'une manière globale. L'analyse de plusieurs échantillons prélevés au sein d'une même structure à différentes profondeurs peut apporter d'autres informations concernant notamment l'évolution de son utilisation, et son fonctionnement. Cette approche a été testée sur le site de Beauvais.

3.3 Informations obtenues selon la profondeur : l'exemple de Beauvais

Le site de Beauvais, Place du Jeu de Paume (S_0076, ETC_0007) correspond à un quartier organisé autour d'un réseau de voies occupé du 1^{er} au 3^{ème} s. EC. Des habitations ainsi que des bâtiments publics y ont été retrouvés. Les premières maisons en bois sont remplacées par la suite par des maisons en pierre comportant plusieurs pièces, chaque habitation étant pourvue d'un puits. Deux latrines ont également été identifiées. L'une d'entre elles en particulier a fait l'objet de plusieurs prélèvements.

En effet, au moment de la fouille la structure 4983 présentait un comblement plutôt homogène sur toute sa hauteur, de la surface de décapage jusqu'au fond de la structure. Six prélèvements ont été réalisés tous les 20 cm afin de déterminer s'il existait ou non des différences dans le remplissage de cette structure.

Herrmann (1986, 1987 et 1988) a également utilisé cette approche sur des latrines médiévales (échantillons prélevés tous les 10 cm). Les taxons présents lui ont permis notamment de mettre en évidence de possibles changements dans l'alimentation des populations qui occupaient les sites étudiés.

Les six échantillons prélevés dans la structure 4983 ont été étudiés par la méthode RHM. Le tableau suivant présente les résultats obtenus en nombre d'œufs classés par profondeur croissante.

Echantillon	<i>Ascaris</i> sp.	Ascaridés	<i>Trichuris</i> sp.	<i>Capillaria</i> reticulé	<i>Dicrocoelium</i> sp.	<i>Macracanthorhynchus</i> sp.	<i>Taenia/Echinococcus</i> sp.	Nombre total d'œufs	Nombre de taxons	Profondeur (cm)
ECC_0050	22	-	44	-	1	-	-	67	3	0
ECC_0049	496	25	4789	1	3	-	-	5314	5	-20
ECC_0051	873	20	8854	-	-	-	4	9751	4	-40
ECC_0052	1015	7	1675	-	-	-	-	2697	3	-60
ECC_0053	1086	4	2554	-	1	-	-	3645	4	-80
ECC_0048	316	9	871	-	5	1	-	1202	5	-100

Tableau 32 : Résultats obtenus pour les échantillons de la Structure 4983 (en nombre d'œufs) classés par profondeur décroissantes (en cm) (les valeurs en gras correspondent aux valeurs maximales).

Les taxons observés (*Ascaris* sp. et *Trichuris* sp. en particulier) semblent confirmer l'utilisation de cette structure comme latrines. Cependant une zone de rejet mixte homme/animal et donc une fonction de fosse dépotoir peut aussi être envisagée.

Pour le vérifier, les résultats de chaque échantillon ont été intégrés à ceux obtenus pour le site d'Horbourg-Wihr, puis traités par CAH. Les résultats d'*Ascaris* sp. ont été associés à ceux obtenus pour Ascaridé et l'ensemble des résultats transformés en log10 du nombre d'œufs par lamelle. La figure suivante présente le dendrogramme obtenu.

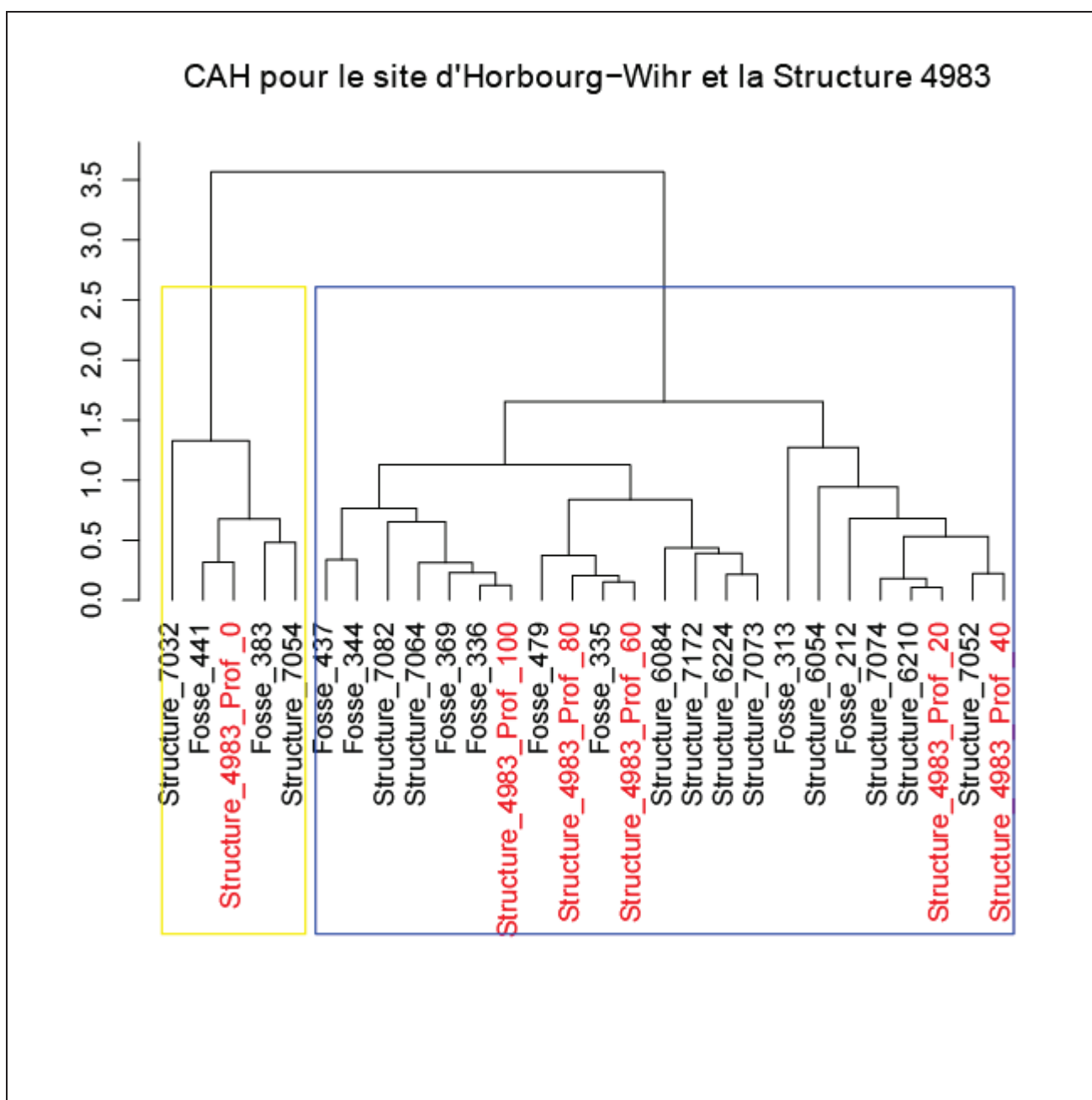


Figure 78 : Classification ascendante hiérarchique des résultats obtenus pour la structure 4983 du site de Beauvais et les structures en creux du site d'Horbourg-Wihr (log10 du nombre d'œufs par lamelle; échantillon de la structure 4983 en rouge; premier groupe de structure en jaune et second groupe en bleu).

Aucun changement ne s'observe dans la composition des groupes formés pour les structures d'Horbourg-Wihr (voir *supra* **3.2.2 Fonction des structures étudiées**, p. 245). Concernant les échantillons de la structure 4983, le premier prélevé à la surface (Structure_4983_Prof_0) se distingue des autres. Il est classé dans le premier groupe (à gauche, en jaune) qui

correspondrait à la fonction "fosse dépotoir". Les autres échantillons sont tous dans l'autre groupe (à droite, en bleu) qui correspondrait à la fonction "latrines".

Il semble donc que la structure 4983 corresponde bien à des latrines. Seul l'échantillon de surface associé à la fonction "fosse dépotoir" se distingue des autres.

En prenant en compte la profondeur de chaque échantillon associée aux résultats obtenus, des différences s'observent dans le remplissage de la structure. Avant de discuter les variations observées, il convient de vérifier si elles sont réelles ou induites par des différences de conservation des œufs.

Les œufs d'Ascaridés correspondent à des œufs d'*Ascaris* sp. ayant perdu leur coque externe sous l'effet des processus taphonomiques (voir *supra* première partie, **4.4.1.1 Le groupe *Ascaris* (GR*Ascaris*)**, p. 101). Ils peuvent donc être utilisés pour évaluer l'influence de la profondeur sur la conservation des œufs. La Figure 79 (p. 260) présente les courbes du nombre d'œufs par lamelle (en log10) pour *Ascaris* sp. et Ascaridé.

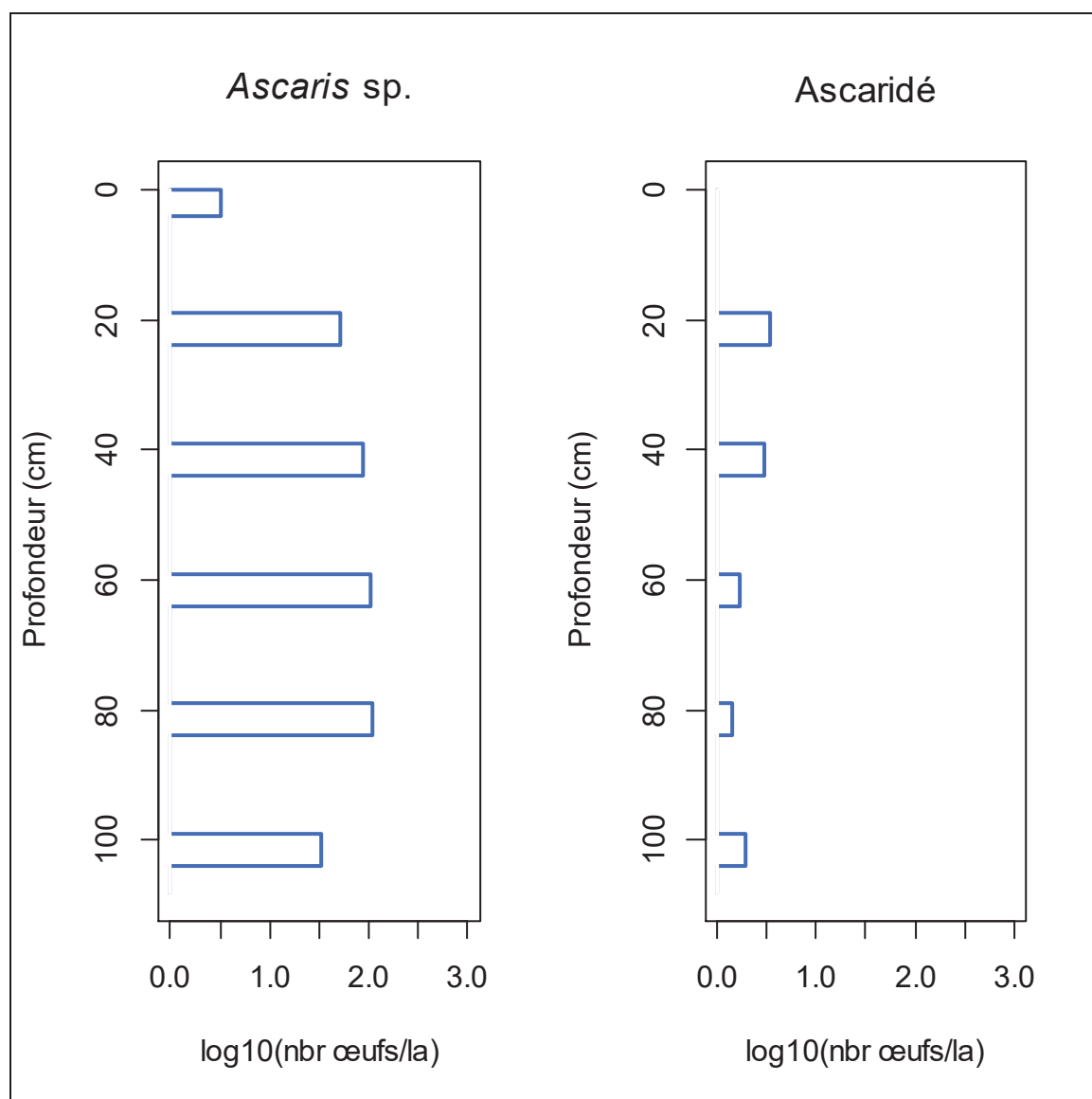


Figure 79 : Résultats obtenus pour *Ascaris* sp. et pour Ascaridé selon la profondeur pour la structure 4983 du site de Beauvais (en log10 du nombre d'œufs/la; profondeur en cm).

Elles montrent que le nombre d'Ascaridés est très faible comparé à celui d'*Ascaris* sp. Ainsi, les processus taphonomiques ne semblent avoir que peu d'impact sur les œufs de parasites. Les différences observées dans les résultats de chaque taxon semblent donc bien correspondre à de réelles variations dans le remplissage de la structure. La Figure 80 (p. 261) représente les courbes de chaque taxon en fonction de la profondeur (en log10 du nombre d'œufs par lamelle). Les résultats obtenus pour *Ascaris* sp. et Ascaridé ont été associés car ils correspondent au même taxon.

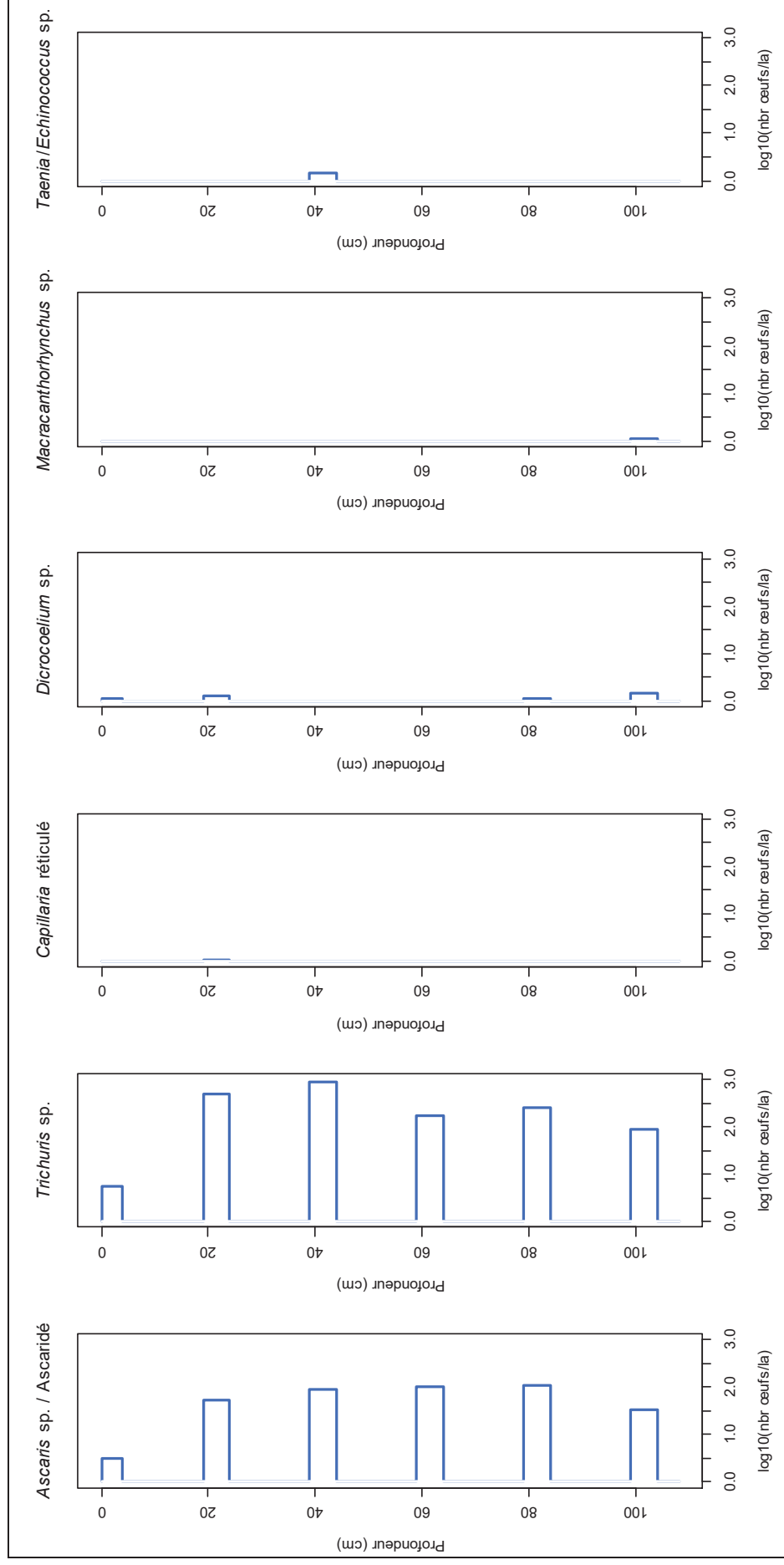


Figure 80 : Résultats obtenus selon la profondeur pour la Structure 4983 du site de Beauvais (en log10 du nombre d'œufs/la; profondeur en cm).

Selon la profondeur, les courbes montrent des différences dans le nombre de taxons et dans le nombre d'œufs correspondants. Ces variations pourraient par exemple mettre en évidence des changements dans le mode de vie des populations ou dans le type d'animaux présents sur le site.

Comparé aux autres taxons, le nombre d'œufs d'*Ascaris* sp. / Ascaridé et de *Trichuris* sp. est important et plus ou moins constant de 20 à 100 cm. Seul l'échantillon prélevé en surface contient un nombre d'œufs beaucoup plus faible. La régularité du nombre important d'œufs d'*Ascaris* sp. et de *Trichuris* sp. montre que le problème de péril fécal est récurrent sur le site, au moins pour la durée d'utilisation de cette structure.

Le nombre d'œufs peu important observé en surface de la structure (profondeur 0 cm) semble plutôt indiquer une pollution par des matières fécales qu'un réel dépôt. Ce niveau pourrait correspondre à une phase de comblement, d'abandon, d'assainissement ou de curage de la structure.

Le nombre d'œufs des autres taxons est en revanche beaucoup plus faible. *Capillaria* réticulé ne s'observe qu'à 20 cm de profondeur, seulement à 40 cm pour *Taenia/Echinococcus* sp. et à 100 cm pour *Macracanthorhynchus*. *Dicrocoelium* sp. s'observe quant à lui plus régulièrement de 0 à 20 cm puis de 80 à 100 cm.

Il est intéressant de noter que *Taenia/Echinococcus* sp., parasite de mammifère carnivore, n'est présent qu'à 40 cm de profondeur. Au contraire, *Dicrocoelium* sp., parasite d'herbivore, ne s'observe pas de 40 à 60 cm. Cette différence pourrait indiquer un changement dans le type d'animaux élevés ou présents sur le site. Les herbivores pourraient par exemple être absents du site, pendant la période correspondant aux niveaux exempt de *Dicrocoelium* sp.

Ces deux taxons peuvent aussi se retrouver chez l'homme (*Taenia* sp. et *Dicrocoelium* sp. dans ce cas). Dans l'hypothèse d'une utilisation de cette structure strictement en tant que latrines (présence de rejets humains uniquement), ces différences pourraient marquer des changements dans le mode de vie et l'alimentation des populations du site. Par exemple de la viande de porc et/ou de bœuf peu cuite pourrait être consommée pendant une courte période.

Au cours de son utilisation, la structure étudiée a pu être curée. Le premier niveau étudié (0 cm) pourrait le montrer. Dans ce cas, les hypothèses basées sur l'alternance de

Taenia/Echinococcus sp. et de *Dicrocoelium* sp. restent valables mais il est difficile d'en préciser la chronologie. Il convient cependant de rester prudent quant à ces hypothèses puisque cette étude concerne une seule structure et que le nombre d'œufs observés pour ces taxons minoritaires reste faible.

L'évolution du nombre de taxons et du nombre d'œufs en fonction de la profondeur peut également apporter des informations dans le cas de carottages. Elles ne se limitent pas alors uniquement à la structure analysée mais elles peuvent renseigner l'environnement à plus grande échelle.

3.4 Etude du port antique de Rome

3.4.1 Contexte et matériel étudié

Dans le cadre du projet ANR Pol-Tevere (paleo-environnements et paleo-pollutions sur le delta du Tibre), dirigé par Jean-Philippe Goiran (CR CNRS), le port antique de Rome, le *Portus*, a fait l'objet d'analyses en paléoparasitologie.

Le *Portus* est construit par l'empereur Claude au 1er s. EC sur le delta du Tibre, au Nord d'Ostie (actuelle *Ostia antiqua*). Au 2ème s. EC, Trajan complète ces installations portuaires, notamment par la construction d'un bassin hexagonal (Goiran *et al.*, 2009).

Cinq carottes localisées au niveau du bassin de Trajan et dans son environnement immédiat ont été étudiées dans le cadre de ce travail de thèse (Figure 81, p. 264) :

- La carotte TR XX prélevée à l'entrée du bassin hexagonal de Trajan.
- La carotte CT1 prélevée dans le *Canale di Comunicazione Traverso*, qui fait le lien entre le chenal d'accès au bassin de Trajan et le Tibre.
- La carotte TR XIV prélevée dans le chenal d'accès au bassin de Trajan.
- La carotte CN 1 prélevée dans le *Canale Romano* qui relie le Tibre au *Portus*.
- La carotte PT XI-3 prélevée au Nord-Ouest sur les structures portuaires délimitant le bassin de Trajan.

Les échantillons de la carotte TR XX ont également été analysés par Matthieu Le Bailly.

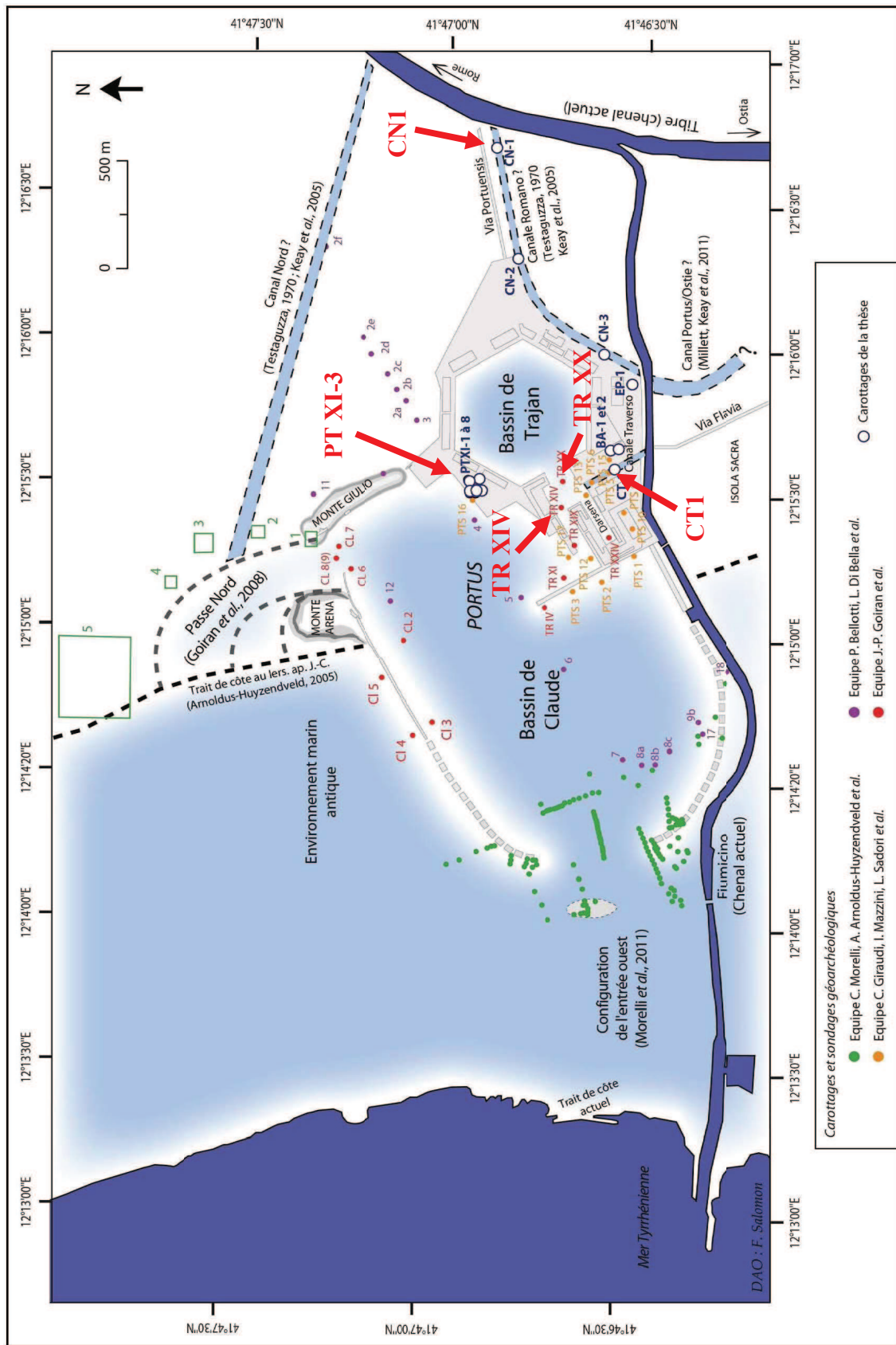


Figure 81: Localisation des carottes étudiées en paléoparasitologie (en rouge) (modifié d'après Salomon, 2014).

3.4.2 Résultats et discussions

3.4.2.1 Résultats obtenus

Le Tableau 33 (p. 266) présente les résultats obtenus. La quasi-totalité des échantillons issus des carottes CT1, TR XIV et TR XX sont positifs. Ceux issus des carottes CN1 et PT XI-3 sont en revanche presque tous négatifs.

Au total, neuf taxons ont été observés : *Ascaris* sp., Ascaridés, *Trichuris* sp., *Capillaria* réticulé, Strongylida, *Macracanthorhynchus* sp., *Dicrocoelium* sp., *Fasciola* sp., et *Opisthorchis* sp. Ils indiquent une origine mixte humaine et animale de la pollution fécale sur le site.

Carotte	Echantillon	Profondeur/N°	<i>Ascaris</i> sp.	Ascaridé	<i>Trichuris</i> sp.	<i>Capillaria</i> réticulé	Strongylida	<i>Macracanthorhynchus</i> sp.	<i>Fasciola</i> sp.	<i>Dicrocoelium</i> sp.	<i>Opisthorchis</i> sp.
TR XIV	ECC_0086	174 à 176	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0	0
	ECC_0087	252 à 254	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0088	377 à 379	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0089	468 à 470	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0
	ECC_0090	548 à 558	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0
	ECC_0091	591 à 600	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0
	ECC_0092	674 à 680	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0
PT XI-3	ECC_0093	121 à 134	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0094	472 à 478	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0095	562 à 567	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0096	649 à 654	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0,1	0
	ECC_0097	678 à 683	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CT1	ECC_0099	70 à 74	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0100	184 à 186?	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0101	283 à 285	0	1,3	0	0	0,1	0	0	0	0
	ECC_0102	387 à 389	0	3,9	0	0	0	0	0	0	0

	ECC_0103	484 à 486	0	1,8	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0098	570 à 572	20,9	0,1	39,7	0	0	0,1	0,7	0	0
	ECC_0104	660 à 662	11,5	0	7,9	0	0	0	0	0	0
	ECC_0105	778 à 781	8	0	9,3	0	0	0	0,1	0	0
CN1	ECC_0106	75 à 77	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0107	176 à 178	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0108	276 à 278	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0109	376 à 378	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0110	477 à 479	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0111	533 à 536	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0112	552 à 555	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TR XX	ECC_0015	49	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0
	ECC_0016	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6
	ECC_0017	109	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0
	ECC_0018	153	0,4	0	0,2	0	0	0	0,1	0	0
	P168	168	0,5	0	0,9	0	0	0	0	0	0
	P173	173	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P178	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P180	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 33 : Résultats obtenus pour les échantillons étudiés du *Portus* (en nombre d'œufs par lamelle) classé par carotte et par profondeur croissantes (en cm) (les lignes grisées correspondent aux échantillons négatifs).

Les informations parasitologiques concernant les taxons observés (description des œufs, biologie et cycle de vie) sont présentées dans la première partie de ce travail de thèse (voir *supra*, **4.4 Informations sur les taxons et les groupes de taxons**, p. 101) excepté pour *Opisthorchis* sp., observé uniquement par M. Le Bailly (échantillon 79, carotte TR XX).

Le genre *Opisthorchis* appartient à la classe des Trématodes. Les œufs sont de petite taille (22-32 x 10-15 µm environ), de forme ovoïde et présentent un opercule à une extrémité (Figure 82, p. 267).

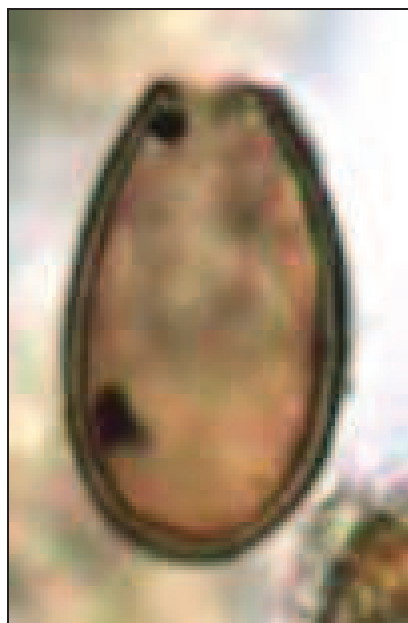


Figure 82 : Œuf d'*Opisthorchis* sp. (18,81 x 11,22 μ m, site du Portus, Rome-Ostie, S_0074, échantillon 79 de la carotte TR XX).

Le cycle de ce parasite est hétéroxène. Il fait intervenir deux hôtes intermédiaires, un gastéropode aquatique puis un poisson d'eau douce, et un hôte définitif, un mammifère ichtyophage dont l'homme peut faire partie. Il passe obligatoirement par le milieu aquatique. Lorsque les œufs sont évacués de l'hôte définitif et parviennent dans l'eau, ils sont ingérés par un gastéropode aquatique (genre *Bithynia*). Les œufs éclosent et les miracidiums se transforment en sporocystes qui produisent ensuite des rédies. Elles deviennent matures dans l'hépatopancréas, se développent en cercaires, puis quittent le gastéropode. Les cercaires libres nagent alors jusqu'à rencontrer le second hôte intermédiaire, un poisson (cyprinidés principalement), pénètrent activement ses tissus, s'enkystent dans les muscles et se transforment en métacercaires. Lorsque ces poissons sont ingérés crus ou mal cuits par l'hôte définitif, les kystes s'ouvrent dans le duodénum et les larves migrent vers les voies biliaires où elles s'installent et passent à l'état adulte. Des œufs sont ensuite émis dans le milieu extérieur avec les excréments de l'hôte. Pour permettre la poursuite du cycle, les œufs doivent alors obligatoirement se retrouver dans le milieu aquatique.

A l'état adulte, le ver mesure de 7 à 12 mm de long par 1,5 à 2,5 mm de large. Chez l'hôte définitif ce parasite provoque une inflammation des voies biliaires, un épaissement des parois des canaux biliaires, l'apparition de granulomes et une cirrhose (Pozio *et al.*, 2013; Soulsby, 1982).

3.4.2.2 Discussion des résultats

Les carottes étudiées en paléoparasitologie ont également fait l'objet d'analyses sédimentaires et paléoenvironnementales (Goiran *et al.*, 2009; Goiran *et al.*, 2010; Salomon *et al.*, 2012; Salomon *et al.*, 2014). Replacés selon la profondeur des échantillons, les résultats paléoparasitologiques de chaque carotte peuvent être confrontés aux interprétations et observations issues des autres types d'analyses réalisés.

La carotte TR XX

Les résultats obtenus montrent que les trois échantillons les plus anciens, à la base de la carotte, sont négatifs pour les œufs de parasite. Au contraire, les taxons identifiés dans les autres échantillons (*Ascaris* sp., Ascaridé, *Trichuris* sp., *Fasciola* sp. et *Opisthorchis* sp.) indiquent la présence de matière fécale d'origine humaine et/ou animale sur le site (voir *infra* Figure 83).

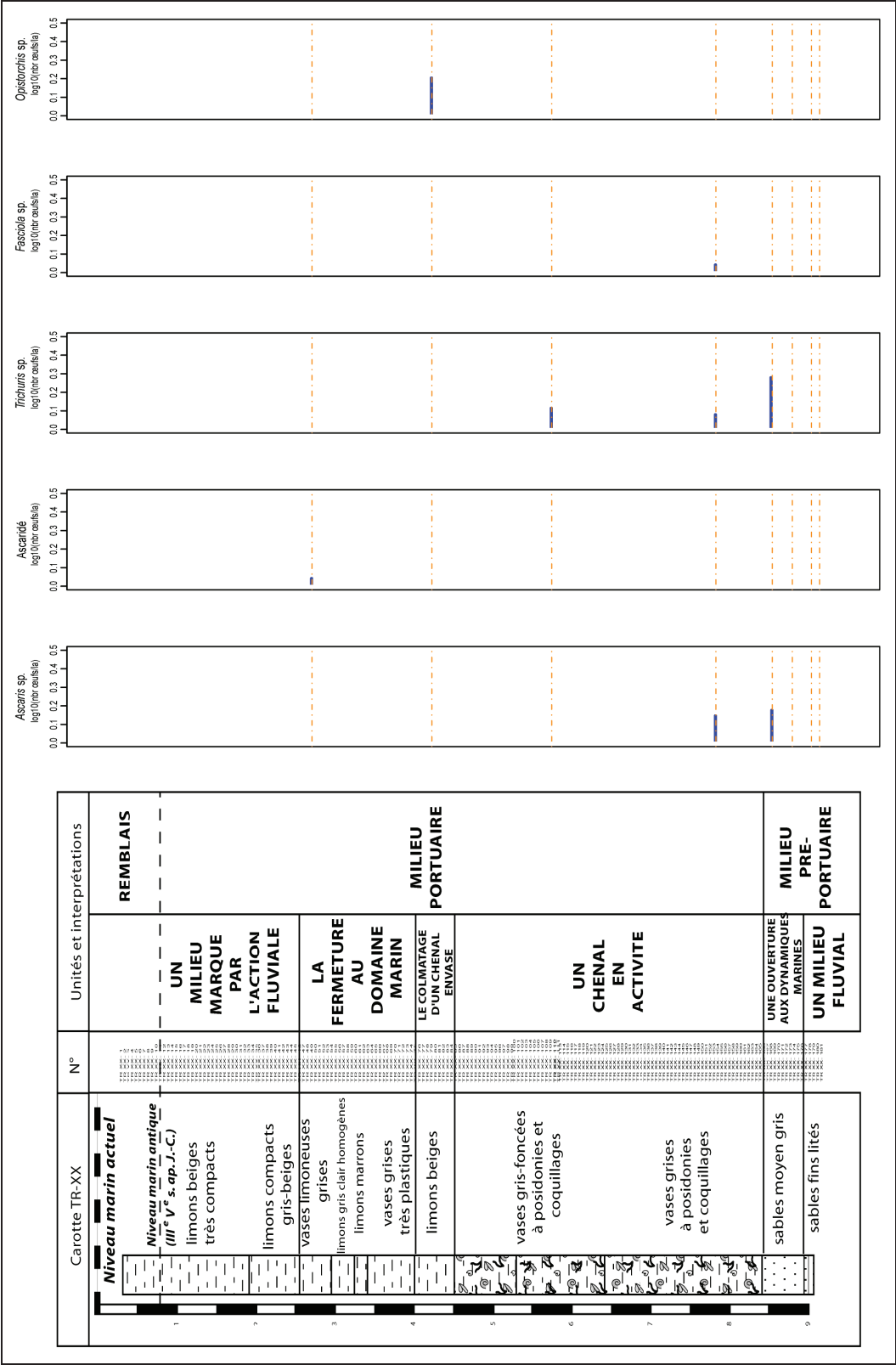


Figure 83 : Résultats obtenus en paléoparasitologie pour la carotte TR XX associés aux interprétations issues des autres analyses (résultats en bleu, log10(nombre d'œufs/La); profondeur des échantillons en orange) (modifié d'après une figure fournie par J.-P. Goiran et d'après Goiran et al., 2009, 2010).

L'analyse sédimentaire met en évidence plusieurs unités stratigraphiques. A la base de la séquence, une unité fluviale est surmontée d'une unité marine. Ces deux niveaux correspondent au milieu pré-portuaire. Le sommet de l'unité marine matérialise le niveau du fond marin initial, au moment de la construction du bassin de Trajan. Au-delà de cette limite, les sédiments correspondent au milieu portuaire (Goiran *et al.*, 2009).

Les différentes analyses réalisées indiquent que l'unité fluviale est stérile et ne comporte aucune faune (macro comme micro) (Goiran *et al.*, 2010). Pour cette unité les résultats paléoparasitologiques sont négatifs. Ils pourraient montrer que l'environnement fluvial n'est pas pollué par des matières fécales. Au contraire, les parasites identifiés dans l'unité marine (*Ascaris* sp. et *Trichuris* sp.) sont à mettre en relation avec la présence de l'homme sur le site.

L'homme a donc pu y être présent depuis le passage du milieu fluvial au milieu marin, et ce bien avant la construction du bassin de Trajan. Les analyses réalisées sur d'autres carottes montrent en effet l'existence d'un hiatus de 700 ans entre l'unité marine et le milieu portuaire (Goiran *et al.*, 2010).

La carotte CT1

L'ensemble est positif pour les œufs de parasites à l'exception des deux échantillons les plus récents, au sommet de la carotte (ECC_0099, 70 à 74 cm et ECC_0100, 184 à 186 cm). Le nombre maximal de taxons s'y observe (six) : *Ascaris* sp., Ascaridé, *Trichuris* sp., Strongylida, *Macracanthorhynchus* sp. et *Fasciola* sp. (voir *infra* Figure 84).

Les échantillons les plus anciens contiennent *Ascaris* sp. et les plus récents Ascaridé. Cette différence dans la conservation des œufs d'*Ascaris* sp. pourrait par exemple indiquer un changement de milieu, l'un étant favorable à la conservation des œufs et l'autre beaucoup moins. La présence de *Trichuris* sp. uniquement dans les échantillons comportant *Ascaris* sp. semble aller dans ce sens. Ce changement de milieu pourrait être naturel ou lié aux activités humaines (creusement, curage...).

Un échantillon, à mi chemin entre le premier et le dernier positif, contient à la fois des œufs d'*Ascaris* sp. et des œufs d'Ascaridé (ECC_0098, 570 à 572 cm). Il pourrait marquer l'interface entre ces deux niveaux différents.

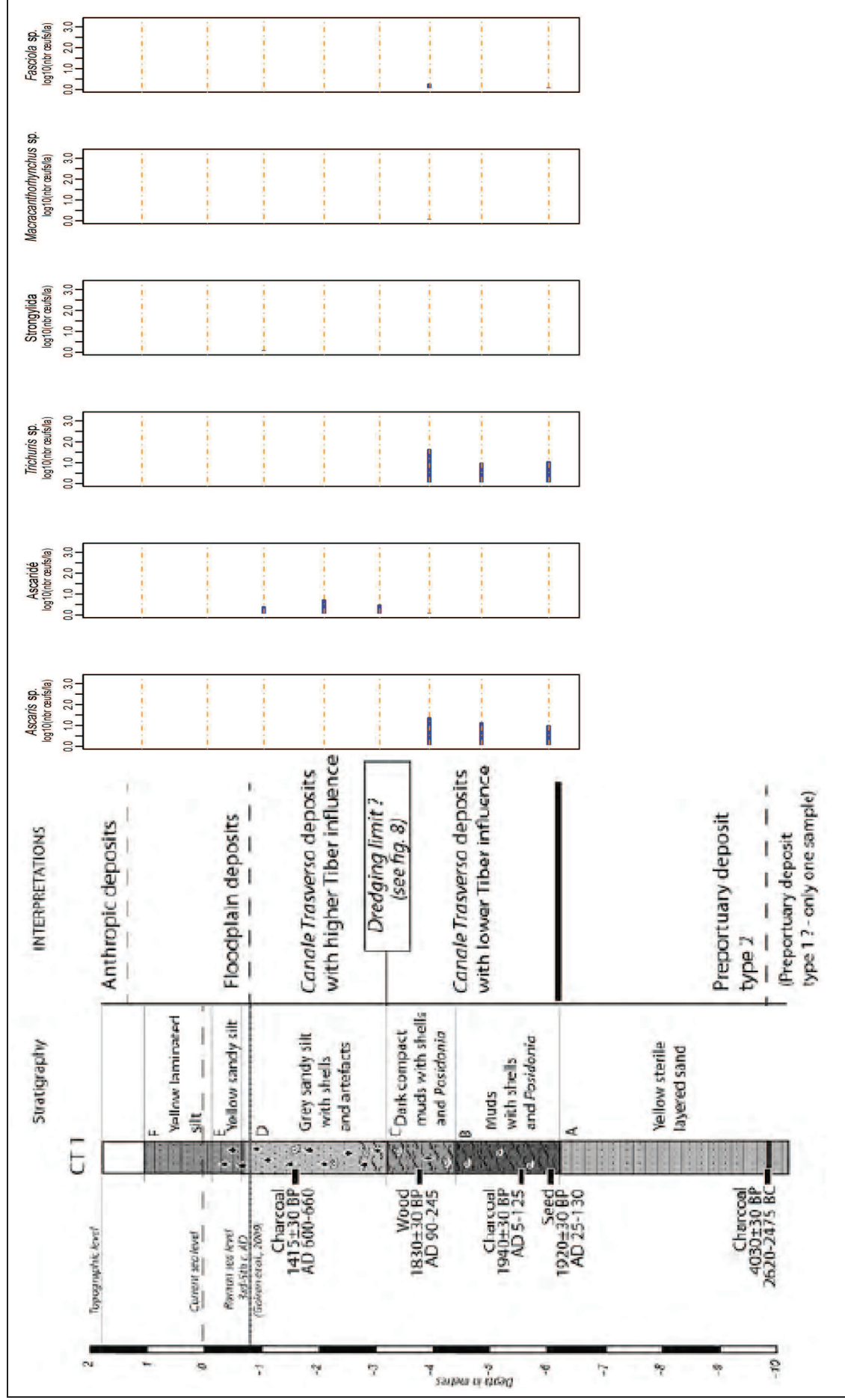


Figure 84 : Résultats obtenus en paléoparasitologie pour la carotte CT1 associés aux interprétations issues des autres analyses (résultats en bleu, log10(nombre d'œufs/1g); profondeur des échantillons en orange) (modifié d'après Salomon *et al.*, 2012).

Les dépôts présents dans le *Canale Traverso*, sont liés à la fois au milieu marin et au milieu fluvial. Les analyses sédimentaires montrent que dans un premier temps le remplissage du canal est soumis aux influences marines et fluviales (Unités B et C Figure 84). Au contraire, le dépôt supérieur comporte des sédiments uniquement fluviaux (Unités D Figure 84) (Salomon *et al.*, 2012).

Les deux niveaux différents mis en évidence en paléoparasitologie semblent donc correspondre aux deux phases de remplissage observées par les analyses sédimentaires. Les rejets présents pourraient alors être originaires du site lui-même comme du fleuve. Dans le cas des dépôts les plus récents, une origine fluviale préférentielle peut être envisagée.

La carotte TR XIV

Les échantillons de cette carotte sont presque tous positifs à l'exception de deux, localisés vers le sommet (ECC_0087, 252 à 254 cm et ECC_0088, 377 à 379 cm) (voir *infra* Figure 85).

Contrairement à la carotte précédente, aucun changement ne semble survenir dans le mode de dépôt des sédiments tout au long de l'utilisation de ce chenal (Salomon *et al.*, 2012). Les niveaux négatifs pour les parasites pourraient être mis en relation avec l'abandon du chenal (à partir de l'unité I Figure 85).

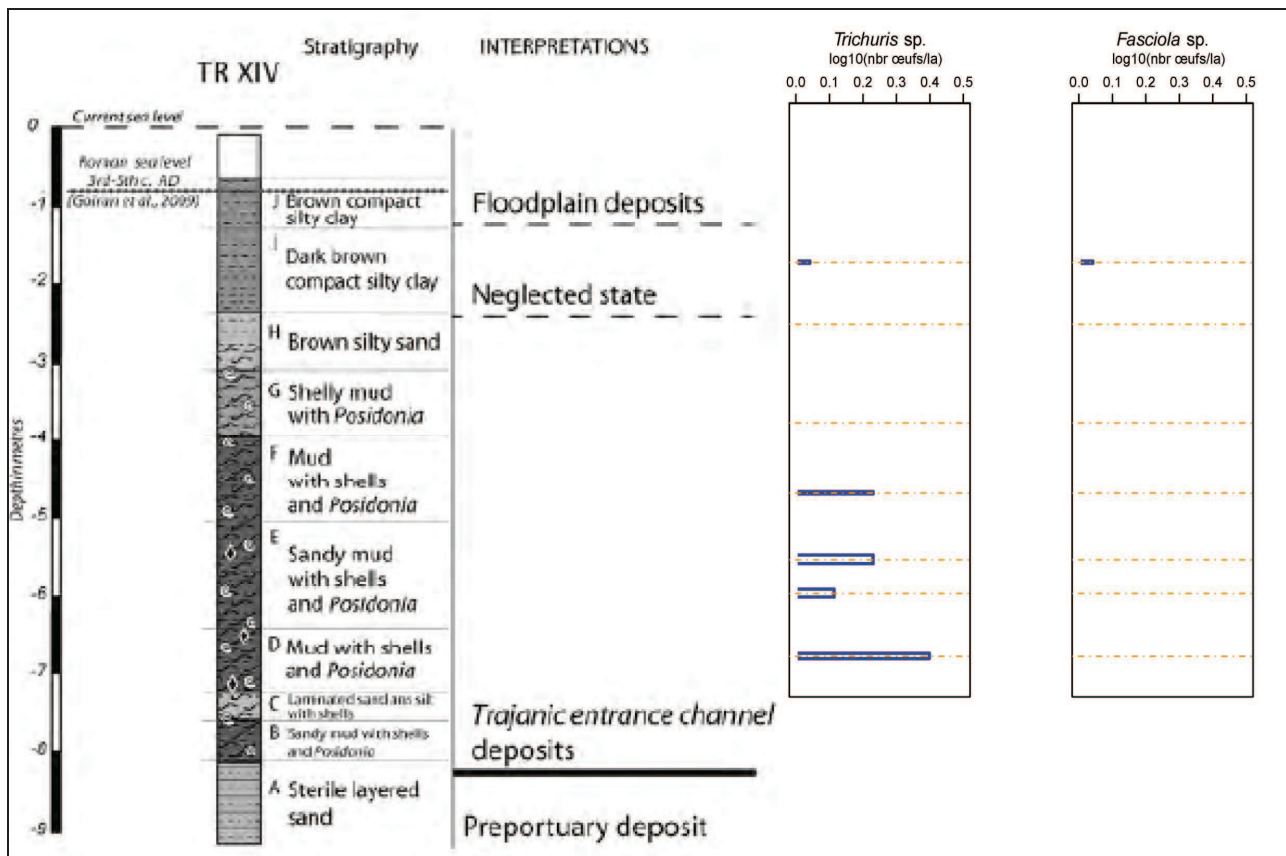


Figure 85 : Résultats obtenus en paléoparasitologie pour la carotte TR XIV associés aux interprétations issues des autres analyses (résultats en bleu, log10(nombre d'œufs/la); profondeur des échantillons en orange) (modifié d'après Salomon *et al.*, 2012).

La carotte CN1

Un seul échantillon est positif (ECC_0110, 477 à 479 cm), uniquement pour *Ascaris* sp. (voir *infra* Figure 86).

Au niveau de cet échantillon, l'analyse sédimentaire met en évidence une succession d'événements correspondant à des crues, au cours de la phase d'activité du canal (unité C, Figure 86). *Ascaris* sp. indique ici la présence de rejets organiques d'origine humaine et/ou porcine. Ils peuvent par exemple correspondre à un apport lié au charriage provoqué par une crue.

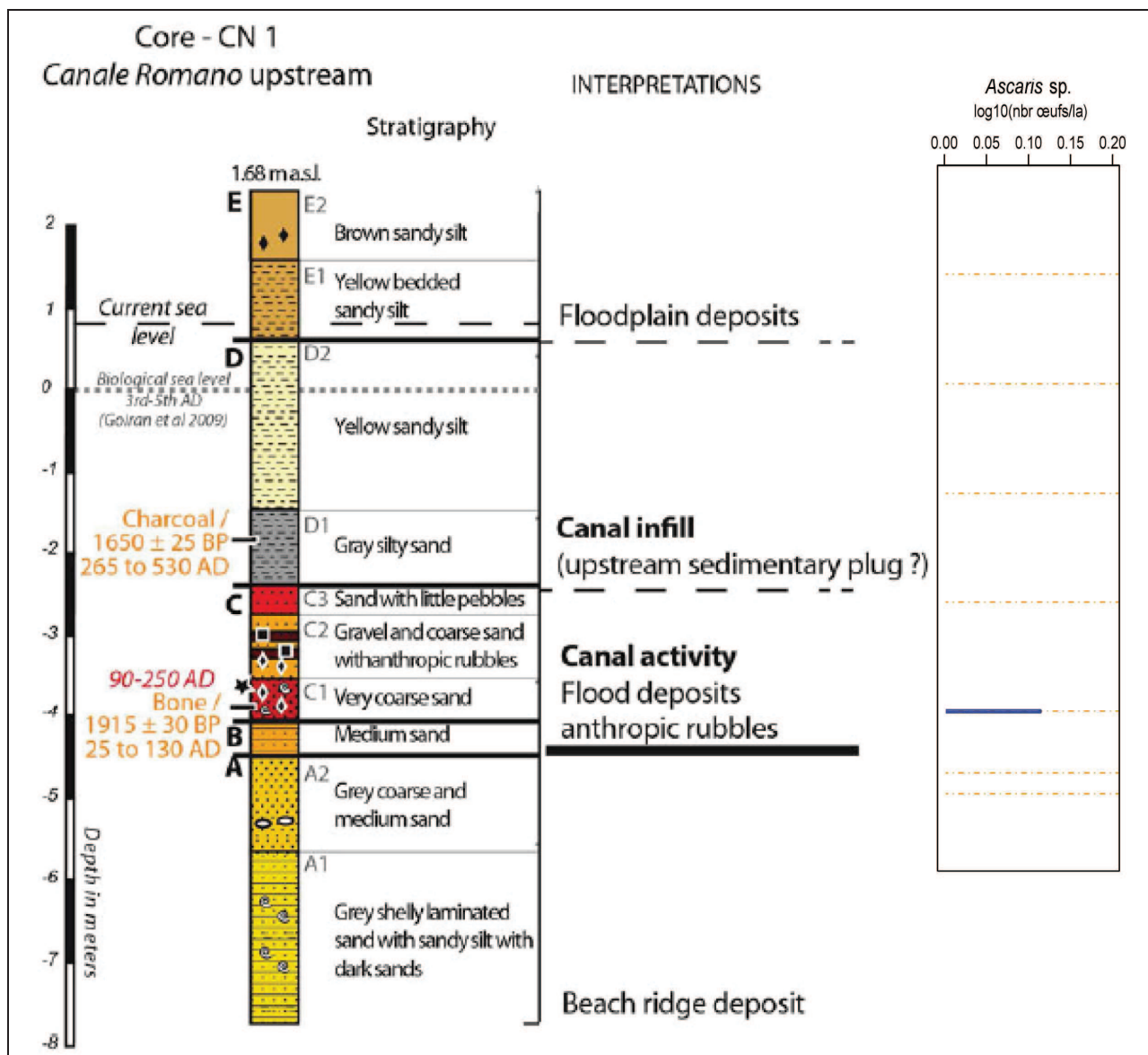


Figure 86 : Résultats obtenus en paléoparasitologie pour la carotte CN1 associés aux interprétations issues des autres analyses (résultats en bleu, log10(nombre d'œufs/la); profondeur des échantillons en orange) (modifié d'après Salomon *et al.*, 2014).

La carotte PT XI-3

Comme pour la carotte précédente, un seul échantillon est positif (ECC_0096, 649 à 654 cm) (voir *infra* Figure 87). Au vu des informations disponibles, cet unique échantillon positif ne semble pas correspondre à un élément particulier des interprétations.

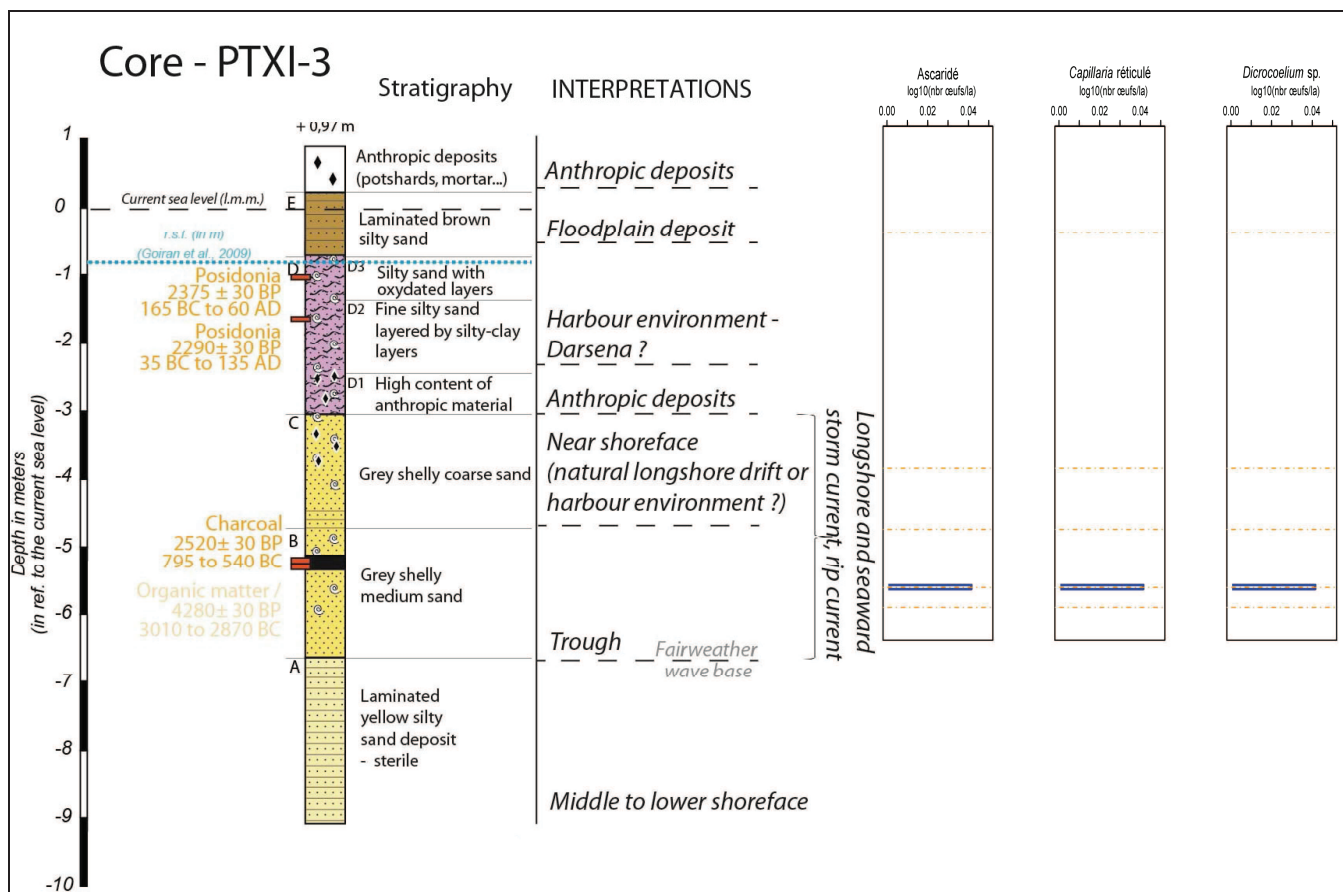


Figure 87 : Résultats obtenus en paléoparasitologie pour la carotte PT XI-3 associés aux interprétations issues des autres analyses (résultats en bleu, log10(nombre d'œufs/la); profondeur des échantillons en orange) (modifié d'après une figure fournie par F. Salomon).

3.4.3 Synthèse des informations apportées pour le port antique de Rome

L'étude de ces cinq carottes permet d'apporter différentes informations sur le site du port antique de Rome et sur son environnement. Tout d'abord, l'environnement fluvial préportuaire ne contient pas de parasites et ne serait donc pas pollué par des rejets organiques. Il semble donc ne pas y avoir de présence humaine sur le site (ou une présence non détectable par l'étude des parasites) avant la mise en place du milieu portuaire ni de rejets organiques dans le fleuve à ce niveau ou en amont. A partir de la mise en place du milieu portuaire, les résultats deviennent positifs pour les parasites. Selon les cas, les taxons identifiés peuvent correspondre à des apports issus du fleuve (en amont du site) ou relever de l'occupation du site et de son fonctionnement (rejets liés aux bâtiments portuaires, issus des navires...).

Dans le cas des échantillons négatifs, la question peut être soulevée d'une conservation différentielle des œufs de parasite entre le milieu fluvial et le milieu marin. Cependant, deux études réalisées en milieu saumâtre (site de Marseille, France, S_0030 et site d'Alexandrie, Egypte, S_0056) ont donné des résultats positifs et les œufs n'indiquaient pas de problème de conservation. Ainsi ce type d'environnement ne semble pas défavorable à leur conservation. De même, les œufs issus d'échantillons prélevés en milieu non salé ont une bonne conservation (par exemple site de Beauvais, France, S_0076).

Dans certains cas, les résultats du port de Rome semblent aussi en adéquation avec ceux obtenus par les autres analyses réalisées sur les carottes. Par exemple pour la carotte CT1 les deux niveaux contenant soit des *Ascaris* sp. soit des Ascaridés semblent correspondre aux phases mises en évidence par les autres analyses et indiquer une origine fluviale ou marine des rejets présents.

Ces premiers résultats doivent à présent être complétés par l'analyse d'autres échantillons prélevés dans les carottes analysées. Une "résolution" plus fine dans le prélèvement des échantillons (tous les 5 cm par exemple) permettrait de préciser les interprétations. D'autres carottes peuvent également être étudiées en d'autres points pour compléter nos connaissances sur le site, l'évolution de l'environnement ou encore sur son fonctionnement.

4 ETUDE MICROMORPHOMETRIQUE DES ŒUFS DE PARASITES

En microscopie optique, l'identification des taxons est basée à la fois sur les caractéristiques morphologiques des œufs et sur leurs dimensions (voir *supra* première partie, **4.4 Informations sur les taxons et les groupes de taxons**, p. 101). Pour chaque œuf photographié, les dimensions sont mesurées avec le logiciel Leica Application Suite V4.4.

Les études micromorphométriques présentées ici se concentrent sur les deux taxons les plus retrouvés au cours de nos analyses : *Trichuris* sp. et *Ascaris* sp. Pour les œufs de ces taxons, deux mesures sont prises en compte : la longueur maximale de l'œuf et sa largeur maximale⁴⁵. Les figures 88 et 89 présentent les mesures prises pour les œufs de *Trichuris* sp. et d'*Ascaris* sp.

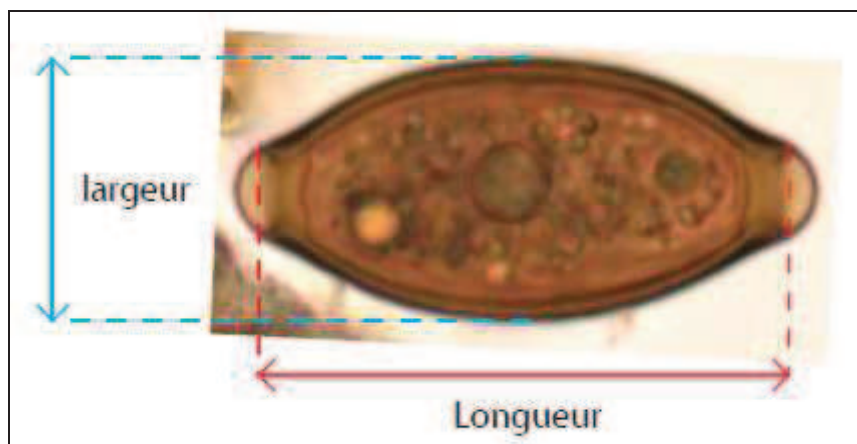


Figure 88 : Mesures prises sur les œufs de *Trichuris* sp.

⁴⁵ Dans le cas de *Trichuris* sp., les bouchons polaires ne sont ici pas pris en compte car le plus souvent ils sont absents des œufs observés dans les échantillons.

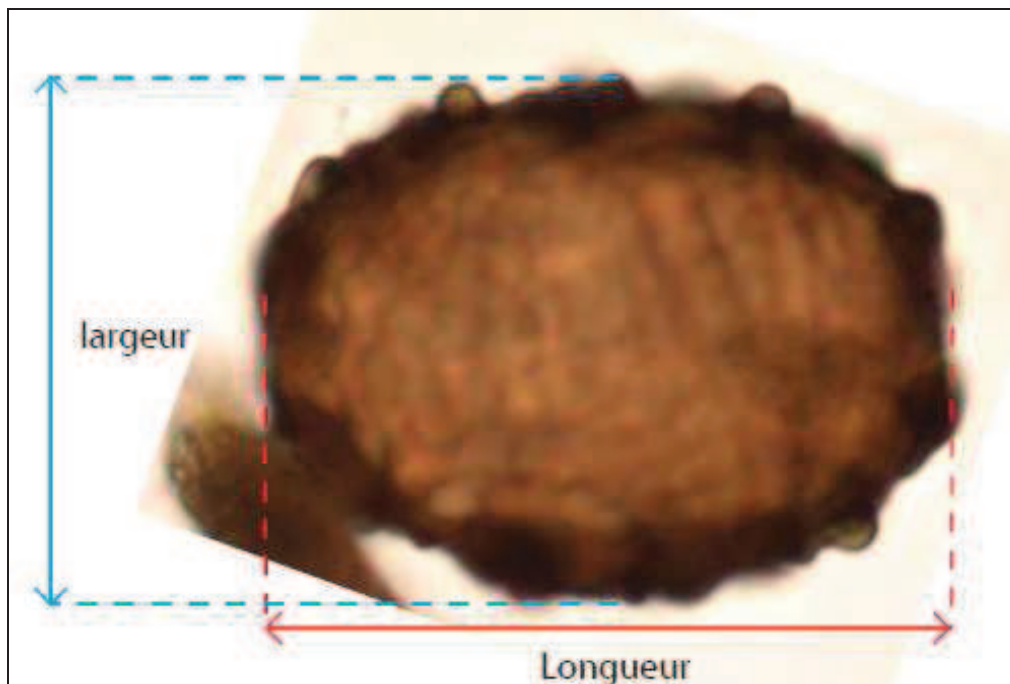


Figure 89 : Mesures prises sur les œufs d'*Ascaris* sp.

4.1 Les œufs du genre *Trichuris*

4.1.1 Œufs standards et œufs anormaux

Les œufs du genre *Trichuris* ont une forme de "citron" et possèdent un bouchon polaire à chaque extrémité. La plupart du temps, ceux observés au cours de nos analyses se présentent sous cette forme standard. Cependant, des œufs possédant des anomalies dans leur structure peuvent s'observer. Certains œufs anormaux sont également plus grands ou plus petits.

Les anomalies morphologiques concernent un seul des bouchons polaires ou les deux. Les ouvertures peuvent être absentes ou déformées. La figure suivante présente quelques œufs anormaux observés sur le site de Beauvais (S_0076, ETC_0007) :



Figure 90 : Œufs de *Trichuris* anormaux du site de Beauvais : sans ouverture polaires à gauche (56,21 x 25,41, ECC_0055), avec une des ouvertures absente au centre (54,72 x 26,10 μ m, ECC_0051) et avec une des ouvertures déformée à droite (57,22 x 27,46, ECC_0055).

Certains possèdent leurs deux bouchons polaires mais ont des dimensions plus importantes ou plus faibles comparé aux œufs standards. Vus en coupe, les œufs plus longs ont tendance à avoir une coque légèrement ondulée. Les œufs plus courts ont quant à eux une forme générale beaucoup plus arrondie. La figure suivante présente les deux types rencontrés :

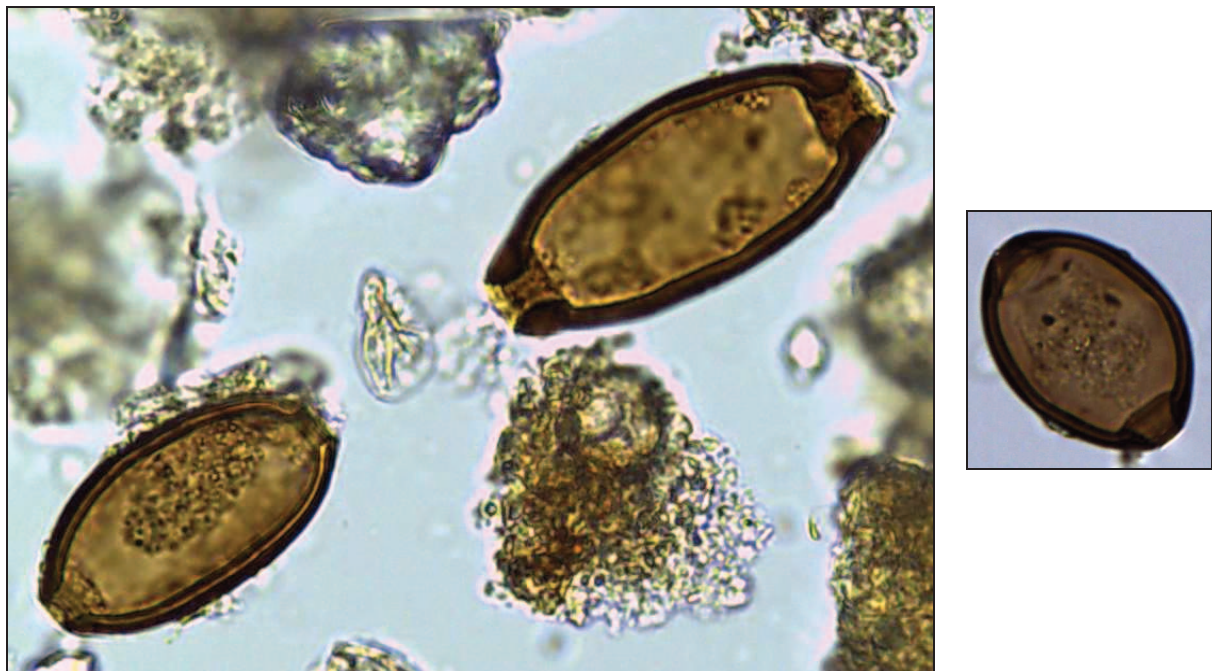


Figure 91 : A gauche, œuf standard de *Trichuris* sp. en bas (50,13 x 27,07 μ m) et œuf anormal de grande taille en haut (65,67 x 29,15 μ m) (site de Beauvais, Rue Saint Laurent); à droite, œuf plus court (40,64 x 28,43 μ m, site de Beauvais, S_0076, ECC_0055).

Pour certaines espèces du genre *Trichuris*, plusieurs références bibliographiques rapportent l'observation d'œufs anormaux de plus grandes dimensions.

Dans le cas de *Trichuris trichiura*, des analyses coprologiques ont montré chez l'homme la présence de tels œufs, en plus des œufs standards observés majoritairement. L'emploi de certains traitements vermifuges peuvent expliquer la présence de ces œufs anormaux chez les patients traités (Ferrer-Rodriguez et Kozek, 2007; Wagner, 1979; Yoshikawa *et al.*, 1989).

Pour *Trichuris ovis*, les œufs de plus grande dimension observés présentent une anomalie de structure particulière au niveau des bouchons polaires (voir ci-dessous Figure 92). Une des couches qui compose la coque de l'œuf s'étend partiellement ou totalement à ce niveau et peut conduire à l'occlusion partielle ou totale des ouvertures polaires (Jansen, 1984).

Enfin, des œufs plus grands de *Trichuris muris* s'observent. Dans ce cas il ne semble y avoir aucune anomalie morphologique particulière (Koyama, 2013).



Figure 92 : Œuf de *Trichuris ovis* standard à droite et œuf anormal de grande dimension à gauche. La flèche indique l'anomalie observée au niveau d'un bouchon polaire (Jansen, 1984).

Les dimensions plus importantes de certains œufs de *Trichuris* sp. discutées jusqu'à présent sont naturelles. Cependant, le temps de lecture des lamelles sous microscope peut dans certains cas contribuer à augmenter la taille des œufs de *Trichuris* sp.

4.1.2 Augmentation de la taille des œufs et temps de lecture des lamelles

Au cours de l'analyse des échantillons du corpus de thèse, certains œufs de *Trichuris* sp. ont été photographiés à plusieurs reprises : au moment de la première observation de l'œuf et une fois la lecture de la lamelle achevée. Pour certains œufs, des augmentations de taille s'observent entre la première photographie réalisée et la dernière. Lorsque le temps de lecture de la lamelle est très important, ce phénomène s'observe particulièrement pour les premiers œufs photographiés au début de la lecture. Cette augmentation de la taille pourrait s'expliquer par la pression de la lamelle en verre sur l'échantillon observé.

Ainsi, plus le temps passé à lire la lamelle est important et plus les dimensions des œufs de *Trichuris* sp. sont susceptibles d'augmenter, ce qui pourrait poser problème pour les études en micromorphométrie.

Afin d'évaluer l'influence du temps de lecture sur l'augmentation des dimensions, un des premiers œufs de *Trichuris* sp. observé dans une lamelle de l'échantillon ECC_0051 a été photographié régulièrement sur un temps très long (52 mn). La Figure 93 (p. 282) présente cet œuf photographié une première fois au moment de son observation, puis une seconde fois 45 mn plus tard. Au total, l'œuf a été photographié quatorze fois. La longueur et la largeur de l'œuf ont ensuite été mesurées. Le Tableau 34 (p. 282) présente les mesures obtenues en fonction du temps écoulé, depuis la première observation de l'œuf, et la Figure 94 (p. 283) les courbes de variations des longueurs et largeurs en fonction du temps.

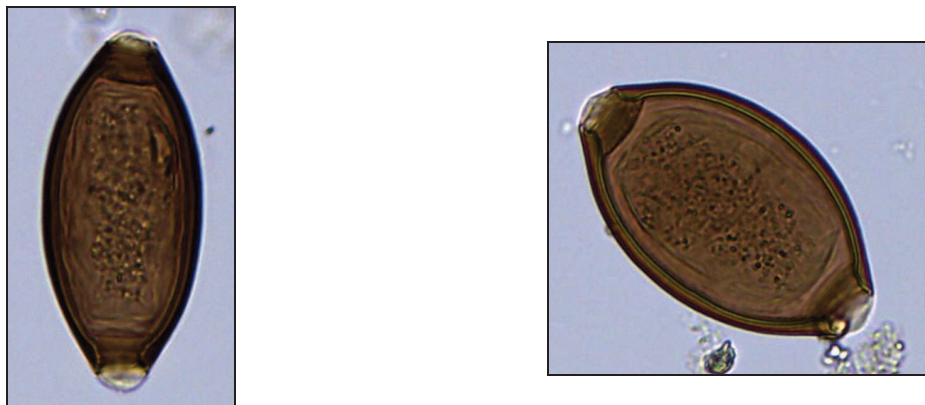


Figure 93 : Photographie d'un œuf de *Trichuris* sp. au moment de sa première observation à gauche (53,35 x 25,96 μm) et observation du même œuf 45 mn plus tard à droite (54,80 x 33,90 μm) (site de Beauvais, S_0076, ECC_0051).

Temps écoulé (mn)	Longueur (μm)	largeur (μm)
0	53,35	25,956
19	53,588	26,08
23	53,316	26,316
27	53,407	27,294
29	53,615	29,578
30	53,836	29,96
31	53,643	31,327
32	54,229	32,98
35	54,339	33,942
37	54,594	33,949
40	54,644	33,821
45	54,801	33,897
49	54,339	33,861
52	55,038	33,738

Tableau 34 : Mesures de l'œuf de *Trichuris* sp. du site de Beauvais (S_0076, ECC_0051) et temps écoulé.

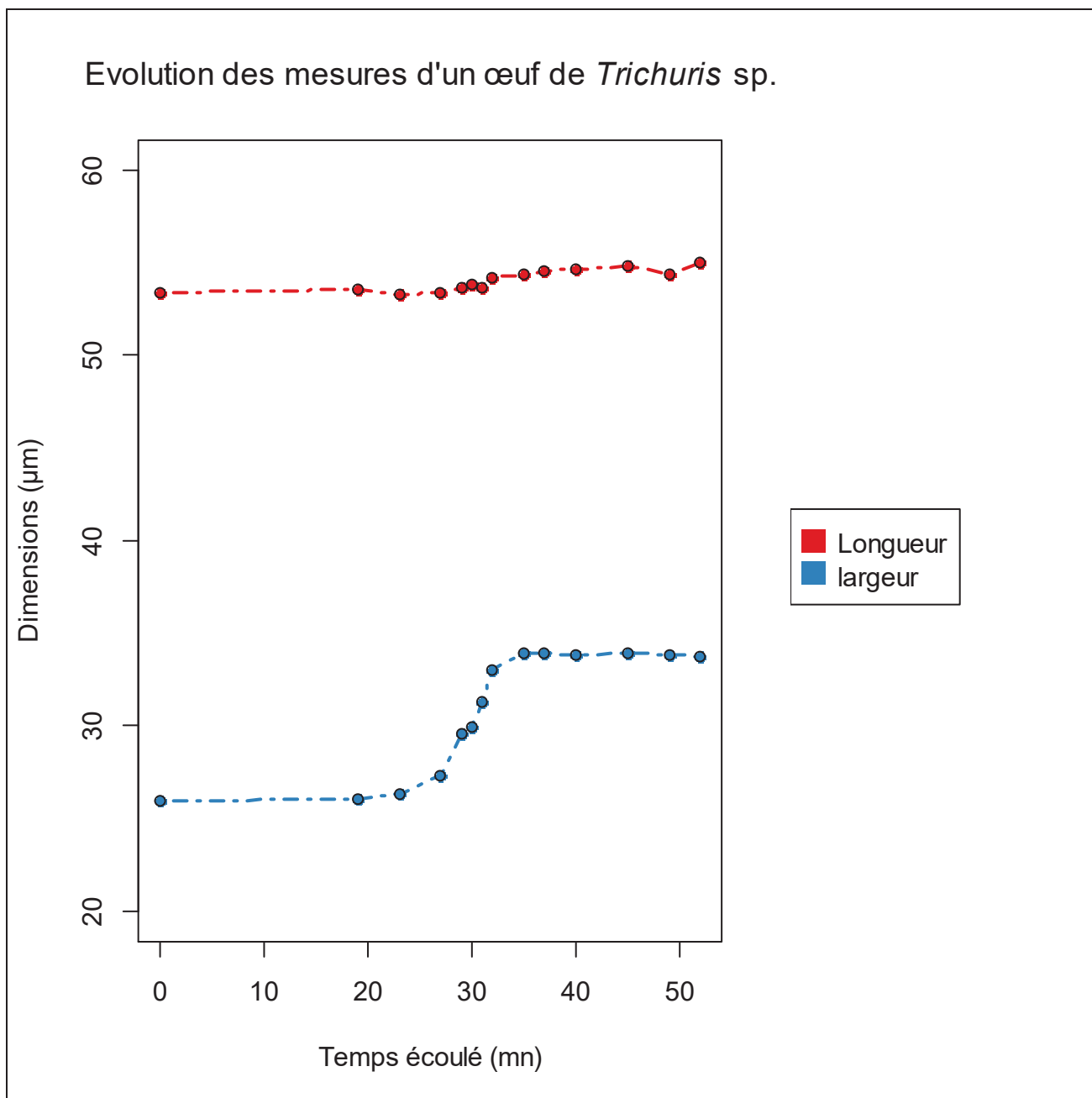


Figure 94 : Courbes de variation de la longueur et de la largeur d'un œuf de *Trichuris* sp. en fonction du temps (les points représentent les mesures réalisées).

Les résultats montrent que la longueur varie très peu. Au contraire, la largeur reste constante et quasiment identique de la première observation jusqu'à 20 mn environ. Elle augmente ensuite jusqu'à 35 mn environ, puis redevient constante jusqu'à la fin des observations.

Pour un temps d'observation des lamelles inférieur à 20 mn, les dimensions des œufs de *Trichuris* sp. ne changent pas. Passé ce délai, les dimensions des œufs nouvellement observés ne peuvent donc plus être utilisées pour les études en micromorphométrie.

Le plus souvent, le temps d'observation d'une lamelle ne dépasse pas 15 mn. Cependant, lorsque l'échantillon est très riche en œufs et qu'il présente une biodiversité importante, ce temps de lecture peut être beaucoup plus long. Une grande partie des échantillons du site d'Horbourg-Wihr (S_0075) et du site de Beauvais (S_0076) sont dans ce cas. Cette valeur seuil de 20 mn a été prise en compte pour sélectionner les œufs utilisés pour les études en micromorphométrie.

Une fois les dimensions des œufs anormaux écartées ainsi que celles des œufs standards prises après les 20 mn d'observation des lamelles, les analyses en micromorphométrie peuvent être réalisées.

Rappelons pour finir que les montages que nous étudions ne sont pas fermés par un vernis ou une résine. Au bout d'un certain temps, les lames finissent par sécher. Il est probable que la cassure observée dans la courbe de largeur de l'œuf de *Trichuris* sp. observée plus haut (Figure 94), soit le reflet de la dessiccation du montage, et de la pression croissante exercée par la lamelle sur l'œuf.

4.1.3 Etude micromorphométrique des œufs de *Trichuris* sp.

Les ouvrages de parasitologie et autres références bibliographiques donnent les dimensions des œufs correspondant à plusieurs espèces du genre *Trichuris*. Au sein d'une même espèce, les intervalles de mesure fournis par les auteurs permettent alors de déterminer pour les longueurs et les largeurs des valeurs minimales et maximales. Le tableau suivant présente les dimensions des œufs pour quelques espèces du genre *Trichuris* :

Espèces du genre <i>Trichuris</i>	largeur (µm)		Longueur (µm)		Référence
	min	max	min	max	
<i>Trichuris trichiura</i>	22	23	50	54	Acha et Szyfres, 2005
	20	20	50	50	Bailenger, 1982
	23,1	28,7	49,9	61,1	Beer, 1976
	22	22	50	50	Brumpt, 1936
	25	28	51	57	Catár et Hynie, 1968 (d'après Beer, 1976)
	22,5	30	50	65	Dinnik, 1938 (d'après Beer, 1976)
	22	22	50	50	Golvan, 1990
	23,1	29,7	49,5	62,7	Hohner et Müller, 1965 (d'après Beer, 1976)
	25	25	50	60	Léger <i>et al.</i> , 1981
	24	29	54	60	Sondak, 1948 (d'après Beer, 1976)
	25	25	50	50	Stenger, 1997
	22	27	50	58	Thienpont <i>et al.</i> , 1979
	20	30	49,5	65	Synthèse des dimensions
<i>Trichuris suis</i>	25	37,5	57,5	67,5	Dinnik, 1938 (d'après Beer, 1976)
	25	30	57	68	Sondak, 1948 (d'après Beer, 1976)
	26,4	31,4	56,1	69,3	Hohner et Müller, 1965 (d'après Beer, 1976)
	26	28	59	65	Catár et Hynie, 1968 (d'après Beer, 1976)
	26,8	34,5	46,6	71,2	Beer, 1976
	21	25	50	60	Soulsby, 1982
	21	31	50	68	Thienpont <i>et al.</i> , 1979
	30	30	65	65	Mehlhorn, 2008
	21	37,5	46,6	71,2	Synthèse des dimensions
<i>Trichuris ovis</i>	30	42	70	80	Soulsby, 1982
	30	42	70	80	Thienpont <i>et al.</i> , 1979
	30	42	70	80	Mehlhorn, 2008
	-	-	65	75	Léger <i>et al.</i> , 1991
	30	42	65	80	Synthèse des dimensions
<i>Trichuris discolor</i>	25	35	60	73	Soulsby, 1982
	-	-	65	75	Léger <i>et al.</i> , 1991
	30	40	70	80	Euzéby, 1981
	25	40	60	80	Synthèse des dimensions
<i>Trichuris globulosa</i>	36	36	68	68	Soulsby, 1982
<i>Trichuris vulpis</i>	-	-	70	89	Soulsby, 1982
	32	41	70	90	Thienpont <i>et al.</i> , 1979
	-	-	70	89	Acha et Szyfres, 2005
	35	35	80	80	Mehlhorn, 2008
	32	41	70	89	Kenney et Yermakov, 1980
	33	46	72,5	90	Yoshikawa <i>et al.</i> , 1989
	35	40	75	85	Euzéby, 1981
	32	46	70	90	Synthèse des dimensions
<i>Trichuris campanula</i>	30	36	70	80	Soulsby, 1982
<i>Trichuris muris</i>	31	34	67	70	Thienpont <i>et al.</i> , 1979

	35	35	70	70	Mehlhorn, 2008
	30	30	60	60	Léger <i>et al.</i> , 1991
	30	30	58	58	Euzéby, 1981
	30	35	58	70	Synthèse des dimensions
<i>Trichuris leporis</i>	35	35	50	50	Léger <i>et al.</i> , 1991
	-	-	50	55	Euzéby, 1981
	35	35	50	55	Synthèse des dimensions

Tableau 35 : Dimensions des œufs de différentes espèces du genre *Trichuris* (lignes grisées et texte en gras : dimensions maximales et synthèse des dimensions)⁴⁶.

Le graphique suivant représente par des cadres les dimensions maximales correspondant aux espèces du genre *Trichuris* présentées dans le tableau :

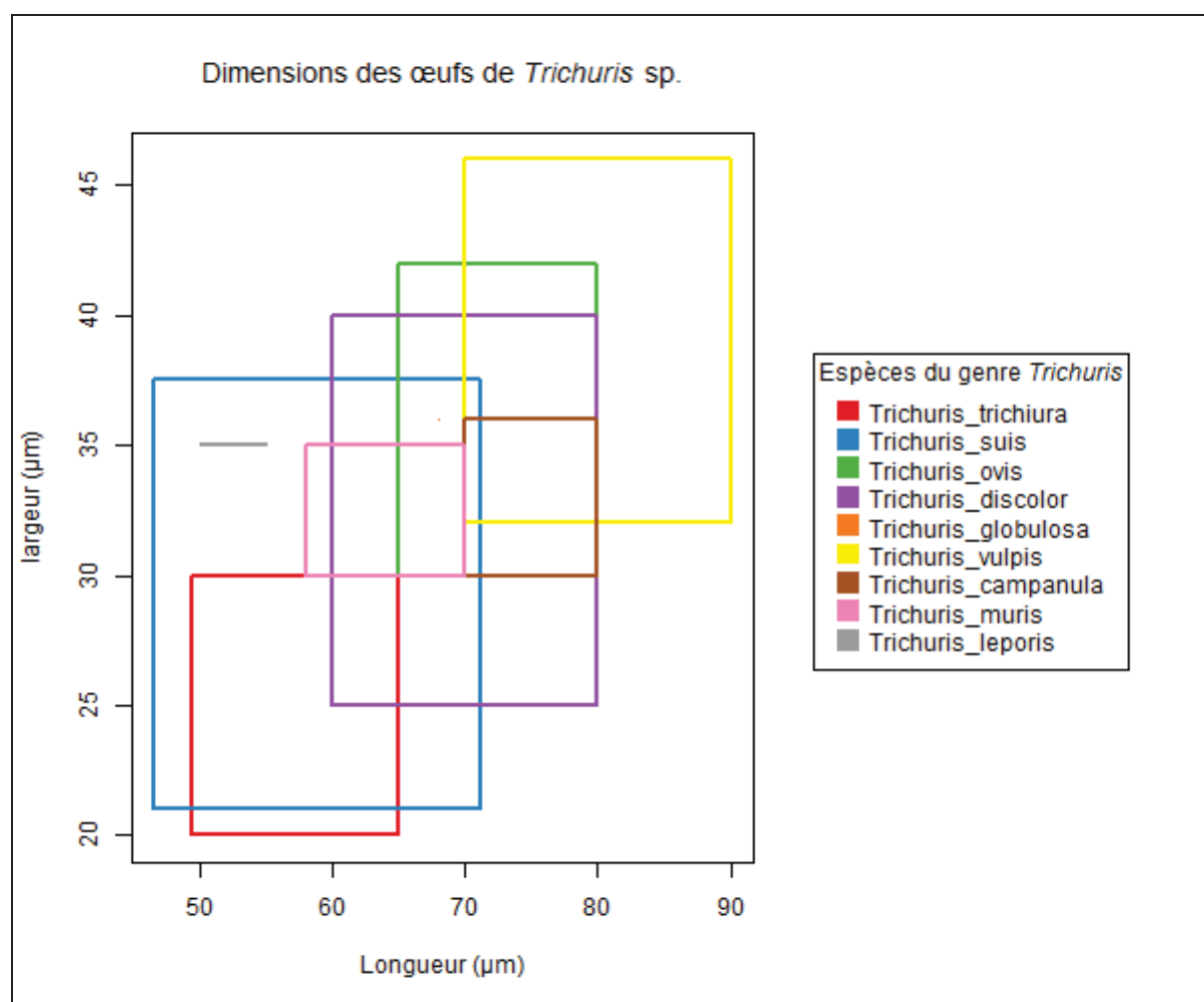


Figure 95 : Dimensions maximales des œufs de différentes espèces du genre *Trichuris*.

⁴⁶ Les dimensions correspondent aux œufs standards observés le plus souvent.

Comme le montre le graphique, beaucoup d'entre elles se recourent. Par exemple, les dimensions maximales des œufs de *T. suis* englobent totalement celles de *T. muris* ainsi que celles de *T. leporis*, et recouvrent presque totalement celles de *T. trichiura*.

Au sein d'une même espèce, les intervalles de longueur et de largeur fournis par les différents auteurs se recourent. Sur la base des tailles d'œufs les plus fréquemment données par les auteurs, nous avons déterminé pour chaque espèce un nouvel intervalle, plus resserré, en excluant les extrêmes. Ainsi, ces nouveaux intervalles correspondent aux dimensions les plus récurrentes et probables prises pour les œufs de chaque espèce.

Pour déterminer ces nouveaux intervalles, des courbes cumulées ont été réalisées d'après les dimensions des œufs données par les différents auteurs. Les fréquences maximales ont ensuite été retenues. Sur les neuf espèces de *Trichuris* considérées, seule trois sont assez renseignées avec des dimensions et des sources assez nombreuses pour pouvoir réaliser ces courbes. La figure suivante représente la courbe cumulée pour *T. trichiura*. Celles de *T. suis* et *T. vulpis* sont présentées en Annexe 15 (Volume 2, Figure 1 et 2, p. 55 et 56).

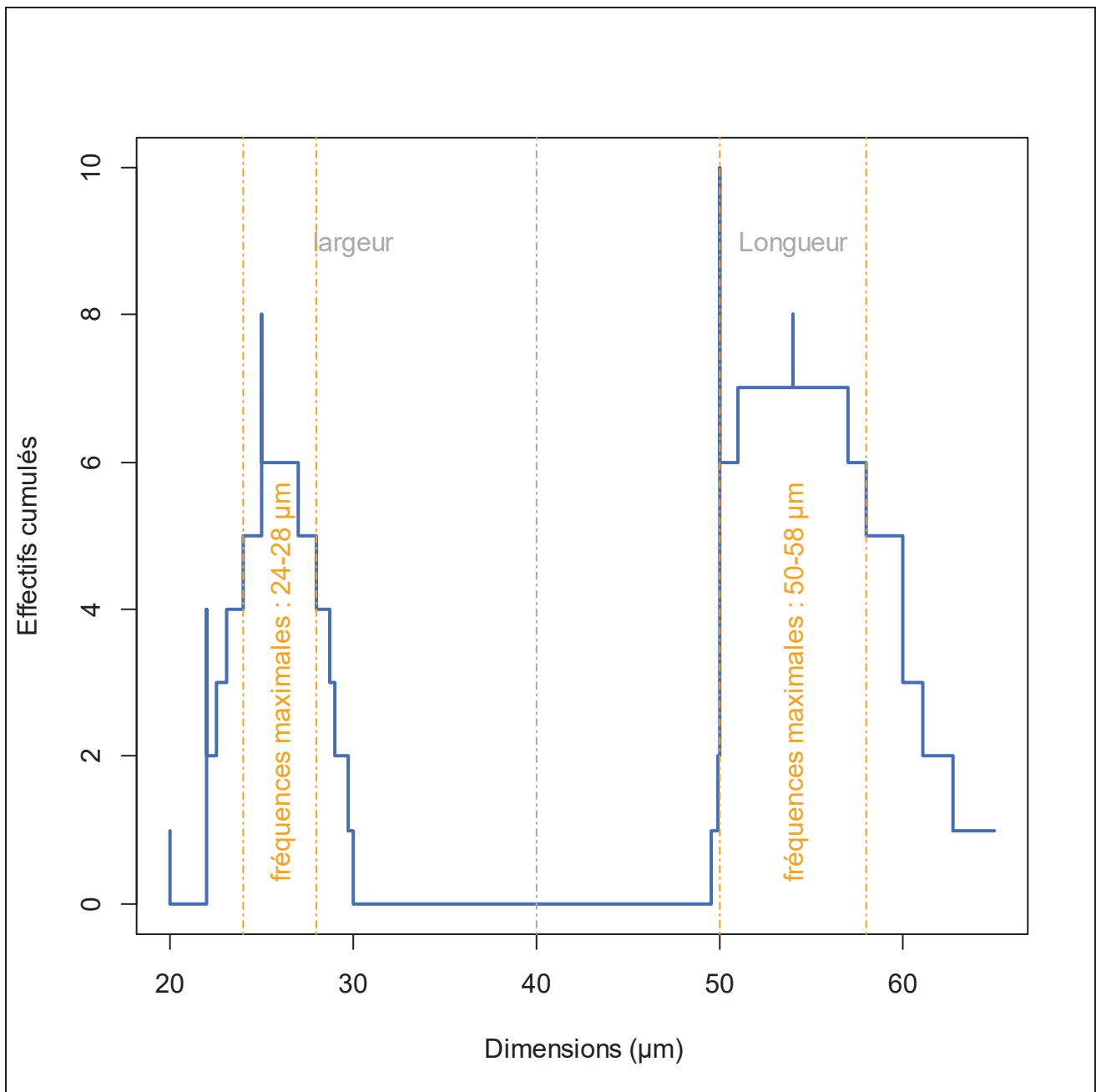


Figure 96 : Effectifs cumulés des intervalles issus de différentes sources pour *Trichuris trichiura*.

La figure suivante présente les dimensions les plus fréquentes de ces trois espèces associée aux dimensions maximales des autres espèces du genre *Trichuris* :

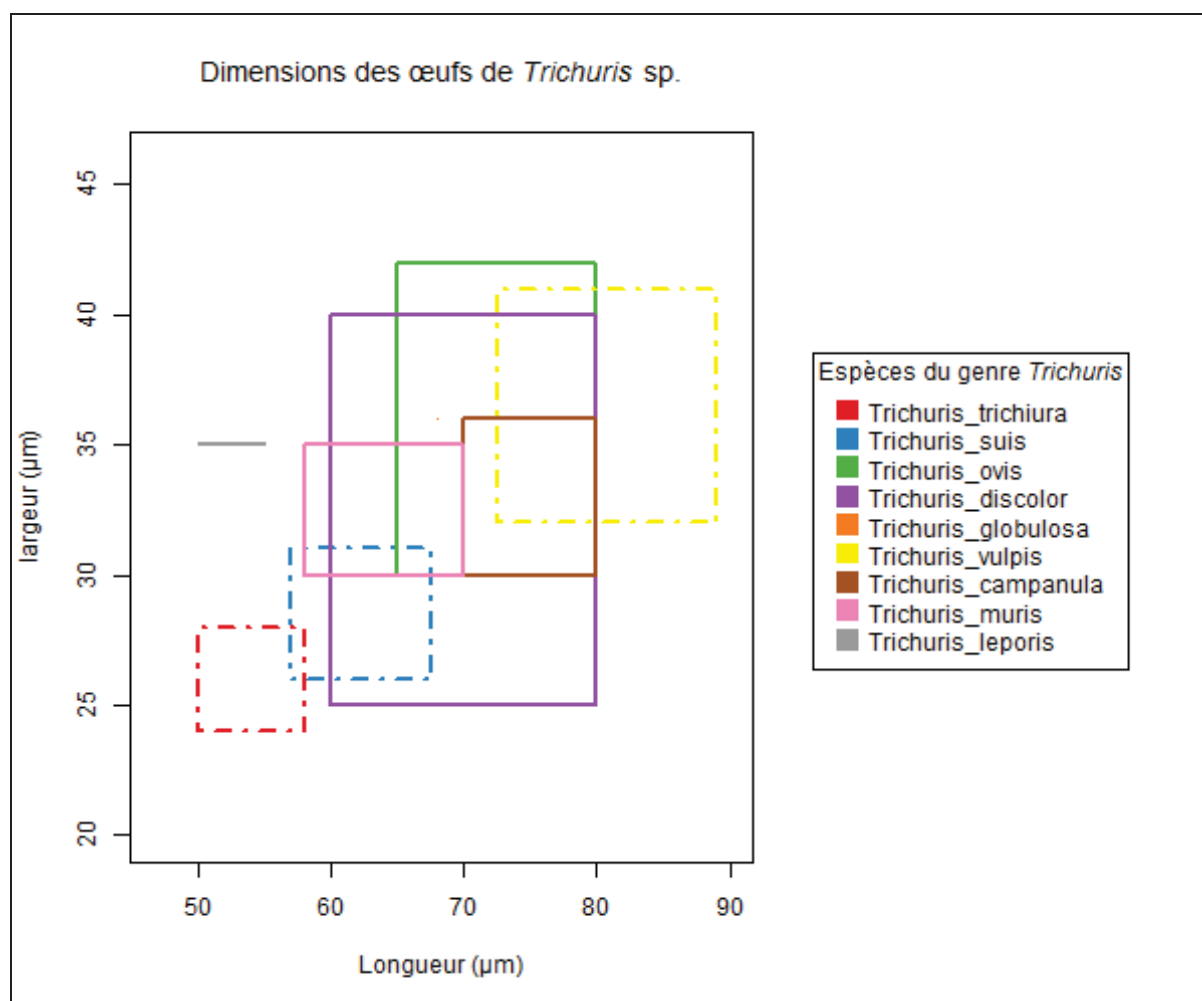


Figure 97 : Dimensions maximales et dimensions les plus fréquentes des œufs de différentes espèces du genre *Trichuris* (traits pleins : dimensions maximales, traits pointillés : dimensions les plus fréquentes).

Les dimensions des œufs de *T. trichiura*, *T. suis* et *T. vulpis* sont à présent beaucoup plus localisées. Certaines espèces se distinguent également mieux des autres. A présent, ce graphique peut être utilisé pour étudier les dimensions des œufs de *Trichuris* sp. observés dans les échantillons anciens.

Dans un premier temps, les mesures des œufs de *Trichuris* sp. observés sur le site d'Horbourg-Wihr (S_0075, ETC_0006) ont été ajoutées⁴⁷ :

⁴⁷ Le tableau de mesure des œufs est placé en Annexe 16 (Volume 2, Tableau 25, p. 59-61).

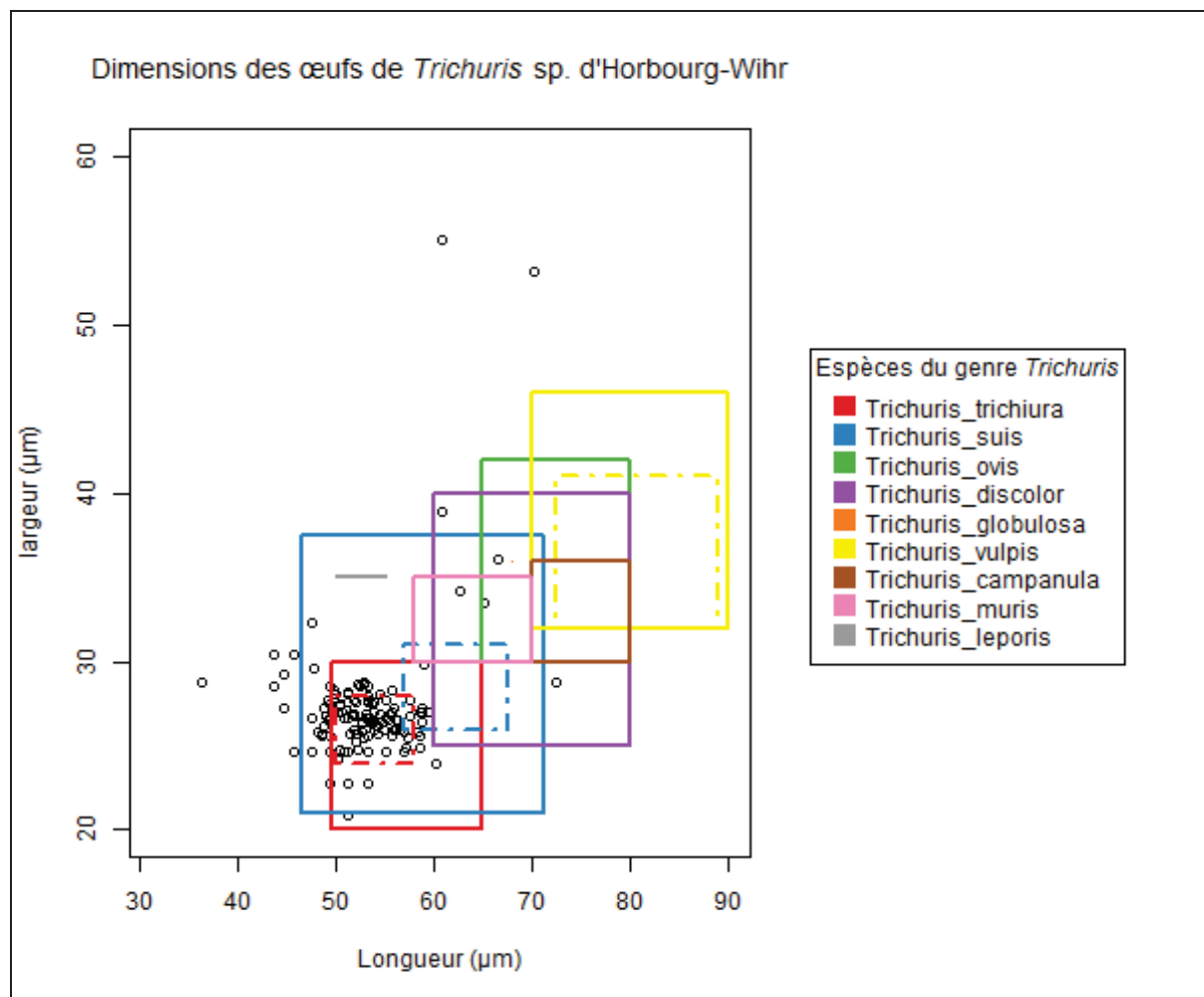


Figure 98 : Œufs de *Trichuris* sp. du site d'Horbourg-Wihr et dimensions des œufs de différentes espèces du genre *Trichuris* (points : œufs du site d'Horbourg-Wihr, traits pleins : dimensions maximales, traits pointillés : dimensions les plus fréquentes).

D'après les dimensions maximales des différentes espèces, les œufs du site d'Horbourg-Wihr pourraient correspondre à *T. trichiura* et/ou à *T. suis*. En prenant en compte les dimensions les plus fréquentes pour ces deux espèces, la quasi-totalité des œufs se retrouve cette fois dans le cadre de l'espèce *T. trichiura*. Il est donc très probable que les œufs du site d'Horbourg-Wihr correspondent en majorité à cette espèce. Certains œufs peuvent en revanche correspondre à d'autres espèces puisqu'une partie se trouve dans les dimensions les plus fréquentes de *T. suis* et dans les dimensions maximales de *T. discolor*, *T. ovis* ou encore *T. muris*.

Les œufs situés en dehors des cadres correspondant aux espèces référencées ici peuvent appartenir à d'autres espèces ou à des œufs particuliers. La taphonomie peut par exemple expliquer l'existence d'œufs dont les largeurs correspondent à *T. trichiura* mais dont les

longueurs sont plus courtes. En effet, bien souvent, les œufs observés en paléoparasitologie ont perdu leurs bouchons polaires.

Autre exemple : le site de Metz (S_0080, ETC_0014). La figure suivante présente les dimensions des œufs observés sur le site replacées sur le graphique correspondant aux différentes espèces⁴⁸ :

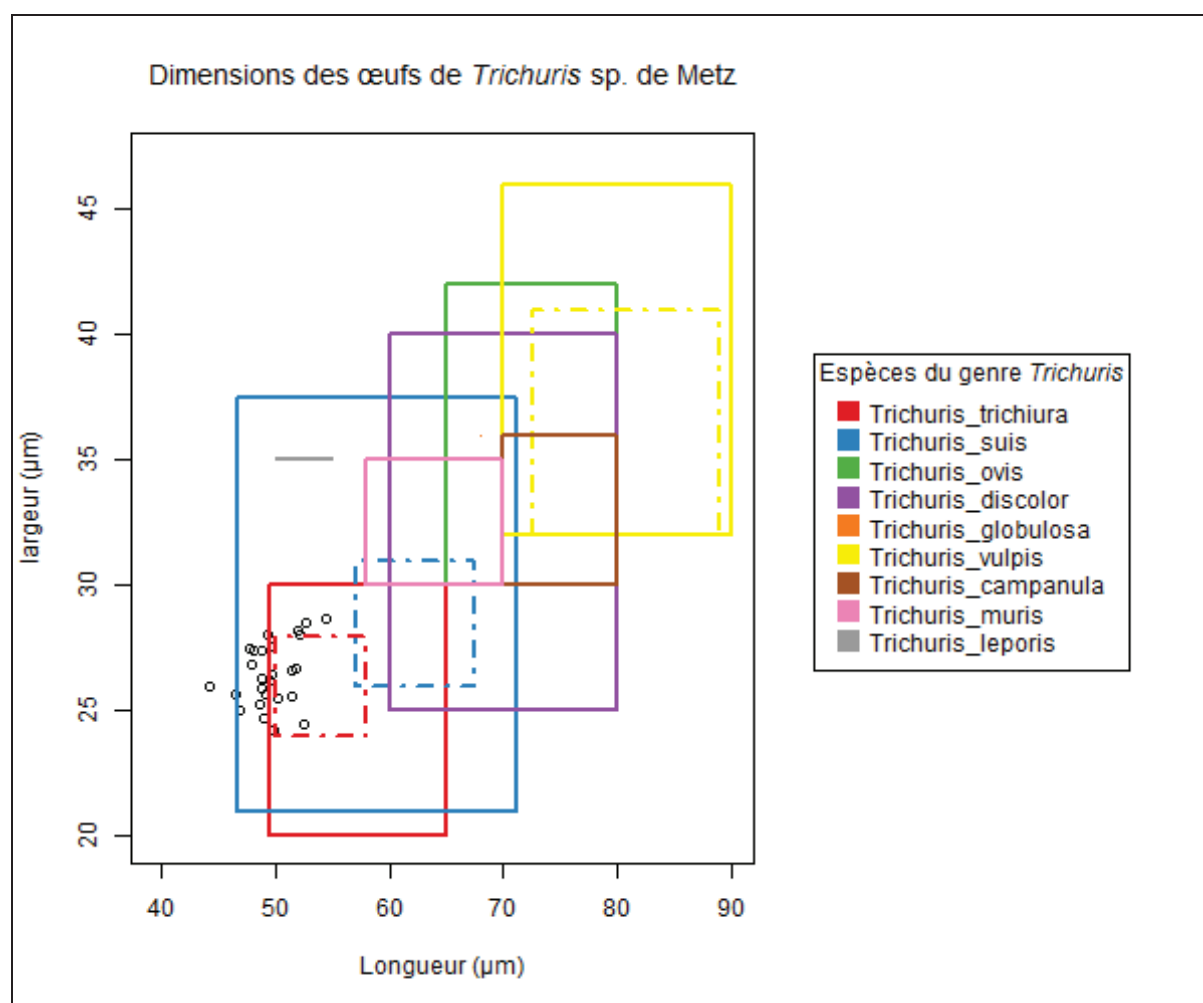


Figure 99 : Œufs de *Trichuris* sp. du site de Metz et dimensions des œufs de différentes espèces du genre *Trichuris* (points : œufs du site de Metz, traits pleins : dimensions maximales, traits pointillés : dimensions les plus fréquentes).

⁴⁸ Le tableau de mesure des œufs est placé en Annexe 16 (Volume 2, Tableau 26, p. 61).

De même que pour le site d'Horbourg-Wihr, les œufs mesurés du site de Metz correspondent aux dimensions maximales des œufs de *T. trichiura* et de *T. suis*. En considérant uniquement les dimensions les plus fréquentes de ces deux espèces, l'ensemble des œufs observés se rapproche plus de l'espèce *T. trichiura* mais les œufs sont globalement plus courts. Une nouvelle fois, la taphonomie pourrait expliquer l'existence d'œufs plus courts par la perte des bouchons polaires.

4.2 Les œufs du genre *Ascaris*

4.2.1 Œufs embryonnés et non embryonnés

Les œufs d'*Ascaris* sp. sont de forme ovoïde et caractérisés par une coque externe mamelonnée. Peu d'informations sont disponibles concernant les anomalies observées sur ces œufs. Seuls les œufs non embryonnés sont plus longs que les œufs embryonnés habituellement observés (Thienpont *et al.*, 1979).

Comme le montre la figure suivante des œufs d'*Ascaris* sp. non embryonnés, ont pu être observés au cours de ce travail de thèse, associés aux œufs normaux habituellement observés.

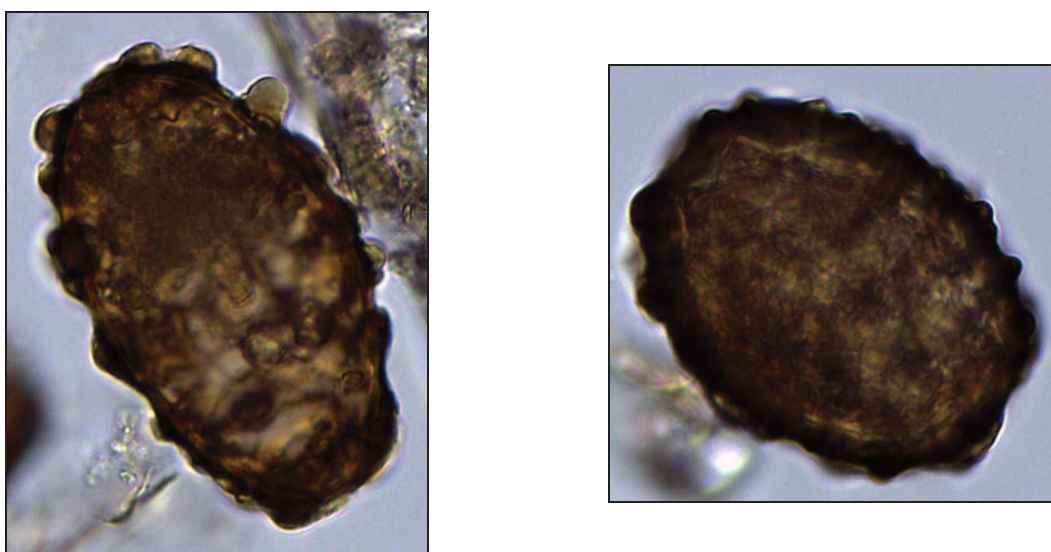


Figure 100 : Œuf d'*Ascaris* sp. du site de Beauvais (S_0076) non embryonné à gauche (79,86 x 50,33 μ m, ECC_0051) et embryonné à droite (71,64 x 54,92 μ m, ECC_0055).

4.2.2 Etude micromorphométrique des œufs d'*Ascaris* sp.

Ces œufs non embryonnés ont été écartés des études micromorphométriques réalisées ici. Le tableau suivant présente les dimensions fournies par différents auteurs pour *A. lumbricoides* et *A. suum* ainsi que la synthèse des dimensions.

Espèces du genre <i>Ascaris</i>	largeur (µm)		Longueur (µm)		Référence
	min	max	min	max	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	35	50	45	75	Thienpont <i>et al.</i> , 1979
	40	60	50	75	Brumpt, 1936
	45	45	60	60	Stenger, 1997
	40	50	50	60	Léger <i>et al.</i> , 1981
	40	50	50	75	Bailenger, 1982
	40	60	50	75	Golvan, 1990
	40	50	50	75	Mehlhorn, 2008
	35	60	45	75	Synthèse des dimensions
<i>Ascaris suum</i>	40	50	50	75	Soulsby, 1982
	40	60	50	70	Thienpont <i>et al.</i> , 1979
	40	60	55	70	Euzéby, 1981
	40	60	65	85	Mehlhorn, 2008
	40	60	50	85	Synthèse des dimensions

Tableau 36 : Dimensions des deux espèces du genre *Ascaris* (lignes grisées et texte en gras : synthèse des dimensions).

Les dimensions de ces deux espèces étant très proches, un travail similaire à celui réalisé pour les espèces du genre *Trichuris* a été tenté. Des courbes cumulées, réalisées d'après les dimensions des œufs données par les différents auteurs, ont été réalisées et les fréquences maximales ont ensuite été déterminées. Ces courbes sont présentées en Annexe 15 (Volume 2, Figure 3 et 4, p. 57 et 58).

Comme le montre la figure suivante, les dimensions maximales ne permettent pas de différencier les deux espèces et les dimensions les plus fréquentes sont même très proches, quasiment équivalentes. Cette observation irait dans le sens des discussions actuelles qui remettent en question la réalité de deux espèces distinctes pour ce parasite (Leles *et al.*, 2012).

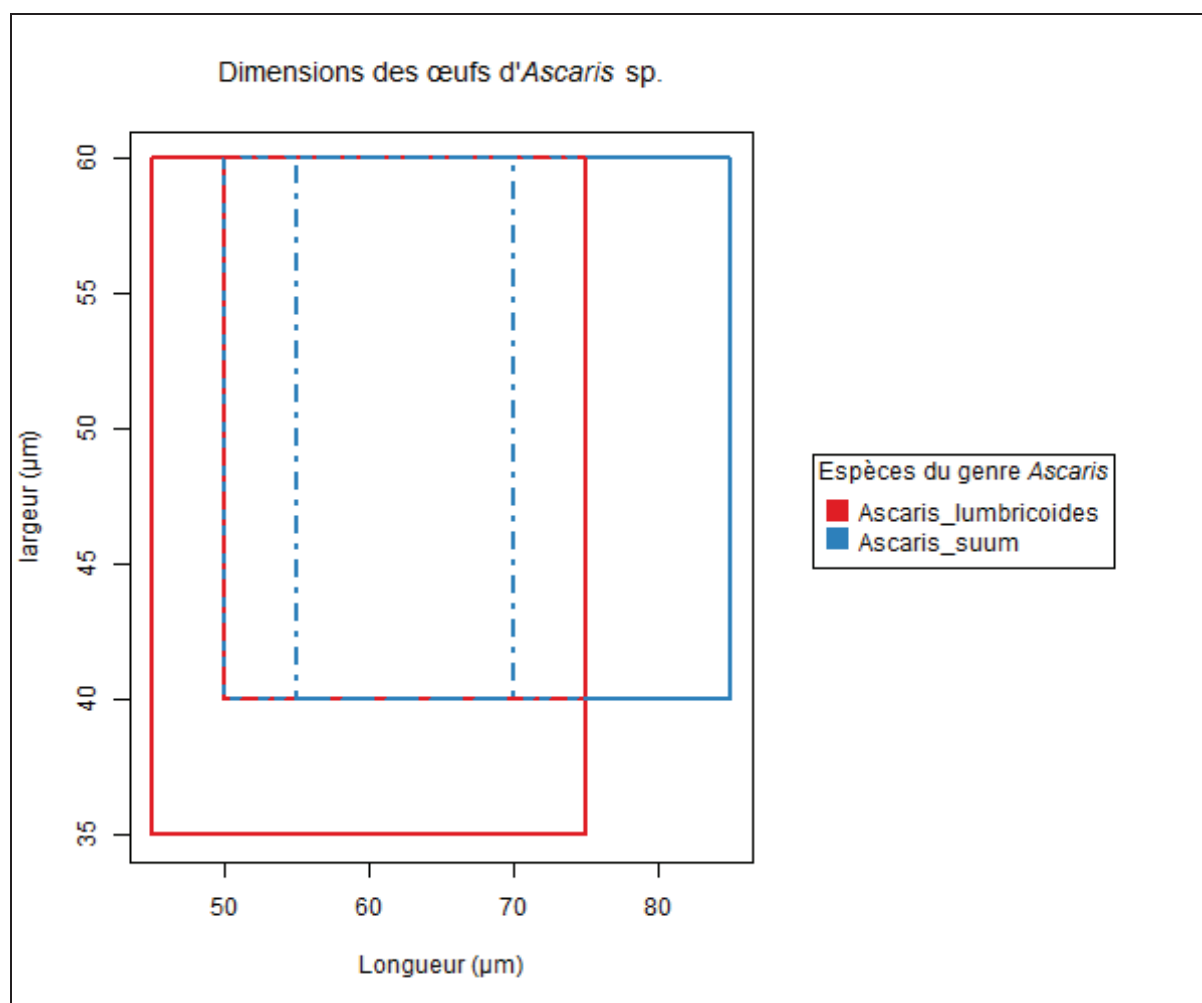


Figure 101 : Dimensions maximales et dimensions les plus fréquentes des œufs des espèces du genre *Ascaris* (traits pleins : dimensions maximales, traits pointillés : dimensions les plus fréquentes).

Les figures 102 et 103 représentent respectivement les œufs d'*Ascaris* sp. du site d'Horbourg-Wihr et ceux du site de Metz, replacé sur le graphique précédent⁴⁹.

⁴⁹ Le tableau de mesure des œufs correspondants à ces deux sites est placé en Annexe 16 (Volume 2, Tableau 27 et 28, p. 61-64).

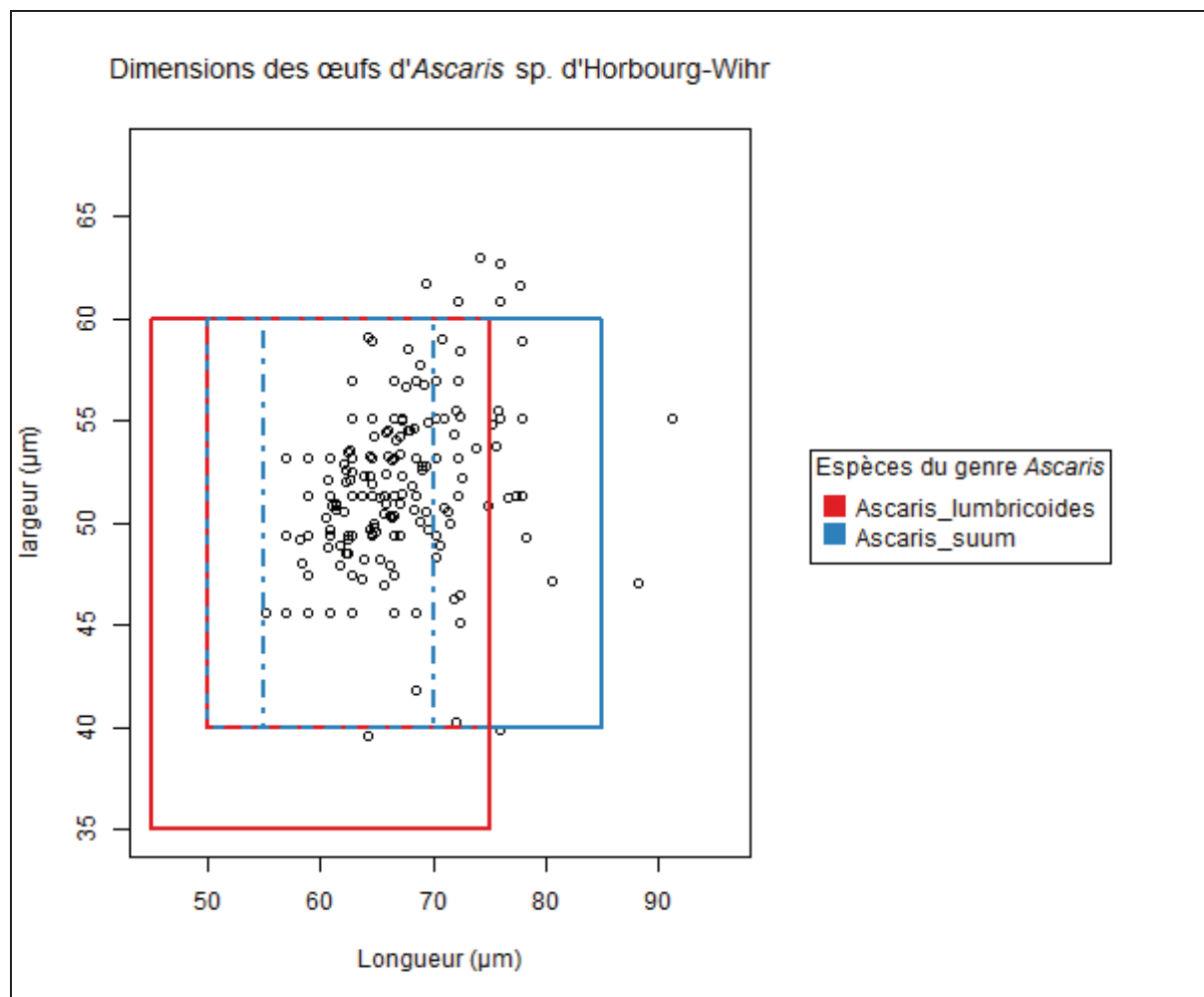


Figure 102 : Œufs d'*Ascaris* sp. du site d'Horbourg-Wihr et dimensions des œufs des deux espèces du genre *Ascaris* (points : œufs du site d'Horbourg-Wihr, traits pleins : dimensions maximales, traits pointillés : dimensions les plus fréquentes).

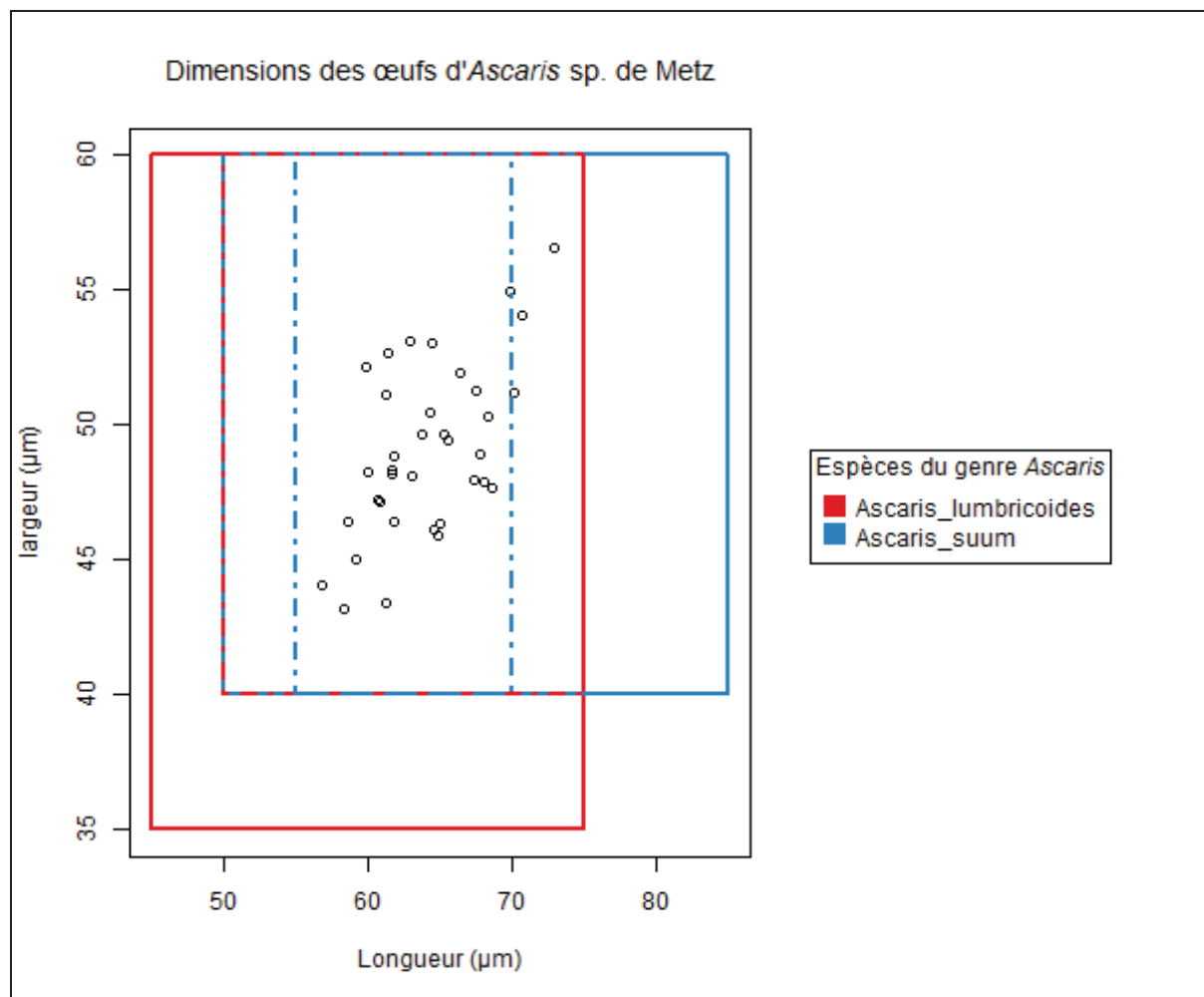


Figure 103 : Œufs d'*Ascaris* sp. du site de Metz et dimensions des œufs des deux espèces du genre *Ascaris* (points : œufs du site de Metz, traits pleins : dimensions maximales, traits pointillés : dimensions les plus fréquentes).

Dans les deux cas, les œufs d'*Ascaris* sp. sont localisés dans la zone correspondant aux dimensions les plus fréquentes des deux espèces. Seuls quelques œufs du site d'Horbourg-Wihr sont localisés en dehors de cette zone et pourraient correspondre à des œufs anormaux.

CONCLUSION

En compilant les données issues des textes anciens et de l'iconographie aux résultats issus des analyses biologiques, ce travail de doctorat présente la toute première synthèse exhaustive des données relatives aux parasites pour la période romaine.

L'intégration de l'ensemble de ces résultats dans une base de données, et son exploitation, ont permis de confirmer l'importance de certains taxons comme *Ascaris* et *Trichuris*, non seulement en terme de répartition géographique, mais aussi en terme de fréquence. Ces parasites rendent compte de problèmes d'hygiène corporelle et de gestion des déchets organiques, récurrents à partir de cette période, aussi bien dans les villes que dans les zones rurales. Les mesures hygiénistes mises en place au moment de la période romaine comme l'utilisation de latrines, l'isolation des systèmes hydriques, ou les bains publiques, n'ont pas suffi à contrebalancer d'autres phénomènes ou pratiques tels que l'urbanisation ou encore la libre circulation d'animaux dans les rues.

La confrontation entre les informations pathographiques et les données récoltées au cours des analyses paléoparasitologiques menées sur les échantillons du corpus de thèse, montre en outre que toute une partie des parasites de l'homme et des animaux n'était à priori pas connue des populations antiques. Or leur présence est largement démontrée par les analyses d'échantillons archéologiques.

L'exploitation de la base de données globale a permis de renseigner plus particulièrement l'histoire de certains parasites. Le cas de l'oxyure du cheval, *Oxyuris equi*, résulte en partie de ce travail. En effet, la présence marquée de ce taxon animal à l'époque romaine fut le point de départ d'une compilation plus importante des données à toutes les périodes, permettant ainsi de retracer une partie de l'histoire de ce parasite au cours de l'Holocène.

Enfin, la synthèse des données paléoparasitologiques pour l'Antiquité permet de mettre en évidence les hiatus pour cette période, tant du point de vue de la chronologie (siècle par siècle) que des secteurs géographiques de l'empire, parfois vierges d'informations. Ainsi, les côtes nord africaines n'ont jusqu'à présent fourni que très peu d'informations, et font partie des perspectives d'études à venir.

Récemment, une nouvelle étude en paléoparasitologie d'un site romain localisé en Espagne a été présentée dans un colloque. Sianto *et al.* (2015) ont étudiés des échantillons prélevés dans

un égout romain daté du 3ème s. EC de la ville de Mérida, l'ancienne *Augusta Emerita*. Les résultats montrent la présence d'œufs d'*Ascaris lumbricoides* et de *Trichuris trichiura*. Espérons que ces premiers résultats positifs pour l'époque romaine éveillent l'intérêt des archéologues espagnols et encouragent de nouvelles analyses en paléoparasitologie.

Concernant l'approche pathographique, d'autres documents relatifs aux traitements vermifuges utilisés dans l'Antiquité sont à présent à utiliser. Leur étude plus détaillée pourrait apporter des informations sur les parasites connus à l'époque et leur traitement. En particulier, l'évaluation de leur efficacité pourrait contribuer à expliquer certains résultats obtenus concernant les fréquences des taxons de certaines catégories. Par exemple, un traitement vermifuge inefficace pourrait expliquer les fréquences importantes de certains taxons.

De même les des agronomes pourraient par exemple éclairer le fait que *Taenia solium* soit inconnu des Romains chez le porc alors que les Grecs le mentionnent chez cet animal. Ceux relevant des pratiques artisanales ou encore hygiéniques pourraient apporter d'autres informations concernant respectivement les sites et les populations d'époque romaine.

Les tests techniques réalisés au cours de ce travail ont conduit à standardiser le protocole d'extraction des œufs de parasites utilisé à Besançon, tout en montrant que les méthodes sans sélection chimique étaient mieux adaptées aux études paléoparasitologiques.

Les tests réalisés dans le cadre de ce travail sont encore partiels et nécessitent d'être complétés dans les années à venir. Ainsi les variations intra-échantillons, de même que les variations entre lecteurs, voire entre prise de lectures en microscopie devront être pris en compte afin d'ajuster au mieux les données quantitatives futures. Concernant la quantification des résidus, l'ajout d'un élément exogène comme les lycopodes ou des microsphères pourrait permettre de préciser les résultats obtenus et ainsi affiner les interprétations.

Pour le moment, il n'existe pas de méthode commune utilisée par l'ensemble des laboratoires de paléoparasitologie. Les comparaisons des résultats ne sont donc possibles qu'en présence/absence. Afin de pouvoir exploiter plus précisément l'ensemble des données obtenues à travers le monde, il faudrait uniformiser les techniques de laboratoire employées pour traiter les échantillons. La méthode d'extraction standardisée développée au cours de ce travail de thèse pourrait constituer un premier pas vers une méthode unique future.

Associé à un comptage précis des résidus, l'utilisation de la classification ascendante hiérarchique (CAH) représente un nouvel outil à utiliser en paléoparasitologie pour traiter les résultats et affiner les interprétations. De même l'utilisation d'un système d'information

géographique (SIG) peut lui aussi être utilisé et mettre en évidence des zones d'intérêt ou des structures particulières. Enfin, des études en micromorphométrie peuvent aider à identifier plus précisément certains œufs de parasites, ou au moins à restreindre les possibilités.

A l'avenir, l'étude plus détaillée de la micromorphométrie et de la morphologie de certains taxons particuliers est à poursuivre (GRCapillariidae, *Trichuris* sp...) pour permettre de préciser les identifications et par conséquent les résultats obtenus en paléoparasitologie.

BIBLIOGRAPHIE

Acha P. N., Szyfres B. (2005). Zoonoses et maladies transmissibles communes à l'homme et aux animaux Volume III parasitoses. 3e édition éd., Office International des Epizooties (OIE), Paris, 399 p.

Allison E., Hall A., Kenward H. (1999a). Technical report. Living conditions and resource exploitation at the Early Christian rath at Deer Park Farms, Co. Antrim, N. Ireland: evidence from plants and invertebrates. Part 1: Text. pp. 64. Environmental Archaeology Unit.

Allison E., Hall A., Kenward H. (1999b). Technical report. Living conditions and resource exploitation at the Early Christian rath at Deer Park Farms, Co. Antrim, N. Ireland: evidence from plants and invertebrates. Part 2: Tables. pp. 144. Environmental Archaeology Unit, York.

Andersen K., Halvorsen O. (1978), Egg size and form as taxonomic criteria in *Diphyllobothrium* (Cestoda, Pseudophyllidea). *Parasitology*, **76**, 02, pp. 229-240.

André J.-M. (2006). La médecine à Rome. Tallandier, Paris, 687 p.

Appelt S., Fancello L., Le Bailly M., Raoult D., Drancourt M., Desnues C. (2014), Viruses in a 14th-century coprolite. *Applied and Environmental Microbiology*, **80**, 9, pp. 2648-2655.

Araujo A., Reinhard K., Leles D., Sianto L., Iniguez A., Fugassa M., Arriaza B., Orellana N., Ferreira L. F. (2011), Paleopepidemiology of intestinal parasites and lice in Pre-Columbian South America. *Chungara, Revista de Anthropologia Chilena*, **43**, 2, pp. 303-313.

Araujo A. J. G., Ferreira L. F., Confalonieri U. E. C. (1981), A contribution to the study of helminth findings in archaeological material in Brazil. *Rev. Brasil. Biol.*, **41**, pp. 873-881.

Arbogast R.-M., Clavel B., Lepetz L., Méniel P., Yvinec J.-H. (2002). Archéologie du cheval des origines à la période moderne en France. Éd. Errance, Paris, 127 p. (Collection des Hespérides).

Ash L. R., Orihel T. C. (2007). Ash & Orihel's atlas of human parasitology. 5th edition éd., ASCP Press, Chicago, 540 p.

Aspöck H., Auer H., Picher O. (1999), Parasites and parasitic diseases in prehistoric human populations in Central Europe. *Helminthologia*, **36**, pp. 139-145.

Aspöck H., Feuereis I., Radbauer S. (2011). Case Study: Detection of Eggs of the Intestinal Parasite *Ascaris Lumbricoides* in Sample from the Roman Sewers of *Carnuntum*. In: Roman toilets their archaeology and cultural history. Jansen G. C. M., Koloski-Ostrow A. O., Moorma E. M. eds., Peeters, Leuven Paris Walpole (Mass.), pp. 163. (Babesch 19).

Aspöck H., Flamm H., Picher O. (1973), Intestinal parasites in human excrements from prehistoric salt-mines of the Hallstatt period (800-350 BC). *Zentralbl. Bakteriol.*, **223**, pp. 549-558.

Ayres R. M., Mara D. D. (1997). Analyse des eaux résiduaires en vue de leur recyclage en agriculture – Manuel des techniques de laboratoire en parasitologie et bactériologie. Organisation mondiale de la Santé, Genève, 40 p.

Baccaloni J. (2012), A Preliminary Comparison of Trisodium Phosphate with Agepon and Decon90 as Wetting Agents to Hydrate Dried Arachnida and Myriapoda Specimens. *NatSCA News*, 22, pp. 71-79.

Bailenger J. (1982). Coprologie parasitaire et fonctionnelle. 4e édition éd., J. Bailenger, Bordeaux, 324 p.

Balmelle A., Sindonino S. (2004). Reims. 6 rue des Fuseliers, rue Chanzy, rue Rockefeller. Médiathèque Cathédrale. (51454233) (Marne). Rapport Final d'Opération 1998/2002. Inrap GEN, Metz, 3 vol.

Bates C. D., Coxon P., Gibbard P. L. (1978), A new method for the preparation of clay-rich sediment samples for palynological investigation. *New Phytologist*, **81**, 2, pp. 459-463.

Baylis H. A. (1936). The Fauna of British India, Including Ceylon and Burma. Nematoda Vol. I. (Ascaroidea and Strongyloidea). Taylor and Francis, London, 408 p.

Beer R. J. S. (1976), The relationship between *Trichuris trichiura* (Linnaeus 1758) of man and *Trichuris suis* (Schrunk 1788) of the pig. *Research in Veterinary Science*, **20**, pp. 47-54.

Ben Kaddour C., Delhoofs H. (2011). Un habitat gallo-romain à Autricum, sur le versant est de la vallée des Vauroux (depuis l'époque augustéenne jusqu'au IIIe siècle) 3, rue Pierre Nicole Chartres (Eure-et-Loir — Centre). Rapport de fouilles archéologiques. Ville de Chartres - Service Archéologie, Chartres

Benninghoff W. S. (1947), Use of Trisodium Phosphate With Herbarium Material and Microfossils in Peat. *Science*, **106**, 2753, pp. 325-326.

Berger S. Dicrocoeliasis : global status. <http://alltitles.ebrary.com/Doc?id=11031457>

Borecka A. (2010), [The spread of nematodes from *Toxocara* genus in the world]. *Wiad Parazytol*, **56**, 2, pp. 117-24.

Bosi G., Mazzanti M. B., Florenzano A., N'siala I. M., Pederzoli A., Rinaldi R., Torri P., Mercuri A. M. (2011), Seeds/fruits, pollen and parasite remains as evidence of site function: piazza Garibaldi – Parma (N Italy) in Roman and Mediaeval times. *Journal of Archaeological Science*, **38**, 7, pp. 1621-1633.

Bouchet F., Bentrads S. (1997), Recovery of equine helminth eggs in a medieval lacustrine settlement. *The Veterinary Record*, **141**, pp. 601-602.

Bouchet F., Bentrads S., Martin C. (2001a), Le quartier Gallo-romain de la rue de Venise à Reims, Etude Paléoparasitologique. *Bulletin de la Société Archéologique Champenoise*, **2/3**, pp. 148-150.

Bouchet F., Lavazec C., Nattier V., Dommelier S., Bentrads S., Paicheler J.-C. (2000), Étude de la parasitofaune du site médiéval de Charavines (lac de Paladru, Isère, France) *Bulletin de la Société zoologique de France*, **125**, 3, pp. 205-215.

Bouchet F., Paicheler J. C. (1995), Paleoparasitology: presumption of a case with bilharzia of the 15th century at Montbeliard (Doubs, France). *Comptes Rendus de L'Academie des Sciences - Serie III, Sciences de la Vie*, **318**, 7, pp. 811-814.

Bouchet F., West D., Lefèvre C., Corbett D. (2001b), Identification of parasitoses in a child burial from Adak Island (Central Aleutian Islands, Alaska). *Comptes Rendus de L'Académie des Sciences - Série III*, **324**, 2, pp. 123-127.

Bouet A. (2009). Les latrines dans les provinces gauloises, germaniques et alpines. CNRS éd., Paris, 488 p. (Supplément à Gallia préhistoire 59).

Bowman D. D., Hendrix C. M., Lindsay D. S., Bbarr S. C. (2002). Feline clinical parasitology. Iowa State University Press, Ames, 469 p.

Boyer P. (1999). The parasites. In: Roman and medieval occupation in Causeway Lane, Leicester excavations 1980 and 1991. Connor A., Buckley R. eds., University of Leicester archaeological services, School of archaeological studies, Leicester, pp. 344-346. (Leicester archaeology monographs n° 5).

Briggs D. E. G., Chaloner W. G., Ambler R. P., Macko S., Bada J., Hubbard J. (1999), Molecular Taphonomy of Animal and Plant Cuticles: Selective Preservation and Diagenesis [and Discussion]. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, **354**, 1379, pp. 7-17.

Brumpt É. (1936). Précis de parasitologie. Cinquième édition entièrement remaniée éd., Masson et Cie, Paris, 2 vol. (XII- 2139 p.-IV f. de pl.) (Collection de précis médicaux).

Bruschi F., Masetti M., Locci M. T., Ciranni R., Fornaciari G. (2006), Short report: cysticercosis in an Egyptian mummy of the late Ptolemaic period. *Am J Trop Med Hyg*, **74**, 4, pp. 598-599.

Büntgen U., Tegel W., Nicolussi K., McCormick M., Frank D., Trouet V., Kaplan J. O., Herzig F., Heussner K.-U., Wanner H., Luterbacher J., Esper J. (2011), 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility. *Science*, **331**, 6017, pp. 578-582.

Cabannes A. (2006). Etude paléoparasitologique des sédiments de la fosse FS 8151. In: Cours du Chapeau Rouge, Rapport final d'opération. *Chuniaux K., Sireix C. eds.*, Inrap, vol. 3, pp. 109-111.

Callen E. O., Cameron T. W. M. (1960), A prehistoric diet revealed in coprolites. *The New Scientist*, **8**, pp. 35-40.

Campbell D. B. (2009). Roman auxiliary forts 27 BC-AD 378. Osprey, Oxford, 64 p. (Fortress 83).

Carrott J., Dobney K., Hall A., Issitt M., Jaques D., Kenward H., Large F., Milles A. (1995a). An evaluation of biological remains from excavations at Castle Car Park, York (sitecode: 1995.58). pp. 7. Environmental Archaeology Unit, York.

Carrott J., Dobney K., Hall A., Issitt M., Jaques D., Kenward H., Large F., Milles A., Shaw T. (1995b). Assessment of biological remains from excavations at 22 Piccadilly (ABC Cinema), York (YAT/Yorkshire Museum sitecode 1987.21). pp. 59. Environmental Archaeology Unit, York.

Carrott J., Hall A., Hughes P., Jaques D., Johnstone C., Kenward H., Worthy D. (1998). An assessment of biological remains from excavations at St Saviourgate, York (site code: 1995.434). pp. 39. Environmental Archaeology Unit, York.

Carrott J., Hall A., Issitt M., Kenward H., Large F., McKenna B. (1995c). Plant and invertebrate remains from excavations at Dowbridge Close, Kirkham, Lancashire (site code: KD94). pp. 15 + 29. Environmental Archaeology Unit, York.

Carrott J., Issitt M., Kenward H., Lancaster S., Large F., Milles A., Nicholson C. (1994). Assessment of insect remains, molluscs and parasite eggs from four sites in Lincoln (Site codes WF89, WN87, WNW88, WO89). pp. 20. Environmental Archaeology Unit, York.

Carrott J., Issitt M., Kenward H., Large F., McKenna B., Skidmore P. (1995d). Insect and other invertebrate remains from excavations at four sites in Lincoln (site codes: WN87, WNW88, WF89 and WO89): Technical report. pp. 37 + 35. Environmental Archaeology Unit, York.

- Caruana I. (1990), Timber Town: Roman Carlisle (*Luguvalium*). *Minerva*, **1**, 3, pp. 6-9.
- Celly P. (2003). 64, rue Gay-Lussac / 3, rue des Ursulines. Paris Ve. 75 056 118 AH. Rapport de Fouille Archéologique. Inrap CIF, Pantin
- Celly P. (2007). Paris «Théâtre National de l'Odéon », 1 place Paul Claudel (Paris VIe). Rapport Final d'Opération. Inrap CIF, Pantin
- Chappell L. H. (1980). Physiology of parasites. Blackie, Glasgow London, 230 p. (Tertiary level biology).
- Charlier P., Durigon M. (2008). L'apport de la médecine légale à la paléopathologie. *In: Ostéo-archéologie et techniques médico-légales : tendances et perspectives : pour un "Manuel pratique de paléopathologie humaine"*. Charlier P. ed., De Boccard, Paris, pp. 55-69.
- Chartier C., Reche B. (1992), Gastrointestinal helminths and lungworms of French dairy goats: Prevalence and geographical distribution in Poitou-Charentes. *Veterinary Research Communications*, **16**, 5, pp. 327-335.
- Cordero del Campillo M., Rousset J.-J. (1997), Le *Taenia* ne serait-il pas folium ? *Histoire des Sciences Médicales*, **XXXI**, 1, pp. 57-60.
- Coulon G. (2005). Les villas gallo-romaines. Éd. "Ouest-France", Rennes, 31 p.
- Courchamp F., Sugihara G. (1999), Modeling the biological control of an alien predator to protect island species from extinction. *Ecological Applications*, **9**, 1, pp. 112-123.
- Coustau C., Hertel O. (2008). La malédiction du cloporte... et autres histoires de parasites. Tallandier, Paris, 186 p.
- Cox F. E. G. (2004), History of human parasitic diseases. *Infectious Disease Clinics of North America*, **18**, 2, pp. 171-188.
- Cranwell M. P., Collins R., Boon J., Allen K., Taylor M. A. (2010), *Dicrocoelium dendriticum* in Devon. *Veterinary Record*, **167**, 7, pp. 263.
- Cushing A. (1999), Roman military hospitals. *Collegian*, **6**, 3, pp. v.
- Da Rocha G. C., Harter-Lailheugue S., Le Bailly M., Araujo A., Ferreira L. F., Da Serra-Freire N. M., Bouchet F. (2006), Paleoparasitological remains revealed by seven historic contexts from "Place d'Armes", Namur, Belgium. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, **101**, Suppl 2, pp. 43-52.

Dainton M. (1992), A quick, semi-quantitative method for recording nematode gut parasite eggs from archaeological deposits. *Circaea*, **9**, 2, pp. 58-63.

Dark P. (2004), New evidence for the antiquity of the intestinal parasite *Trichuris* (whipworm) in Europe. *Antiquity*, **78**, 301, pp. 676-681.

De Rouffignac C. (1985), Parasite egg survival and identification from Hibernia Wharf, Southwark. *London Archaeologist*, **5**, 4, pp. 103-105.

Decouflé P. (1964). La notion d'ex-voto anatomique chez les Etrusco-Romains Analyse et synthèses. Latomus, Bruxelles, 1 vol. (44 p.-[16] p. de pl.) (Collection Latomus 72).

Defgnée A., Henrotay D. (2011). Contamination des puits à eau par des latrines dans le vicus d'Arlon. In: Pour une archéologie de la médecine romaine. *Gourevitch D. ed.*, De Boccard, Paris, pp. 70-71. (Collection Pathographie 8).

Defgnée A., Henrotay D., Collette O. (2008), Un atelier de foulons gallo-romains à Arlon (province du Luxembourg, Belgique). Analyses chimiques et archéobotaniques du contenu de cuves. *Les nouvelles de l'archéologie*, **114**, pp. 47-52.

Defgnée A., Laurent C., Dumont G. (2006), Mouscron/Dottignies et Estaimpuis/Saint-Léger : étude archéobotanique du contenu d'un puits romain. *Chronique de l'Archéologie wallonne*, **13**, pp. 51-53.

Devevey F. (2012). Ahuy, Côte d'Or, Les Presles, phase 2. Nouvelles données, un établissement « routier » du Bas-Empire. Inrap Grand Est Sud, Dijon

Devevey F. (2014). Saint-Apollinaire, Sur le Petit Pré et Quétigny, Bois de pierre, Côte-d'Or, Bourgogne. Occupation rurale gallo-romaine dans l'est dijonnais. Volume 1 L'établissement agricole gallo-romain de Saint-Apollinaire, Sur le petit pré. Inrap Grand Est sud, Dijon

Devevey F., Alix S. (2014). Saint-Apollinaire, Sur le Petit Pré et Quétigny, Bois de pierre, Côte-d'Or, Bourgogne. Occupation rurale gallo-romaine dans l'est dijonnais. Volume 2 L'établissement agricole gallo-romain de Quétigny, Bois de Pierre. Inrap Grand Est sud, Dijon

Deyts S. (1983). Les Bois sculptés des sources de la Seine. Éditions du Centre national de la recherche scientifique, Paris, 224 p. (Supplément à "Gallia" 42).

Dickson J. H. (1979), Exotic Food and Drink in Ancient Scotland. *The Glasgow naturalist*, **19**, 6, pp. 437-442.

Dickson J. H., Dickson C. A., Breeze D. J. (1979), Flour or bread in a Roman military ditch at Bearsden, Scotland. *Antiquity*, **53**, 207, pp. 47-51.

Digard J.-P. (2004). Une histoire du cheval art, techniques, société. Actes Sud, Arles, 230 p.

Dittmar K., Teegen W.-R., Cordie-Hackenberg R. (2002), Nachweis von Eingeweideparasiteneiern in einem Abfallschacht aus dem römischen Vicus von *Belginum/Wederath* (Rheinland-Pfalz). *Archäologisches Korrespondenzblatt*, **32**, pp. 415-425.

Dommelier-Espejo S. (2001). Contribution à l'étude paléoparasitologique des sites néolithiques en environnement lacustre dans les domaines jurassien et péri-alpin, Reims Champagne-Ardenne, Reims, 249 p.

Donoghue H. D., Lee O. Y. C., Minnikin D. E., Besra G. S., Taylor J. H., Spigelman M. (2010), Tuberculosis in Dr Granville's mummy: a molecular re-examination of the earliest known Egyptian mummy to be scientifically examined and given a medical diagnosis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **277**, 1678, pp. 51-56.

Donoghue H. D., Marcsik A., Matheson C., Vernon K., Nuorala E., Molto J. E., Greenblatt C. L., Spigelman M. (2005), Co-infection of *Mycobacterium tuberculosis* and *Mycobacterium leprae* in human archaeological samples: a possible explanation for the historical decline of leprosy. *Proc Biol Sci*, **272**, 1561, pp. 389-394.

Dovero S. (2006), Principe et méthode de l'immunofluorescence appliquée aux coupes tissulaires. *Revue française d'histotechnologie*, **19**, 1, pp. 33-44.

Dubbin A. M. (2003). Analysis of Faecal deposits from Pompeii, Italy: A New Source of Evidence for Ancient Diet and Urban Ecology. University of Bradford.

Ducháček L., Lamka J. (2003), Dicrocoeliosis – the Present State of Knowledge with Respect to Wildlife Species. *Acta Veterinaria Brno*, **72**, pp. 613-626.

Dufour B., Hugot J.-P., Lepetz S., Le Bailly M. (2015), The horse pinworm (*Oxyuris equi*) in archaeology during the Holocene: Review of past records and new data. *Infection, Genetics and Evolution*, **33**, pp. 77-83.

Dufour B., Le Bailly M. (2013), Testing new parasite egg extraction methods in paleoparasitology and an attempt at quantification. *International Journal of Paleopathology*, **3**, 3, pp. 199-203.

Dufour B., Le Bailly M. (2015), Archéologie d'un parasite du cheval. Synthèse de données sur *Oxyuris equi*. *Archéopages*, 41, pp. 6-13.

Dufour B., Le Bailly M., Bouchet F. (2012). L'apport de l'analyse paléoparasitologique sur les fosses aménagées. *In*: Rapport de fouille préventive, Horbourg-Wihr, Haut-Rhin, Kreuzfeld (Est), Un quartier de l'agglomération gallo-romaine. Bouby L., Bouchet F., Dufour B., Le Bailly M., Putelat O., Schaal C., Tegel W. eds., Pôle d'Archéologie Interdépartemental Rhénan, vol. 2.3, pp. 127-137.

Dumont G., Authom N., Vrielynck O. (2004), Mouscron/Dottignies et Estaimpuis/Saint-Léger : occupations protohistorique et romaine sur le site du futur centre commercial Cora. *Chronique de l'Archéologie wallonne*, **12**, pp. 68-70.

Dutour O. (2013), Paleoparasitology and paleopathology. Synergies for reconstructing the past of human infectious diseases and their pathocenosis. *International Journal of Paleopathology*, **3**, 3, pp. 145-149.

Ebbell B. (1937). The papyrus Ebers the greatest Egyptian medical document. Levin & Munksgaard H. Milford, Oxford University Press, Copenhagen London, 135 p.

Eom K. S. (2006), What is Asian Taenia? *Parasitology International*, **55**, Supplement, 0, pp. S137-S141.

Erman A. (1901). Zaubersprüche für Mutter und Kind aus dem Papyrus 3027 des Berliner Museums. G. Reimer, Berlin, 52 p.

Euzéby J. (1981). Diagnostic expérimental des helminthoses animales animaux domestiques, animaux de laboratoire primates. Travaux pratiques d'helminthologie vétérinaire. T. 1. Ed. "Informations Techniques des Services Vétérinaires, Paris, 349 p.

Euzéby J. (2008). Grand dictionnaire illustré de parasitologie médicale et vétérinaire. Tec & Doc Éd. médicales internationales, Paris Cachan, 818 p.

Faulkner C. T., Reinhard K. J. (2014), A retrospective examination of paleoparasitology and its establishment in the Journal of Parasitology. *J Parasitol*, **100**, 3, pp. 253-9.

Ferdière A., Malrain F., Matterné V. (2006). Histoire de l'agriculture en Gaule 500 av. J.-C.-1000 apr. J.-C. Éd. Errance, Paris, 231 p.

Ferreira L. F., Araujo A. J. G., Confalonieri U. E. C. (1980), The findings of eggs and larvae of parasitic helminths in archaeological material from Unai, Minas Gerais, Brazil. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, **74**, pp. 798-800.

Ferrer-Rodriguez I., Kozek W. J. (2007), Abnormal Trichuris trichiura eggs detected during an epidemiological survey. *P R Health Sci J*, **26**, 3, pp. 237-239.

Fisher C. L., Reinhard K. J., Kirk M., DiVirgilio J. (2007), Privies and Parasites: The Archaeology of Health Conditions in Albany, New York. *Historical Archaeology*, **41**, 4, pp. 172-197.

Fornaris E., Aubert M. (1998), Le légionnaire, cet athlète méconnu. *Histoire des Sciences Médicales*, **XXXII**, 2, pp. 161-168.

Förster M., Klimpel S., Sievert K. (2009), The house fly (*Musca domestica*) as a potential vector of metazoan parasites caught in a pig-pen in Germany. *Veterinary Parasitology*, **160**, 1-2, pp. 163-167.

Fraval A. (2009), On en mangeait, parfois... *Insectes*, **3**, 154, pp. 23-24.

Fugassa M. H., Araujo A., Guichon R. A. (2006), Quantitative paleoparasitology applied to archaeological sediments. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, **101**, Suppl 2, pp. 29-33.

Gentilini M., Caumes É., Danis M., Touze J.-E. (2012). Médecine tropicale. 6e édition éd., Médecine Sciences publications, Lavoisier, Paris, 1 vol. (XXIV-1307 p.)

Getachew S., Gebre-Michael T., Erko B., Balkew M., Medhin G. (2007), Non-biting cyclorrhaphan flies (Diptera) as carriers of intestinal human parasites in slum areas of Addis Ababa, Ethiopia. *Acta Tropica*, **103**, 3, pp. 186-194.

Goiran J.-P., Tronchère H., Collalelli H., Salomon F., Djerbi H. (2009), Découverte d'un niveau marin biologique sur les quais de Portus : le port antique de Rome *Méditerranée*, 112, pp. 59-67.

Goiran J.-P., Tronchère H., Salomon F., Carbonel P., Djerbi H., Ognard C. (2010), Palaeoenvironmental reconstruction of the ancient harbors of Rome: Claudius and Trajan's marine harbors on the Tiber delta. *Quaternary International*, **216**, 1-2, pp. 3-13.

Golvan Y. J. (1990). Atlas de parasitologie schémas explicatifs d'épidémiologie. Le Léopard d'or, Paris, 323 p.

Golvan Y. J. (1994), Nomenclature of the Acanthocephala. *Research and Reviews in Parasitology*, **54**, 3, pp. 135-205.

Goncalves M., Araujo A., Ferreira L. (2003), Human intestinal parasites in the past: new findings and a review. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, **98**, Suppl 1, pp. 103-118.

Goppelsröder A., Sommer C. S. (1996), Die organischen Reste einer römischen Latrinenverfüllung und anderer Befunde in Ladenburg, Merkurplatz 5. *Fundberichte aus Baden-Württemberg*, **21**, pp. 401-412.

Gourevitch D. (2011). Pour une archéologie de la médecine romaine. De Boccard, Paris, 250 p. (Collection Pathographie 8).

Green C. E. (2013). A survey of palaeopathologies in human remains and medical papyri from ancient Egypt, Yale University, New Haven, Connecticut, 111 p.

Grove D. I. (1990). A history of human helminthology. CAB International, Oxon, viii, 848 p.

Guyard L. (1995). Paris Ve, Collège de France : rapport de fouille. Afan CIF Saint-Denis : SRA Ile-de-France, Paris, 255 p.

Halioua B. (2008a). La médecine au temps des pharaons. L. Levi, [Paris], 265 p. (Histoire).

Halioua B. (2008b). La médecine au temps des Hébreux. L. Levi, [Paris], 286 p. (Histoire).

Halioua B. (2009). Histoire de la médecine. 3e édition éd., Elsevier Masson, Issy-les-Moulineaux, 278 p. (Abrégés).

Hall A. R., Jones A. K. G., Kenward H. K. (1983). Cereal bran and human faecal remains from archaeological deposits - some preliminary observations. *In*: Site, Environment and Economy. *Proudfoot B. ed.*, British Archaeological Reports, Oxford, vol. 173, pp. 85-104

Hall A. R., Kenward H. K. (1990). Environmental evidence from the Colonia: General Accident and Rougier Street. Council for British Archaeology, London (The Archaeology of York).

Hänggi R. (1989), Augusta Rauricorum, Insula 22: Grabungs- und Dokumentationsstand 1988. *Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst*, **10**, pp. 29-72.

Harrison A. P., Turfa J. M. (2010), Were natural forms of treatment for *Fasciola hepatica* available to the Etruscans? *International Journal of Medical Sciences*, **7**, 6, pp. 16-25.

Harter-Lailheugue S. (2006). Étude paléoparasitologique du site de Marseille Quai Rive Neuve. *In*: Rapport final d'Opération, Fouilles Archéologiques, 23, Quai de Rive Neuve à Marseille (Bouches-du-Rhône). *Bien S., Richier A. eds.*, Inrap Méditerranée, pp. 91-95.

Harter S. (2003). Implication de la Paléoparasitologie dans l'étude des populations anciennes de la vallée du Nil et du Proche-Orient études de cas, Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims, 264 p.

Harter S., Bouchet F. (2002), Paléoparasitologie: Apports des méthodes de la parasitologie médicale à l'étude des populations anciennes. *Bulletins et mémoires de la Société d'anthropologie de Paris*, **14**, 3-4, pp. 363-370.

Harter S., Bouchet F., Mumcuoglu K. Y., Zias J. E. (2004), Toilet practices among members of the Dead Sea scrolls sect at Qumran (100 BCE-68 CE). *Revue de Qumran*, **21**, 4, pp. 579-584.

Hassl A. (2005), [The classical parasite: from appreciative partners of the gods to serving as jesters]. *Wien Klin Wochenschr*, **117 Suppl 4**, pp. 2-5.

Helbaek H. (1958), The last meal of Grauballe Man: an analysis of food remains in the stomach. *Kuml*, pp. 83-116.

Herrmann B. (1986), Parasitologische Untersuchungen eines Spätmittelalterlich-Frühneuzeitlichen Kloakeninhaltes aus der Fronerei auf dem Schragen in Lübeck. *Lübecker Schriften zur Archäologie und Kulturgeschichte*, **12**, pp. 167-172.

Herrmann B. (1987). Parasitologische Untersuchung mittelalterlicher Kloaken. In: Mensch und Umwelt im Mittelalter. *Herrmann B. ed.*, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, pp. 160-169.

Herrmann B. (1988), Parasite remains from meiaeval latrine deposits : an epidemiologic and ecologic approach. *Notes et Monographies Techniques*, **24**, pp. 135-142.

Hilliard D. K. (1972), Studies on the helminth fauna of Alaska. LI. Observations on eggshell formation in some diphylobothriid cestodes. *Can J Zool*, **50**, 5, pp. 585-592.

Hobson B. (2009). *Latrinae et foricae toilets in the Roman world*. Duckworth, London, 190 p.

Hoeppli R. (1956), The knowledge of parasites and parasitic infections from ancient times to the 17th century. *Experimental Parasitology*, **5**, 4, pp. 398-419.

Horne P. D. (2002), First Evidence of Enterobiasis in Ancient Egypt. *Journal of Parasitology*, **88**, 5, pp. 1019-1021.

Hufschmid T., Sütterlin H. (1992), Zu einem Lehmfachwerkbau und zwei Latrinengruben des 1. Jahrhunderts in Augst. Ergebnisse des Grabung 1991.65 im Gebiet des Insulae 51 und 53. *Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst*, **13**, pp. 129-176.

Hugot J.-P., Gardner S. L., Borba V., Araujo P., Leles D., Stock Da-Rosa Á. A., Dutra J., Ferreira L. F., Araújo A. (2014), Discovery of a 240 million year old nematode parasite egg in a cynodont coprolite sheds light on the early origin of pinworms in vertebrates. *Parasites & Vectors*, **7**, pp. 486.

Ishii Y., Fujino T., Koga M., Higo H., Lou Y. S., Sakamoto K., Weerasooriya M. V., Habe S., Morita K., Wakatsuki M. (1991). Electron micrographs of parasitic helminths. Commemorative publication of Prof. Y. Ishii's retirement. Department of Parasitology, Faculty of Medicine, Kyushu University, Fukuoka, 83 p.

Jaillette P. (2003), Fert... pecuaria gallus. Le bétail en Gaule romaine tardive. Inventaire des données littéraires. *Revue archéologique de Picardie*, pp. 249-261.

Jansen J. (1984), Abnormal eggs of *Trichuris ovis* (Abildgaard 1795) (Nematoda: Trichuridae). *Zeitschrift für Parasitenkunde*, **70**, 6, pp. 827-828.

Jansen J. J., Over H. J. (1962), Het voorkomen van parasieten in terpmateriaal uit Noordwest Duitsland. *Tijdschrift voor Diergeneeskunde*, **87**, 21, pp. 1377-1379.

Jansen J. J., Over H. J. (1966). Observations on helminth infections in a Roman army-camp. In: Proceedings of the 1st International Congress of Parasitology. *Corradetti A. ed.*, Pergamon, Oxford, vol. 2, pp. 791.

Jauch V. (1997). Eschenz-Tasgetium Römische Abwasserkanäle und Latrinen. Hubert & Co A. G, Frauenfeld, 255 p. (Archäologie im Thurgau 5).

Jeanmaire-Hirardot C. (1993). Etude parasitologique des sédiments du site archéologique des Terreaux à Lyon, Claude Bernard Lyon 1, 66p.

Joachim H. (1890). Papyrus Ebers das älteste Buch der Heilkunde. G. Reimer, Berlin, 214 p.

Jodry F., Schnitzler B. (2010). L'alimentation quotidienne du légionnaire. In: Strasbourg-Argentorate un camp légionnaire sur le Rhin (Ier au IVe siècle après J.- C.) [exposition, Musée archéologique de Strasbourg, 15-10-2010 au 31-12-2011]. *Schnitzler B., Kuhnle G. ,Musée a. S. eds.*, Musées de la ville de Strasbourg INRAP, Strasbourg, pp. 105-108. (Fouilles récentes en Alsace).

Jones A., Montanarella L., Jones R. J. A. (2005). Soil atlas of Europe, 128 p., European Communities, Luxembourg.

Jones A. K. G. (1982). Human parasite remains: prospects for a quantitative approach. In: Environmental Archaeology in the urban context. *Hall A. R. ,H.K. K. eds.*, Counc. British Archaeol., pp. 66-70.

Jones A. K. G. (1985a). Parasitological investigations on the Ambleside Roman pit. pp. 6. Historic Buildings and Monuments Commission for England.

Jones A. K. G. (1985b). Trichurid ova in archaeological deposits: their value as indicators of ancient faeces. *In: Paleobiological Investigations: Research Design, Methods and Data Analysis. Fieller N. J. R., Gilbertson D. D., Ralph N. G. A. eds.*, BAR International Series, Heslington, vol. 266, pp. 105-119.

Jones A. K. G. (1986). Parasitological Investigations on Lindow Man. *In: Lindow Man, The Body in the Bog. Stead I. M., Bourke J. B., Brothwell D. eds.*, Book Club Associates, London, pp. 136-139.

Jones A. K. G. (1987). Parasitological investigations on samples of organic material associated with human burials at the roman inhumation cemetery at Poundbury, Dorset. (site code PC72-76). pp. 8. Historic Buildings and Monuments Commission for England.

Jones A. K. G., Hutchinson A. R. (1988). Parasitological investigations on samples of organic sediment from excavations at Castle Street, Carlisle, Cumbria., pp. 14. Historic Buildings and Monuments Commission for England.

Jones A. K. G., Hutchinson A. R., Nicholson C. (1988), The worms of Roman horses and other finds of intestinal parasite eggs from unpromising deposits. *Antiquity*, **62**, 235, pp. 275-276.

Jouy-Avantin F., Moné H. (2003), Etude des paléoparasites de la zone 123. *Lattara*, **16**, pp. 87-92.

JRC of the European Communities (2010). Soil pH in Europe. Joint Research Centre of the European Commission.

Jussiau R., Montméas L., Parot J.-C. (1999). L'élevage en France 10000 ans d'histoire. Educagri, Dijon, 539 p.

Kassai T. (1999). Veterinary Helminthology. 3rd éd., Butterworth-Heinemann, Oxford, 296 p.

Kaufmann J. (1996). Infections of Domesticated Animals: A Diagnostic Manual. Birkhauser, Basel, 423 p.

Kenney M., Yermakov V. (1980), Infection of man with *Trichuris vulpis*, the whipworm of dogs. *Am J Trop Med Hyg*, **29**, 6, pp. 1205-1208.

Kenward H. (1999). Insect remains as indicators of zonation of land use and activity in Roman Carlisle, England. pp. 88. Environmental Archaeology Unit, York.

Kenward H., Allison E., Dainton M., Kemenes I., Carrott J. (1992a). Evidence from insect remains and parasite eggs from the Old Grapes Lane A site, The Lanes, Carlisle. pp. 90. Historic Buildings and Monuments Commission for England.

Kenward H., Dainton M., Kemenes I., Carrott J. (1992b). Evidence from insect remains and parasite eggs from the Old Grapes Lane B site, The Lanes, Carlisle. pp. 18. Historic Buildings and Monuments Commission for England.

Kenward H., Dainton M., Kemenes I., Carrott J. (1992c). Environmental evidence from insect remains and parasite eggs from the Lewthwaites Lane A site, The Lanes, Carlisle. pp. 32. Historic Buildings and Monuments Commission for England.

Kenward H., Large F., Carrott J. (1998). The archaeological significance of insect and other invertebrate remains from Keay's and Law's Lanes, The Lanes, Carlisle. pp. 126. Environmental Archaeology Unit, York.

Kenward H. K. (2009). Northern Regional Review of Environmental Archaeology Invertebrates in Archaeology in the North of England Environmental Studies Report. English Heritage, Portsmouth, UK, 625 p.

Kenward H. K., Allison E. P., Morgan L. M., Jones A. K. G., Hutchinson A. R. (1991). Chapter 10. The insect and parasite remains. *In*: The structural sequence and environmental remains from Castle Street, Carlisle: excavations 1981-2. *McCarthy M. R. ed.*, Cumberland and Westmorland Antiquarian and Archaeological Society Research Series 5, pp. 65-72.

Kenward H. K., Hall A. R., Jones A. K. G. (1986). Environmental evidence from a Roman well and Anglian pits in the legionary fortress. Council for British Archaeology, London (The Archaeology of York).

Kinfu A., Erko B. (2008), Cockroaches as carriers of human intestinal parasites in two localities in Ethiopia. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **102**, 11, pp. 1143-1147.

King H., Dasen V. (2008). La médecine dans l'Antiquité grecque et romaine. Bibliothèque d'histoire de la médecine et de la santé, Lausanne, 129 p. (Bibliothèque d'histoire de la médecine et de la santé).

Koyama K. (2013), Characteristics and incidence of large eggs in *Trichuris muris*. *Parasitology Research*, **112**, 5, pp. 1925-1928.

Kuhnle-Aubry G., Baudoux J., Legendre N., Lemble C. (1995), Fouilles de la rue Hannong à Strasbourg. Analyse de quatre structures de la première moitié du III^e siècle et du mobilier associé. *Revue Archéologique de l'Est*, **46**, pp. 79-99.

Kuijper W. J., Turner H. (1992), Diet of a Roman centurion at Alphen aan den Rijn, The Netherlands, in the first century AD. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **73**, 1–4, pp. 187-204.

Large F., Kenward H., Carrott J., Nicholson C., Kent P. (1994a). Insect and other invertebrate remains from the Roman fort at Ribchester, Lancashire (site code RB89): Technical report. pp. 52. Environmental Archaeology Unit, York.

Large F., Kenward H., Carrott J., Nicholson C., Kent P. (1994b). Appendix to Technical report: Invertebrates from Roman Ribchester. pp. 142. Environmental Archaeology Unit, York.

Le Bailly M. (2005). Evolution de la relation hôte/parasite dans les systèmes lacustres nord alpins au Néolithique (3900-2900 BC), et nouvelles données dans la détection de paléoantigènes de *Protozoa*., Reims Champagne-Ardenne, Reims, 291 p.

Le Bailly M., Bouchet F. (2006), Paléoparasitologie et immunologie : L'exemple d'*Entamoeba histolytica*. *Archéosciences*, **30**, pp. 129-135.

Le Bailly M., Bouchet F. (2010), Ancient dicercariosis: Occurrences, distribution and migration. *Acta Tropica*, **115**, pp. 175-180.

Le Bailly M., Bouchet F. (2011). Etude paléoparasitologique des cuvelages gallo-romain. *In*: Rapport final d'Opération, Fouilles Archéologiques, Troyes, Aube, Place de la Libération, Formation et développement d'un espace urbain de l'Antiquité à nos jours. *Roms C. ,Kuchler P. eds.*, Inrap Grand-Est-Nord, vol. 4, pp. 119-128.

Le Bailly M., Bouchet F. (2013), *Diphyllobothrium* in the past: Review and new records. *International Journal of Paleopathology*, **3**, 3, pp. 182-187.

Le Bailly M., Dufour B., Bouchet F. (2011). La paléoparasitologie en période gallo-romaine. *In*: Pour une archéologie de la médecine romaine. *Gourevitch D. ed.*, De Boccard, Paris, pp. 67-68. (Collection Pathographie 8).

Le Bailly M., Harter S., Bouchet F. (2003a), La paléoparasitologie, à l'interface de l'archéologie et de la biologie. *Archéopages*, **11**, pp. 12-17.

Le Bailly M., Harter S., Da Rocha G. C., Bouchet F. (2003b). Compte-rendu de l'étude Paléoparasitologique de Windisch-Breite 1996-1998. *In*: Zur Frühzeit von Vindonissa Auswertung der Holzbauten der Grabung Windisch-Breite 1996-1998. *Hagendorn A. ed.*, Gesellschaft pro Vindonissa, Brugg, pp. 230. (Veröffentlichungen der Gesellschaft pro Vindonissa).

Le Bailly M., Lepetz S., Samashev Z., Francfort H.-P., Bouchet F. (2008), Palaeoparasitological study of gastro-intestinal content in horses at a Scythian kurgan (3rd century BC) found in Kazakhstan. *Anthropozoologica*, **43**, 2, pp. 69-75.

Le Bailly M., Leuzinger U., Bouchet F. (2003c), Dioctophymidae Eggs in Coprolites From Neolithic Site of Arbon-Bleiche 3 (Switzerland). *Journal of Parasitology*, **89**, 5, pp. 1073-1076.

Le Bailly M., Leuzinger U., Schlichtherle H., Bouchet F. (2005), Diphyllbothrium: Neolithic Parasite? *Journal of Parasitology*, **91**, 4, pp. 957-959.

Le Bailly M., Mouze S., Chaves Da Rocha G., Heim J. L., Lichtenberg R., Dunand F., Bouchet F. (2010), Identification of Taenia sp. in a Mummy from a Christian Necropolis in El-Deir, Oasis of Kharga, Ancient Egypt. *J Parasitol*, **96**, 1, pp. 213-215.

Le Gall J. (1988), Le Tibre, fleuve guérisseur. *Dossiers d'Archéologie*, 123, pp. 16-21.

Lebreton V. (2014). Taphonomie pollinique. In: Manuel de taphonomie. Denys C., Patou-Mathis M. eds., Editions Errance, Arles, pp. 209-225.

Lefebvre G. (1956). Essai sur la médecine égyptienne de l'époque pharaonique. Presses universitaires de France, Paris, 216 p.

Legendre J.-P., Maire J., Rieb J.-P. (1987). Contribution à l'étude de l'état sanitaire de la population strasbourgeoise à la fin du Moyen Age. In: Archéologie et médecine. VIIe Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, 23-24-25 octobre 1986. *archéologiques A. p. l. p. e. l. d. d. c. ed.*, A.P.D.C.A., Juan-les-Pins, pp. 341-347.

Léger N., Notteghem M. J., Pesson B. (1981). Guide de parasitologie pratique à l'usage des étudiants en pharmacie et des laboratoires d'analyses médicales. 3e édition revue et corrigée éd., C.D.U.-SEDES, Paris, 181 p.

Léger N., Pesson B., Ferte H., Kristensen A. (1991). Guide pratique de parasitologie vétérinaire. Ed. Centre national des biologistes, Paris, 58 p.

Leles D., Gardner S., Reinhard K., Iniguez A., Araujo A. (2012), Are Ascaris lumbricoides and Ascaris suum a single species? *Parasites & Vectors*, **5**, 1, pp. 42.

Lemble C. (1994). Des parasites dans des latrines d'époque romaine. In: Strasbourg 10 ans d'archéologie urbaine de la Caserne Barbade aux fouilles du Tram. *Musée a. ed.*, Musées de la Ville de Strasbourg, Strasbourg, vol. 1, pp. 184. (Fouilles récentes en Alsace 3).

Lertsutthiwong P., How N. C., Chandkrachang S., Stevens W. F. (2002), Effect of chemical treatment on the characteristics of shrimp chitosan. *Journal of the Minerals Metals & Materials Society*, **12**, 1, pp. 11–18.

Levi H. W. (1966), The Care of Alcoholic Collections of Small Invertebrates. *Systematic Biology*, **15**, 3, pp. 183-188.

Loreille O., Roumat E., Verneau O., Bouchet F., Hänni C. (2001), Ancient DNA from *Ascaris* : extraction amplification and sequences from eggs collected in coprolites. *International journal for parasitology*, **31**, 10, pp. 1101-1106.

Love M. (2007). Analysis of Calcareous Deposits from the Down Pipes of First Century Pompeii. University of Bradford.

Malissard A. (1994). Les Romains et l'eau fontaines, salles de bains, thermes, égouts, aqueducs. les Belles lettres, Paris, 342 p. (Realia).

Maloney C., De Moulins D. (1990). The archaeology of Roman London Volume 1 The upper Walbrook valley in the Roman period. Museum of London Council for British Archaeology, London, 155 p. (CBA research report 69).

Manacorda D., Mancini F. F., Museo della città di N. (2012). Museo della città in Palazzo Erola a Narni.

Martin L., Charpentier X., Metois A., Rossi V. (1992). Cité de Campniac, Périgueux (24) SRA-DRAC Aquitaine Bordeaux, 180 p. (Rapport de fouilles de sauvetage programmé).

Mckenna W. J. B., Hutchinson A. R., Jones A. K. G. (1988). Parasitological investigations on samples of sediment from excavations at 7-9 Aldwark, York. (Y.A.T. site code 1985.5). pp. 11. Historic Buildings and Monuments Commission for England.

Mckenna W. J. B., Hutchinson A. R., Jones A. K. G., Nicholson C. (1987). Parasitological investigation on samples of organic sediment from excavations at Rougier Street, York. (1981.12). pp. 10. Historic Buildings and Monuments Commission for England.

Meana A., Mateos A., Pato N. F., Pérez J. (2002), First report of *Anoplocephala magna* (Abildgaard, 1789) in Spain. *Revista Ibérica de Parasitología*, **64**, 3-4, pp. 93-95.

Mehlhorn H. (2008). Encyclopedia of Parasitology. Third Edition. éd., Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Springer e-books, Berlin, Heidelberg.

Menard D. (2003), Traduction et commentaire de fragments des *Hippiatrica* (Apsyrτος, Theomnestos). *Bulletin de la Société Française d'Histoire de la Médecine et des Sciences Vétérinaires*, **2**, 1, pp. 31-38.

Miller R. L., Ikram S., Armelagos G. J., Walker R., Harer W. B., Shiff C. J., Baggett D., Carrigan M., Maret S. M. (1994), Diagnosis of *Plasmodium falciparum* infections in mummies using the rapid manual ParaSight™-F test. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **88**, 1, pp. 31-32.

Ministère de la Culture (2007). L'archéologie en question.

Mistrot V. (2000), Les micromammifères, marqueurs de l'anthropisation du milieu. *Etudes rurales*, 153-154, pp. 195-206.

Mondoloni A. (2007). Lieusaint " Zac de la Pyramide, lot F " (Seine-et-Marne - Île-de-France). Rapport final d'opération. Inrap CIF, Pantin

Moulé L. (1911), Parasitologie dans la littérature antique. II, Les Parasites du Tube Digestif. *Archives de parasitologie*, **14**, pp. 353-383.

Mowlavi G., Kacki S., Dupouy-Camet J., Mobedi I., Makki M., Harandi M. F., Naddaf S. R. (2014), Probable hepatic capillariosis and hydatidosis in an adolescent from the late Roman period buried in Amiens (France). *Parasite*, **21**, pp. 9.

Nagai Y., Nishikawa T. (1970), Alkali Solubilization of Chicken Feather Keratin. *Agricultural and Biological Chemistry*, **34**, 1, pp. 16-22.

Nezamabadi M., Aali A., Stöllner T., Mashkour M., Le Bailly M. (2013), Paleoparasitological analysis of samples from the Chehrabad salt mine (Northwestern Iran). *International Journal of Paleopathology*, **3**, 3, pp. 229-233.

Nezamabadi M., Harter-Lailheugue S., Le Bailly M. (2011), Paleoparasitology in the Middle-East : State of the research and potential. *Tüba-Ar*, **14**, pp. 205-213.

Nozais J.-P., Datry A., Danis M. (1996). Traité de parasitologie médicale. Pradel, Paris, 817 p.

Nunn J. F. (2002). Ancient Egyptian medicine. Print. of the Red River Books eds. 2002 éd., University of Oklahoma Press, Norman, 240 p.

Ortega A. (2011). Bilan du Parasitisme helminthique de la marmotte alpine (*Marmota marmota*) en fin de saison d'activité en Savoie de 1996 à 2009, Université Claude-Bernard - Lyon I, Lyon, 162 p.

Otranto D., Traversa D. (2003), Dicrocoeliosis of ruminants: a little known fluke disease. *Trends in Parasitology*, **19**, 1, pp. 12-15.

Over H. J., Jansen J. (1962), Het voorkomen van fascioliasis rond het begin van onze jaartelling in de omgeving van de "Feddersen Wierde". *Tijdschr. Diergeneesk.*, **87**, pp. 1440.

Penso G. (1981). La Conquête du monde invisible parasites et microbes à travers les siècles. Première éd. française révisée et augmentée éd., R. Dacosta, Paris, 379 p.

Perriot F. (1997). Chevaux en terre indienne. A. Michel, Paris, 185 p. (Terre indienne).

Peters W., Taraschewski H., Latka I. (1991), Comparative investigations of the morphology and chemical composition of the eggshells of Acanthocephala. I. *Parasitology Research*, **77**, 6, pp. 542-549.

Petithory J. C., Vandemeulebroucke E., Jousserand P., Bisognani A. C. (1996), Prevalence de *Toxocara cati* chez le chat en France. *Bulletin de la Société française de parasitologie*, **14**, 1, pp. 79-84.

Pichler S. L., Pümpin C., Brönnimann D., Rentzel P. (2014), Life in the proto-urban style: the identification of parasite eggs in micromorphological thin sections from the Basel-Gasfabrik Late Iron Age settlement, Switzerland. *Journal of Archaeological Science*, **43**, 0, pp. 55-65.

Pigière F., Henrotay D. (2012), Camels in the northern provinces of the Roman Empire. *Journal of Archaeological Science*, **39**, 5, pp. 1531-1539.

Pike A. W. (1967). The recovery of parasite eggs from ancient cesspit and latrine deposits : An approach to the study of early parasite infections. In: Diseases in Antiquity, a Survey of the Diseases, Injuries and Surgery of Early Populations. Brothwell D. R. ,Sandison A. T. eds., Charles C. Thomas, Springfield, pp. 184-188.

Pike A. W. (1968), Recovery of helminth eggs from archaeological excavations, and their possible usefulness in providing evidence for the purpose of an occupation. *Nature*, **219**, 5151, pp. 303-304.

Pike A. W., Biddle M. (1966), Parasite eggs in medieval Winchester. *Antiquity*, **40**, pp. 293-296.

Pitts L. F. (1989), Relations between Rome and the German 'Kings' on the Middle Danube in the First to Fourth Centuries A.D. *The Journal of Roman Studies*, **79**, pp. 45-58.

Platt T. R., Villanueva S. D. (1995), Postmortem Migration of *Hymenolepis diminuta* (Cestoidea: Cyclophyllidea) in the Laboratory Rat. *The Journal of Parasitology*, **81**, 6, pp. 1024-1027.

Poux M. (2009). De la veillée au tombeau. *In: Rites funéraires à Lvgdvnm. Goudineau C., Blaizot F., Fellague D., Golvin J.-C. eds.*, Editions Errance, Paris, pp. 25-46.

Pozio E., Armignacco O., Ferri F., Gomez Morales M. A. (2013), *Opisthorchis felinus*, an emerging infection in Italy and its implication for the European Union. *Acta Tropica*, **126**, 1, pp. 54-62.

Rauzy N. (2001). Etude d'un parasite du cheval : *Oxyuris equi*, Université Paul Sabatier, Toulouse, 72 p.

Reinhard K., Urban O. (2003), Diagnosing ancient diphyllbothriasis from Chinchorro mummies. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, **98 Suppl 1**, pp. 191-193.

Reinhard K. J. (1989). Parasitological Analyses of Latrine Soils from the Boott Mills Boardinghouse Site, Lowell, Massachusetts. *In: Interdisciplinary Investigations of the Boott Mills Lowell, Massachusetts. Beaudry M. C., Mrozowski S. A. eds.*, Division of Cultural Resources North Atlantic Regional Office National Park Service U.S. Department of the Interior, vol. 3, pp. 271-272.

Reinhard K. J. (1992), Parasitology as an interpretative tool in Archaeology. *American Antiquity*, **57**, 2, pp. 231-245.

Reinhard K. J., Confalonieri U. E., Herrmann B., Ferreira L. F., Araujo A. J. G. (1988), Recovery of parasite eggs from coprolites and latrines. *Homo*, **37**, pp. 217-239.

Reuter H. I., Lado L. R., Hengl T., Montanarella L. (2008), Continental-Scale digital soil mapping using european soil profile data: soil pH. *Hamburger Beiträge zur Physischen Geographie und Landschaftsökologie*, **19**, pp. 91-102.

Riad N. (1955). La médecine au temps des Pharaons. Maloine, Paris, 319 p. (La médecine à travers le temps et l'espace [4]).

Richards A. G. (1951). The integument of arthropods : the chemical components and their properties, the anatomy and development, and the permeability. University of Minnesota press, Minneapolis, 411 p.

Roche K. (2014). Santé et environnement dans le monde antique : étude paléoparasitologique des latrines de Délos, Grèce, II^e siècle av. J.-C. - I^{er} siècle av. J.-C., pp. 69. Université de Bordeaux.

- Rollet P. (2006). Reims, (Marne) 59, rue Belin. Rapport final d'opération. Inrap GEN, Metz
- Rollet P., Florent G., Jouhet E. (2009). Reims (Marne) - "17-19, rue Mont d'Arène et 6-8, rue Maucroix". Rapport final d'opération. Inrap GEN, Metz
- Romeuf A.-M., Dumontet M. (2000). Les ex-voto gallo-romains de Chamalières (Puy de Dôme) bois sculptés de la source des Roches. Ed. de la maison des sciences de l'homme, Paris, 164 p. (Documents d'archéologie française 82).
- Roncagli A. R. (2001), The history of Italian parasitology. *Veterinary Parasitology*, **98**, pp. 3-30.
- Rouget C. (1859), Des substances amyliacées dans le tissu des animaux, spécialement les articles (chitine). *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, **48**, pp. 792–795.
- Rouquette P. (1911), Les ex-voto d'organes internes dans l'antiquité romaine. *Bulletin de la Société Française d'Histoire de la Médecine*, **X**, pp. 504-519.
- Rousset J.-J., Heron C., Metrot P. (1996), Helminthoses humaines chez les Gaulois. *Histoire des Sciences Médicales*, **XXX**, 1, pp. 41-46.
- Ruffer M. A. (1910), Note on the presence of "Bilharzia haematobia" in Egyptian mummies of the twentieth dynasty. *The British Medical Journal*, **16**, pp. 65.
- Salomon F. (2014). Géoarchéologie du delta du Tibre : évolution géomorphologique holocène et contraintes hydrosédimentaires dans le système Ostie-Portus (Italie). In *Physio-Géo*, Vol. 8.
- Salomon F., Delile H., Goiran J.-P., Bravard J.-P., Keay S. (2012), The Canale di Comunicazione Traverso in Portus: the Roman sea harbour under river influence (Tiber delta, Italy). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1, pp. 75-90.
- Salomon F., Goiran J.-P., Bravard J.-P., Arnaud P., Djerbi H., Kay S., Keay S. (2014), A harbour–canal at Portus: a geoarchaeological approach to the Canale Romano: Tiber delta, Italy. *Water History*, **6**, 1, pp. 31-49.
- Sandison A. (1967). Parasitic diseases. In: Diseases in Antiquity: a survey of the diseases, injuries, and surgery of early populations. *Brothwell D., Sandison A. eds.*, Charles Thomas, Springfield, pp. 178-183.

Sanmartin M. L., Alvarez F., Gijon Botella H., Iglesias R., Estevez J., Lopez-Roman R. (1992), A scanning electron microscope study of *Toxocara genettae* Warren, 1972 (Ascaridae), with data on morphometric variation. *Folia Parasitol (Praha)*, **39**, 4, pp. 355-367.

Searcey N., Reinhard K. J., Egarter-Vigl E., Maixner F., Piombino-Mascoli D., Zink A. R., van der Sanden W., Gardner S. L., Bianucci R. (2013), Parasitism of the Zweeloo Woman: Dicrocoeliasis evidenced in a Roman period bog mummy. *International Journal of Paleopathology*, **3**, 3, pp. 224-228.

Sianto L., Santos A. L., Pérez J. A. (2015). Paleoparasitological analysis of Roman sewers from Augusta Emerita (Mérida, Spain). In *II BIOANTHROPOLOGICAL PEETING : Life, death and meeting*

Sireix C., Adamski F., Bardet A., Berthault F., Maurin L., Barraud D. (2008). La Cité judiciaire un quartier suburbain de Bordeaux antique. Fédération Aquitania, Pessac, 505 p. (Aquitania 15).

Smith F. (1913), The early history of veterinary literature and its british development. *The journal of comparative pathology and therapeutics*, **26**, 1, pp. 1-32.

Smyth J. D. (1994). Introduction to Animal Parasitology. 3rd ed. éd., Cambridge University Press, Cambridge, 549 p.

Soap and Detergent Association (1990). Glycerine: an overview. Terms, technical data, properties, performance. The Soap and Detergent Association, New York, 26 p.

Sotiraki S., Himonas C., Korkoliakou P. (2003), Hydatidosis–echinococcosis in Greece. *Acta Tropica*, **85**, 2, pp. 197-201.

Soulsby E. J. L. (1982). Helminths, Arthropods and Protozoa of Domesticates Animals. 7th éd., Baillière Tindall, London, 809 p.

Specht K. W. (1964), Eine interessante Erdprobe aus einer Abortgrube im Römerkastell Künzing. *Saalburg-Jahrbuch*, **21**, pp. 90-94.

Stenger C. (1997). Coprologie parasitaire. UNATEB-ASSITEB, Le Perreux, 56 p. (Cahiers pratiques de laboratoire).

Szidat L. (1944), Über die Erhaltungsfähigkeit von Helmintheneiern in Vor- und Frühgeschichtlichen Moorleichen. *Z. Parasitenkd*, **13**, pp. 265-274.

Taraschewski H., Peters W. (1992), Comparative investigations of the morphology and chemical composition of the eggshells of Acanthocephala. II. *Parasitology Research*, **78**, 5, pp. 376-381.

Taraschewski H., Peters W., Latka I. (1992), Comparative investigations of the morphology and chemical composition of the eggshells of Acanthocephala. III. *Parasitology Research*, **78**, 5, pp. 382-387.

Tarry D. W. (1969), *Dicrocoelium dendriticum*: The Life Cycle in Britain. *Journal of Helminthology*, **43**, 3-4, pp. 403-416.

Taylor M. A., Coop R. L., Wall R. L. (2007). *Veterinary Parasitology*. 3rd éd., Blackwell Publishing, Oxford, 900 p.

Thienpont D., Rochette F., Vanparijs O. F. J., Janssen Research F. (1979). Diagnosing helminthiasis through coprological examination. Janssen Research Foundation, Beerse, Belgium.

Uga S., Matsuo J., Kimura D., Rai S. K., Koshino Y., Igarashi K. (2000), Differentiation of *Toxocara canis* and *T. cati* eggs by light and scanning electron microscopy. *Veterinary Parasitology*, **92**, 4, pp. 287-294.

Usai M.-R., Pickering M., Wilson C., Keely B. J., Brothwell D. R. (2014), 'Interred with their bones'. *soil micromorphology and chemistry in the study of human remains*, **88**

Valero C. (2006). Bazoches-les-bray "Les Champs Courceaux, Le Grand Mort, La Grande Pièce" (Seine-et-Marne - Ile-de-France). Rapport final d'opération archéologique. Inrap CIF, Pantin.

Van Cleave H. J., Ross J. A. (1947), A method of reclaiming dried zoological specimens. *Science*, **105**, pp. 318.

van Geel B., Buurman J., Brinkkemper O., Schelvis J., Aptroot A., van Reenen G., Hakbijl T. (2003), Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitgeest (The Netherlands), with special reference to coprophilous fungi. *Journal of Archaeological Science*, **30**, 7, pp. 873-883.

Verjat F., Harter-Lailheugue S., Le Bailly M., Basset D., Bouchet F. (2005), Etude paléoparasitologique menée sur le puits PT471 de Lattes. *Lattara*, **18**, pp. 327-334.

von Oefele F. (1902). Studien zur mittelniederdeutschen Parasitologie. In, G. Carré et C. Naud, Paris, vol. V, pp. 67-94.

Wagner E. D. (1979), Observations on "Large" Trichuris eggs in man. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington*, **46**, 1, pp. 155-157.

Walker G. F. (1950), Trioctahedral minerals in the soil-clays of north-east Scotland. *Mineralogical Magazine*, **29**, pp. 72-84.

Warnock P. J., Reinhard K. J. (1992), Methods for Extracting Pollen and Parasite Eggs from Latrine Soils. *Journal of Archaeological Science*, **19**, pp. 261-264.

Warren E. G. (1972), Two new species of Toxocara from viverrid hosts. *Parasitology*, **65**, 02, pp. 179-187.

Wells C., Dallas C. (1976), Romano British Pathology. *Antiquity*, **50**, pp. 53-56.

Westendorf W. (1992). Erwachen der Heilkunst : die Medizin im alten Ägypten. Artemis & Winkler, Zürich.

Wharton D. (1980), Nematode egg-shells. *Parasitology*, **81**, pp. 447-463.

Wilson A., Rackham D. J. (1976). Parasite eggs. In: The Archaeology of York. *Addyman P. V. ed.*, Coucil for British Archaeology, London, vol. 14, pp. 32-33.

Witenberg G. (1961), Human parasites in Archaeological findings. *Bulletin of the Israel Exploration Society*, **25**, pp. 86.

Yamane Y., Seki R., Okada N. (1976), Comparative observation on surface topography of teguments and eggshells of diphylobothriid cestodes by scanning electron microscopy. *Yonago Acta Med*, **20**, 2, pp. 55-65.

Yeh H.-Y., Pluskowski A., Kalējs U., Mitchell P. D. (2014), Intestinal parasites in a mid-14th century latrine from Riga, Latvia: fish tapeworm and the consumption of uncooked fish in the medieval eastern Baltic region. *Journal of Archaeological Science*, **49**, 0, pp. 83-89.

Yoshikawa H., Yamada M., Matsumoto Y., Yoshida Y. (1989), Variations in egg size of Trichuris trichiura. *Parasitology Research*, **75**, 8, pp. 649-654.

Zias J. (1991), Death and Disease In Ancient Israel. *Biblical Archaeologist*, **54**, pp. 147-159.

Zias J., Mumcuoglu K. Y. (1991), Case Report No. 14: Calcified Hydatid Cysts. *Paleopathology Newsletter*, **73**, pp. 7-8.

Zias J. E., Tabor J. D., Harter-Lailheugue S. (2006), Toilets at Qumran, the Essenes, and the scrolls: new anthropological data and old theories. *Revue de Qumran*, **22**, 88, pp. 631-640.

Živcová Z., Gregorová E., Pabst W. (2007), Porous alumina ceramics produced with lycopodium spores as pore-forming agents. *Journal of Materials Science*, **42**, 20, pp. 8760-8764.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Index des Figures

Sauf mention contraire, toutes les figures sont de l'auteur.

Figure 1 : Carte de l'expansion maximale de l'Empire romain sous Trajan au 2 ^{ème} siècle ap. J.-C.	12
Figure 2 : Coprolithe du site de Metz, ZAC Amphithéâtre (57, Moselle).	17
Figure 3 : Latrines en cours de fouille du site de Beauvais, Place du Jeu de Paume (60, Oise).	17
Figure 4 : Sarcophage de pierre et cercueil de plomb du site de Jaunay-Clan, "Sous Clan 2" / ZAC des Grands Champs (86, Vienne).	18
Figure 5 : Ex-voto anatomique représentant un intestin grêle découvert dans le lit du Tibre, 3 ^{ème} -2 ^{ème} siècle av. J.-C. (Musée National Romain, Rome).	35
Figure 6 : <i>Fasciola hepatica</i> adultes localisés dans les voies biliaires d'un foie de bovin découpé (photographie : Association française des enseignants de Parasitologie et Mycologie).	40
Figure 7 : Adulte de <i>Fasciola hepatica</i> à gauche et segment de <i>Taenia saginata</i> à droite (photographies : Association française des enseignants de Parasitologie et Mycologie).	41
Figure 8 : Localisation des peuples sujets aux vers ronds et aux vers plats en rouge et exempts de vers en bleu.	44
Figure 9 : Effectifs par année des études publiées, détaillés par type de source, et brèves synthèses.	50
Figure 10 : Types de sites d'époque romaine étudiés en paléoparasitologie (cent-quatorze sites sur cent-vingt-cinq, soit 91 %).	63
Figure 11 : Types d'activités pratiquées sur les sites d'époque romaine étudiés en paléoparasitologie (soixante-dix-neuf études sur cent-vingt-cinq, soit 63 %).	64
Figure 12 : Types d'échantillons d'époque romaine étudiés en paléoparasitologie (huit cent cinquante-et-un échantillons sur neuf-cent-un, soit 95 %).	68
Figure 13 : Types de vestiges d'origine d'époque romaine étudiés en paléoparasitologie (trois cent soixante-quinze vestiges sur quatre-cent-deux, soit 93 %).	69
Figure 14 : Origines biologiques des échantillons d'époque romaine étudiés en paléoparasitologie (huit-cent-cinquante échantillons référencés).	71
Figure 15 : Localisation des sites étudiés et part de chaque type d'étude (ETP en rouge, ETI en bleu et ETC en vert).	73
Figure 16 : Nombre de Sites, d'études (ET), d'études publiées (ETP), d'études inédites (ETI) et d'études corpus (ETC) par pays.	74
Figure 17 : Datations des sites étudiés classés du TPQ le plus ancien au plus récent.	76
Figure 18 : Courbe cumulative du nombre de sites étudiés de 200 AEC à 500 EC.	77
Figure 19 : Œuf d' <i>Ascaris</i> sp. vu en coupe à gauche, en surface à droite (68,59 x 49,58 µm, site de Beauvais, S_0076, ETC_0007).	102
Figure 20 : Œuf d' <i>Ascaris</i> sp. perdant sa coque externe à gauche (site de Beauvais, rue Saint Laurent) et œuf de type Ascaridé à droite (65,24 x 45,32 µm, site de Beauvais, S_0076, ETC_0007).	102
Figure 21 : Œuf d' <i>Ascaris laevis</i> (67-69 x 51-54 µm) (Ortega, 2011).	104
Figure 22 : Œuf de <i>Toxascaris leonina</i> à gauche (70 x 80 µm) (Bowman <i>et al.</i> , 2002), d' <i>Ascaridia galli</i> au centre (77-94 x 43-55 µm) (Kaufmann, 1996) et d' <i>Heterakis gallinarum</i> à droite (66-79 x 41-48 µm) (Kaufmann, 1996).	104

Figure 23 : Œuf de <i>Trichuris trichiura</i> à gauche (57,13 x 24,85 µm, site de Jaunay-Clan, S_0078, ETC_0010) et œuf de <i>Trichuris</i> sp. à droite (50,20 x 26,50 µm, site de Beauvais, S_0076, ETC_0007).	106
Figure 24 : Œuf de <i>Capillaria</i> ponctué vu en coupe à gauche et en surface à droite (63,78 x 30,43 µm, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0006).	108
Figure 25 : Œuf de <i>Capillaria</i> réticulé vu en coupe à gauche et en surface à droite (56,99 x 27,18 µm, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).	108
Figure 26 : Œuf de <i>Capillaria</i> type <i>hepatica</i> vu en coupe à gauche et en surface à droite (55,50 x 30,74 µm, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).	108
Figure 27 : Œuf de <i>Dioctophyma renale</i> (70,20 x 37,23 µm, site de Troyes, S_0054, ETI_0013).	110
Figure 28 : Œuf de <i>Parascaris</i> sp. vu en coupe à gauche et en surface à droite (96,91 x 89,41 µm, site de Beauvais, S_0076, ETC_0007).	111
Figure 29 : Œuf de <i>Toxocara</i> sp. vu en coupe à gauche et en surface à droite (82,66 x 79,08 µm, site de Metz, S_0080, ETC_0014).	113
Figure 30 : Œuf d' <i>Oxyuris equi</i> (84,39 x 40,82 µm, site de Beauvais, S_0076, ETC_0007).	114
Figure 31 : Œuf d' <i>Enterobius vermicularis</i> (barre d'échelle 20 µm, site de l'Oasis de Dakhleh, S_0017, ETP_0017) (Horne 2002).	115
Figure 32 : Œuf de Strongylida (51,62 x 38,90 µm, site de Portus, Rome-Ostie, S_0074, ETC_0009).	117
Figure 33 : Œuf d'Acanthocephala (barre d'échelle 20 µm, site de l'Oasis de Dakhleh, S_0017, ETP_0017) (Horne 2002).	118
Figure 34 : Œuf de <i>Macracanthorhynchus</i> sp. vu en coupe à gauche et en surface à droite (88,49 x 49,49 µm, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).	119
Figure 35 : Œuf actuel d' <i>Hymenolepis nana</i> (45 x 35 µm, photographie : Association française des enseignants de Parasitologie et Mycologie).	120
Figure 36 : Œuf complet de <i>Taenia saginata</i> à gauche (Gentilini <i>et al.</i> , 2012) et embryophore de <i>Taenia/Echinococcus</i> sp. à droite (36,08 x 35,73 µm, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).	122
Figure 37 : Kyste hydatique calcifié d' <i>Echinococcus granulosus</i> (environ 3-5 cm de long, site de Jérusalem, S_0045, ETP_0069) (Zias, 1991).	124
Figure 38 : Œuf de <i>Diphyllobothrium</i> sp. lisse (64,55 x 53,23 µm, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).	125
Figure 39 : Œuf de <i>Diphyllobothrium</i> sp. ponctué vu en coupe à gauche et en surface à droite (72,70 x 45,60 µm, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0006).	125
Figure 40 : Œuf de <i>Diphyllobothrium</i> sp. très ponctué vu en coupe à gauche et en surface à droite (64,02 x 51,97 µm, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).	125
Figure 41 : Œuf de <i>Fasciola</i> sp. (118,66 x 72,62 µm, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).	127
Figure 42 : Œuf de <i>Dicrocoelium</i> sp. (43,57 x 22,82 µm, site d'Horbourg-Wihr, S_0075, ETC_0011).	129
Figure 43 : Fréquences des taxons et des groupes de taxons pour l'ensemble des sites d'époque romaine ayant fourni des données en paléoparasitologie sur les helminthes.	137
Figure 44 : Fréquences des principaux taxons pour les principaux types de sites et d'activités étudiés en paléoparasitologie sur les sites d'époque romaine (effectif des types entre parenthèses).	143
Figure 45 : Fréquences des principaux taxons pour les principaux types de vestiges d'origine et d'échantillons étudiés en paléoparasitologie sur les sites d'époque romaine (effectif des types entre parenthèses).	147
Figure 46 : Fréquences des principaux taxons pour les types d'origines biologiques étudiées en paléoparasitologie sur les sites d'époque romaine (effectif des types entre parenthèses).	151

Figure 47 : Aires de répartitions maximales des taxons et groupes de taxons de la classe des Nématodes observés pour l'époque romaine (les lignes matérialisent les aires de répartition et les triangles inversés la localisation des taxons présents sur un seul site).	154
Figure 48 : Aires de répartitions maximales des taxons et groupes de taxons de la classe des Cestodes observés pour l'époque romaine (les lignes matérialisent les aires de répartition et les triangles inversés la localisation des taxons présents sur un seul site, la zone en pointillé représente la localisation approximative de <i>Taenia solium</i>).	155
Figure 49 : Aires de répartitions maximales des taxons et groupes de taxons de la classe des Trématodes observés pour l'époque romaine (les lignes matérialisent les aires de répartition).	157
Figure 50 : Aires de répartitions maximales des taxons de protozoaires parasites intestinaux observés pour l'époque romaine (les lignes pointillées matérialisent les aires de répartition possibles mais non vérifiées).	158
Figure 51 : Répartition en Europe des sols calcaires de type Calcisols à gauche et Leptosols à droite (cartes modifiées d'après Jones <i>et al.</i> , 2005).	163
Figure 52 : Carte du pH des sols en Europe à gauche (modifiée d'après JRC of the European Communities, 2010) et sites d'époque romaine comportant des taxons de GRDicrocoeliidae (autres sites étudiés en blanc et nom des sites particuliers en bleu).	163
Figure 53 : Evolution des fréquences par siècle des principaux taxons (Nombre de sites positifs pour chaque siècle entre parenthèses; 1_AEC=1_AEC+2_AEC - 1_AEC, 1_EC=1_EC+1_AEC - 1_EC, 2_EC=2_EC+1_EC - 2_EC, 3_EC=3_EC+2_EC - 3_EC, 4_EC=4_EC+3_EC - 4_EC et 5_EC=5_EC+4_EC - 5_EC).	168
Figure 54: Evolution des températures et des précipitations. Les flèches indiquent les anomalies de température pour le 2ème s. EC (modifié d'après Büntgen <i>et al.</i> 2011).	170
Figure 55 : Localisation des sites comportant <i>Oxyuris equi</i> sur une carte mondiale (points blancs : sites positifs pour <i>O. equi</i> ; A: Djoumboulak Koum; B: Chehrabad; C: Berel'; D: Fontaine la Guyon; E: Marseille; F: Troyes; G: Reims; H: Valkenburg on Rhine; I: Beauvais; J: Carlisle; K: Horbourg-Wihr; L: York; M: Namur; N: Feddersen wierde; O: Deer Park Farms; P: Charavines; Q: Bourges; R: Riga; S: Brouage; T: Lyon; U: Lowell; V: Albany).	171
Figure 56 : Aires de répartitions maximales des taxons observés chez l'homme (les lignes matérialisent les aires de répartition et les triangles la localisation des taxons présents sur un seul site, la zone en pointillé représente la localisation approximative de <i>Taenia solium</i> ; les résultats correspondant à Ascaridé ont été associés à <i>Ascaris lumbricoides</i>).	179
Figure 57 : Altérations visibles sur des œufs de parasites dues aux processus taphonomiques : œuf d' <i>Ascaris</i> sp. minéralisé à gauche, œuf de <i>Trichuris</i> sp. déchiré au centre et œuf de <i>Dicrocoelium</i> sp. ouvert sans opercule à droite (site de Beauvais, S_0076, ETC_0007).	198
Figure 58 : Phase de Réhydratation de quatre échantillons.	203
Figure 59 : Phase d'Homogénéisation : broyage au mortier.	203
Figure 60 : Phase d'Homogénéisation : traitement par ultrasons.	204
Figure 61 : Phase de Microtamisage.	204
Figure 62 : Refus de tamis récupérés à l'issue de la phase de Microtamisage (315 et 160 µm à gauche, 25 µm au centre et 50 µm à droite).	205
Figure 63 : Vue d'une lamelle chargée en minéraux et débris végétaux avec un œuf d'Ascaridé au centre (site de Beauvais, Rue Saint Laurent).	209
Figure 64 : graphiques des résultats pour chaque combinaisons acides/base et pour les méthodes RHMs (log10 du nombre d'œufs par gramme d'échantillon brut sec ; Asc = <i>Ascaris</i> sp., Tri = <i>Trichuris</i> sp., Cah = <i>Capillaria</i> type <i>hepatica</i> , Car = <i>Capillaria</i> réticulé, Mac = <i>Macracanthorhynchus</i> sp., Dic = <i>Dicrocoelium</i> sp., Fas = <i>Fasciola</i> sp. et Par = <i>Paramphistomum</i> sp.).	219
Figure 65 : graphiques des résultats pour chaque taxon (log10 du nombre d'œufs par gramme d'échantillon brut sec ; 1 = Méthode 1, 2 = Méthode 2, 3 = Méthode 3, 4 = Méthode 4, 5 = Méthode 5, 6 = Méthode 6, 7 = Méthode 7, 8 = Méthode 8 et H2Od = RHMs-H2Od).	220

Figure 66 : Mesures des œufs d' <i>Ascaris</i> sp. extraits par la méthode 2 (en rouge), par la méthode 6 (en bleu), par la méthode RHMs-H ₂ O _d (en vert) et par les méthodes RHMs/RHMs-25 (en orange).....	225
Figure 67 : Mesures des œufs de <i>Trichuris</i> sp. extraits par la méthode 2 (en rouge), par la méthode 6 (en bleu), par la méthode RHMs-H ₂ O _d (en vert) et par les méthodes RHMs/RHMs-25 (en orange).....	226
Figure 68 : Longueur (axe horizontal), largeur (axe vertical), moyenne (intersection des axes) et intervalle de confiance à 95 % (rectangle) pour les œufs d' <i>Ascaris</i> sp. extraits par la méthode 2 (en rouge), par la méthode 6 (en bleu), par la méthode RHMs-H ₂ O _d (en vert) et par les méthodes RHMs/RHMs-25 (en orange).	228
Figure 69 : Longueur (axe horizontal), largeur (axe vertical), moyenne (intersection des axes) et intervalle de confiance à 95 % (rectangle) pour les œufs de <i>Trichuris</i> sp. extraits par la méthode 2 (en rouge), par la méthode 6 (en bleu), par la méthode RHMs-H ₂ O _d (en vert) et par les méthodes RHMs/RHMs-25 (en orange).	229
Figure 70 : Courbes du nombre d'œufs obtenues pour le même échantillon avec les différents modes de lectures (résultats en log ₁₀ du nombre d'œufs par lamelle).....	235
Figure 71 : Courbe du nombre cumulé de taxons observés pour 20 lamelles prélevées en surface de l'échantillon des tests de méthodes (méthode RHMs; 15 µL de chaque tube par lamelle).....	237
Figure 72 : Lamelle d'observation du 1er œuf pour les échantillons des études ETC_0007 et ETC_0009 (effectif par lamelle en %).	239
Figure 73 : Classification ascendante hiérarchique des résultats obtenus pour les structures en creux du site d'Horbourg-Wihr (log ₁₀ du nombre d'œufs par lamelle; fonction de type "latrines" en rouge et de type "fosse dépotoir" en vert; premier groupe de structure en jaune et second groupe en bleu).....	248
Figure 74 : Localisation des types de structure en creux étudiées sur le site d'Horbourg-Wihr (1 : Structures cuvelées en bois, 2 : Puits, 3 : Structure non cuvelée).....	251
Figure 75 : Carte du nombre de taxons obtenu par structure sur le site d'Horbourg-Wihr. ...	252
Figure 76 : Carte du nombre total d'œufs obtenu par structure sur le site d'Horbourg-Wihr.	253
Figure 77 : Carte des résultats par structure sur le site d'Horbourg-Wihr (nombre d'œufs en log ₁₀).	254
Figure 78 : Classification ascendante hiérarchique des résultats obtenus pour la structure 4983 du site de Beauvais et les structures en creux du site d'Horbourg-Wihr (log ₁₀ du nombre d'œufs par lamelle; échantillon de la structure 4983 en rouge; premier groupe de structure en jaune et second groupe en bleu).	258
Figure 79 : Résultats obtenus pour <i>Ascaris</i> sp. et pour Ascaridé selon la profondeur pour la structure 4983 du site de Beauvais (en log ₁₀ du nombre d'œufs/la; profondeur en cm).	260
Figure 80 : Résultats obtenus selon la profondeur pour la Structure 4983 du site de Beauvais (en log ₁₀ du nombre d'œufs/la; profondeur en cm).	261
Figure 81: Localisation des carottes étudiées en paléoparasitologie (en rouge) (modifié d'après Salomon, 2014).	264
Figure 82 : Œuf d' <i>Opistorchis</i> sp. (18,81 x 11,22 µm, site du Portus, Rome-Ostie, S_0074, échantillon 79 de la carotte TR XX).	267
Figure 83 : Résultats obtenus en paléoparasitologie pour la carotte TR XX associés aux interprétations issues des autres analyses (résultats en bleu, log ₁₀ (nombre d'œufs/la); profondeur des échantillons en orange) (modifié d'après une figure fournie par J.-P. Goiran et d'après Goiran <i>et al.</i> , 2009, 2010).	269
Figure 84 : Résultats obtenus en paléoparasitologie pour la carotte CT1 associés aux interprétations issues des autres analyses (résultats en bleu, log ₁₀ (nombre d'œufs/la); profondeur des échantillons en orange) (modifié d'après Salomon <i>et al.</i> , 2012).	271

Figure 85 : Résultats obtenus en paléoparasitologie pour la carotte TR XIV associés aux interprétations issues des autres analyses (résultats en bleu, log10(nombre d'œufs/la); profondeur des échantillons en orange) (modifié d'après Salomon <i>et al.</i> , 2012).	273
Figure 86 : Résultats obtenus en paléoparasitologie pour la carotte CN1 associés aux interprétations issues des autres analyses (résultats en bleu, log10(nombre d'œufs/la); profondeur des échantillons en orange) (modifié d'après Salomon <i>et al.</i> , 2014).	274
Figure 87 : Résultats obtenus en paléoparasitologie pour la carotte PT XI-3 associés aux interprétations issues des autres analyses (résultats en bleu, log10(nombre d'œufs/la); profondeur des échantillons en orange) (modifié d'après une figure fournie par F. Salomon).	275
Figure 88 : Mesures prises sur les œufs de <i>Trichuris</i> sp.	277
Figure 89 : Mesures prises sur les œufs d' <i>Ascaris</i> sp.	278
Figure 90 : Œufs de <i>Trichuris</i> anormaux du site de Beauvais : sans ouverture polaires à gauche (56,21 x 25,41, ECC_0055), avec une des ouvertures absente au centre (54,72 x 26,10 µm, ECC_0051) et avec une des ouvertures déformée à droite (57,22 x 27,46, ECC_0055).	279
Figure 91 : A gauche, œuf standard de <i>Trichuris</i> sp. en bas (50,13 x 27,07 µm) et œuf anormal de grande taille en haut (65,67 x 29,15 µm) (site de Beauvais, Rue Saint Laurent); à droite, œuf plus court (40,64 x 28,43 µm, site de Beauvais, S_0076, ECC_0055).	279
Figure 92 : Œuf de <i>Trichuris ovis</i> standard à droite et œuf anormal de grande dimension à gauche. La flèche indique l'anomalie observée au niveau d'un bouchon polaire (Jansen, 1984).	280
Figure 93 : Photographie d'un œuf de <i>Trichuris</i> sp. au moment de sa première observation à gauche (53,35 x 25,96 µm) et observation du même œuf 45 mn plus tard à droite (54,80 x 33,90 µm) (site de Beauvais, S_0076, ECC_0051).	282
Figure 94 : Courbes de variation de la longueur et de la largeur d'un œuf de <i>Trichuris</i> sp. en fonction du temps (les points représentent les mesures réalisées).	283
Figure 95 : Dimensions maximales des œufs de différentes espèces du genre <i>Trichuris</i> .	286
Figure 96 : Effectifs cumulés des intervalles issus de différentes sources pour <i>Trichuris trichiura</i> .	288
Figure 97 : Dimensions maximales et dimensions les plus fréquentes des œufs de différentes espèces du genre <i>Trichuris</i> (traits pleins : dimensions maximales, traits pointillés : dimensions les plus fréquentes).	289
Figure 98 : Œufs de <i>Trichuris</i> sp. du site d'Horbourg-Wihr et dimensions des œufs de différentes espèces du genre <i>Trichuris</i> (points : œufs du site d'Horbourg-Wihr, traits pleins : dimensions maximales, traits pointillés : dimensions les plus fréquentes).	290
Figure 99 : Œufs de <i>Trichuris</i> sp. du site de Metz et dimensions des œufs de différentes espèces du genre <i>Trichuris</i> (points : œufs du site de Metz, traits pleins : dimensions maximales, traits pointillés : dimensions les plus fréquentes).	291
Figure 100 : Œuf d' <i>Ascaris</i> sp. du site de Beauvais (S_0076) non embryonné à gauche (79,86 x 50,33 µm, ECC_0051) et embryonné à droite (71,64 x 54,92 µm, ECC_0055).	292
Figure 101 : Dimensions maximales et dimensions les plus fréquentes des œufs des espèces du genre <i>Ascaris</i> (traits pleins : dimensions maximales, traits pointillés : dimensions les plus fréquentes).	294
Figure 102 : Œufs d' <i>Ascaris</i> sp. du site d'Horbourg-Wihr et dimensions des œufs des deux espèces du genre <i>Ascaris</i> (points : œufs du site d'Horbourg-Wihr, traits pleins : dimensions maximales, traits pointillés : dimensions les plus fréquentes).	295
Figure 103 : Œufs d' <i>Ascaris</i> sp. du site de Metz et dimensions des œufs des deux espèces du genre <i>Ascaris</i> (points : œufs du site de Metz, traits pleins : dimensions maximales, traits pointillés : dimensions les plus fréquentes).	296

Index des Tableaux

Tous les tableaux sont de l'auteur.

Tableau 1 : Papyri médicaux et vétérinaires égyptiens mentionnant les vers parasites intestinaux.	23
Tableau 2 : Noms égyptiens des vers parasites intestinaux (*D'après les travaux de : von Oefe, 1902; Moulé, 1911; Penso, 1981; Grove, 1990; Nunn, 2002; Halouia, 2008a; Halouia, 2009; Green, 2013. **Les abréviations des sources anciennes correspondent à celles utilisées dans le Tableau 1, p. 23.).	23
Tableau 3 : Auteurs grecs traitant des vers parasites intestinaux (*Parmi les auteurs hippocratiques, vétérinaires spécialisés dans la médecine des équidés, se trouvent : Apsyrto, Anatolio, Eumelos, Theomnestos, Hippocrate, Hiéroclès, Pelagonius, Simon d'Athènes et Xénophon (Menard, 2003)).	25
Tableau 4 : Interprétations et identifications des vers mentionnés par les Grecs selon les différents chercheurs (*D'après les travaux de : Moulé, 1911; Hoeppli, 1956; Sandison, 1967. Certains auteurs ne mentionnent pas le nom ancien. **Les abréviations des sources anciennes correspondent à celles utilisées dans le Tableau 3, p. 25.).	28
Tableau 5 : Auteurs romains traitant des vers parasites intestinaux.	29
Tableau 6 : Interprétation/identification des vers connus des Romains selon les différents chercheurs (*D'après les travaux de : Moulé, 1911; Sandison, 1967; Penso, 1981; Grove, 1990; Roncalli, 2001. Certains auteurs ne mentionnent pas le nom ancien. **Les abréviations des sources anciennes correspondent à celles utilisées dans le Tableau 5, p. 29.).	32
Tableau 7 : Taxons connus dans l'Antiquité par les textes grecs et romains et classification actuelle partielle.	39
Tableau 8 : Etudes publiées ayant conduit à l'observation d'helminthes pour l'époque romaine.	48
Tableau 9 : Effectifs des différents types de sources bibliographiques utilisés.	49
Tableau 10 : Structure de la base de données.	56
Tableau 11 : Sites étudiés en paléoparasitologie avec le détail du nombre d'études réalisées (valeurs maximales en gras).	60
Tableau 12 : Résultats publiés obtenus en paléoparasitologie pour les sites du second Age du Fer.	81
Tableau 13 : Taxons d'helminthes observés pour l'époque romaine en paléoparasitologie d'après les différentes sources.	84
Tableau 14 : Taxons de protozoaires parasites intestinaux observés pour l'époque romaine en paléoparasitologie d'après les différentes sources.	84
Tableau 15 : Taxons d'helminthes observés pour l'époque romaine en paléoparasitologie après adaptation.	90
Tableau 16 : Taxons de protozoaires parasites intestinaux observés pour l'époque romaine en paléoparasitologie après adaptation.	91
Tableau 17 : Détails des taxons composant chaque groupe de taxons.	91
Tableau 18 : Résultats adaptés classés par sites pour les taxons de Nematoda et d'Acanthocephala.	96
Tableau 19 : Résultats adaptés classés par sites pour les taxons de Cestoda, de Trematoda, de protozoaires parasites et pour les groupes de taxons.	100
Tableau 20 : Taxons marqueurs de présence de l'homme et des principaux animaux qu'ils parasitent.	132

Tableau 21 : Taxons marqueurs de présence humaine et animale selon le régime alimentaire.	133
Tableau 22 : Pathologies et symptômes provoqués par les taxons et groupe de taxons observés pour l'époque romaine.	136
Tableau 23 : Effectifs des échantillons et des sites pour chaque intervalle de temps.	165
Tableau 24 : Nombre de sites par taxons pour chaque siècle de l'époque romaine. Les lignes en gras correspondent aux taxons les plus représentés (Nombre de sites positifs pour chaque siècle entre parenthèses, 1_AEC=1_AEC+2_AEC - 1_AEC, 1_EC=1_EC+1_AEC - 1_EC, 2_EC=2_EC+1_EC - 2_EC, 3_EC=3_EC+2_EC - 3_EC, 4_EC=4_EC+3_EC - 4_EC et 5_EC=5_EC+4_EC - 5_EC).	166
Tableau 25 : Fréquences des principaux taxons et groupes de taxons par site pour chaque siècle de l'époque romaine. * : <i>Ascaris</i> /Ascaridé correspond aux résultats associés d' <i>Ascaris</i> sp. et d'Ascaridé (Nombre de sites positifs pour chaque siècle entre parenthèses; 1_AEC=1_AEC+2_AEC-1_AEC, 1_EC=1_EC+1_AEC-1_EC, 2_EC=2_EC+1_EC-2_EC, 3_EC=3_EC+2_EC-3_EC, 4_EC=4_EC+3_EC-4_EC et 5_EC=5_EC+4_EC-5_EC).	167
Tableau 26 : Echantillons humains d'époque romaine étudiés en paléoparasitologie classés par site et résultats obtenus exprimés en présence absence (1/0).	178
Tableau 27 : Fréquence des helminthes observés chez l'homme à l'époque romaine (%) et effectifs des individus correspondant. (* : les résultats correspondant à Ascaridé ont été associés à <i>Ascaris lumbricoides</i> ; nombre total d'individus considérés entre parenthèses).	183
Tableau 28 : Nombre d'œufs de parasites par gramme d'échantillon brut sec et variations de biodiversité pour les combinaisons acides bases et les protocoles RHM (les valeurs en gras correspondent au nombre d'œufs maximal pour chaque taxon).	218
Tableau 29 : Résultats obtenus pour le même échantillon avec les différentes méthodes de lectures comparées (résultats en nombre d'œufs par lamelle; 20 lamelles pour les lectures homogénéisé; 10 lamelles pour les lames de 30 µL et de 15 µL).	234
Tableau 30 : Résultats obtenus pour le site d'Horbourg-Wihr par échantillon analysés et informations concernant les vestiges d'origine (résultats en nombre d'œufs par lamelle; valeurs maximales en gras; lignes grisées = échantillons négatifs).	244
Tableau 31 : Fonctions proposées pour les structures en creux du site d'Horbourg-Wihr.	246
Tableau 32 : Résultats obtenus pour les échantillons de la Structure 4983 (en nombre d'œufs) classés par profondeur décroissantes (en cm) (les valeurs en gras correspondent aux valeurs maximales).	257
Tableau 33 : Résultats obtenus pour les échantillons étudiés du <i>Portus</i> (en nombre d'œufs par lamelle) classé par carotte et par profondeur croissantes (en cm) (les lignes grisées correspondent aux échantillons négatifs).	266
Tableau 34 : Mesures de l'œuf de <i>Trichuris</i> sp. du site de Beauvais (S_0076, ECC_0051) et temps écoulé.	282
Tableau 35 : Dimensions des œufs de différentes espèces du genre <i>Trichuris</i> (lignes grisées et texte en gras : dimensions maximales et synthèse des dimensions).	286
Tableau 36 : Dimensions des deux espèces du genre <i>Ascaris</i> (lignes grisées et texte en gras : synthèse des dimensions).	293

LISTE DES PUBLICATIONS ET DES COMMUNICATIONS

Liste des Publications

Gonzalez-Villaescusa R., Marre A., Huvig A., Le Bailly M., Bouchet F., Chalumeau L., **Dufour B.**, Lejeune O., Mallam-Issa O., Sanchez F. (2010). La villa gallo-romaine d'Andilly-en-Bassigny (Haute-Marne). Un projet d'étude de l'ager de la cité des Lingons (Andemantunnum-Langres). *La villa gallo-romaine d'Andilly-en-Bassigny (Haute-Marne). Un projet d'étude de l'ager de la cité des Lingons (Andemantunnum-Langres)*. Barcelone, Spain, 2010-03-25, pp. 303-312.

Gonzalez-Villaescusa R., **Dufour B.** (2011). Bâtiments agricoles et indices de bétail en Gaule du nord. Inventaire et perspectives. In: PURPUREAE VESTES III, Troisième Symposium International "Tissus et teintures dans la cité antique", 13-15 Novembre 2008, Naples. *Alfaro C., Brun J.-P., Borgard P., R. P. B. eds.*, Centre Jean Bérard, pp. 91-100.

Le Bailly M., **Dufour B.**, Bouchet F. (2011). La paléoparasitologie en période gallo-romaine. In: Pour une archéologie de la médecine romaine. *Gourevitch D. ed.*, De Boccard, Paris, pp. 67-68. (Collection Pathographie 8).

Dufour B., Le Bailly M. (2012). Bourges, ZAC Avaricum (Cher, 18), rapport de l'analyse paléoparasitologique. In: Evolution d'un quartier urbain de Bourges du 1er s. à nos jours. *Fondrillon M., Marot E., J. T. eds.*, Service d'archéologie préventive de Bourges Plus, CITERES - Cités, Territoires, Environnement et Sociétés, vol. 4, pp. 62-87.

Dufour B., Le Bailly M., Bouchet F. (2012). L'apport de l'analyse paléoparasitologique sur les fosses aménagées. In: Rapport de fouille préventive, Horbourg-Wihr, Haut-Rhin, Kreuzfeld (Est), Un quartier de l'agglomération gallo-romaine. *Bouby L., Bouchet F., Dufour B., Le Bailly M., Putelat O., Schaal C., Tegel W. eds.*, Pôle d'Archéologie Interdépartemental Rhénan, vol. 2.3, pp. 127-137.

Dufour B., Le Bailly M. (2013), Testing new parasite egg extraction methods in paleoparasitology and an attempt at quantification. *International Journal of Paleopathology*, 3, 3, pp. 199-203.

Le Bailly M., Landolt M., Mauchamp L., **Dufour B.** (2014), Intestinal Parasites in First World War German Soldiers from "Kilianstollen", Carspach, France. *PLoS ONE*, 9, 10, pp. e109543.

Dufour B., Hugot J.-P., Lepetz S., Le Bailly M. (2015), The horse pinworm (*Oxyuris equi*) in archaeology during the Holocene: Review of past records and new data. *Infection, Genetics and Evolution*, 33, pp. 77-83.

Dufour B., Le Bailly M. (2015), Archéologie d'un parasite du cheval. Synthèse de données sur *Oxyuris equi*. *Archéopages* 41, pp. 6-13.

Liste des Communications

Dufour B., Le Bailly M., Bouchet F. 9 février 2010

Workshop Palaeoparasitology Among Bioarchaeological Methods, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Lyon.

Parasites and Antiquity in north-eastern France.

Dufour B., Bouchet F., Le Bailly M. 23- 28 août 2010

11th International Conference of Archaeozoology (ICAZ), Paris.

The site of Horbourg-Wihr: paleoparasitological studies and comparison with the site of the "Place de la Libération" in Troyes.

Dufour B., Le Bailly M. 22-27 août 2012

The 19th european meeting of the paleopathology association, Lille, France

Tests of new extraction methods in Paleoparasitology and an attempt at quantification.
(Poster)

Dufour B., Le Bailly M., Richard H. 14 décembre 2012

Journée des doctorants, Besançon.

Tests de méthodes d'extraction en Paléoparasitologie et essais de quantification.

Fondrillon M., Marot E., Vissac C., Germinet D., Salin M., Pauly S., Preiss S., **Dufour B., Le Bailly M., Argant C. 22-26 avril 2013**

XIXe Colloque du GMPCA, Caen.

Gestion des déchets organiques et pollution en milieu urbain : l'étude interdisciplinaire du quartier artisanal d'Avaricum à Bourges (13ème s.). (Poster).

Dufour B., Le Bailly M. 22-26 avril 2013

XIXe Colloque du GMPCA, Caen.

Contribution de la Paléoparasitologie à l'étude des Structures en creux pour les périodes antiques et médiévales.

Le Bailly M., **Dufour B.**, Landolt M., Mauchamp L. **6-9 août 2013**

8th World Congress on Mummy Studies, Rio de Janeiro, Brazil.

Paleoparasitology and modern archaeology: the two cases of Entzheim and Carspach, France.

Dufour B., Le Bailly M. 26 septembre 2013

Séminaire du laboratoire, Besançon.

Les parasites intestinaux, marqueurs de présence animale.

Dufour B., Le Bailly M., Richard H. 12 novembre 2013

Journée des doctorants en archéologie de l'université de Franche-Comté, Besançon.

Apports de la paléoparasitologie quantitative à l'étude de sites d'époque romaine en France et en Italie.

Dufour B., Le Bailly M. 27-30 avril 2015

20e Colloque du GMPCA, Besançon.

Les parasites intestinaux dans l'Antiquité : apport des sources écrites et première synthèse des données publiées en paléoparasitologie



Testing new parasite egg extraction methods in paleoparasitology and an attempt at quantification



Benjamin Dufour*, Matthieu Le Bailly

University of Franche-Comte, CNRS UMR 6249 Chrono-Environnement, 16, Route de Gray, 25030 Besancon Cedex, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 December 2012

Received in revised form 25 March 2013

Accepted 26 March 2013

Keywords:

Paleoparasitology

Archaeoparasitology

Egg extraction methods

RHM protocol

Quantification

ABSTRACT

In order to improve paleoparasitological analyses, we tested different acid (hydrochloric and hydrofluoric acids) and base (sodium hydroxide) combinations for parasite egg extraction in archaeological sediments. We used a method of egg counting to compare these results to those obtained with the standard paleoparasitological RHM extraction protocol (rehydration–homogenization–micro-sieving). Tests show that the use of hydrochloric acid results in a concentration of some taxa like *Ascaris* sp. or *Trichuris* sp. and an appreciable decrease in vegetal and mineral remains. However, tests also show that acid use systematically decreases parasite species identified, as compared to the standard RHM protocol. Base use yielded even more negative results with systematically lower biodiversity than with the standard protocol, probably due to chemical processes on chitin contained in the eggshell. These results suggest acids and sodium hydroxide should be used as little as possible during extraction due to the damages they cause to the eggs of some parasite species. The counting method was an efficient technique with which to demonstrate our results and could be used in future paleoparasitology studies.

© 2013 Elsevier Inc. All rights reserved.

1. Introduction

The study of ancient parasites, named paleoparasitology or archaeoparasitology, has been developing since the beginning of the 19th century when Sir Marc A. Ruffer recovered calcified eggs of *Schistosoma haematobium* in an Egyptian mummy dated to the 20th dynasty (Ruffer, 1910). Among the different possible parasite residues, the eggs of intestinal worms represent the major marker of pathogens. Several methods are used to extract parasite eggs from archaeological samples. Initially, these methods derived from medical coprology based on sedimentation, flotation or diphasic separation (Bailenger, 1982; Rousset et al., 1996; Le Bailly et al., 2003; Hidalgo Argüello, 2006; Shin et al., 2009). However, for paleoparasitology, these techniques require adaptations due to the taphonomic processes that sometimes modify the chemical or physical properties of the eggshell (alterations, internal or external mineralization) (Reinhard et al., 1986; Bouchet et al., 1996; Harter, 2003).

The principal extraction methods currently used in major paleoparasitology laboratories throughout the world derived from a rehydration technique elaborated by Callen and Cameron (1960) while working on coprolites to study food remains, parasite eggs

and foreign bodies (Callen and Cameron, 1960). In American laboratories for example, coprolites are rehydrated for 48 h in a solution composed of 0.5% aqueous trisodium phosphate and then screened through a 300 µm mesh. After concentration by centrifugation, microscopic elements are then examined under the microscope (Reinhard and Urban, 2003; Araújo et al., 2011).

In our laboratory at the University of Franche-Comte (Besancon), a 3-step extraction protocol is used, called the RHM protocol, i.e., rehydration–homogenization–micro-sieving. This protocol was developed by Bouchet et al. (2001) and initially used at the paleoparasitology laboratory of Reims Champagne-Ardenne University. Rehydration is conducted with a trisodic phosphate and glycerol solution. Then homogenization is carried out using a mortar and ultrasonic bath¹. Extraction is finalized by filtration through a micro-sieve column (Le Bailly, 2011).

Unlike flotation techniques, these micro-sieving methods are aimed at recovering all type of eggs, with no selection, but they also concentrate all the other elements present in the initial sample like pollen, fungi, charcoal and wood, diatoms, insect remains, minerals, etc.

Sometimes, these elements, principally mineral particles and plant fragments, are present in abundance, and they may interfere with egg observation even if they can be interesting as environmental proxies. This raises the question of the possibility of

* Corresponding author. Tel.: +33 3 81 66 57 25.

E-mail addresses: benjamin.dufour@univ-fcomte.fr (B. Dufour), matthieu.lebailly@univ-fcomte.fr (M. Le Bailly).

¹ Only for 1 min so as not to destroy remaining eggs.

eliminating, or at least decreasing these non-parasitic elements, in order to make the preparation clearer and easier to read under light microscopy, without altering parasite biodiversity and/or concentration.

Among the non-parasitic elements, pollen grains are often observed in slides with parasite eggs. Conversely, palynologists often observe parasite eggs in their preparations. During pollen extraction, organic matter from plants and minerals are eliminated by the use of acids (hydrochloric and hydrofluoric acids) and bases (sodium or potassium hydroxides). In this work we tested different acid and base combinations in order to eliminate non-parasitic elements and to improve the identification of parasite remain.

2. Materials and methods

In order to determine the effect of these combinations on parasite egg extraction, all results were then compared to the results obtained with our laboratory standard RHM protocol. For egg numeration, a method used in parasitology was selected rather than the *Lycopodium* spore² method. Biodiversity and egg numeration were compared for all combinations.

These different combinations were tested on a single sample dated to 600–800 AD extracted from a well from the archaeological site of Mas de Vignoles (near the town of Nîmes, France) (archaeologists' pers. comm.). This previously studied sample contained parasite eggs from many different taxa as well as many non-parasitic elements.

Three different solutions (acid or base) were tested and used as recommended for palynology extractions.

2.1. Sodium hydroxide

25 ml of a 10% NaOH solution were added to the sample, homogenized and placed in a water bath at 80 °C for 1 h. After this time, the sample was centrifuged, the supernatant eliminated and 35 ml of ultrapure water (Millipore, Direct Q5 system) were added to rinse it. The sample was centrifuged and the supernatant eliminated a second time. Rinsing was repeated until the supernatant was clear in order to return the sample pH to near neutral and make it safer to handle.

2.2. Hydrochloric acid

First, 25 ml of 36% HCl were progressively added to the sample. When there was no further reaction, the sample was centrifuged and the supernatant eliminated. Then 35 ml of ultrapure water was added to rinse it. The sample was centrifuged and the supernatant eliminated a second time. Rinsing was repeated until the supernatant was clear in order to return the sample pH to near neutral and make it safer to handle.

2.3. Hydrofluoric acid³

First, 20 ml of 40% HF were progressively added to the sample. The sample was then left to sit for 24 h. The next morning, 15 ml of ultrapure water was added and the sample was agitated. The supernatant was then eliminated before adding 20 ml of 36% HCl. After homogenization, the sample was placed in a water bath at 80 °C for 45 min. The sample was then left to cool at room temperature. After

homogenization and centrifugation, the supernatant was eliminated and 35 ml of ultrapure water added to rinse it. The sample was centrifuged and the supernatant eliminated one more time. Rinsing was repeated until the supernatant was clear in order to return the sample pH to near neutral and make it safer to handle.

These acid and base solutions were used in eight different combinations as follows: 1, Only NaOH; 2, Only HCl; 3, NaOH and HCl; 4, NaOH, HCl and HF; 5, HCl and NaOH; 6, HCl and HF; 7, HCl, NaOH and HF; and 8, HCl, HF and NaOH.

2.4. Extraction processes

The following extraction process was used:

1. 5 g of the sample were weighed and strained with 10 ml of ultrapure water through a 200 µm mesh to eliminate large particles.
2. After centrifugation of the sample and supernatant elimination, the eight different acid and base combinations described above were applied.
3. After the final centrifugation and supernatant elimination, 1 ml of 10% formalin solution and 4 ml of ultrapure water were added.
4. Finally 20 slides (22 mm × 22 mm) of 15 µl (total 300 µl) of the sample were examined under optical microscope after vortex homogenization.

The standard RHM protocol used in paleoparasitology at the Besançon laboratory was also tested:

1. A 5 g sample was rehydrated for 10 days in a 50 ml solution composed of 0.5% aqueous trisodium phosphate and a 50 ml solution composed of 5% glycerinated solution was added. Several drops equivalent to 1 ml of 10% formalin solution were added to avoid fungi or algae development.
2. The material was crushed in a mortar. The suspension was treated in an ultrasonic device for 1 min (50/60 Hz) and strained through 315 µm, 160 µm, 50 µm, and 25 µm meshes under a constant flux of ultrapure water. The last two screenings were placed in a tube and after centrifugation and supernatant elimination, 1 ml of 10% formalin solution and 4 ml of ultrapure water were added to each tube.
3. Finally 20 slides (22 mm × 22 mm) of 15 µl (total 300 µl) of the sample were examined under optical microscope after vortex homogenization.

In order to compare each method accurately, it was imperative to count the number of parasite eggs. For parasite egg quantification, the Stoll egg counting technique used in parasitology (Bailenger, 1982; Ayres and Mara, 1997) and the Jones' modified Stoll's technique in paleoparasitology (Jones, 1985; Fugassa et al., 2006) were adapted. The number of eggs is yielded by the expression:

$$EPG = \frac{E_{VR} \times V_T}{V_R \times W_D}$$

In which EPG = egg number per gram, E_{VR} = egg number counted in the volume read of the solution, V_T = total volume of solution (ml), V_R = volume read of the solution (ml), and W_D = sample dry-weight (g).

Five grams of rough sample were also left to dry at room temperature to obtain sediment dry-weight. In the standard method, 5 g of the sample were treated. At the end of each method 5 ml of liquid (1 ml of 10% formalin solution and 4 ml of ultrapure water) were added to the tubes. Lastly, the final sediment volume was measured in each tube and 300 µl (20 slides 22 mm × 22 mm of 15 µl) of each homogenized sample were read. Thus, in each tube there was a constant sample dry-weight and a constant read volume. The

² In palynology, *Lycopodium* spore tablets are used to evaluate pollen grain concentrations (Stockmarr, 1971). Paleoparasitologists sometimes used *Lycopodium* spore tablets in their preparations (Warnock and Reinhard, 1992; Sianto et al., 2005; Reinhard et al., 2008).

³ Hydrofluoric acid is hazardous and should be handled with extreme care.

Table 1

Parasite eggs number per gram of dry rough sample and biodiversity variation for each combination and RHM protocol (numbers in bold correspond to the highest count for each taxa).

Method	<i>Ascaris</i> sp.	<i>Trichuris</i> sp.	<i>Capillaria</i> sp. hepatica type	<i>Capillaria</i> sp. reticulated type	<i>Dicrocoelium</i> sp.	<i>Fasciola</i> sp.	<i>Paramphistomum</i> sp.	Total taxa
1	350.40	87.60	–	–	–	–	–	2
2	632.80	994.40	–	180.80	180.80	271.20	271.20	6
3	242.80	566.53	–	80.93	–	–	–	3
4	555.73	–	–	–	–	–	–	1
5	–	222.80	–	–	–	–	–	1
6	1294.27	2284.00	–	685.20	–	76.13	–	4
7	69.47	69.47	–	69.47	–	–	–	3
8	–	69.47	–	–	–	–	–	1
RHM	621.47	618.67	68.53	137.07	69.47	277.87	277.87	7

treated sediment volume and the added 5 ml yield the total tube volume. The expression used here was:

$$EPG = \frac{E_{300} \times V_T}{0.3 \times W_D}$$

In which EPG = egg number per gram, E_{300} = egg number counted in the 300 μ l read of the homogenized sample, V_T = total tube volume (ml), and W_D = rough sample dry-weight (g).

3. Results

All methods (i.e. the standard RHM protocol and all tested combinations) were propitious to the observation of parasite eggs, but showed variations in biodiversity and egg counting. Table 1 shows parasite biodiversity and the number of eggs per gram of dry rough sample for each method. In total, seven taxa were identified: *Ascaris* sp.; *Trichuris* sp.; *Capillaria* sp. hepatica type; *Capillaria* sp. reticulated type; *Dicrocoelium* sp.; *Fasciola* sp.; *Paramphistomum* sp.

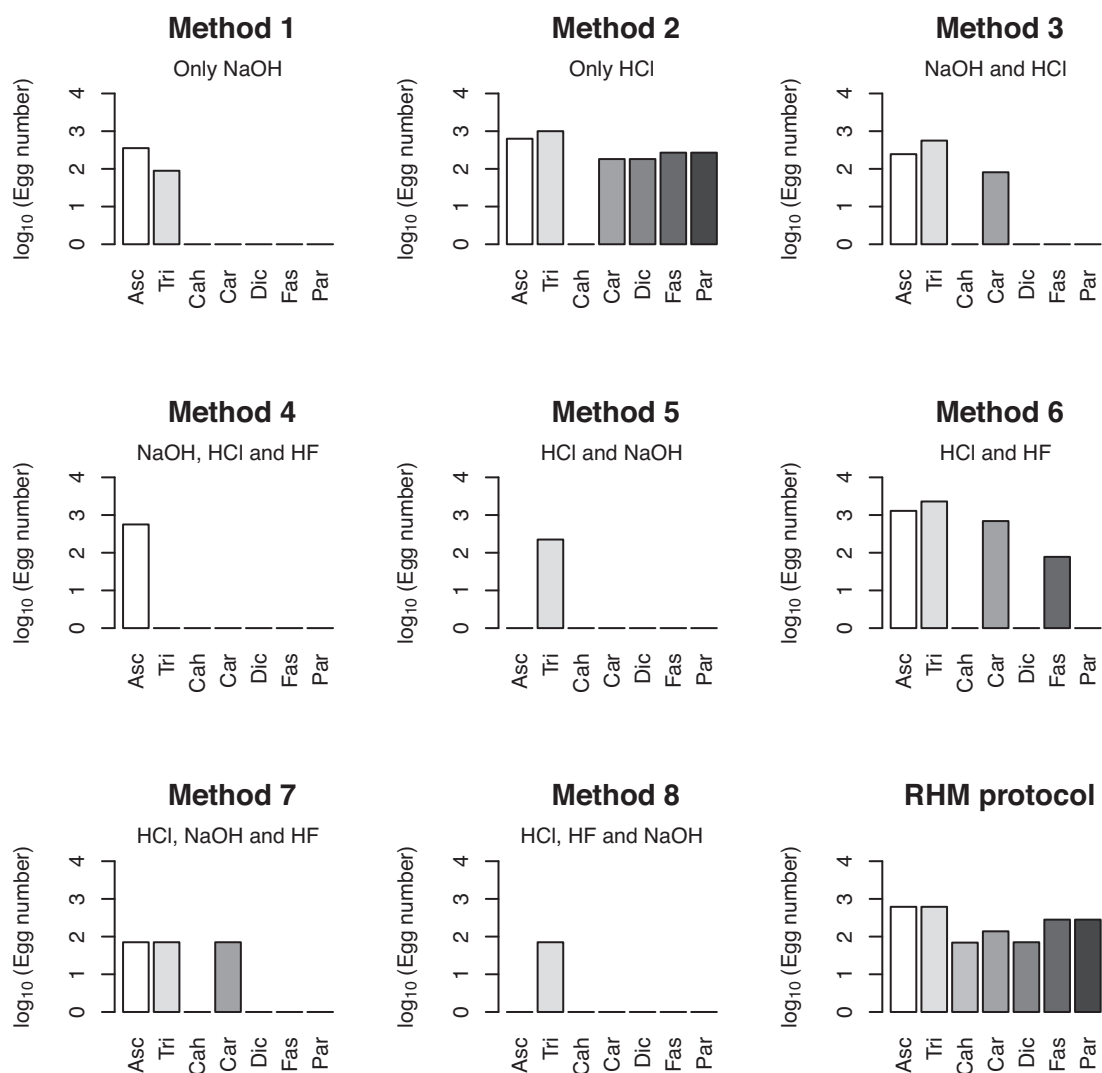


Fig. 1. Graphics of results for each combination and RHM method (\log_{10} of egg number per gram of dry rough sample). Asc = *Ascaris* sp., Tri = *Trichuris* sp., Cah = *Capillaria hepatica* sp. type, Car = *Capillaria* sp. reticulated type, Dic = *Dicrocoelium* sp., Fas = *Fasciola* sp., and Par = *Paramphistomum* sp.

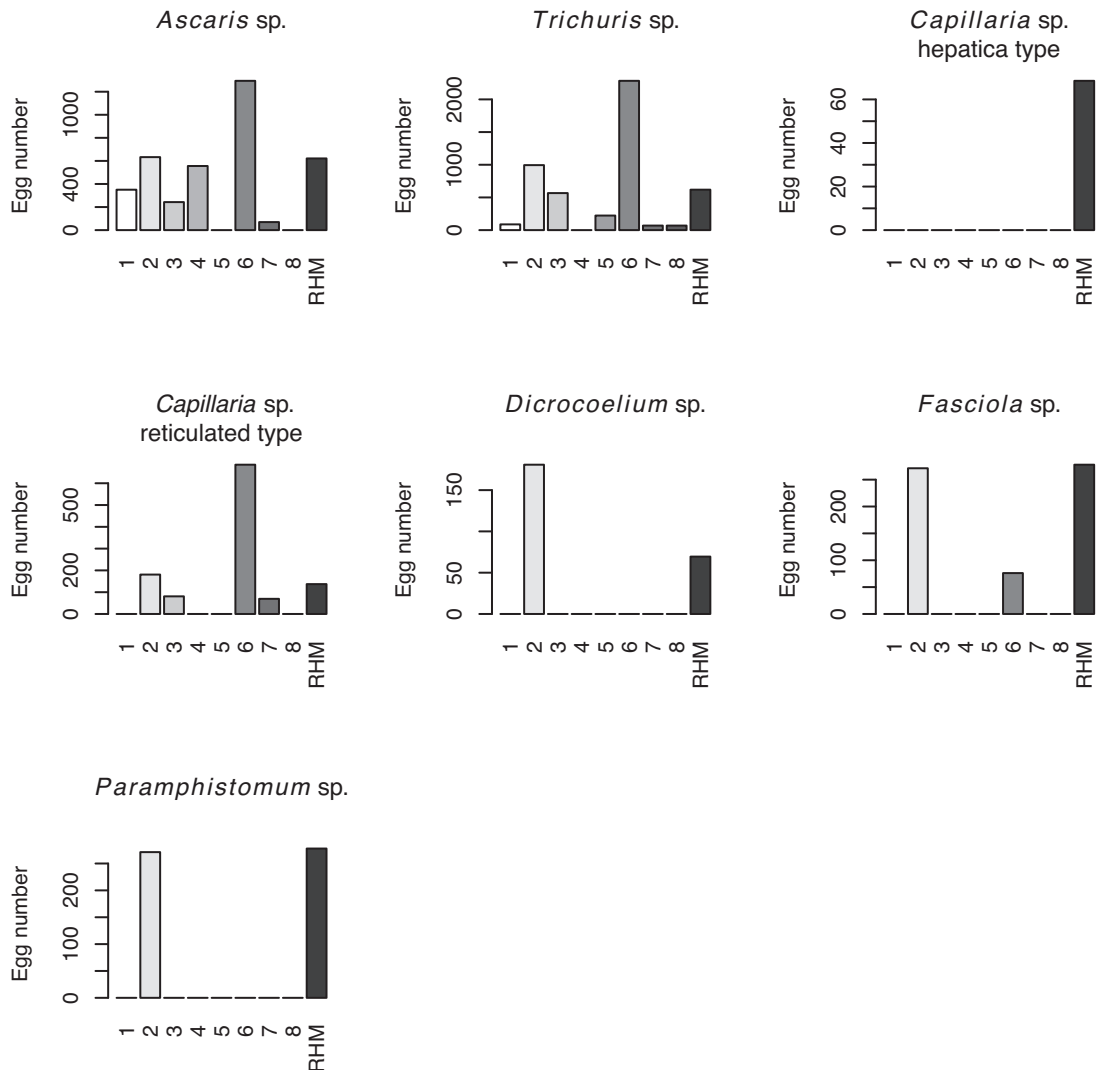


Fig. 2. Graphics of results for each taxa (\log_{10} of egg number per gram of dry rough sample). 1 = Method 1; 2 = Method 2; 3 = Method 3; 4 = Method 4; 5 = Method 5; 6 = Method 6; 7 = Method 7; 8 = Method 8; and RHM = RHM protocol.

First considering the biodiversity, the RHM protocol allows recovering the higher number of taxa (=7). It also was the sole method to allow the recovery of *Capillaria* sp. hepatica type eggs. It is followed by the second extraction method (=6), then the sixth method (=4). Methods 3 and 7 both yielded 3 taxa. Method 1 yielded 2 taxa. Finally, methods 4, 5 and 8 yielded only 1 taxon (Fig. 1). To be easier to read, and because counts were very different, values in Fig. 1 were transformed into common logarithm (\log_{10}).

For each taxon, egg number varies with extraction method. The sixth method yielded the higher counts for *Ascaris* sp., *Trichuris* sp. and *Capillaria* sp. reticulata type eggs. The RHM protocol yielded the higher counts for *Fasciola* sp. and *Paramphistomum* sp. eggs. Finally, the second method allowed recovering the higher number of *Dicrocoelium* sp. eggs. Fig. 2 shows egg number variation for each taxon and method. Finally, vegetal elements were smaller with methods using NaOH. Methods including HCl yielded fewer mineral particles, which were almost completely eliminated when HCl and HF were combined.

4. Discussion

Fig. 1 shows that the standard RHM protocol yielded maximum biodiversity. In comparison, two combinations gave a comparable result: combination 2 using only HCl (taxa=6), and combination 6

using HCl then HF (taxa=4). Combinations showing a biodiversity inferior to 4 taxa were not considered.

Methods combining NaOH (#1, #3, #4, #5, #7 and #8) yielded lower biodiversity than methods using acids. Even if less efficient than the RHM protocol, methods combining only acids gave good results in term of biodiversity. In method 6, the addition of hydrofluoric acid seems to affect eggs of *Paramphistomum* sp. and *Dicrocoelium* sp., but not those of *Fasciola* sp. This is unexpected because eggs of *Fasciola* sp. present similar characteristics to those of *Paramphistomum* sp.

When considering egg numbers (Fig. 2), combination 6 yielded the highest numbers for *Ascaris* sp., *Trichuris* sp. and *Capillaria* sp. reticulata type, followed by combination 2, then the RHM protocol. For *Dicrocoelium* sp., combination 2 gave a higher count than the RHM protocol. For *Fasciola* sp. and *Paramphistomum* sp., counts were nearly identical for the RHM protocol and combination 2. Finally, for *Capillaria* sp. hepatica type eggs, only the RHM protocol provided results.

Parasite eggshell is mainly composed of chitin (Wharton, 1980; Smyth, 1994). Chemical analyses of chitin show that both acids and bases affect this component and modify its structure. It thus appears that parasite eggs could be dissolved with some of methods tested here. In particular, in the presence of NaOH, chitin is deacetylated and transformed into chitosan, a compound soluble

in acidic aqueous solutions (Rouget, 1859; Lertsutthiwong et al., 2002). Although the use of NaOH is beneficial for extracting plant elements, this chemical reagent cannot be used to extract parasite eggs as it clearly destroys them.

5. Conclusion

Firstly, these tests indicate that NaOH damages parasite eggs. By using HCl or HF, biodiversity and parasite egg counts are not as good as those obtained with non-aggressive methods like the RHM protocol. Therefore methods derived from palynology cannot be reliably used to extract parasite eggs. Results indicate that the standard RHM protocol used at Besancon laboratory is a better compromise between parasite diversity and egg concentration, compared to the acid and base combinations tested here.

Given that HCl and HF yield the next best results after the RHM protocol, other tests could be conducted using these acids in order to gain a more accurate understanding of their effect on ancient parasite eggs. Concentrations and reactions times could be modified and lead to a balance between biodiversity, egg count and non-parasitic element diminution. Perhaps it could also be possible to determine whether the number of parasite eggs is higher or not with HF and to explain why.

The quantification method used here to compare all results seemed to function correctly. The simplicity of this method means it could easily be extended across paleoparasitological studies. This quantification method will now be added to our laboratory analyses and will allow for a better comparison of results site by site, but also sample by sample, and thereby improve statistical tests (Fugassa et al., 2006, 2008).

This paper presents one of the first comparative studies on extraction methods in paleoparasitology. These tests now should be conducted on other samples for comparison and evaluation of the statistical variability of the results, but also the real effects of acids–bases combinations on eggshells.

References

- Araújo, A., Reinhard, K., Leles, D., Sianto, L., Iñiguez, A., Fugassa, M., Arriaza, B., Orellana, N., Ferreira, L.F., 2011. *Paleoepidemiology of intestinal parasites and lice in Pre-columbian South America*. *Chungara* 43 (2), 303–313.
- Ayres, R.M., Mara, D.D., 1997. *Analyse des eaux résiduaires en vue de leur recyclage en agriculture – Manuel des techniques de laboratoire en parasitologie et bactériologie*. Organisation mondiale de la Santé, Genève.
- Bailenger, J., 1982. *Coprologie parasitaire et fonctionnelle*. Impr. E. Drouillard, Bordeaux.
- Bouchet, F., Baffier, D., Girard, M., Morel, P., Paicheler, J.-C., David, F., 1996. *Paléoparasitologie en contexte pléistocène: premières observations à la Grande Grotte d'Arcy-sur-Cure (Yonne), France*. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris* 319, 147–151.
- Bouchet, F., West, D., Lefèvre, C., Corbett, D., 2001. *Identification of parasitoses in a child burial from Adak Island (Central Aleutian Islands, Alaska)*. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris* 324, 123–127.
- Callen, E.O., Cameron, T.W.M., 1960. *A prehistoric diet revealed in coprolites*. *New Scientist* 8, 35–40.
- Fugassa, M.H., Araújo, A., Guichón, R.A., 2006. *Quantitative paleoparasitology applied to archaeological sediments*. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 101 (Suppl. II), 29–33.
- Fugassa, M.H., Taglioretti, V., Gonçalves, M.L.C., Araújo, A., Sardella, N.H., Denegri, G.M., 2008. *Capillaria spp. eggs in Patagonian archaeological sites: statistical analysis of morphometric data*. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz* 103 (1), 104–105.
- Harter, S., 2003. *Implications de la paléoparasitologie dans l'étude des populations anciennes de la vallée du Nil et du Proche-Orient: études de cas*. PhD Thesis. University of Reims Champagne Ardenne, Reims.
- Hidalgo Argüello, M.R., 2006. *New paleoparasitological techniques*. *Journal of Archaeological Science* 33, 372–377.
- Jones, A.K.G., 1985. *Trichurid ova in archaeological deposits: their value as indicators of ancient faeces*. In: Fieller, R.J., Gilbertson, D.D., Ralph, N.G.A. (Eds.), *Paleobiological Investigations: Research Design, Methods and Data Analysis*. Symposia of the Association for Environmental Archaeology no. 5b, BAR International Series 266, Hoxton, pp. 105–119.
- Le Bailly, M., 2011. *Les parasites dans les lacs nord alpins au Néolithique (3900–2900 BC) et nouvelles données dans la détection des paléoantigènes de Protozoa*. Editions Universitaires Europeennes ed., Sarrebrück.
- Le Bailly, M., Harter, S., Bouchet, F., 2003. *La paléoparasitologie, à l'interface de l'archéologie et de la biologie*. *Archéopages* 11, 12–17.
- Lertsutthiwong, P., How, N.C., Chandrakachang, S., Stevens, W.F., 2002. *Effect of chemical treatment on the characteristics of shrimp chitosan*. *Journal of the Minerals Metals & Materials Society* 12 (1), 11–18.
- Reinhard, K., Urban, O., 2003. *Diagnosing ancient diphyllorhynchiasis from chinchorro mummies*. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz* 98 (Suppl. I), 191–193.
- Reinhard, K.J., Araújo, A., Sianto, L., Costello, J.G., Swope, K., 2008. *Chinese liver flukes in latrine sediments from Wong Nim's property, San Bernardino, California: archaeoparasitology of the caltrans district headquarters*. *Journal of Parasitology* 94 (1), 300–303.
- Reinhard, K.J., Confalonieri, U.E., Herrmann, B., Ferreira, L.F., Araújo, A.J.G.de., 1986. *Recovery of parasite remains from coprolites and latrines: aspects of paleoparasitological technique*. *HOMO Band* 37, 217–239, Heft 4.
- Rouget, C., 1859. *Des substances amyloïdes dans le tissu des animaux, spécialement les articules (chitine)*. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 48, 792–795.
- Rousset, J.-J., Heron, C., Metrot, P., 1996. *Helminthoses humaines chez les Gaulois*. *Histoire des Sciences médicales XXX* (1), 41–46.
- Ruffer, M.A., 1910. *Note on the presence of Bilharzia haematobium in Egyptian mummies of the twentieth dynasty (1250–1000 BC)*. *British Medical Journal* 1, 16.
- Shin, H.D., Oh, C.S., Chung, T., Su Yi, Y.S., Chai, C.J., Seo, M., 2009. *Detection of parasite eggs from a moat encircling the royal palace of Silla, the ancient Korean Kingdom*. *Journal of Archaeological Science* 36, 2534–2539.
- Sianto, L., Reinhard, K.J., Chame, M., Chaves, S., Mendonça, S., Gonçalves, M.L.C., Fernandes, A., Ferreira, L.F., Araújo, A., 2005. *The finding of Echinostoma (Trematoda: Digenea) and Hookworm eggs in coprolites collected from a Brazilian Mummified body dated 600–1,200 years before present*. *Journal of Parasitology* 91 (4), 972–975.
- Smyth, J.D., 1994. *Introduction to Animal Parasitology*, third ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Stockmarr, J., 1971. *Tablets with spores used in absolute pollen analysis*. *Pollen et Spores* 13 (4), 615–621.
- Warnock, P.J., Reinhard, K.J., 1992. *Methods for extracting pollen and parasite eggs from latrine soils*. *Journal of Archaeological Science* 19, 261–264.
- Wharton, D., 1980. *Nematode egg-shells*. *Parasitology* 81, 447–463.



Review

The horse pinworm (*Oxyuris equi*) in archaeology during the Holocene: Review of past records and new data

Benjamin Dufour^{a,*}, Jean-Pierre Hugot^b, Sébastien Lepetz^c, Matthieu Le Bailly^{a,*}^a University of Franche-Comte, CNRS UMR 6249 Chrono-Environnement, 16, Route de Gray, 25030 Besancon cedex, France^b CNRS, UMR 7205, Institut de Systématique, Evolution, Biodiversité, Muséum national d'Histoire naturelle, 55 rue Buffon, 75005 Paris, France^c CNRS, UMR 7209, Archéozoologie, Archéobotanique: Sociétés, Pratiques et Environnements, Muséum national d'Histoire naturelle, 55 rue Buffon, 75005 Paris, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 3 February 2015

Received in revised form 17 March 2015

Accepted 14 April 2015

Available online 23 April 2015

Keywords:

Paleoparasitology

Horse pinworm

Oxyuris equi

Equids

Horses

Holocene

ABSTRACT

This paper focuses on the horse pinworm, *Oxyuris equi*, in archaeology during the Holocene period, and presents an overview of past published occurrences, early mentions in texts, and new data from our paleoparasitology research. This original compilation shows that the most ancient record of the horse pinworm dates to ca. 2500 years before present (ybp) in Central Asia and to ca. 2020 ybp in Western Europe. It also shows that the parasite is not detected on the American continent until contemporary periods. The role of European migrations from 1492 (Christopher Columbus) is discussed to explain the transfer of the horse pinworm from the Old World to the Americas. The absence of any record of this parasite before ca. 2500 ybp in Eurasia could be explained by parasite ecology, unfavorable sampling and scarcity of horse archeological remains. For the Americas, the absence of horse for long periods can be an additional explanation for the absence of the parasite.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

Contents

1. Introduction	78
2. Materials and methods	78
2.1. The horse pinworm: <i>O. equi</i> (Nematoda, Ascarida, Oxyuroidea, Oxyuridae)	78
2.2. Data acquisition and treatment	80
3. Results	80
3.1. Review of published paleoparasitological data	80
3.1.1. Middle East and central Asian antiquity	80
3.1.2. European Antiquity (ca. 2050–1474 ybp)	80
3.1.3. Middle Ages (1474 to ca. 450 ybp)	80
3.1.4. Modern period (ca. 450–150 ybp)	81
3.1.5. Contemporary period (150–50 ybp)	81
3.2. The horse pinworm in ancient texts	81
3.3. New paleoparasitological data	81
4. Discussion: toward a history of the horse pinworm	81
5. Conclusion	82
Acknowledgments	82
References	82

* Corresponding authors. Tel.: +33 (0)3 81 66 57 25.

E-mail addresses: benjamin.dufour@univ-fcomte.fr (B. Dufour), matthieu.lebailly@univ-fcomte.fr (M. Le Bailly).

1. Introduction

Paleoparasitology, also called archaeoparasitology, studies ancient parasites from human and animal archaeological or paleontological remains (Reinhard, 1990). Since the recovery of *Schistosoma haematobium* in Egyptian mummies by Ruffer (1910), many archaeological remains have been studied worldwide. During the past two decades several data overviews have been published (Goncalves et al., 2003), some of which focus on a region (Bouchet et al., 2003; Nezamabadi et al., 2011), and some of which deal with single human parasites or diseases (Araujo and Ferreira, 1995, 1997; Araujo et al., 2009; Le Bailly and Bouchet, 2006, 2013). Although few studies were recently published (Beltrame et al., 2013; Sianto et al., 2014), data on animal pathogens are less frequent and often integrated in archaeological site monographs. As a consequence, syntheses dealing with animal diseases are scarce (Jones et al., 1988; Le Bailly and Bouchet, 2010; Sianto et al., 2009).

Among the animal gastro-intestinal parasites that can be recovered in ancient contexts, the horse pinworm, *Oxyuris equi*, is of particular interest, for two major reasons. Firstly, due to its specific links with equids, including horses, donkeys and their hybrids, and secondly because it is one of the rare parasites that can be identified at the species level in archaeological samples owing to its egg characteristics, thereby highlighting the presence of equids at a site.

2. Materials and methods

2.1. The horse pinworm: *O. equi* (Nematoda, Ascarida, Oxyuroidea, Oxyuridae)

The horse pinworm was first described by Schrank in 1788 as *Trichocephalus equi*. In 1809, Rudolphi created the genus *Oxyuris* for a horse pinworm, which he called *Oxyuris curvula*. *O. curvula* proved to be identical to the nematode previously described by Schrank, and, based on the rule of priority, was renamed *O. equi* (Schrank, 1788) by Blanchard (1849). Later, several parasite species closely related to *O. equi* were described from equid hosts. Von

Linstow (1901) described *O. tenuicauda* from a zebra (*Equus quagga*) in Uganda, and *O. poculum* (1904), from ponies in Ceylon, both of which were later recognized to be identical to *O. equi* by Theiler (1923) and Baylis (1936, 1939). Mönnig (1927) recorded a parasite identified as *O. equi* in *Rhinoceros bicornis* in Zululand, without giving description of the specimens. Later, Baylis (1939) described *Oxyuris karamoja*, a species differing in several respects from *O. equi*, in *R. bicornis* in Uganda. According to him, the parasite previously identified as *O. equi* by Mönnig (1927) in rhinoceroses corresponded to *O. karamoja*.

O. equi presents a direct life cycle. The adult stages live in the large intestine (caecum, colon) of the host. After fertilization, the gravid females migrate to the anus, extrude their anterior end, and attach their eggs in a sticky fluid to the skin of the anal and perianal regions causing irritation and intense pruritus (Taylor et al., 2007). Equid infection occurs through the ingestion of embryonated eggs. Interindividual transmission of the parasite may be favored when horses stand head to toe during allogrooming episodes. Frequently during such a session, one animal lays its jaw on the rump of the other; they mutually fan waving their mane and sometimes lick each other. Eggs may also fall to the ground, infect animal food or water, and pollute the environment. Infective larvae are liberated in intestines where they become adult. Horse pinworm parasitism is of limited to no pathogenic significance but perineal irritation makes infected equids rub their rear region on stable fittings or other solid objects, which causes scratches, inflammation, wounds and results in a loss of condition and a “rat-tail” appearance. Occasionally, wounds of the perineal area may degenerate into peritonitis.

Currently, *O. equi* is present worldwide (Kaufmann, 1996; Rauzy, 2001; Soulsby, 1982) and may be hosted by horses or donkeys. Eggs of this parasite are ovoid and slightly asymmetrical, measuring 74–99 µm in length, and 38–45 µm in width. Side-walls are dissimilar and one is somewhat flattened. The thick eggshell has a smooth surface and is interrupted by a transparent polar plug at one pole (Baylis, 1936; Kassai, 1999). These egg characteristics (shape, morphology and size) make it one of the few eggs that can be identified at the species level under microscopy (Fig. 1).

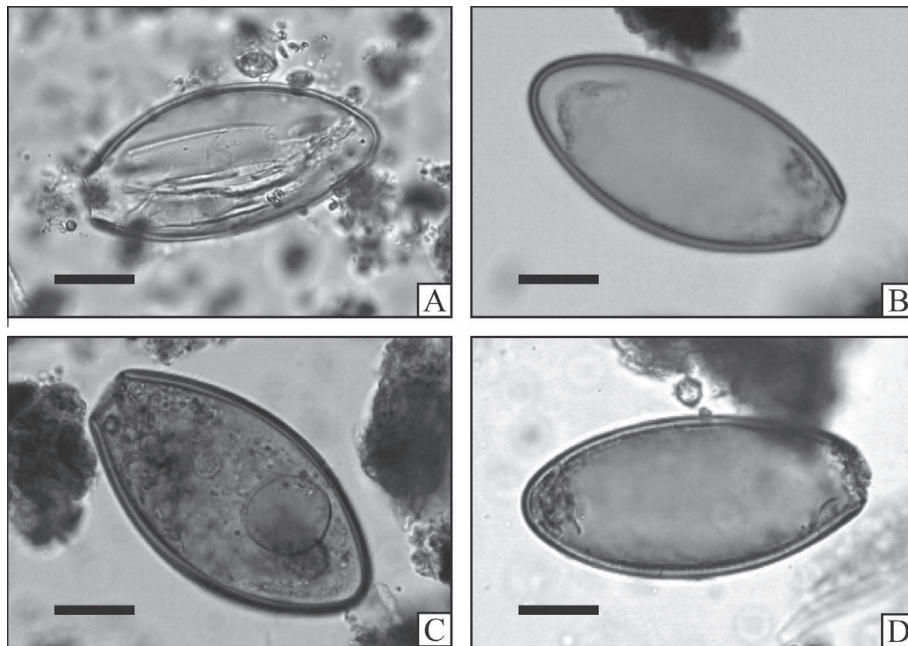


Fig. 1. (A) *O. equi* egg, 75.74 µm × 37.35 µm, from Chehrabad salt mine (ca. 2500–2280 ybp, Iran). (B) *O. equi* egg, 84.42 µm × 42.33 µm, from Horbourg-Wihr, Kreuzfeld (1787 ybp, France). (C) *O. equi* egg, 83.03 µm × 45.73 µm, from Bourges, ZAC Avaricum (750–650 ybp, France). (D) *O. equi* egg, 87.79 µm × 40.89 µm, from Brouage, Maison Champlain (400–350 ybp, France). Scale bars, 20 µm.

Table 1
Synopsis of published (regular lines) and new data (bold lines) concerning *Oxyuris equi* eggs.

Site names	Countries	Datations/periods ^a	Sample natures ^b	Origin structure ^b	Nb. positive samples ^b	Egg quantity by sample (min–max) ^b	Data origin/references
Djomboulak Koum, Taklamakan Désert Chehrabad salt mine	China	ca. 2500 ybp	S	NA	1	1	Laboratory analysis
	Iran	Achaemenid period, ca. 2500–2280 ybp	S	Occupation layers	2	1	Nezamabadi (2014), Nezamabadi et al. (2013)
Scythian kurgan of Berel'	Kazakhstan	2243–2244 ybp	DC	Multiple tomb	6	2–31	Le Bailly et al. (2008), Lepetz (2013); laboratory analysis
Fontaine la Guyon, Les Deserts	France	ca. 2020 ybp, La Tene D1–D2 transition	S	Pool	1	1	Laboratory analysis
Terp of Feddersen wierde	Germany	Roman period, 2050–1450 ybp	NA	NA	NA	NA	Jansen and Over (1962)
Marseille, 23 Quai de Rive Neuve	France	1977–1936 ybp	S	Filling of a fairway	1	NA	Harter-Lailheugue (2006)
Troyes, Place de la libération	France	1960–1920 ybp	S	Pits	2	1	Le Bailly and Bouchet (2011); laboratory analysis
Reims, ZAC du Vieux Port	France	1955/1951–1935/1930 ybp	S	NA	2	1–3	Laboratory analysis
Beauvais, Place du Jeu de Paume	France	ca. 1950–1900 ybp	C	Latrines	2	1	Laboratory analysis
Roman army-camp of Valkenburg on Rhine	Holland	ca. 1905–1903 ybp	NA	NA	NA	NA	Jansen and Over (1966)
Carlisle, Annetwell Street	UK	ca. 1870–1860 ybp	S	Occupation layers	NA	NA	Caruana (1990), Jones et al. (1988)
Namur, Place d'Armes	Belgium	1850–1650 ybp	S	Well	1	NA	Da Rocha et al. (2006)
Carlisle, Castle Street	UK	ca. 1845 ybp	S	Occupation layers	1	2	Kenward et al. (1991)
Carlisle, Keay's and Law's Lanes	UK	1800–1750 ybp	S	Pit	1	1	Kenward et al. (1998)
York, 24–30 Tanner Row	UK	1800–1750 ybp	S	Occupation layer	1	1	Hall and Kenward (1990)
Horbourg-Wihr, Kreuzfeld	France	1787 ybp	S	Pit	1	2	Dufour et al. (2012); laboratory analysis
Chehrabad salt mine	Iran	Sassanid period, ca. 1394–1304 ybp	S	Occupation layers	1	1	Nezamabadi (2014), Nezamabadi et al. (2013)
Rath of Deer Park Farms	Ireland	1350–1150 ybp	S	Occupation layers	4	1–15	Allison et al. (1999a, b)
Charavines, site de Colletière	France	950–850 ybp	S	Occupation layer	NA	2	Bouchet and Bentrad (1997), Bouchet et al. (2000)
Troyes, Hotel du département	France	850–650 ybp	S	NA	4	1–6	Laboratory analysis
Bourges, ZAC Avaricum	France	750–650 ybp	S	Pit and occupation layer	2	1	Laboratory analysis
Namur, Place d'Armes	Belgium	650–450 ybp	S	Barrel	1	NA	Da Rocha et al. (2006)
Riga, 13 Audeju Street and 33 Kalēju Street	Latvia	ca. 600 ybp	S	Latrines	1	2	Yeh et al. (2014)
Brouage, Maison Champplain	France	400–350 ybp	S	Pool	4	1	Laboratory analysis
Lyon, Place des Terreaux	France	400–350 ybp	S	Filling of a ditch	1	1	Jeanmaire-Hirardot (1993)
Lowell, the Boott Mills	USA	150–50 ybp	S	Latrines	1	1	Reinhard (1989)
Boardinghouse site							
Albany Maiden Lane Pedestrian Bridge	USA	150–50 ybp	S	Stone culvert	1	NA	Fisher et al. (2007)

^a ybp, years before present (i.e. before 1950);

^b C, coprolites; DC, digestive content; NA, not available; S, sediment.



Fig. 2. Location of sites with *Oxyuris equi* eggs on world map (A: Djumboulak Koum, Taklamakan Desert; B: Chehrabad salt mine; C: Scythian kurgan of Berel'; D: Fontaine la Guyon, Les Déserts; E: Marseille, 23 Quai de Rive Neuve; F: Troyes, Place de la libération – Hotel du département; G: Reims, ZAC du Vieux Port; H: Roman army-camp of Valkenburg on Rhine; I: Beauvais, Place du Jeu de Paume; J: Carlisle, Annetwell Street – Castle Street – Keay's and Law's Lanes; K: Horbourg-Wihr, Kreuzfeld; L: York, 24–30 Tanner Row; M: Namur, Place d'Armes; N: Terp of Feddersen wierde; O: Rath of Deer Park Farms; P: Charavines, site de Colletière; Q: Bourges, ZAC Avaricum; R: Riga, 13 Audēju Street and 33 Kalēju Street; S: Brouage, Maison Champlain; T: Lyon, Place des Terreaux; U: Lowell, the Boott Mills Boardinghouse site; V: Albany, Maiden Lane Pedestrian Bridge).

2.2. Data acquisition and treatment

Here we present a compilation of all available published data on ancient horse pinworm, compiled with new and unpublished data from our laboratory, specialized in the study of ancient digestive parasites. Published data correspond to journal articles, technical reports, books and PhD Theses. Ancient texts from Antiquity and Modern period provided complementary information about horse pinworm and oxyuriasis. New data correspond to observations under light microscopy of horse pinworm eggs from archaeological samples after extraction. Sample preparations were all performed using the RHM (Rehydration-Homogenization-Microsieving) standard protocol used in our laboratory (Dufour and Le Bailly, 2013).

3. Results

3.1. Review of published paleoparasitological data

O. equi eggs are mentioned in eighteen archaeological sites and are attested from Central Asia to north America, from ca. 2500–50 years before present (ybp) (Table 1 and Fig. 2). Occurrences of this parasite are classified below by periods.

3.1.1. Middle East and central Asian antiquity

For the time being, the oldest recovery of this parasite in the world results from a recent study published by Nezamabadi et al. (2013). Sediment and coprolites samples extract from a salt mine situated in Chehrabad, Iran, and dated to the Achaemenid period between ca. 2500–2280 ybp showed the presence of *O. equi* eggs (Figs. 1A and 2B). The only other mention comes from a Scythian kurgan excavated in Berel', Kazakhstan, dated to 2–243–2–244 ybp (Fig. 2C) (Francfort and Lepetz, 2010). Le Bailly et al. found the parasite in digestive content samples extracted from horses buried with two human corpses (Le Bailly et al., 2008; Lepetz, 2013).

3.1.2. European Antiquity (ca. 2050–1474 ybp)

The observations of the parasite are much more abundant on sites dating back to Antiquity (10 out of 18 sites), including the very first mention of the horse pinworm in archaeology by Jansen and Over (1962), in samples extracted from the “terp” (refuge mound) of Feddersen Wierde in northwest Germany, with dates spanning the entire period (Fig. 2N).

More precisely, four sites spanning the period between 2050 and 1850 ybp tested positive for the horse pinworm. Harter-Lailheugue (2006) identified this parasite in a sample from the filling of an Augustan period fairway recovered in the site of “23 Quai de Rive Neuve”, in Marseille, France, and dated to 1977–1936 ybp (Fig. 2E). Le Bailly and Bouchet (2011) mentioned it in the filling of two pits dated to 1960–1920 ybp in the site of “Place de la Libération” in Troyes, France (Fig. 2F). Jansen and Over (1966) found *O. equi* eggs in samples dated to ca. 1905–1903 ybp from a Roman army-camp in Valkenburg on Rhine, Holland (Fig. 2H). Jones et al. (1988) attested its presence in levels from a small shed-like building of a Roman fort dated to ca. 1870–1860 ybp, in the site of Annetwell Street in Carlisle, UK (Fig. 2J) (Caruana, 1990).

Between the 1850 and 1650 ybp, five occurrences are known. In the city of Carlisle, UK, Kenward and collaborators studied two different sites. Eggs of *O. equi* were identified in soil deposits from the site of Castle Street dated to around 1845 ybp (Kenward et al., 1991) and in one pit sediment sample from the site of Keay's and Law's Lanes, dated between 1800 and 1750 ybp (Fig. 2J) (Kenward et al., 1998). Dufour et al. (2012) found horse pinworm in one sediment sample from the filling of a pit dated to 1787 ybp in the site of Kreuzfeld in Horbourg-Wihr, France (Figs. 1B and 2K). Hall and Kenward (1990) retrieved it from soil deposits dated between 1800 and 1750 ybp in the site of “24–30 Tanner Row” in York, UK (Fig. 2L). Finally, Da Rocha et al. (2006) identified *O. equi* eggs in one sediment sample from a well dated between 1850 and 1650 ybp from the site of “Place d'Armes” in Namur, Belgium (Fig. 2M).

3.1.3. Middle Ages (1474 to ca. 450 ybp)

Five archaeological sites from the Middle Ages tested positive for the presence of *O. equi*. Nezamabadi (2013) highlighted the parasite in one sediment sample dated to the Sassanid period between ca. 1394 and 1304 ybp from a salt mine situated in Chehrabad, Iran (Fig. 2B). Allison et al. (1999a, 1999b) found horse pinworm eggs in four samples dated between 1350 and 1150 ybp in the rath (circular or oval-shaped area enclosed by earthen banks and ditches) of Deer Park Farms in Northern Ireland (Fig. 2O). Bouchet and Bentrard (1997) indicated its presence in the site of Charavines, a temporary coastal settlement at Lake Paladru, Charavines, France, dated between 950 and 850 ybp (Fig. 2P) (Bouchet et al., 2000). Da Rocha et al. (2006) found it in a sample dated between 650 and

450 ybp from a barrel used as pit or latrine in the backyard of a dwelling from the site of “Place d’Armes” in Namur, Belgium (Fig. 2M). Recently Yeh et al. (2014) identified eggs in one sediment sample from the filling of latrines dated to ca. 600 ybp, in the site of “13 Audēju Street and 33 Kalēju Street” in Riga, Latvia (Fig. 2R).

3.1.4. Modern period (ca. 450–150 ybp)

For this period, the only observation is made by Jeanmaire-Hirardot (1993), who identified *O. equi* egg in the fill of a ditch at the site of “Place des Terreaux” in Lyon, France, dated between 450 and 350 ybp (Fig. 2T).

3.1.5. Contemporary period (150–50 ybp)

Only two mentions are known for the contemporary period. Reinhard (1989) found *O. equi* in a sample from latrine deposits from the Boott Mills Boardinghouse site in Lowell, Massachusetts, USA (Fig. 2U). Also, Fischer et al. (2007) identified horse pinworm in a sample extract in a stone culvert from the Maiden Lane Pedestrian Bridge in Albany, New York, USA (Fig. 2V). These two indications are the most recent records of *O. equi* and the only known records for the Americas.

3.2. The horse pinworm in ancient texts

During Antiquity, several authors wrote about horse diseases. However, few of them referred directly to oxyuriasis and *O. equi*. The Greek doctor Hippocrates (2380 ybp) was the first to record the horse pinworm (Sandison, 1967). This mention corresponds to the earliest occurrence in texts for this parasite and is contemporary to observations in Central Asia dated to ca. 2500 ybp. At the same period, regarding the choice of horses, Simon of Athens (2380 ybp) states that; “the tail should be carried high and be well clothed with long hair” (Smith, 1913). The second part; “be well clothed with long hair” could refer to the “rat-tail” appearance observed in modern horses parasitized by *O. equi*, and could be another hint at knowledge of horse pinworm during Antiquity.

For the Roman period, between 1850 and 1750 ybp, Claudius Galenus was the second to observe this parasite in horses (Sandison, 1967). Later, the veterinarians Claudius Hermerius (also called Chiron), between 1650 and 1550 ybp, then Publius Vegetius Renatus, between 1550 and 1450 ybp, described a characteristic symptom of oxyuriasis, indicating that horses rub their tail against walls. Claudius Hermerius also described the presence of red and round worms in the anal region of horses, which could refer to *O. equi* (Moulé, 1911; Roncalli, 2001).

During the modern period, in Italy, the physician Girolamo Gabucino in 1547 and Alessandro Benedetti in 1549 indicated the presence of oxyurids in horses. In 1561, the veterinarian Agostino Columbre also observed oxyurids around the anus of horses, and in 1598, Carlo Ruini noticed the presence of worms during horse necropsies, probably ascarids and oxyurids. Finally, in 1603, Phillip Scacco of Tagliacozzo described the clinical signs of oxyuriasis (Penso, 1981; Roncalli, 2001).

3.3. New paleoparasitological data

During our investigations in paleoparasitology, sixteen samples of sediments and coprolites collected from seven various archaeological sites revealed the presence of *O. equi* eggs, all studied in the Besancon laboratory and prepared following the RHM standard protocol (Rehydration-Homogenization-Micro-sieving) (Dufour and Le Bailly, 2013). These sites were dated from ca. 2500–350 ybp. They all are located in France, except the Djoumboulak Koum site, situated in the Chinese Taklamakan Desert in Xinjiang Province (Western China) (Fig. 2). All the results classified by periods are summarized in Table 1.

Despite the several occurrences cited above, the horse pinworm still remains a rare parasite in paleoparasitological analyses. For example, for Antiquity, only five sites (19.2%) out of the twenty-six studied during the last two decades in the Reims and Besancon laboratories revealed its presence. Moreover, in general, egg counts are not very high. For all the sites mentioned above, the number of *O. equi* eggs ranged between one and six, except for the sites of Berel' (31 eggs) and Deer Park Farms (15 eggs) (Table 1). At the site of Berel' for example, studied samples corresponding to horse intestinal contents and the high number of eggs could be due to the presence of *O. equi* adult gravid females in the remains. For the other sites, the low number of eggs could be due to parasite biology and the fact that the eggs are attached to the skin of the anal or perineal region and do not accumulate in faecal matter, which also explains why horse pinworm eggs are rarely found even in current coprological analyses (Kassai, 1999). The question of the taphonomy of the *O. equi* eggs cannot explain the scarcity of this parasite. According to the cited results, we can postulate that horse pinworm eggs resist well in comparison with other Oxyuridae. For example the human pinworm, *Enterobius vermicularis*, which presents almost the same egg deposition characteristics, has only rarely been identified in Eurasia during the Holocene (Bouchet et al., 2003).

4. Discussion: toward a history of the horse pinworm

Taking all these occurrences into consideration (both published and new data), the horse pinworm has been identified in twenty-five archaeological sites from eleven countries around the world. The majority of the mentions is localized in Western Europe in France, Belgium, Germany, Holland and the United Kingdom, and covers an extensive period ranging from 2050 to 350 ybp (Fig. 2 and Table 1). Despite the fact that many paleoparasitological studies were carried out in Africa, the Middle East, South-Eastern Asia, and the Americas, only a few occurrences of horse pinworm have been discovered.

The direct life-cycle, the biology and the high host-specificity of the parasite involve an interindividual transmission. Each individual is infected by his fellows and so from ancestors to closely related descendants. In a recent study, Hugot et al. (2014) identified an Oxyuridae egg in a coprolite associated with species of primitive proto-mammals of the Class Cynodontia. This recovery implies that oxyurids were associated with mammals for millions of years, and that equids may be parasitized by horse pinworm since their origins. Therefore, the absence of the horse pinworm in the parasitological assemblages before ca. 2020 BP raises questions to which the nature of the sites and the biological origin of the samples studied in paleoparasitological analyses may answer.

First is to note that a large majority of the sites studied in paleoparasitology correspond to archaeological sites, meaning that humans were present. In these conditions, the recovery of the horse pinworm disease is possible only when equids are present in these sites, because they were hunted and eaten, or domesticated by human.

For the horse pre-domestication period (before the end of the Neolithic), in Western Europe, the horse archeological remains quantity is generally not very high and indicate that horse was not hunted very much (Arbogast et al., 2002). It could explain the absence of *O. equi* in these sites. The Neolithic site of “Chalain 3” is an exception and contains a high number of horse remains. Zooarchaeological studies show that close to the site there were slaughter, body division, and consumption of horses (Arbogast et al., 2002). However, paleoparasitological analyses performed on this site by Dommelier-Espejo (2001) has not revealed the presence of the horse pinworm, while many other parasite taxa

were identified. However, in this case, samples studied were mainly composed of coprolites from carnivorous origin. Few samples taken from the occupation layers tested negative for *O. equi*.

Posterior to the end of Neolithic then during the Iron Age, the quantity of horse remains increases in zooarchaeological assemblages, due for example to hunting extension but also due to horse domestication (Arbogast et al., 2002). The earliest paleoparasitological recoveries of this parasite date from this period and are currently reported from the Old World, Central Asia, between ca. 2500 and 2250 ybp, in China (Djoumboulak Koum, Taklamakan Desert, Fig. 2A), Iran (Chehrabad salt mine, Fig. 2B) and Kazakhstan (Scythian kurgan of Berel', Fig. 2C). Studies of horse decorations from Berel' indicate a link with Achaemenid Persian, Chinese and Mongolian populations (Francfort and Lepetz, 2010; Francfort et al., 2000). The importation of Iranian horse breeds is also recorded in China throughout the Han dynasty during the following centuries (2156–1730 ybp) (Fèvre and Métaillé, 1993). The presence of *O. equi* in these three regions between ca. 2500 and 2250 ybp (Table 1 and Fig. 2A–C) could be an additional hint for highlighting this link and probable horse exchanges between Scythian, Chinese and Achaemenid populations at that time.

In Western Europe, the first mention of *O. equi* dates from ca. 2020 BP (La Tène D1–D2 transition) in France (Fontaine la Guyon "Les Déserts", Fig. 2D). Interestingly, before the Roman conquest, Gaulish had commercial exchanges with Romans who had themselves links with populations from Central Asia to China. As an example, ancient Greek and Roman texts indicated that Scythian (Sarmatian in particular) as well as Persian horses were used and recognized as good horse breeds (Johnstone, 2004). The Roman period provides the highest number of horse pinworm mentions. Horses, donkeys and mules used during the Roman conquest by the army to transport soldiers, materials and supplies could have contributed, with this equid movement throughout Roman Empire, to disseminate the parasite explaining why it is more represented on sites studied. This abundance of occurrences could be due to a higher prevalence of the parasite in roman equids. Similarly, in the North of England, the parasite is only mentioned between ca. 1950 and 1850 ybp during the Roman conquest of Britain.

Concerning the American continent, the only paleoparasitological recoveries are contemporary and date from between 150 and 50 ybp (Lowell, the Boott Mills Boardinghouse site, Fig. 2U and Albany, Maiden Lane Pedestrian Bridge, Fig. 2V), despite the fact that many studies have been performed for all periods. It is interesting to note that horses disappeared from the Americas around 10,000 ybp and were reintroduced by the first conquistadors in Central America between ca. 500 and 350 ybp (Digard, 2004; Perriot, 1997). The absence of horses in the Americas between ca. 10,000 and ca. 500 ybp explains the absence of such a highly host specific parasite on the American continent between these two datings. Before 10,000 ybp, there are actually not enough paleoparasitological studies on Paleolithic contexts to give information about the parasite. After 500 ybp the host of the parasite is reintroduced but the parasite is not observed before between 150 and 50 ybp. This absence could be explained by the fact that the material studied by American laboratories is mainly of human origin (mummies, human coprolites...) and that the horse pinworm cannot be found in this type of material. The only two positive mentions for the horse pinworm were obtained after the study of sediment samples from latrines (Lowell, the Boott Mills Boardinghouse site) and from the filling of a stone culvert (Albany, Maiden Lane Pedestrian Bridge), i.e. materials probably containing a mix of fecal matters of various origins. Finally, among other possibilities, these two American mentions dated from between 150 and 50 ybp probably also indicate a recent introduction of the parasite, via horse importation, perhaps during the

second European colonization of Canada, between ca. 350 and 250 ybp, as already demonstrated for the lancet liver fluke (Le Bailly and Bouchet, 2010).

5. Conclusion

This compilation of the horse pinworm occurrences highlight the recovery of the parasite in the Old World, Central Asia (Kazakhstan, China and Iran), around 2500 ybp while it is probably associated with equids since their appearance. The absence of occurrences before this period is probably due to the scarcity of horse remains in archaeological sites and by sampling routines not always favorable for the observation of the parasite. The number of occurrences becomes more important at the beginning of the Roman period which corresponds to the Roman conquest. Even if additional data from Central to Eastern Asia are now required, it seems that the conquests of the Roman Empire, human migrations and commercial exchanges between Central Eurasia and Western Europe (for example along the Silk Road) played an important role in the diffusion of the horse pinworm disease in the Old World.

In the Americas, the horse pinworm is not observed before between 150 and 50 ybp. The absence of horses on the American continent from ca. 10,000 ybp until their reintroduction by conquistadors ca. 500 ybp explains the absence of the parasite. No observation of the parasite is available by prehistoric horses at that time. From ca. 500 ybp and the first mention between 150 and 50 ybp, as well as for before 10,000 ybp the question of the nature of the sites and the samples studied can be raised. A more recent importation of the parasite between 350 and 250 ybp can also be proposed, when the European arrived in North America. A specific effort on material of equid origin is a challenge for the future to be able to better understand the history of the horse pinworm.

Finally, this compilation demonstrates how the study of veterinary paleoparasitology is important, and can provide a complementary point of view to the consequences of human migrations and conquests on the world nosology throughout time.

Acknowledgments

We wish to thank all the archaeologists for their material and information on the studied sites. We also wish to thank Karl J. Reinhard and Diana S. Gallagher for their information regarding *O. equi* mentions in USA.

References

- Allison, E., Hall, A., and Kenward, H., 1999a. Technical report. Living conditions and resource exploitation at the Early Christian rath at Deer Park Farms, Co., Antrim, N. Ireland: evidence from plants and invertebrates. Part 1: Text, Environmental Archaeology Unit, p. 64.
- Allison, E., Hall, A., and Kenward, H., 1999b. Technical report. Living conditions and resource exploitation at the Early Christian rath at Deer Park Farms, Co., Antrim, N. Ireland: evidence from plants and invertebrates. Part 2: Tables, Environmental Archaeology Unit, p. 144.
- Araujo, A., Ferreira, L.F., 1995. Oxiuríase e migrações pré-históricas. *Manguinhos* 2, 99–109, <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-59701995000200006>.
- Araujo, A., Ferreira, L.F., 1997. Paleoparasitology of schistosomiasis. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 92, 717, <http://dx.doi.org/10.1590/S0074-02761997000500028>.
- Araujo, A., Jansen, A.M., Reinhard, K., Ferreira, L.F., 2009. Paleoparasitology of Chagas disease – a review. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 104, 9–16. <http://dx.doi.org/10.1590/S0074-02762009000900004>.
- Arbogast, R.-M., Clavel, B., Lepetz, L., Méniel, P., Yvinec, J.-H., 2002. *Archéologie du cheval*. Editions Errance, Paris.
- Baylis, H.A., 1936. The Fauna of British India, Including Ceylon and Burma. Nematoda, Vol. I. (Ascaroidea and Strongyloidea). Taylor and Francis, London.
- Baylis, H.A., 1939. A new species of *Oxyuris* [Nematoda] from a rhinoceros. *Ann. Mag. Nat. Hist.* 11, 516–524. <http://dx.doi.org/10.1080/03745481.1939.9723631>.
- Beltrame, M.O., Fugassa, M.H., Barberena, R., Sauthier, D.E.U., Sardella, N.H., 2013. New record of anoplocephalid eggs (Cestoda: Anoplocephalidae) collected from rodent coprolites from archaeological and paleontological sites of Patagonia,

- Argentina. *Parasitol. Int.* 62, 431–434. <http://dx.doi.org/10.1016/j.parint.2013.04.004>.
- Blanchard, E., 1849. Recherches sur l'organisation des vers. *Annales des Sciences Naturelles*, 3ème série Zoologie 11, 106–202.
- Bouchet, F., Benrad, S., 1997. Recovery of equine helminth eggs in a medieval lacustrine settlement. *Vet. Rec.* 141, 601–602. <http://dx.doi.org/10.1136/vr.141.23.601>.
- Bouchet, F., Harter, S., Le Bailly, M., 2003. The state of the art of paleoparasitological research in the Old World. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 98, 95–101. <http://dx.doi.org/10.1590/S0074-02762003000900015>.
- Bouchet, F., Lavazec, C., Nattier, V., Dommelier, S., Benrad, S., Paicheler, J.-C., 2000. Étude de la parasitofaune du site médiéval de Charavines (lac de Paladru, Isère, France). *Bull. Soc. Zool. Fr.* 125, 205–215.
- Caruana, I., 1990. Timber town: Roman Carlisle (Luguvalium). *Minerva* 1, 6–9.
- Da Rocha, G.C., Harter-Lailheugue, S., Le Bailly, M., Araujo, A., Ferreira, L.F., Da Serra-Freire, N.M., Bouchet, F., 2006. Paleoparasitological remains revealed by seven historic contexts from "Place d'Armes", Namur, Belgium. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 101, 43–52. doi:S0074-02762006001000008.
- Digard, J.-P., 2004. Une histoire du cheval. *Art, Techniques, Société. Actes Sud, Arles*.
- Domelier-Espejo, S., 2001. Contribution à l'étude paléoparasitologique des sites néolithiques en environnement lacustre dans les domaines Jurassien et périalpin. PhD thesis. University of Reims Champagne-Ardenne, Reims, p. 249.
- Dufour, B., Le Bailly, M., 2013. Testing new parasite egg extraction methods in paleoparasitology and an attempt at quantification. *Int. J. Paleopathol.* 3, 199–203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.03.008>.
- Dufour, B., Le Bailly, M., and Bouchet, F., 2012. L'apport de l'analyse paléoparasitologique sur les fosses aménagées, in: Bouby, L., et al. (Eds), Rapport de fouille préventive, Hombourg-Wihr, Haut-Rhin, Kreuzfeld (Est), Un quartier de l'agglomération gallo-romaine. Pôle d'Archéologie Interdépartementale Rhénan, pp. 127–137.
- Fèvre, F., Métaillé, G., 1993. Aperçu des sources chinoises pour l'histoire des animaux. *Anthropozoologica* 18, 99–103.
- Fisher, C.L., Reinhard, K.J., Kirk, M., DiVirgilio, J., 2007. Privies and parasites: the archaeology of health conditions in Albany, New York. *Hist. Archaeol.* 41, 172–197.
- Francfort, H.-P. and Lepetz, S., 2010. Les chevaux de Berel' (Altai) – Chevaux steppiques et chevaux achéménides: haras et races, in: Boulbes, N., et al. (Eds), Histoire d'équidés: des textes, des images et des os. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, hors série n°4, pp. 57–104.
- Francfort, H.-P., Ligabue, G., and Samashev, Z., 2000. La fouille d'un kourgane scythe gelé du IVe siècle av. notre ère à Berel dans l'Altai (Kazakhstan). C.-R. Séances Acad. Inscr. B.-Lett. 144e année, pp. 775–806.
- Goncalves, M.L.C., Araujo, A., Ferreira, L.F., 2003. Human intestinal parasites in the past: new findings and a review. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 98, 103–118. <http://dx.doi.org/10.1590/S0074-02762003000900016>.
- Hall, A.R., Kenward, H.K., 1990. Environmental Evidence from the Colonia: General Accident and Rougier Street. Council for British Archaeology, London, pp. 289–434.
- Harter-Lailheugue, S., 2006. Étude paléoparasitologique du site de Marseille Quai Rive Neuve, in: Bien, S. and Richier, A. (Eds), Rapport final d'Opération, Fouilles Archéologiques, 23, Quai de Rive Neuve à Marseille (Bouches-du-Rhône). Inrap Méditerranée, pp. 91–95.
- Hugot, J.-P., Gardner, S.L., Borba, V., Araujo, P., Leles, D., Da-Rosa, A.A.S., Dutra, J., Ferreira, L.F., Araújo, A., 2014. Discovery of a 240 million year old nematode parasite egg in a cynodont coprolite sheds light on the early origin of pinworms in vertebrates. *Parasites Vect.* 7, 486. <http://dx.doi.org/10.1186/s13071-014-0486-6>.
- Jansen, J.J., Over, H.J., 1962. Het voorkomen van parasieten in terpmateriaal uit Noordwest Duitsland. *Tijdschr. Diergeneesk.* 87, 1377–1379.
- Jansen, J.J. and Over, H.J., 1966. Observations on helminth infections in a Roman army-camp, in: Corradetti, A. (Ed), Proceedings of the 1st International Congress of Parasitology. Pergamon, Oxford, p. 791.
- Jeanmaire-Hirardot, C., 1993. Étude parasitologique des sédiments du site archéologique des terreaux à Lyon. PhD thesis. Claude Bernard University Lyon 1, Lyon, p. 66.
- Johnstone Cluny, Jane, 2004. A Biometric Study of Equids in the Roman World. PhD thesis. University of York, York, p. 500.
- Jones, A.K.G., Hutchinson, A.R., Nicholson, C., 1988. The worms of Roman horses and other finds of intestinal parasite eggs from unpromising deposits. *Antiquity* 62, 225–229.
- Kassai, T., 1999. *Veterinary Helminthology*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Kaufmann, J., 1996. *Infections of Domesticated Animals: A Diagnostic Manual*. Birkhauser, Basel.
- Kenward, H., Large, F., Carrott, J., 1998. The archaeological significance of insect and other invertebrate remains from Keay's and Law's Lanes. *Environmental Archaeology Unit, The Lanes, Carlisle*, p. 126.
- Kenward, H.K., Allison, E.P., Morgan, L.M., Jones, A.K.G., and Hutchinson, A.R., 1991. Chapter 10. The insect and parasite remains, in: McCarthy, M.R. (Ed), The structural sequence and environmental remains from Castle Street, Carlisle: excavations 1981–2. Cumberland and Westmorland Antiquarian and Archaeological Society Research Series 5, pp. 65–72.
- Le Bailly, M., Bouchet, F., 2006. Paléoparasitologie et immunologie: L'exemple d'Entamoeba histolytica. *Archéosciences* 30, 129–135.
- Le Bailly, M., Bouchet, F., 2010. Ancient microcoeliosis: occurrences, distribution and migration. *Acta Trop.* 115, 175–180. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actatropica.2010.03.004>.
- Le Bailly, M. and Bouchet, F., 2011. Étude paléoparasitologique des cuvelages gallo-romain, in: Roms, C. and Kuchler, P. (Eds), Rapport final d'Opération, Fouilles Archéologiques, Troyes, Aube, Place de la Libération, Formation et développement d'un espace urbain de l'Antiquité à nos jours. Inrap Grand-Est-Nord, pp. 119–128.
- Le Bailly, M., Bouchet, F., 2013. Diphyllbothrium in the past: review and new records. *Int. J. Paleopathol.* 3, 182–187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.05.004>.
- Le Bailly, M., Lepetz, S., Samashev, Z., Francfort, H.-P., Bouchet, F., 2008. Paleoparasitological study of gastro-intestinal content in horses at a Scythian kurgan (3rd century BC) found in Kazakhstan. *Anthropozoologica* 43, 69–75.
- Lepetz, S., 2013. Horse sacrifice in a Pazyryk culture kurgan: the princely tomb of Berel' (Kazakhstan). Selection criteria and slaughter procedures. *Anthropozoologica* 48, 309–321. <http://dx.doi.org/10.5252/az2013n2a9>.
- Mönnig, H.O., 1927. Helminthological Notes. 11th and 12th Reports of the Director of Veterinary Education and Research, Department of Agriculture, Union of South Africa, pp. 221–228.
- Moulé, L., 1911. Parasitologie dans la littérature antique. II, Les Parasites du Tube Digestif. *Archives de parasitologie* 14, 353–383.
- Nezamabadi M., 2014. The first contribution of paleoparasitology on Iranian Plateau and adjacent area: origins and spread of intestinal parasites in the Middle East during the Holocene, PhD thesis. University of Franche-Comté, Besançon, p. 211.
- Nezamabadi, M., Aali, A., Stöllner, T., Mashkour, M., Le Bailly, M., 2013. Paleoparasitological analysis of samples from the Chehrabad salt mine (Northwestern Iran). *Int. J. Paleopathol.* 3, 229–233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.03.003>.
- Nezamabadi, M., Harter-Lailheugue, S., Le Bailly, M., 2011. Paleoparasitology in the Middle-East: State of the research and potential. *Tüba-Ar* 14, 205–213.
- Penso, G., 1981. La Conquête du monde invisible: parasites et microbes à travers les siècles. Les Editions Roger Dacosta, Paris.
- Perriot, F., 1997. Chevaux en terre indienne. Albin Michel, Paris.
- Rauzy, N., 2001. Étude d'un parasite du cheval: *Oxyuris equi*. PhD Thesis. University Paul Sabatier, Toulouse, pp. 72.
- Reinhard, K.J., 1989. Parasitological Analyses of Latrine Soils from the Boott Mills Boardinghouse Site, Lowell, Massachusetts, in: Beaudry, M.C. and Mrozowski, S.A. (Eds), Interdisciplinary Investigations of the Boott Mills Lowell, Massachusetts. Division of Cultural Resources North Atlantic Regional Office National Park Service U.S. Department of the Interior, pp. 271–272.
- Reinhard, K.J., 1990. Archaeoparasitology in North America. *Am. J. Phys. Anthropol.* 82, 145–163. <http://dx.doi.org/10.1002/ajpa.1330820204>.
- Roncalli, A.R., 2001. The history of Italian parasitology. *Vet. Parasitol.* 98, 3–30. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017\(01\)00420-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(01)00420-4).
- Rudolphi, C.A., 1809. Entozoonum sive vermium intestinalium: historia naturalis. Sumtibus Tabernae Libariae et Artium, Amstelredami.
- Ruffer, M.A., 1910. Note on the presence of "Bilharzia haematobia" in Egyptian mummies of the twentieth dynasty. *British Med. J.* 16, 65. doi:http://dx.doi.org/10.1136/bmj.1.2557.16-a.
- Sandison, A., 1967. Parasitic diseases. In: Brothwell, D., Sandison, A. (Eds.), *Diseases in Antiquity: A Survey of the Diseases, Injuries, and Surgery of Early Populations*. Charles Thomas, Springfield, pp. 178–183.
- Schrank, F.P., 1788. Verzeichnis der Bisher Hinfänglich Bekannten Eingeweidewürmer, Nebst Einer Abhandlung Über Ihre Anverwandtschaften. Johann Baptist Strobl, München.
- Sianto, L., Chame, M., Silva, C.S.P., Goncalves, M.L.C., Reinhard, K., Fugassa, M., Araujo, A., 2009. Animal helminths in human archaeological remains: a review of zoonoses in the past. *Rev. Inst. Med. Trop. São Paulo* 51, 119–130. <http://dx.doi.org/10.1590/S0036-46652009000300001>.
- Sianto, L., de Souza, M.V., Chame, M., da Luz, M.de F., Guidon, N., Pessis, A.-M., Araújo, A., 2014. Helminths in feline coprolites up to 9000 years in the Brazilian Northeast. *Parasitol. Int.* 63, 851–857. <http://dx.doi.org/10.1016/j.parint.2014.08.002>.
- Smith, F., 1913. The early history of veterinary literature and its British development. *J. Comp. Pathol. Ther.* 26, 1–32. [http://dx.doi.org/10.1016/S0368-1742\(18\)80002-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0368-1742(18)80002-9).
- Soulsby, E.J.L., 1982. *Helminths, Arthropods and Protozoa of Domesticated Animals*. Baillière Tindall, London.
- Taylor, M.A., Coop, R.L., Wall, R.L., 2007. *Veterinary Parasitology*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Theiler, G., 1923. The strongylids and other nematodes parasitic in the intestinal tract of South African equines. PhD thesis. University of Neuchâtel, Neuchâtel, p. 175.
- Von Linstow, O., 1901. Helminthen von den Ufern des Nyassa-Sees. *Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft* 35, 409–428.
- Von Linstow, O., 1904. Nematoda in the collection of the colombo museum. *Spolia Zeylan.* 1, 91–104.
- Yeh, H.-Y., Pluskowski, A., Kaléjs, U., Mitchell, P.D., 2014. Intestinal parasites in a mid-14th century latrine from Riga, Latvia: fish tapeworm and the consumption of uncooked fish in the medieval eastern Baltic region. *J. Archaeol. Sci.* 49, 83–89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2014.05.001>.



Archéologie d'un parasite du cheval

Synthèse de données sur *Oxyuris equi*

Benjamin Dufour université de Franche-Comté, UMR 6249 "Chrono-environnement"

Matthieu Le Bailly université de Franche-Comté, UMR 6249 "Chrono-environnement"

6

Paléoparasitologie et *Oxyuris equi*

La paléoparasitologie, ou archéoparasitologie¹, étudie les parasites anciens de l'homme et des animaux, conservés dans les restes archéologiques ou paléontologiques (Reinhard, 1990 ; Le Bailly *et al.*, 2003). Depuis les premiers travaux de Marc Armand Ruffer (Ruffer, 1910) de nombreux échantillons archéologiques ont été étudiés, issus de différentes régions du globe, qui ont permis de renseigner sur la biodiversité et la répartition des parasites à travers les âges. Au cours des deux dernières décennies, quelques synthèses des données ont pu être publiées (Gonçalves *et al.*, 2003), parfois centrées sur certaines régions du globe (Bouchet *et al.*, 2003 ; Nezamabadi *et al.*, 2011), parfois s'intéressant à des maladies strictement humaines (Araújo et Ferreira, 1995 et 1997 ; Araújo *et al.*, 2009 ; Le Bailly et Bouchet, 2006 et 2013). Toutefois, les données concernant les parasites d'animaux sont peu fréquentes et souvent diluées dans des monographies de sites archéologiques ou des rapports de fouilles. De ce fait, les synthèses de données traitant uniquement des paléopathologies vétérinaires sont encore plus rares et font défaut à la bonne compréhension de l'histoire des maladies (Jones *et al.*, 1988 ; Sianto *et al.*, 2009 ; Le Bailly et Bouchet, 2010).

Parmi les parasites digestifs des animaux régulièrement mis en évidence en contextes anciens, l'oxyure du cheval, *Oxyuris equi*, est particulièrement intéressant, et ce pour deux raisons : tout d'abord par sa spécificité d'hôte vis-à-vis des équidés (chevaux, ânes et leurs hybrides) ; ensuite, parce qu'il est l'un des rares parasites identifiables au niveau de l'espèce au cours des lectures en microscopie, de par les caractéristiques morphologiques uniques de ses œufs. Nous proposons ici une synthèse originale de toutes les

mentions connues et publiées concernant l'oxyure du cheval en archéologie, compilées avec de nouvelles données, issues de notre laboratoire spécialisé dans l'étude des parasites anciens.

Oxyure du cheval (*Nematoda*, *Ascarida*, *Oxyuroidea*, *Oxyuridae*)

Oxyuris equi présente un cycle direct faisant intervenir un seul hôte appartenant au groupe des équidés². Le parasite adulte vit dans le gros intestin (*caecum*, colon) de l'hôte. Après fertilisation par les adultes mâles, les femelles gravides migrent vers l'anus pour pondre leurs œufs dans un mucus collant, au niveau de la marge anale, entraînant une irritation intense (Taylor *et al.*, 2007). Les œufs peuvent alors tomber sur le sol, infecter la nourriture ou l'eau des animaux, et polluer l'environnement. Les équidés s'infestent par ingestion d'œufs embryonnés. Une transmission inter-individus du parasite peut également survenir lorsque les chevaux se tiennent tête à queue pendant des toilettes mutuelles. Fréquemment durant ces épisodes, un animal pose sa tête sur la croupe d'un autre et lèche son congénère. Les œufs ingérés vont alors libérer des larves infestantes dans les intestins où elles se fixent et deviennent adultes. L'infestation par ce parasite est généralement asymptomatique, mais les irritations péri-anales poussent le cheval à frotter sa croupe sur les équipements de l'étable ou tout autre objet solide, provoquant éraflures, inflammations, plaies, perte de condition, la queue du cheval prenant un aspect de « queue de rat ». De nos jours, *O. equi* est présent dans le monde entier (Soulsby, 1982 ; Kaufmann, 1996 ; Rauzy, 2001) et se retrouve chez les chevaux et les ânes. Les œufs de ce parasite sont ovoïdes et légèrement asymétriques (un côté est plat, et l'autre plus

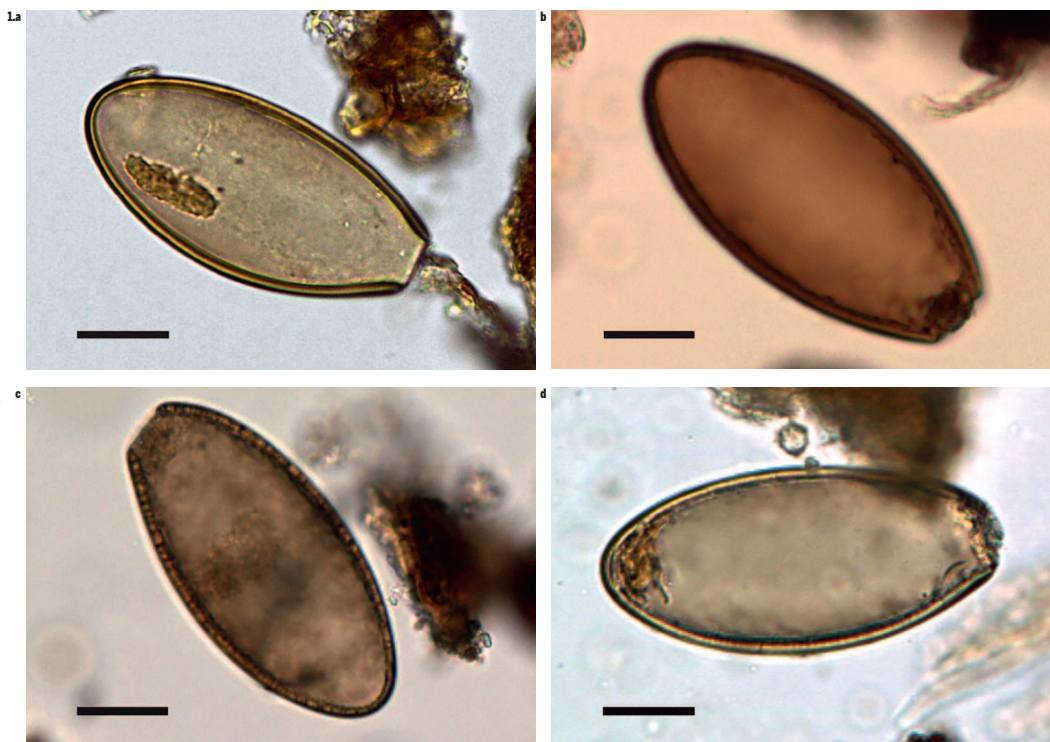
1. Terme employé les collègues nord-américains.

2. À la différence d'un cycle indirect où le parasite passe par des hôtes intermédiaires.



1. Les observations en microscopie optique permettent d'identifier les œufs d'*Oxyuris equi*. (A) Œuf d'*O. equi*, 81,49 µm x 39,18 µm, kourgane scythe de Berel' (âge du Fer, Kazakhstan). (B) Œuf d'*O. equi*, 89,69 µm x 44,37 µm, site de Kreuzfeld, Horbourg-Wihr (Période romaine, France). (C) Œuf d'*O. equi*, 81,46 µm x 39,09 µm, site de l'Hôtel du département, Troyes (Moyen Âge, France). (D) Œuf d'*O. equi*, 87,79 µm x 40,89 µm, site de la Maison Champlain, Brouage (époque moderne, France). Échelle de 20 µm.

2. Synthèse des données publiées (texte en romain) et nouvelles (texte en gras) sur les œufs d'*Oxyuris equi* (CD = contenu digestif, C = coprolithes, NR = non renseigné, S = sédiment).



bombé), ils mesurent entre 74 et 99 µm de long et ont une largeur variant de 38 à 45 µm. La fine coque de l'œuf présente une surface lisse, interrompue par un bouchon polaire muqueux à une extrémité (Baylis, 1936 ; Kassai, 1999). Les caractéristiques de cet œuf (forme et taille) en font un des rares œufs qui peut être identifié au niveau de l'espèce en microscopie optique [ill. 1].

État de l'art sur *Oxyuris equi* en archéologie

Nous avons recensé de manière la plus exhaustive possible les données sur l'oxyure du cheval présentes dans les revues spécialisées en archéologie, parasitologie, ou paléopathologie, dans les rapports de fouilles, dans les monographies et les thèses de doctorat, ainsi que dans les textes anciens. Dans les données issues de la littérature, il apparaît que l'*Oxyuris equi* est présent dans seize sites archéologiques, à la fois dans l'Ancien et dans le Nouveau Monde, depuis le milieu du 1^{er} millénaire avant notre ère (en Iran) jusqu'au 19^e siècle (aux États-Unis). Les mises en évidence au cours de cette période sont souvent très variables. Ainsi pour la période protohistorique, l'oxyure du cheval n'est mentionné qu'à deux reprises. C'est durant l'Antiquité que les mentions du parasite sont les plus nombreuses (8 des 16 sites). Cinq sites archéologiques médiévaux ont révélé la présence d'*O. equi*. Enfin, l'époque moderne ne comprend qu'une seule mention, et l'époque contemporaine deux mentions. Ces deux dernières occurrences

sont également les deux seules connues pour le continent américain.

Les données issues des textes anciens montrent une étonnante adéquation avec les résultats issus des analyses paléoparasitologiques. L'oxyure du cheval apparaît dans les textes depuis le milieu du 1^{er} millénaire. Le médecin grec Hippocrate (430 av. n.è.) est le premier à mentionner l'oxyure du cheval (Sandison, 1967). Cette mention, datée du 5^e siècle avant notre ère, est contemporaine de l'observation faite sur le site de la mine de sel de Chehrabad (Iran). À la même période, Simon d'Athènes (430 av. n.è.) dit au sujet du choix des chevaux que « la queue doit être portée haute et être bien fournie avec de longs crins » (Smith, 1913). La seconde partie (« être bien fournie avec de longs crins ») pourrait se référer à l'apparence de « queue de rat » observée sur les chevaux modernes parasités par *O. equi* et pourrait constituer un autre indice montrant que l'oxyure du cheval était bel et bien connu dans l'Antiquité.

Pour la période romaine, au cours du 11^e siècle, Claude Galien est le deuxième à mentionner ce parasite chez le cheval (Sandison, 1967). Plus tard, les vétérinaires *Claudius Hermerius* (aussi appelé Chiron) au 14^e siècle, puis *Publius Vegetius Renatus* (aussi appelé Végèce) au 5^e siècle ont décrit un symptôme caractéristique de l'Oxyurose, indiquant que les chevaux frottaient leur queue contre les murs. *Claudius Hermerius* décrit également la présence dans la région anale des



2	Nom des sites	Pays	Epoques	Datations/périodes	Nature des échantillons
	Djouboulak Koum, désert du Taklamakan	Chine	Protohistoire	milieu du I ^{er} millénaire av. n.è.	S
8	Mine de sel de Chehrabad	Iran	Protohistoire	Période achéménide, 550-330 av. n.è.	S
	Kourgane scythe de Berel'	Kazakhstan	Protohistoire	293-294 av. n.è.	CD
	Fontaine la Guyon, Les Déserts	France	Protohistoire	Second âge du Fer, La Tène transition D1-D2	S
	Marseille, 23 Quai de Rive Neuve	France	Antiquité	27 av. n.è. à 14 de n.è.	S
	Troyes, Place de la libération	France	Antiquité	5/10 à environ 30 de n.è.	S
	Reims, ZAC du Vieux Port	France	Antiquité	5/10 av. n.è. à 15/20 de n.è.	S
	Camp de l'armée romaine de Valkengurg on Rhine	Pays-Bas	Antiquité	environ 45/47 de n.è.	NR
	Beauvais, Place du Jeu de Paume	France	Antiquité	1 ^{re} moitié du I ^{er} siècle de n.è.	C
	Carlisle, Annetwell Street	Royaume Uni	Antiquité	environ 80-90 de n.è.	S
	Carlisle, Castle Street	Royaume Uni	Antiquité	105	S
	Horbouurg-Wihr, Kreuzfeld	France	Antiquité	163	S
	York, 24-30 Tanner Row	Royaume Uni	Antiquité	milieu à fin du II ^e siècle	S
	Carlisle, Keay's and Law's Lanes	Royaume Uni	Antiquité	2 ^e moitié du II ^e siècle	S
	Namur, Place d'Armes	Belgique	Antiquité	II ^e à III ^e siècle	S
	Terp de Feddersen Wierde	Allemagne	Antiquité	Période romaine, I ^{er} siècle av. n.è. à V ^e siècle	NR
	Mine de sel de Chehrabad	Iran	Moyen Age	Période sassanide, 556-646	S
	Rath de Deer Park Farms	Irlande	Moyen Age	VII ^e à VIII ^e siècle	S
	Charavines, site de Colletière	France	Moyen Age	XI ^e siècle	S
	Troyes, Hôtel du département	France	Moyen Age	XII ^e à XIII ^e siècle	S
	Bourges, ZAC Avaricum	France	Moyen Age	XIII ^e siècle	S
	Riga, 13 Audēju Street and 33 Kalēju Street	Lettonie	Moyen Age	milieu du XIV ^e siècle	S
	Namur, Place d'Armes	Belgique	Moyen Age	XIV ^e à XV ^e siècle	S
	Brouage, Maison Champlain	France	Epoque moderne	milieu à fin du XVI ^e siècle	S
	Lyon, Place des Terreaux	France	Epoque moderne	2e moitié du XVI ^e siècle	S
	Lowell, site de "Boott Mills Boardinghouse"	Etats-Unis	Epoque contemporaine	XIX ^e siècle	S
	Albany, Maiden Lane Pedestrian Bridge	Etats-Unis	Epoque contemporaine	XIX ^e siècle	S



Structures d'origine	Nbr. d'échantillons positifs	Quantité d'œuf par échantillon (min-max)	Origine des données
NR	1	1	Analyses de laboratoire
Couches d'occupation	2	1	Nezamabadi <i>et al.</i> (2013) ; Nezamabadi (2014)
Tombe multiple	6	2 - 31	Le Bailly <i>et al.</i> (2008) ; Analyses de laboratoire
Mare	1	1	Analyses de laboratoire
Remplissage d'un chenal	1	NR	Harter-Lailheugue (2006)
Fosses	2	1	Le Bailly et Bouchet (2011) ; Analyses de laboratoire
NR	2	1 - 3	Analyses de laboratoire
NR	NR	NR	Jansen et Over (1966)
Latrines	2	1	Analyses de laboratoire
Couches d'occupation	NR	NR	Jones <i>et al.</i> (1988); Caruana (1990)
Couches d'occupation	1	2	Kenward <i>et al.</i> (1991)
Fosse	1	2	Dufour <i>et al.</i> (2012) ; Analyses de laboratoire
Couche d'occupation	1	1	Hall et Kenward (1990)
Fosse	1	1	Kenward <i>et al.</i> (1998)
Puits	1	NR	da Rocha <i>et al.</i> (2006)
NR	NR	NR	Jansen et Over (1962)
Couches d'occupation	1	1	Nezamabadi <i>et al.</i> (2013) ; Nezamabadi (2014)
Couches d'occupation	4	1 - 15	Allison <i>et al.</i> (1999a, 1999b)
Couche d'occupation	NR	2	Bouchet et Bentréd (1997); Bouchet <i>et al.</i> (2000)
NR	4	1 - 6	Analyses de laboratoire
Fosse et couche d'occupation	2	1	Analyses de laboratoire
Latrines	1	2	Yeh <i>et al.</i> (2014)
Baril	1	NR	da Rocha <i>et al.</i> (2006)
Mare	4	1	Analyses de laboratoire
Remplissage d'un fossé	1	1	Jeanmaire-Hirardot (1993)
Latrines	1	1	Reinhard (1989)
Caniveau en pierre	1	NR	Fischer <i>et al.</i> (2007)

chevaux de vers ronds et rouges qui pourraient correspondre à *O. equi* (Moulé, 1911 ; Roncalli, 2001).

Au cours de l'époque moderne en Italie, le physicien Girolamo Gabucino en 1547 et Alessandro Benedetti en 1549 indiquent la présence d'oxyuridés chez les chevaux. En 1561, le vétérinaire Agostino Columbre fait la même observation autour de l'anus des chevaux, et, en 1598, Carlo Ruini mentionne la présence de vers au cours de la nécropsie de chevaux, probablement des ascaridés et des oxyuridés. Pour finir, en 1603, Phillip Scacco de Tagliacozzo décrit les signes cliniques de l'oxyurose (Penso, 1981 ; Roncalli, 2001).

Nouvelles données issues de la paléoparasitologie

Au cours de nos différents travaux d'analyses entre 2008 et 2014, seize échantillons de sédiments et coprolithes issus de sept sites archéologiques différents ont révélé la présence d'œufs d'*O. equi*, tous étudiés au laboratoire de Besançon et préparés selon le protocole standard RHM (Réhydratation-Homogénéisation-Microtamisage) (Dufour et Le Bailly, 2013) [III. 2]. Ces sites couvrent la période comprise entre le milieu du 1^{er} millénaire avant notre ère et le XVI^e siècle. Ils sont localisés en France, excepté le site de Djoumboulak Koum, situé dans le désert du Taklamakan, province de Xinjiang (ouest de la Chine) (Dufour *et al.*, 2015).

Malgré les nombreuses occurrences regroupées ici, l'oxyure du cheval reste un parasite rare dans les analyses paléoparasitologiques. Pour l'Antiquité par exemple, seul cinq sites (19,2 %) ont révélé sa présence sur les vingt-six sites de la période antique étudiés au cours des deux dernières décennies dans les laboratoires de Reims (entre 1995 et 2010) et de Besançon (depuis 2010). De même, sur les quarante-et-un sites de l'époque antique ayant donné lieu à publication, seuls six (14,6 %) ont permis de retrouver le parasite. Par ailleurs, le nombre d'œufs mis en évidence est rarement très important. Pour tous les sites mentionnés, le nombre d'œufs d'*O. equi* est compris entre 1 et 6, excepté pour les sites de Berel' (31 œufs) et de Deer Park Farms (15 œufs). Pour le cas de Berel', il est important de préciser que les échantillons étudiés correspondaient à des contenus intestinaux de chevaux et le nombre important d'œufs pourrait être dû à la présence de vers femelles gravides dans les restes. Pour les autres sites, le faible nombre d'œufs est probablement à mettre en parallèle avec la biologie du parasite et le fait que les œufs produits sont attachés à la peau de la région anale ou péri-anale et ne sont pas accumulés dans la matière fécale, ce qui explique aussi que les œufs de l'oxyure du cheval sont rarement trouvés au cours des analyses coprologiques actuelles (Kassai, 1999). La question de la taphonomie des œufs d'*O. equi* ne peut cependant pas expliquer la rareté du parasite. D'après l'ensemble des résultats, nous pouvons

supposer que les œufs de l'oxyure du cheval résistent bien en comparaison avec ceux d'autres Oxyuridae. L'oxyure de l'homme par exemple, *Enterobius vermicularis*, qui présente plus ou moins les mêmes caractéristiques de dépôt des œufs, est très rarement identifié en Eurasie au cours de l'Holocène (Bouchet *et al.*, 2003) lors des études en microscopie.

Vers une histoire de l'oxyure du cheval

En considérant l'ensemble des occurrences (publiées et nouvelles), l'oxyure du cheval a été identifié dans vingt-cinq sites archéologiques répartis dans onze pays à travers le monde. La majorité des mentions sont présentes en Europe de l'Ouest, en France, Belgique, Allemagne, Pays-Bas et Royaume-Uni, et couvrent une large période chronologique entre le 1^{er} siècle avant notre ère et le XVI^e siècle (Dufour *et al.*, 2015). Bien que de nombreuses études paléoparasitologiques aient été réalisées en Afrique, Moyen-Orient, sud-est de l'Asie et Amérique, peu d'observations de l'oxyure du cheval y ont été relevées.

Le cycle de vie, la biologie et la forte spécificité du parasite avec son hôte impliquent une transmission interindividuelle. Chaque individu est infecté par ses congénères et, par conséquent, la transmission s'effectue aussi des ancêtres à leurs descendants. Récemment, Hugot *et al.* (2014) ont identifié dans un coprolithe un œuf d'Oxyuridae associé à des espèces de proto-mammifères de la classe des Cynodontes, ce qui amène à penser que les Oxyuridae pourraient être associés aux mammifères depuis des millions d'années. Les équidés ont donc pu être porteurs de l'oxyure du cheval depuis leur apparition. Il est par conséquent étonnant de ne pas avoir retrouvé ce dernier dans les assemblages parasitaires avant l'âge du Fer. La nature des sites archéologiques étudiés et l'origine biologique des échantillons analysés pourraient en partie expliquer ce constat. Tout d'abord, la grande majorité des sites étudiés en paléoparasitologie correspondent à des sites archéologiques, et par conséquent occupés par l'homme. L'observation de l'oxyure du cheval est donc possible uniquement si des équidés sont présents sur ces sites, soit parce qu'ils sont chassés et consommés, soit par ce qu'ils sont domestiqués et utilisés par l'homme (traction, transport, déplacement...).

Pour la période précédant la domestication (avant la fin du Néolithique), les restes archéologiques de chevaux ne sont pas très nombreux en Europe de l'Ouest, ce qui indique d'une part que le cheval est peu chassé (Arbogast *et al.*, 2002), et pourrait expliquer d'autre part l'absence du parasite sur ces sites. Le site néolithique de « Chalain 3 » fait cependant exception car il compte un nombre important de restes de chevaux. L'étude archéozoologique des ossements a montré qu'il y avait, à proximité du site, des activités d'abattage, de partage du corps et de consommation des animaux (Arbogast

et al., 2002). L'analyse paléoparasitologique du site, réalisée par Sophie Dommelier-Espejo (Dommelier-Espejo, 2001), n'a pas montré la présence d'*O. equi* alors que beaucoup d'autres taxons ont été identifiés. Cependant, les échantillons étudiés correspondaient principalement à des coprolithes de carnivores. Les quelques échantillons de couches d'occupations analysés se sont malgré tout révélés négatifs pour le parasite.

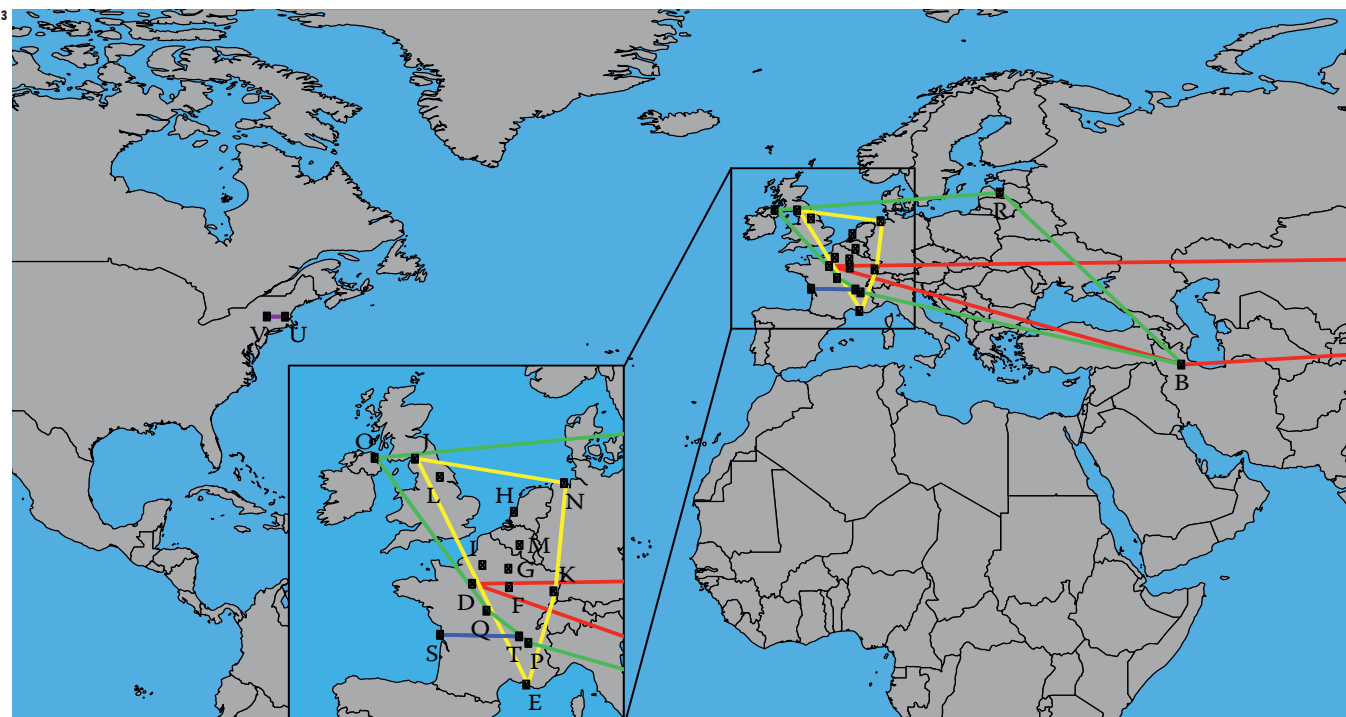
À partir de la fin du Néolithique et au cours de l'âge du Fer, le nombre de restes de chevaux augmente dans les assemblages archéozoologiques, du fait, par exemple, de l'intensification de la chasse ou de la domestication du cheval (Arbogast *et al.*, 2002). Actuellement, les plus anciennes observations paléoparasitologiques de ce parasite datent de cette période et sont localisées en Asie centrale entre le III^e siècle avant notre ère et le milieu du I^{er} siècle de notre ère, en Chine (Djoumboulak Koum, désert du Taklamakan, ill. 3A), en Iran (mine de sel de Chehrabad, ill. 3B) et au Kazakhstan (kourgane scythe de Berel', ill. 3C). Il est intéressant de préciser que l'étude des harnachements des chevaux de Berel' indique un lien entre les populations perses, chinoises et mongoles (Francfort *et al.*, 2000 ; Francfort et Lepetz, 2010). Dans les siècles suivants, les importations de chevaux de races iraniennes sont aussi connues en Chine au cours de la dynastie Han (206 avant notre ère-220 de notre ère) (Fèvre et Métaillé, 1993). À cette époque et dans cette région, ces liens ainsi que de possibles échanges de chevaux entre les populations ont pu contribuer à diffuser le parasite en Asie centrale.

Concernant l'Europe de l'Ouest, la plus ancienne mention d'*Oxyuris equi* date du second âge du Fer (La Tène, transition D1-D2) et est localisée en France (Fontaine-la-Guyon [Eure-et-Loir], « les Déserts », ill. 3D). Il est intéressant de noter qu'avant la conquête romaine, les Gaulois entretenaient des échanges commerciaux avec les Romains, qui avaient eux-mêmes des liens avec les populations d'Asie centrale et de Chine. Les anciens textes grecs et romains indiquent par exemple que les chevaux scythes (Sarmates en particulier), de même que les chevaux perses, étaient utilisés et reconnus comme étant de bonnes races (Johnstone, 2004). La période romaine compte le nombre le plus important de mentions de l'oxyure du cheval. Les chevaux, ânes et mules utilisés par l'armée au cours de la conquête romaine, pour le transport des soldats, du matériel et du ravitaillement à travers l'Empire, ont pu contribuer à augmenter la présence du parasite sur les sites étudiés. Cette relative abondance d'occurrences pourrait aussi être due à une prévalence plus importante du parasite chez les équidés romains. De la même façon, dans le nord de l'Angleterre, le parasite n'est détecté qu'autour du I^{er} siècle de notre ère, période de la conquête romaine de cette région de la Grande-Bretagne.

Concernant le continent américain, les seules

mentions paléoparasitologiques appartiennent à l'époque contemporaine et sont datées du XIX^e siècle (Lowell, site de « Boott Mills Boardinghouse », ill. 3U et Albany, Maiden Lane Pedestrian Bridge, ill. 3V) alors que de nombreuses études ont été réalisées pour toutes les périodes comprises entre le IX^e millénaire avant notre ère et le XIX^e siècle. Il est intéressant de noter que le cheval a disparu du continent américain autour de 8000 avant notre ère, et n'a été réintroduit qu'au cours des XV^e-XVI^e siècles par les premiers conquistadors en Amérique centrale (Perriot, 1997 ; Digard, 2004). La haute spécificité d'*Oxyuris equi* liée à l'absence des chevaux en Amérique entre le VIII^e millénaire avant notre ère et le XV^e siècle suffit à expliquer l'absence du parasite sur le continent américain entre ces deux dates. Avant le VIII^e millénaire avant notre ère, il n'y a pour le moment pas assez d'études paléoparasitologiques pour apporter des informations sur le parasite. Après le XV^e siècle, l'hôte du parasite est réintroduit mais l'oxyure du cheval n'est pas observé avant le XIX^e siècle. L'origine biologique du matériel étudié par les laboratoires américains, principalement humaine (momies, coprolithes humains...), pourrait expliquer cette absence. Les deux seules mises en évidence de l'oxyure du cheval proviennent de l'étude d'échantillons de sédiments issus de latrines (Lowell, site de « Boott Mills Boardinghouse ») et du remplissage d'un caniveau en pierre (Albany, Maiden Lane Pedestrian Bridge), soit deux échantillons contenant probablement un mélange de matières fécales variées, dont certaines d'origine équine. Finalement, parmi d'autres possibilités, les deux mentions américaines datées du XIX^e siècle pourraient aussi indiquer une introduction plus récente du parasite, via les importations de chevaux, par exemple au cours de la seconde colonisation européenne du Canada, autour du XVII^e siècle, comme cela a été démontré pour la petite douve du foie *Dicrocoelium lanceolatum* (Le Bailly et Bouchet, 2010).

Cette compilation des données sur l'oxyure du cheval met en évidence ce parasite dans l'Ancien Monde et en Asie centrale depuis l'âge du Fer, bien que celui-ci soit probablement associé aux équidés depuis leur apparition. L'absence de mentions avant cette période pourrait être due à la rareté des restes de chevaux sur les sites archéologiques, et à un échantillonnage pas toujours favorable à l'observation du parasite. L'analyse des différentes sources d'informations (bibliographie et analyses de laboratoire) montre que les occurrences deviennent plus nombreuses à partir du début de l'époque romaine. Même si des données complémentaires issues des régions du globe les moins renseignées en paléoparasitologie sont à présent nécessaires pour accéder aux détails concernant les voies de migrations du parasite, il semble que la conquête romaine, les migrations humaines et les échanges commerciaux entre



le centre de l'Eurasie et l'Europe de l'Ouest (par exemple via la route de la soie) ont joué un rôle important dans la diffusion et la fréquence de l'oxyure du cheval dans l'Ancien Monde.

Sur le continent américain, l'absence des chevaux entre le VIII^e millénaire avant notre ère et leur réintroduction par les conquistadors au XV^e siècle explique l'absence d'*O. equi*. Pour le moment, aucune occurrence du parasite n'est connue pour des chevaux préhistoriques. De même, entre le XV^e siècle et les premières mentions du XIX^e siècle, la nature des sites et des échantillons étudiés semble expliquer l'absence du parasite. Le caractère tardif des premières observations (au XIX^e siècle) pourrait être lié à la réintroduction du cheval par les conquistadors au cours du XV^e siècle, ou à des phénomènes migratoires plus récents comme la colonisation du nord de l'Amérique par les Européens au XVII^e siècle. Dans tous les cas, l'histoire de l'oxyure du cheval est une preuve supplémentaire montrant l'importance des conquêtes humaines et des migrations de populations sur la distribution des maladies parasitaires dans le monde moderne. Cette compilation montre enfin la nécessité d'étudier les parasitoses vétérinaires au cours de l'histoire, tout autant que celles de l'homme, pour leur intérêt dans la compréhension des relations homme/animal dans le temps, et les éventuelles anthrozoonoses générées par ces relations³.

3. Les auteurs remercient les collègues archéologues pour leur confiance depuis de nombreuses années, ainsi que Jean-Pierre Hugot (CNRS) et Sébastien Lepetz (CNRS) pour leur aide et Karl J. Reinhard et Diana S. Gallagher pour le complément d'information sur *O. equi* aux États-Unis.

Références bibliographiques

- ALLISON E., HALL A., KENWARD H., 1999, *Technical report. Living conditions and resource exploitation at the Early Christian rath at Deer Park Farms, Co. Antrim, N. Ireland: evidence from plants and invertebrates. Part 1: Text. Part 2: Tables.* Reports from the Environmental Archaeology Unit, York 99/8 et 99/10, 64 p. et 144 p.
- ARAÚJO A., FERREIRA L. F., 1995, « Oxiurias e migrações pré-históricas », *Manguinhos*, 2, p. 99-109.
- ARAÚJO A., FERREIRA L. F., 1997, « Paleoparasitology of schistosomiasis », *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 92, p. 717.
- ARAÚJO A. J. G., JANSEN A. M., REINHARD K., FERREIRA L. F., 2009, « Paleoparasitology of Chagas disease - a review », *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 104, p. 9-16.
- ARBOGAST R.-M., CLAVEL B., LEPETZ L., MÉNIEL P., YVINEC J.-H., 2002, *Archéologie du cheval*, Paris, Éditions Errance, 128 p.
- BAYLIS, H. A., 1936, *The Fauna of British India, Including Ceylon and Burma. Nematoda Vol. I (Ascaroidea and Strongyloidea)*, Londres, Taylor and Francis, 408 p.
- BOUCHET F., BENTRAD S., 1997, « Recovery of equine helminths eggs in a medieval lacustrine settlement », *Veterinary Records*, 141, p. 601-602.
- BOUCHET F., HARTER S., LE BAILLY M., 2003, « The state of the art of paleoparasitological research in the Old World », *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 98, suppl. 1, p. 95-101.
- BOUCHET F., LAVAZEC C., NATTIER V., DOMMELIER S., BENTRAD S., PAICHELER J.-C., 2000, « Étude de la parasitofaune du site médiéval de Charavines (Lac de Paladru, Isère, France) », *Bulletin de la Société zoologique de France*, 125, p. 205-215.
- CARUANA L., 1990, « Timber Town: Roman Carlisle (Luguvalium) », *Minerva*, 1, n° 3, p. 6-9.
- DA ROCHA G. C., HARTER-LAILHEUGUE S., LE BAILLY M., ARAÚJO A., FERREIRA L. F., DA SERRA-FREIRE N. M., BOUCHET F., 2006, « Paleoparasitological remains revealed by seven historic contexts from "Place d'Armes", Namur, Belgium », *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 101, suppl. 2, p. 43-52.
- DIGARD J.-P., 2004, *Une histoire du cheval. Art, Techniques, Société*, Arles, Actes Sud, 232 p.



3. La localisation des sites comportant des œufs d'*Oxyuris equi* sur une carte mondiale suggère des hypothèses quant à la diffusion du parasite. (A : Djumboulak Koum, désert du Taklamakan ; B : Mine de sel de Chehrabad ; C : Kourgane scythe de Berel ; D : Fontaine-la-Guyon, « les Déserts » ; E : Marseille, 23, Quai de Rive-Neuve ; F : Troies, Place de la Libération - Hôtel du département ; G : Reims, ZAC du Vieux-Port ; H : Camp de l'armée romaine de Valkenburg on Rhine ; I : Beauvais, Place du Jeu de

Paume ; J : Carlisle, Annetwell Street - Castle Street - Keay's and Law's Lanes ; K : Horbourg-Wihr, Kreuzfeld ; L : York, 24-30 Tanner Row ; M : Namur, Place d'Armes ; N : Terp de Foddersen wierde ; O : Rath de Deer Park Farms ; P : Charavines, site de Colletière ; Q : Bourges, ZAC Avaricum ; R : Riga, 13 Audēju Street and 33 Kalēju Street ; S : Brouage, Maison Champlain ; T : Lyon, Place des Terreaux ; U : Lowell, site de « Boot Mills Boardinghouse » ; V : Albany, Maiden Lane Pedestrian Bridge).

GONÇALVES M. L. C., ARAÚJO A., FERREIRA L. F., 2003, « Human intestinal parasites in the past: New findings and a review », *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 98, p. 103-118.

HALL A. R., KENWARD H. K., 1990, *Environmental evidence from the Colonia: General Accident and Rougier Street, Londres, Council for British Archaeology (The Archaeology of York 14, 6)*, p. 289-434.

HARTER-LAILHEUGUE S., 2006, « Étude paléoparasitologique du site de Marseille Quai Rive-Neuve », in BIEN S., RICHIER A., 23, *quai de Rive-Neuve à Marseille (Bouches-du-Rhône): sous les pavés, la plage...*, Rapport d'opération, Inrap-SRA Provence-Alpes-Côte d'Azur, p. 91-95.

HUGOT J.-P., GARDNER S. L., BORBA V., ARAÚJO P., LELES D., DA-ROSA A. A. S., DUTRA J., FERREIRA L. F., ARAÚJO A., 2014, « Discovery of a 240 million year old nematode parasite egg in a cynodont coprolite sheds light on the early origin of pinworms in vertebrates », *Parasites & Vectors*, 7, p. 486.

JANSEN J. R., OVER H. J., 1962, « Het voorkomen van parasieten in terpermaterial uit Noordwest Duitsland », *Tijdschrift voor Diergeneeskunde*, 87 (21), p. 1377-1379.

JANSEN J. R., OVER H. J., 1966, « Observations on helminth infections in a Roman army-camp », in CORRADETTI A. (dir.), *Proceedings of the 1st International Congress of Parasitology*, Rome, Sept. 21-26 1964, Oxford, Pergamon Press, vol. II, p. 791.

JEANMAIRE-HIRARDOT C., 1993, *Étude parasitologique des sédiments du site archéologique des Terreaux à Lyon*, Thèse d'exercice, Université Claude Bernard Lyon 1, 66 p.

JOHNSTONE C. J., 2004, *A Biometric Study of Equids in the Roman World*, Thèse de doctorat, University of York, 500 p.

JONES A. K. G., HUTCHINSON A. R., NICHOLSON C., 1988, « The worms of Roman horses and other finds of intestinal parasite eggs from unpromising deposits », *Antiquity*, 62, p. 275-276.

KASSAI T., 1999, *Veterinary Helminthology*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 296 p.

KAUFMANN J., 1996, *Parasitic Infections of Domesticated Animals: A Diagnostic Manual*, Basel, Birkhäuser, 423 p.

KENWARD H. K., ALLISON E. P., MORGAN L. M., JONES A. K. G., HUTCHINSON A. R., 1991, « Chapter 10. The insect and parasite remains », in MCCARTHY M. R. (dir.), *The structural sequence and environmental remains from Castle Street, Carlisle: excavations 1981-2*, Carlisle, Cumberland and Westmorland Antiquarian and Archaeological Society Research Series 5 (fascicule 1), p. 65-72.

KENWARD H., LARGE E., CARROTT J., 1998, *The archaeological significance of insect and other invertebrate remains from Keay's and Law's Lanes, The Lanes, Carlisle, Reports from the Environmental Archaeology Unit*, York 98/32, 126 p.

LE BAILLY M., BOUCHET F., 2006, « Paléoparasitologie et immunologie. L'exemple d'*Entamoeba histolytica* », *ArchéoSciences*, 30, p. 129-135.

LE BAILLY M., BOUCHET F., 2010, « Ancient microcoeliosis: Occurrence, distribution and migration », *Acta Tropica*, 115, p. 175-180.

DOMMELIER-ESPEJO S., 2001, *Contribution à l'étude paléoparasitologique des sites néolithiques en environnement lacustre dans les domaines Jurassien et péri-alpin*, Thèse de doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, 249 p.

DUFOUR B., HUGO J.-P., LEPETZ S., LE BAILLY M., 2015 (soumis), « The horse pinworm (*Oxyuris equi*) in archaeology during the Holocene: review of past records and new data », *Infection, Genetics and Evolution*.

DUFOUR B., LE BAILLY M., 2013, « Testing new parasite egg extraction methods in paleoparasitology and an attempt at quantification », *International Journal of Paleopathology*, 3, n° 3, p. 199-203.

DUFOUR B., LE BAILLY M., BOUCHET F., 2012, « L'apport de l'analyse paléoparasitologique sur les fosses aménagées », in BOUBY L., BOUCHET F., DUFOUR B., LE BAILLY M., PUTELET O., SCHAAL C., TEGEL W., Horbourg-Wihr, Haut-Rhin, Kreuzfeld (Est), *Un quartier de l'agglomération gallo-romaine, Rapport de fouille, Pôle d'Archéologie Interdépartementale Rhénan*, volume 2.3, *Aspects de la vie matérielle, La faune, Les diaspoires, Les parasites, Le bois*, p. 127-137.

FÈVRE F., MÉTAILLÉ G., 1993, « Aperçu des sources chinoises pour l'histoire des animaux », *Anthropozoologica*, 18, p. 99-103.

FISHER C. L., REINHARD K. J., KIRK M., DIVIRGILIO J., 2007, « Privies and Parasites: The Archaeology of Health Conditions in Albany, New York », *Historical Archaeology*, 41, n° 4, p. 172-197.

FRANCFORT H.-P., LIGABUE G., SAMASHEV Z., 2000, « La fouille d'un kourgane scythe gelé du IV^e siècle av. notre ère à Berel' dans l'Altai (Kazakhstan) », *Comptes-rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 144^e année, n° 2, p. 775-806.

FRANCFORT H.-P., LEPETZ S., 2010, « Les chevaux de Berel' (Altai) - Chevaux steppiques et chevaux achéménides: haras et races », in GARDEISEN A., FURET E., BOULBES N. (dir.), *Histoire déquidés: des textes, des images et des os, Actes de la table ronde (Montpellier, 13-14 mars 2008)*, Lattes, Éd. de l'Association pour le développement de l'archéologie en Languedoc-Roussillon (Monographies d'archéologie méditerranéenne, hors série n° 4), p. 57-104.

LE BAILLY M., BOUCHET F., 2011, « Étude paléoparasitologique des cuvelages gallo-romains », in ROMS C., KUCHLER P., *Formation et développement d'un espace urbain de l'Antiquité à nos jours: Troyes, Aube, Place de la Libération*, Rapport de fouilles, Inrap-SRA Champagne-Ardenne, vol. 4, Études et catalogue du mobilier, p. 119-128.

LE BAILLY M., BOUCHET F., 2013, « *Diphyllobothrium* in the past: Review and new records », *International Journal of Paleopathology*, 3, n° 3, p. 182-187.

LE BAILLY M., HARTER S., BOUCHET F., 2003, « La paléoparasitologie, à l'interface de l'archéologie et de la biologie », *Archéopages*, 11, p. 12-17.

LE BAILLY M., LEPETZ S., SAMASHEV Z., FRANCFORT H.-P., BOUCHET F., 2008, « Paleoparasitological study of gastro-intestinal content in horses at a Scythian kurgan (3rd century BC) found in Kazakhstan », *Anthropozoologica*, 43 (2), p. 69-75.

LEPETZ S., 2013, « Horse sacrifice in a Pazyryk culture kurgan: the princely tomb of Berel' (Kazakhstan). Selection criteria and slaughter procedures », *Anthropozoologica*, 48 (2), p. 309-321.

MOULÉ L., 1911, « La Parasitologie dans la littérature antique. II. Les parasites du tube digestif », *Archives de parasitologie*, 14, p. 353-383.

NEZAMABADI M., 2014, *The first contribution of paleoparasitology on Iranian Plateau and adjacent area: origins and spread of intestinal parasites in the Middle East during the Holocene*, Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 211 p.

NEZAMABADI M., AALI A., STÖLLNER TH., MASHKOUR M., LE BAILLY M., 2013, « Paleoparasitological analysis of samples from the Chehrabad salt mine (Northwestern Iran) », *International Journal of Paleopathology*, 3, n° 3, p. 229-233.

NEZAMABADI M., HARTER-LAILHEUGUE S., LE BAILLY M., 2011, « Paleoparasitology in the Middle-East: State of the research and potential », *Tiiba-Ar*, 14, p. 205-213.

PENSO G., 1981, *La Conquête du monde invisible: parasites et microbes à travers les siècles*, Paris, Les Éditions Roger Dacosta, 379 p.

PERRIOT F., 1997, *Chevaux en terre indienne*, Paris, Albin Michel, 194 p.

RAUZY N., 2001, *Étude d'un parasite du cheval: Oxyuris equi*, Thèse d'exercice, Université Paul Sabatier, 72 p.

REINHARD K. J., 1989, « Parasitological Analyses of Latrine Soils from the Boot Mills Boardinghouse Site, Lowell, Massachusetts », in BEAUDRY M. C., MROZOWSKI S. A. (dir.), *Interdisciplinary Investigations of the Boot Mills Lowell, Massachusetts, Volume III: The Boarding House System as a Way of Life*, Cultural Resources Management Study n° 21, p. 271-272.

REINHARD K. J., 1990, « Archaeoparasitology in North America », *American Journal of Physical Anthropology*, 82, p. 145-162.

RONCALLI A. R., 2001, « The history of Italian parasitology », *Veterinary Parasitology*, 98, p. 3-30.

RUFFER M. A., 1910, « Note on the presence of Bilharzia haematobium in Egyptian mummies of the twentieth dynasty (1250-1000 BC) », *The British Medical Journal*, 1, p. 16.

SANDISON A., 1967, « Parasitic diseases », in BROTHWELL D., SANDISON A. (dir.), *Diseases in Antiquity: a survey of the diseases, injuries, and surgery of early populations*, Springfield, Charles Thomas, p. 178-183.

SIANTO L., CHAME M., SILVA C. S. P., GONÇALVES M. L. C., REINHARD K., FUGASSA M., ARAÚJO A., 2009, « Animal helminths in human archaeological remains: a review of zoonoses in the past », *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 51, n° 3, p. 119-130.

SMITH F., 1913, « The early history of veterinary literature and its british development », *The Journal of comparative pathology and therapeutics*, 26, n° 1, p. 1-32.

SOULSBY E. J. L., 1982, *Helminths, Arthropods and Protozoa of Domesticated Animals*, Londres, Baillière Tindall, 809 p.

TAYLOR M. A., COOP R. L., WALL R. L., 2007, *Veterinary Parasitology*, Oxford, Blackwell Publishing, 600 p.

YEH H.-Y., PLUSKOWSKI A., KALEJS U., MITCHELL P. D., 2014, « Intestinal parasites in a mid-14th century latrine from Riga, Latvia: fish tapeworm and the consumption of uncooked fish in the medieval eastern Baltic region », *Journal of Archaeological Science*, 49, p. 83-89.

Résumé :

Les données paléoparasitologiques pour l'époque romaine sont nombreuses, mais souvent diluées dans des rapports, des monographies ou des articles scientifiques. La première partie de ma thèse vise à rassembler ces informations, et présente une synthèse des données disponibles pour l'époque romaine (27 av. - 476 ap. J.-C.). Dans cette perspective, une approche pathographique des maladies parasitaires a été réalisée, et une liste des parasites connus dans l'Antiquité a pu être réalisée. Nous avons également complété ces données grâce à l'étude de onze nouveaux sites archéologiques. L'ensemble des résultats a été intégré dans une base de données, dont l'exploitation a permis d'étudier la répartition géographique des taxons, et de comparer leurs fréquences en fonction de différents paramètres tels les types de sites, d'activités, ou d'échantillon.

Une seconde partie de mon travail s'est attaché à comparer et améliorer la technique employée pour l'extraction des œufs de parasites anciens. Plusieurs tests ont été réalisés, qui montrent que les méthodes sans sélection chimique permettent d'extraire un grand nombre de résidus tout en conservant le maximum de biodiversité. Enfin la quantification précise des œufs lors des études des sites archéologiques du corpus a permis de tester des approches statistiques et de spatialisation dans le traitement des résultats. Ainsi, l'emploi d'outils tels la classification ascendante hiérarchique (CAH), les systèmes d'information géographique (SIG), ou la micromorphométrie sur les œufs, ont permis d'affiner les identifications, et les interprétations des structures au sein des sites archéologiques. Ces résultats montrent l'intérêt d'intégrer ces outils dans les études paléoparasitologiques à l'avenir.

Mots-clés : paléoparasitologie, parasites, Antiquité, époque romaine, méthodologie.

Data review and new contribution to the parasites study of Roman period, and methodological input from the markers extraction to the treatment of results.

Abstract :

Paleoparasitological data concerning the Roman period are numerous, but scattered in reports, monographs or scientific articles. The aim of the first part of my thesis is to collect these informations, and provide a review of available data for the Roman period (27 BC - 476 AD). For this purpose, a pathographic approach for parasitic diseases has been performed and a listing of parasites known in Antiquity has been made. We have also completed the data with the study of eleven new archeological sites. All results have been include in a database. The exploitation of data allowed to study the taxa geographical repartition, and to compare their frequencies according to various parameters such as the type of sites, activities or samples.

A second part of my work is focused on comparing and improving the method used to extract ancient eggs. Several tests have been performed which point out that methods without chemical selection allowed to extract many residues, while maintaining the maximum of biodiversity. To finish, the precise quantification of eggs during the study of archeological sites from the corpus, allowed to test statistical and spatialization approaches in the treatment of results. So, using tools such as hierarchical cluster analysis (HCA), geographic information system (GIS), or micromorphometry on eggs, allowed to refine identifications and interpretations of structures within archeological sites. These results point out the interest to include in the future these tools in paleoparasitological studies.

Keywords : paleoparasitology, parasites, Antiquity, Roman period, methodology.

Thèse préparée au laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249, Université de Bourgogne Franche-Comté

Synthèse de données et nouvelle contribution à l'étude des parasites de l'époque romaine, et apports méthodologiques de l'extraction des marqueurs au traitement des résultats

Résumé :

Les données paléoparasitologiques pour l'époque romaine sont nombreuses, mais souvent diluées dans des rapports, des monographies ou des articles scientifiques. La première partie de ma thèse vise à rassembler ces informations, et présente une synthèse des données disponibles pour l'époque romaine (27 av. - 476 ap. J.-C.). Dans cette perspective, une approche pathographique des maladies parasitaires a été réalisée, et une liste des parasites connus dans l'Antiquité a pu être réalisée. Nous avons également complété ces données grâce à l'étude de onze nouveaux sites archéologiques. L'ensemble des résultats a été intégré dans une base de données, dont l'exploitation a permis d'étudier la répartition géographique des taxons, et de comparer leurs fréquences en fonction de différents paramètres tels les types de sites, d'activités, ou d'échantillon.

Une seconde partie de mon travail s'est attaché à comparer et améliorer la technique employée pour l'extraction des œufs de parasites anciens. Plusieurs tests ont été réalisés, qui montrent que les méthodes sans sélection chimique permettent d'extraire un grand nombre de résidus tout en conservant le maximum de biodiversité. Enfin la quantification précise des œufs lors des études des sites archéologiques du corpus a permis de tester des approches statistiques et de spatialisation dans le traitement des résultats. Ainsi, l'emploi d'outils tels la classification ascendante hiérarchique (CAH), les systèmes d'information géographique (SIG), ou la micromorphométrie sur les œufs, ont permis d'affiner les identifications, et les interprétations des structures au sein des sites archéologiques. Ces résultats montrent l'intérêt d'intégrer ces outils dans les études paléoparasitologiques à l'avenir.

Mots-clés : paléoparasitologie, parasites, Antiquité, époque romaine, méthodologie.

Data review and new contribution to the parasites study of Roman period, and methodological input from the markers extraction to the treatment of results.

Abstract :

Paleoparasitological data concerning the Roman period are numerous, but scattered in reports, monographs or scientific articles. The aim of the first part of my thesis is to collect these informations, and provide a review of available data for the Roman period (27 BC - 476 AD). For this purpose, a pathographic approach for parasitic diseases has been performed and a listing of parasites known in Antiquity has been made. We have also completed the data with the study of eleven new archeological sites. All results have been include in a database. The exploitation of data allowed to study the taxa geographical repartition, and to compare their frequencies according to various parameters such as the type of sites, activities or samples.

A second part of my work is focused on comparing and improving the method used to extract ancient eggs. Several tests have been performed which point out that methods without chemical selection allowed to extract many residues, while maintaining the maximum of biodiversity. To finish, the precise quantification of eggs during the study of archeological sites from the corpus, allowed to test statistical and spatialization approaches in the treatment of results. So, using tools such as hierarchical cluster analysis (HCA), geographic information system (GIS), or micromorphometry on eggs, allowed to refine identifications and interpretations of structures within archeological sites. These results point out the interest to include in the future these tools in paleoparasitological studies.

Keywords : paleoparasitology, parasites, Antiquity, Roman period, methodology.