

SOMMAIRE

prélude 7 l'Odysée d'Alaria

introduction 9 transmission,
communication

APPARAÎTRE

idées et opinions 11
12 l'homme et les animaux
15 l'échange d'affection
19 la législation et les classes

histoire et faits 21 l'homme et la vétérinaire
23 les maladies inter-espèces
31 l'homme et l'enseignement

DÉCOUVRIR

infection du vivant 35
36 maladies et zoonoses
40 parasites et micro-organismes
42 interaction et transmission

cycles biologiques 44 les parasites alimentaires
54 les bactéries et leurs vecteurs
60 les champignons opportunistes

« Tout est cycle,
cercle vicieux,
éternel retour. »

Morgan Sportès, *Solitudes*

TRANSMETTRE

phase d'incubation 67
68 des tuteurs et un sujet
71 une cible et des supports
74 l'existant et les manques

phase d'invasion 77 des inspirations et une réflexion
81 des essais et une stratégie
82 les résolutions et l'action

guérison 88 conclusion

90 abstract

94 bibliographie

Colonies cylindriques, Rick Guidice,
NASA Ames Research Center (1970)

L'ODYSSÉE D'ALARIA

Sur les rivages du lac, le soleil se reflète et illumine de ses impassibles rayons les milliers de gouttelettes à la surface. Dans l'eau claire, des sphères microscopiques brillent et voguent au rythme de son clapotis.

Une légère fissure se forme à travers l'une des billes et se propage à toute la coquille. En éclôt un petit être en forme de larve, le corps recouvert de fins poils vibrant dans l'eau. C'est *Alaria*. Encore jeune, il cherche à droite, à gauche, se déplaçant rapidement et au gré des courants, quelqu'un qui l'abriterait, qui le protégerait. Par chance, un *escargot* passe à proximité, et le petit organisme y prend foyer. Tranquillement, lentement, il s'y repose. Son corps commence à changer, à se différencier en un nouvel être, difficilement reconnaissable. À l'intérieur du mollusque, *Alaria* se transforme, sa forme s'allonge.

Lorsqu'il est enfin satisfait de sa nouvelle apparence, l'envie de parcourir le monde commence à le gagner. Émergeant de son hôte, *Alaria* profite de son nouvel appendice en forme de fourche pour nager rapidement dans les flots. Il s'émerveille du monde qui l'entoure, et rencontre alors une petite *rainette*. Ravi de faire une nouvelle connaissance et fatigué par sa nage, il lui demande s'il peut se reposer en son ventre. La batracienne n'est pas farouche et accepte qu'*Alaria* loge dans son intestin quelque temps. Finalement, tous deux s'entendent assez bien. Ils communiquent peu, mais leur relation en symbiose n'entache en rien la vie paisible des bords du lac.

Néanmoins, un jour arrive où un *raton laveur* affamé voit la petite grenouille, et, sans crier gare, s'en sustente. *Alaria* se retrouve alors cloîtré dans le cadavre de son amie, dans l'estomac du petit prédateur. Alors que la tristesse le ronge, le raton laveur vit, quant à lui, des jours heureux dans les bois alentour. Ceci, jusqu'au jour où un jeune *loup* le voit, et à son tour en fait son repas! Tel est pris qui croyait prendre et *Alaria* doit déménager de nouveau.

Dans le ventre de la bête, *Alaria* est à présent un jeune homme et ce dernier habitat est plutôt charmant; il décide alors d'aller visiter les logements adjacents, à la recherche de nouveaux amis. Dans les poumons du loup, il rencontre une jeune demoiselle qui deviendra

sa compagne. Ainsi, peu après, le ventre de Madame Alaria s'emplit d'infimes petits œufs, qu'elle se hâte de délivrer dans l'intestin grêle du canidé, avant d'aller s'installer définitivement dans un menu bout de muscle pour y couler des jours heureux.

Le loup, quant à lui, n'est pas au mieux de sa forme. Il pleut à verse, l'eau ruisselle sur son pelage, tandis qu'il expulse l'intérieur de sa tripaille dans la nature. Emportés par les gouttes, déjections et œufs glissent vers le lac. Peu de temps après, dans l'eau, une légère fissure se forme à travers une des billes, et se propage à toute la coquille.

À l'autre bout du lac, un jeune homme fait rôtir, sur un faible feu de bois amoindri par la pluie, quelques cuisses de grenouilles. À l'intérieur d'elles, les frères d'Alaria.

Neuf jours plus tard, le randonneur décède dans des conditions mystérieuses.

L'autopsie révélera des centaines de larves, réparties dans l'ensemble de ses organes et de ses viscères.



Alaria alata
dans l'intestin
d'un canidé.

TRANSMISSION, COMMUNICATION

« Quand ils cherchèrent à montrer que la nature ne fait rien en vain, ils ne montrèrent rien d'autre, semble-t-il, sinon que la nature et les Dieux délirent tout autant que les hommes. »

Spinoza, *Éthique* (1677)

Alaria a traversé lacs et bois, a vécu au sein de divers êtres vivants, a évolué en leur cœur, profitant de leur vitalité, parfois à leur détriment. Doit-on alors féliciter l'intelligence de l'espèce, la finalité, un Dieu ou bien le hasard ? Si cette question reste en suspens, ses principes scientifiques peuvent néanmoins être étudiés. **Que sont les parasites inter-espèces ? Sont-ils nombreux, usuels ? Quelles pathologies engendrent-ils ? Leurs cycles de transmission sont-ils toujours aussi complexes que celui d'Alaria ?**

Au-delà de la poésie du voyage, ces parasites pathogènes peuvent être dangereux pour le bétail, les animaux de compagnie et même pour l'homme. Dès lors, la finalité première de la médecine vétérinaire devient la santé humaine. Ces derniers se doivent donc de prévenir, détecter, contenir et protéger. C'est dans ce cadre qu'œuvre l'UMR BIPAR. Ses équipes de recherche étudient les micro-organismes infectieux transmissibles à l'animal et à l'homme. Si le sujet est passionnant, malheureusement cette science du vivant est encore peu mise en valeur, par manque d'une communication graphique illustrée, spécifique et pertinente. Ma mission est donc de créer des documents de transmission scientifique, à la fois intelligents et esthétiques. **Projet de communication pluri-disciplinaire concernant les cycles de transmission inter-espèces**, ce diplôme doit effectuer le lien entre, d'une part, des micro-organismes et des animaux et des hommes, et d'autre part, des chercheurs, une étudiante en illustration scientifique et une cible.

La première partie de ce mémoire consistera en une analyse des rôles et relations entre hommes et animaux, à travers réflexions philosophiques et faits historiques ; je me pencherai ensuite sur les postulats scientifiques inhérents au sujet, c'est-à-dire les maladies infectieuses parasitaires et les micro-organismes ; enfin, je présenterai les fondements de ce projet et ses enjeux.

Composition d'après
Adam and Ève,
Lucas Cranaach (1530)



I

I

apparaître

« Il n'y a pas de fin.
Il n'y a pas de début.
Il n'y a que la passion infinie de la vie. »

Federico Fellini

IDÉES ET OPINIONS

L'HOMME ET LES ANIMAUX

C'est l'un des enjeux de la philosophie que de se pencher sur la question de la nature humaine, de son évolution et de son rapport au monde qui l'entoure. La représentation de l'homme par rapport

à celle de l'animal, parfois très proche et parfois divergente, est un terrain toujours sujet à débat. Dès lors, tout discours sur l'animal a des retombées sur l'homme, qu'il s'agisse d'appréhender son existence en tant que tel, ou de s'en distinguer.

« Il serait peu curieux de savoir ce que sont les bêtes, si ce n'était pas un moyen de savoir ce que nous sommes. »

Condillac, *Traité des animaux* (1755)

Actuellement, l'espèce humaine est vue comme animale d'un point de vue biologique. Le titre du roman de Jean-Marie Meyer, *Nous sommes des animaux, mais on n'est pas des bêtes*, montre bien que, malgré l'acceptation collective de l'animalité de l'homme, celui-ci cherche à se démarquer de toute bestialité. Tandis que le terme latin *animal* englobe tout « être vivant animé », la *bestia* renvoie à l'environnement sauvage, le *ferus*. Dès lors, la bête *silvaticus* n'ayant sa place que dans les bois, est bien loin des valeurs spécifiques à l'homme telles que la conscience, la morale, la philosophie ou la religion. Nous nous rassurons à accepter nos instincts, parfois bestiaux en nous rappelant que la culture nous distingue et nous valorise. Les spécificités que nous soulignons comme étant propres à notre espèce sont autant d'entremises nous permettant de nous placer en position de supériorité.

âme

Dans la Grèce antique, il était admis que tout être vivant, qu'il soit homme ou animal, portait en lui-même un principe de vie lui permettant d'exister. Les Grecs le nommait *psychè*, ce que nous traduisons communément aujourd'hui par l'« âme ». Commune à toute chose vivante et animée, cette essence, l'*anima*, renvoie aussi bien à l'origine des termes âme et animal. Ainsi, selon Aristote, l'homme demeure un animal comme un autre, à l'exception de son *logos*, le langage, ou plus généralement de sa rationalité. À cette époque, de l'inanimé aux dieux, il n'existait aucune rupture : simplement une hiérarchie où l'homme n'est que l'intermédiaire entre la bête et le divin. L'idée de l'âme animale perdure dans le stoïcisme, ainsi que dans les religions du Livre (islam et judaïsme), mais elle est infirmée en Occident avec l'arrivée du christianisme, qui affirme que ce principe de vie n'est pas un apport de la nature, mais qu'il

émane de la grâce de Dieu. La question de l'animal ne pouvait alors poser problème, puisque celui-ci était une divine création à but de solutionner les difficultés humaines. Si l'âme permet à l'homme de prétendre à l'immortalité divine, elle crée aussi un important fossé avec l'animal, simple mortel, qui ne mérite alors que le statut d'homme inachevé, de brouillon imparfait. Ce clivage a perduré des siècles durant et il est à l'origine de la philosophie cartésienne. En effet, Descartes réfute définitivement l'idée de l'âme animale, mais nie aussi une supériorité du vivant sur l'inanimé. « L'homme pense donc il est », il est alors *pensée* avant même d'être *vie*. Son corps, purement matériel, ne sert qu'à le retenir sur terre, tout comme le reste des êtres. Ceux-là qui, sans pensée, ne sont plus que machines insensibles ; sans pensée, selon lui, il n'existe ni perception, ni intention, ni joie, ni souffrance. Dès lors, frapper un chien ne provoque que des cris par mécanismes réflexes, comme sonne l'horloge déclenchée par ses rouages. Si l'âme élève, le corps condamne à demeurer au niveau du sol ; la question de la complexité de l'homme face à l'animal ne se pose plus, tant tous deux divergent par leur nature : les comparer serait donc une hérésie.

Moins de deux siècles plus tard, Darwin vient réfuter tout cela. Dans sa *Théorie des espèces* parue en 1859, il avance l'idée que l'homme n'est qu'un primate parmi tant d'autres. À cette époque encore, le *Code civil*, créé par Napoléon, n'envisageait la bête que sous l'angle « utilitaire », l'animal n'étant qu'un « bien » matériel. Néanmoins, depuis le décryptage des génomes et grâce à la systématique moléculaire (discipline utilisée pour retrouver les parentés entre espèces non seulement par leurs caractéristiques anatomiques, mais aussi par leur ADN), l'homme doit se faire une raison : il ne descend pas du singe, mais fait partie du groupe des singes.

De nos jours, Françoise Burgat, philosophe et chercheuse à l'Institut national de Recherche agronomique, écrit que « lorsque les hommes tentent de définir l'animal, ce ne sont pas des animaux qu'ils parlent... mais des hommes ! ». La bête n'est alors pas définie par ses caractéristiques propres, mais par ce qui lui manque d'attributs humains : elle serait dépourvue « de raison, d'intelligence, de culture, de liberté, d'âme et de langage ». De même, lorsque l'on parle des « caractères bestiaux » d'un homme, cela vient dénoter une dimension péjorative : son agressivité, ses bas instincts... La dignité dont dispose l'être humain, contrairement à l'animal, lui confère alors un certain nombre de droits. Par sa conscience, il est en droit de décider de ce qui est bon, bien, ou mieux, pour lui tout comme pour l'ensemble de l'univers.

génétique

L'humain n'est pas la version évoluée du primate, mais un simple cousin. L'homme et le chimpanzé partageraient alors, en plus de 98,5 % de leur information génétique, un ancêtre commun exclusif vivant il y a 5 à 8 millions d'années. À titre de comparaison, le génome humain a 80 % de similitude avec la souris et 60 % avec la drosophile.

supériorité



Renard et lièvre, Johann Baptist Hofner (1866)

Selon **Marc Anglaret**, actuellement professeur de philosophie à l'Académie de Montpellier, les droits que l'homme s'octroie tendent à devenir des prétextes quand ils servent, non pas à protéger, mais à profiter d'une situation : ils sont alors les masques d'un cynique « droit

du plus fort », version évoluée de « l'instinct de survie ». La chasse, la pêche, la pollution ou la déforestation exterminent, volontairement ou non, de plus en plus d'espèces ; de même, l'utilisation des animaux pour le plaisir, dans le cirque ou la corrida par exemple, sont autant de preuves de nos désirs de suprématie et de notre sentiment de supériorité. Dès lors, encore aujourd'hui, perdure l'idée que l'homme est le supérieur de l'animal, sur lequel il a des droits et des devoirs, mais surtout une autorité.

Les espèces qui survivent ne sont pas les plus fortes, ni les plus intelligentes, mais celles qui s'adaptent le mieux aux changements.

Charles Darwin, *L'Origine des espèces* (1859)

Si nous partons du principe que le but de toute espèce est sa survie, **Darwin** pose les bases d'une thèse laissant sous-entendre que l'homme ne serait peut-être pas l'être supérieur sur terre. Le pouvoir ne dépendrait donc pas de l'aboutissement et des accomplissements passés, mais des capacités actuelles de s'ajuster aux changements extérieurs, de s'accommoder à une situation dans le but d'y vivre en harmonie et avec facilité. Néanmoins, cette théorie se révèle hasardeuse dans certains cas. Qu'en est-il des blattes, des fourmis et autres insectes ayant survécu, seuls, aux attaques atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki ? Ou même des parasites qui, à l'intérieur même de notre organisme et au cours des millénaires, ont abandonné jambes, yeux, mâchoires ou oreilles jusqu'à devenir une cavité juste bonne à absorber des nutriments et à se reproduire ?

Ainsi, au lieu de comparer et d'opposer sans cesse homme et animal, espèce contre espèce, la solution réside peut-être dans l'acceptation des caractères propres à chacun, de ses capacités comme de ses impuissances, et de voir perfection, beauté et dignité dans l'altérité. « Si grande soit la différence entre l'esprit de l'homme et celui des animaux les plus élémentaires, c'est seulement une différence de degré et non de qualité » conclut Darwin.

L'ÉCHANGE D'AFFECTION

Si un rapport de sensibilité face à l'animal a, de tous temps, plus ou moins existé, il était auparavant relégué au second plan. Les besoins impératifs à la survie de l'homme, comme son alimentation ou sa protection, faisaient loi ; l'individu, se voyant en tous points supérieur, se permettait d'exploiter, voire de maltraiter, ses « sous-espèces ». Néanmoins, à force de proximité et d'interdépendance, des liens forts ont pu se nouer.

L'exemple du cheval est marquant. Ce dernier profite d'une relation de confiance avec son maître : il est sa monture, c'est-à-dire un support qui l'élève, et non un laboureur de la terre. Il est animal de privilège, au-dessus des autres ; bien longtemps, entre les animaux comme entre les hommes, l'égalité n'existait pas. Caligula, empereur romain du siècle premier, nomma d'ailleurs son cheval « Sénateur à vie ».

Dès lors, la relation homme/cheval, attestée depuis des millénaires et développée sur tous les plans, aussi bien économique, rural ou militaire que culturel et esthétique, aura permis l'existence d'une source affective d'origine animale à destination du plus grand nombre, sans distinction d'origine sociale. **Christophe Degueurce**, professeur d'anatomie et conservateur du musée de l'ENVA, insiste sur ce point dans son article intitulé « Le cheval, un animal contraint », paru en 2012 dans la revue *Le cheval et ses patrimoines* : il y écrit que « l'équitation lie deux êtres bien différents dans un mouvement commun, dans une quête d'harmonie qui les transforme en une forme de centaure. Cette fusion tend à gommer les différences existant entre l'homme et l'animal, et la tentation est forte pour le cavalier de voir dans sa monture un autre lui-même, soumis finalement aux mêmes impératifs ».

le cheval

Hadrien, empereur romain du II^e siècle, humaniste, lettré, et poète, fit édifier une tombe pour le repos de son compagnon. Il y plaça une épitaphe hippique rédigée de sa propre main :
« Borysthénès l'Alain, impérial cheval de chasse, qui par la plaine, par les marais et par les collines étrusques savait si bien voler... »

Renard et lièvre, source inconnue



privilèges

Il peut, dès lors, arriver que l'homme attribue à l'animal ses propres caractéristiques et valeurs : il l'anthropomorphise et le transforme en un autre lui-même, au lieu de le penser comme une espèce différente, possédant ses codes, ses instincts et sa logique. Actuellement, certains **spécistes** vont jusqu'à privilégier les intérêts d'une espèce au détriment de l'espèce humaine, alors que d'autres individus embrasseront l'emprise que l'animal pourra avoir sur leur vie en tolérant, voire en recherchant les exigences ou les caprices de leurs compagnons. Ainsi, «j'habite chez mes chats», avait coutume de dire **Jean Cocteau**.



Rapport de la Physionomie Humaine avec Celle des Animaux,
«planche 6 : Rapport de la Figure humaine avec celle de l'âne»,
dessins de Charles Le Brun (1670)
gravés pour la Chalcographie
du Musée Napoléon (1806)

sensibilité

Au XVIII^e siècle, **Jean-Jacques Rousseau** écrivait que l'homme et l'animal partagent une sensibilité les distinguant du reste du vivant : «Je vois un sentiment exquis dans mon chien, écrit-il, mais je n'en aperçois aucun dans un chou». Pour l'époque, il ouvrait une perspective nouvelle : les animaux ont un cœur et des passions, ils sont des êtres sensibles, comme l'homme, et il se doit alors de traiter humainement ces êtres qui, n'étant pas humains, n'en sont pas moins sensibles. Il écrit même dans le *Discours sur l'origine et les fondements de l'inégalité parmi les hommes* : «il semble que si je suis obligé de ne faire aucun mal à mon semblable, c'est moins parce qu'il est un être de raison que parce qu'il est un être sensible, qualité qui, étant commune à la bête et à l'homme, donne au moins à l'une le droit de ne pas être maltraitée inutilement par l'autre». Un demi-siècle plus tard, **Arthur Schopenhauer** explique que le monde végétal «revêt une forme muette et paisible», et que c'est par le monde animal qu'inquiétude et souffrance apparaissent.

Avec l'**industrialisation**, l'homme rural se mue en citadin et la vie urbaine le tient à distance de toute nature ; cela même alors que Rousseau, au XVIII^e siècle, affirmait pouvoir, à pied et d'où qu'il soit à Paris, se retrouver à la campagne en une demi-heure. Cet éloignement progressif engendre une séparation des mondes : la ville et la campagne bien sûr, mais aussi les lieux d'élevage et d'abattage, fermés et séparés du paysage visible. Il se produit alors une sorte de désertion animale au regard de l'homme ; la bête non anthropomorphisée doit se tenir à une distance respectable.

Vers 1950, l'agriculture et les transports sont motorisés, le cheval quitte alors la sphère de l'utilitaire pour entrer dans celle des loisirs. Son statut culturel n'aura de cesse de s'élever, notamment par la popularisation puis par la féminisation des sports équestres. **Bartabas**, écuyer, professeur et metteur en scène français constate dans cet animal «un pouvoir sensitif bien supérieur à celui de l'homme». «Les chevaux te voient l'intérieur, dit-il. Il suffit que je pense à une figure pour qu'ils l'exécutent. Il est impensable de ressentir une telle complicité, une telle osmose, avec un autre être humain.» Le cas de Bartabas est rare car, depuis l'industrialisation et l'effondrement de la civilisation liée au cheval, l'homme s'est retrouvé privé d'un compagnon important ; il s'est alors tourné vers la domestication d'espèces dans un but non matérialiste. Par ailleurs, l'effondrement des valeurs, le désert affectif et la solitude sont autant de raisons de l'accroissement considérable du nombre d'animaux de compagnie dans les foyers.

Selon l'étude Facco/TNS Sofrès réalisée en 2005, plus de 50 % des foyers français possèdent un animal de compagnie, ce qui place alors la France au deuxième rang mondial (derrière les États-Unis).

Depuis la nuit des temps, l'animal était source d'énergie première (alimentation, force mécanique, transport) mais, de nos jours, le pétrole et l'électricité l'ont remplacé. La représentation synthétique de l'animalité s'est alors divisée en trois pôles : l'animal utilitaire (qui y demeure partiellement, relégué à l'élevage et au laboratoire), l'animal familier, et l'animal sauvage. Ces deux dernières catégories sont fortement anthropomorphisées, grossies et déformées par nos médias : la vie animale devient alors romanesque, artificialisée et idéalisée. Au contraire, l'animal-utile est peu perceptible, caché non seulement durant sa vie, mais aussi durant sa consommation (il est difficile de reconnaître le poulet dans les *nuggets*). La dimension empirique au rapport à l'animal, faite de contacts directs et d'expériences, s'allège donc et laisse la place à une idéologie fantasmatique.

statut

«Nous continuons d'appréhender l'animal de façon totalement éclatée, explique Florence Burgat. Il y a, d'un côté, l'animal de compagnie que l'on caresse, de l'autre, l'animal de laboratoire que l'on tente éventuellement de protéger de souffrances inutiles, de l'autre encore, l'animal gibier que l'on n'hésite pas à abattre, et enfin l'animal de boucherie et d'élevage.»

Si l'animal d'antan était exploité, il n'en demeure que ce dernier, par son rôle indispensable et indissociable à l'homme, bénéficiait d'un statut à part. Leur partenariat et les échanges réciproques quotidiens donnaient à l'animal une figure de compagnon. Aujourd'hui, le but même d'une partie des espèces est cette figure recherchée, pragmatique, d'animal de compagnie, de compagnon calculé. Il est alors cloîtré dans le domaine privé, la sphère familiale ; ses sorties

publiques ne se font qu'avec la permission du maître. Par cela, et plus que jamais, la bête tend à devenir marchandise plus que sujet à part entière.

empathie

Par ailleurs, nous sommes nombreux à ressentir une empathie envers un animal qui souffre. Si peu d'humains sont attristés par la coupe d'un arbre, beaucoup plus le seront pour toute violence infligée à un animal. Néanmoins, cette empathie est très relative et dépend des espèces et de leur degré, supposé, d'intelligence ou de sensibilité. C'est particulièrement visible dans le cas des **végétariens**; ces derniers ne doivent manger, par définition, aucune viande animale. Pourtant, une partie non-négligeable d'entre eux, par choix ou par ignorance, se nourrit tout de même de chair de poisson (alors que, phylogéniquement parlant, les poissons font bien partie du règne animal). Il est, dès lors, difficile de tracer une limite nette entre, d'une part, la recherche de satisfaction personnelle, et d'autre part l'affection ressentie, de façon subjective, selon notre degré d'intimité partagé avec une espèce, dépendant de notre vécu ou de notre culture. Par exemple, en Inde, les éleveurs **hindouistes** végétariens participent activement au commerce de viandes animales avec leurs voisins musulmans. De même, nous nous nourrissons de certaines espèces animales et non d'autres, et ceci parfois sans autre logique explicite que l'habitude, la facilité, la religion ou les mœurs. Certains Hindous non pratiquants mangeront de la viande (et des insectes) mais à l'exception de celle de vache, animal sacré incarnant la déesse *Kali Mata*. En Corée et en Chine, au contraire, le chien peut être aussi bien cajolé que mijoté. L'anthropomorphisme laisse donc à l'homme une grande marge d'interprétation, dans laquelle la notion de subjectivité passe avant la notion de sujet et de nature.

Lepus, Marta Marzal Abellan (2009)



LA LÉGISLATION ET LES CLASSES

De nos jours, se fédèrent des groupes humains diversifiés (individus, associations, institutions) afin de protéger toute espèce vivante, qu'elle soit de bétail ou exotique, et de sauvegarder l'animal libre dans un milieu dit «sauvage». De même, les animaux de compagnie vivent dans d'excellentes conditions, proches de celles des hommes, et parfois même meilleures.

« Nous devons la justice aux hommes, et la grâce et la bénignité aux autres créatures qui en peuvent être capables. Il y a quelque commerce entre elles et nous, et quelque obligation mutuelle. »

Montaigne, *Essais* (1580)

Cette protection est d'autant plus nécessaire que la violence envers les animaux n'a cessé de s'accroître. Entre la chasse considérée comme un «sport», les techniques industrielles d'élevage et d'abattage, la pression démographique humaine qui oblige les espèces à lutter pour s'approprier l'espace, le développement de maladies et la destruction de l'environnement, de nombreuses espèces sont aujourd'hui menacées.

Dès le XVIII^e siècle, avec l'apparition du **romantisme** et le culte de la sensibilité, l'homme instruit se met à développer de la sollicitude pour l'animal et recherche sa protection. Artistes et lettrés se détournent de la société, dégoûtés par les prémices de l'industrialisation et nostalgiques d'un paradis perdu, où la flore et la faune sont idéalisées. L'amour de la nature et le respect de celle-ci engendrent la fondation, en 1845 en France, de la première **Société protectrice des animaux** (SPA). La première législation en vue de la protection animale date de 1850 : il s'agit de la **Loi Grammont** qui interdit tout mauvais traitement sur animal domestique commis en public, plus par crainte que le goût de la violence ne se propage chez les hommes que par réelle motivation de défense des animaux. Ainsi, en privé ou dans le secret des abattoirs, tout reste permis, et ceci jusqu'à 1963, où la législation interdit tout acte de cruauté, public ou privé, sur des animaux apprivoisés ou en captivité.

« La protection de l'animal, c'est au fond le même combat que la protection de l'homme. »
Marguerite Yourcenar, entretien (1902)

Il faudra attendre près d'un siècle pour voir proclamer par l'**Unesco** la première **Déclaration universelle des droits des animaux** (qui n'a toutefois aucune valeur juridique). La loi du 6 janvier 1999 d'avant-projet de réforme du **Code civil** distingue enfin l'animal des «choses inanimés», mais ce dernier n'a, à ce jour, toujours pas de statut juridique propre. De plus, même si les hommes ont des devoirs à leur

idéalisation

la chose

égard, les animaux n'ont pas de droits à proprement parler. Légiférer en ce sens n'est pas chose aisée car les lois à adopter devront être dispersées en quatre *Codes* (*civil, pénal, rural* et *environnement*), devront s'établir de façon uniforme à l'ensemble de la communauté européenne, et devront surtout intégrer des approches aussi diverses que les avancées scientifiques et les pratiques sociales.

Actuellement, même si l'animal n'est plus considéré « chose inanimée », la législation française continue à le définir par la « chose », du latin *res*, bien matériel. L'animal domestique (de compagnie ou de rente) fait partie des *res propria*, les choses privées ; à l'opposé de l'animal sauvage qui n'appartient à personne, qui est *res nullius*.

Res propria et *res nullius* condamnent l'animal aux règles et aux usages de la propriété : celui-ci n'est donc pas protégé en tant qu'être vivant à part entière par le *Code civil*. Son statut varie donc selon les espèces, qu'elles soient protégées, susceptibles d'être chassées, nuisibles... Bien souvent, les règles en vigueur dépendent plus des rapports espèce/individu (lien affectif ou utilitaire) que de l'intérêt biologique d'un écosystème.

droits

Actuellement, l'U.E. cherche à revenir à des usages plus en rapport avec le respect de la vie animale et légifère dans ce sens (avec par exemple, en 1997, le chiffrage de surface minimale des cages individuelles ou d'élevage en groupe). À ce jour, les invertébrés demeurent cependant exclus de la législation relative à la protection d'animaux utilisés à des fins scientifiques. Il est prévu d'étendre le champ d'application de la loi jusqu'aux grands crustacés et céphalopodes, étant donné que ces derniers possèdent un système nerveux suffisamment complexe pour être considérés comme des « êtres sensibles ». Selon la *Déclaration des droits de l'animal* : « Tout être vivant possède des droits naturels et tout animal doté d'un système nerveux possède des droits particuliers ».

expérimentation

Dès sa création en 1884, Victor Hugo, préside la Société française contre la Vivisection. Néanmoins, à ce jour, l'emploi du mot *vivisection* est dépassé car le terme fait fi des progrès effectués en matière d'anesthésie et d'éthique.

L'expression *expérimentation in vivo* est actuellement employée car elle s'étend à toutes les espèces, vertébrés comme invertébrés, et inclut l'homme : elle est positive pour la santé humaine aussi bien qu'animale. Par ailleurs, d'un point de vue purement scientifique, il est notable que plus de la moitié des Prix Nobel de médecine et physiologie décernés depuis 1901 ont été obtenus pour des travaux dépendant d'investigations menées sur l'animal.

Aujourd'hui, 15% de personnes interrogées se disent opposées dans tous les cas à l'expérimentation animale ; autant sont convaincues de sa nécessité ; les 70% restants ne se prononcent pas. Il y a donc ici matière à un substantiel travail de communication et d'information.

HISTOIRE ET FAITS

L'HOMME ET LA VÉTÉRINAIRE

Le mot «vétérinaire» daterait de l'an 42 : c'est un dénommé Columelle, célèbre agronome romain, qui l'aurait inventé. Selon le *Littre*, il serait la contraction du latin *veterinarius*, bête de somme, et de *veheterinus*, propre à porter les fardeaux : un mot-valise, en quelque sorte. Selon *Lenglet*, il dériverait plutôt du celtique et serait composé de *vee*, bétail, *teeren*, être malade, et *art*, artiste ou médecin. Dans les deux cas, le mot était employé en parallèle avec le terme grec hippiatre, venant de ἵππος (*hippos*), cheval et ἰατρός (*iatros*), médecin. Durant de longues années, et jusqu'à la formation des premières écoles vétérinaires, au xviii^e siècle, les deux termes étaient employés communément, au point d'en devenir synonymes. Ils servaient tous deux à désigner ceux qui exerçaient l'art de traiter les maladies des chevaux et des bestiaux. Avant l'époque romaine et Columelle, les populations se contentent d'employer l'expression « médecine des animaux » pour désigner une discipline encore balbutiante.

Peu à peu, les animaux susceptibles de bénéficier des soins du *veterinarius* sont de plus en plus nombreux : le cheval, l'âne, le bœuf, le mouton, la chèvre, le dromadaire, le chameau, le porc, le chien, le chat, le lapin et les oiseaux de basse-cour. Chargé au départ du soin d'animaux relevant du domaine de l'agriculture, de l'industrie ou de l'armée, le vétérinaire s'est peu à peu tourné vers les espèces de compagnie. Au xx^e siècle, chaque espèce animale peut être concernée par cette discipline, du fait de la prolifération et de la diversification des animaux de compagnie et de la protection d'espèces rares ou en danger d'extinction.

«La vétérinaire» exprime, de façon concise, ce qui était auparavant compris comme «l'art vétérinaire», comme si le fait de soigner des espèces soi-disant inférieures à l'homme ne pouvait être une science mais tout au plus un art ou une technique (*artiste* et *artisan* ayant longtemps été synonymes). Plus tard, le terme s'est référé à «la médecine vétérinaire» au même titre que la médecine de l'homme, alors qu'aujourd'hui il serait plus adapté de parler de «science vétérinaire» tant le vétérinaire, sous la pression des impératifs biologiques et économiques du monde agricole moderne, ne se cantonne plus à être le simple médecin des bêtes.

Depuis la Révolution industrielle, la vétérinaire doit se confronter à des difficultés de plus en plus vastes et complexes. L'intensification et la mécanisation de l'élevage, la commercialisation des animaux et de leurs denrées sur une échelle planétaire, la diversification des éléments d'origine animale et leur prévalence dans de nombreux produits et l'augmentation de la population humaine, qui entraîne d'importants besoins alimentaires ou les modifications de l'environnement et du climat, sont autant de problèmes pour lesquels les vétérinaires ont à développer des solutions, pour le bien de la communauté et des espèces.

actuellement

Les vétérinaires se situent alors au carrefour d'un ensemble de disciplines comme la **médecine** et l'**agronomie** ; ainsi, leur grande polyvalence de savoirs leur permet de prendre part aux réflexions sur la **santé** et sur l'**hygiène**, comme sur l'**économie** et l'**environnement**. Ils se doivent de créer un équilibre entre nutrition humaine, développement économique, échanges commerciaux et environnement.

Bestiary, Iolanda Renosto (2013)



LES MALADIES INTER-ESPÈCES

Préhistoire

Durant la **Préhistoire**, les hommes vivaient de la chasse et de la cueillette. Ce contact privilégié avec la nature était fort propice à la transmission de maladies inter-espèces. Cependant, la vie dans un groupe réduit, composé d'une centaine de personnes, ne permettait pas la propagation d'une épidémie. La prévalence de la représentation animale dans l'art pariétal, à Lascaux ou à Cosquer, est bien une preuve de la proximité et de l'interaction des hommes avec les animaux. L'animal, considéré exclusivement comme une source de nourriture, au même niveau que les végétaux, est fondamental pour la survie de l'espèce humaine.

Peu à peu, les hommes se sédentarisent et commencent à vivre en communauté. Les bêtes sont, dès le **Néolithique**, utilisées comme bétail, et l'élevage des animaux de rente permet aux hommes de disposer d'un garde-manger à proximité. Cette révolution agricole engendre une forte et rapide augmentation de la population, suivie d'une grande mortalité causée par l'émergence de maladies infectieuses dues aux germes du bétail. La paléopathologie, grâce à l'étude d'ossements d'hommes préhistoriques, a permis de découvrir des lésions spécifiques à la tuberculose. Celles-ci, datant de trois millions d'années et retrouvées en Afrique de l'Est, berceau de l'humanité, font de cette infection inter-espèces une maladie aussi vieille que l'homme.

L'instinct permet aux animaux de combattre les infections de façon innée, ou du moins d'essayer de les limiter : ils se roulent par terre pour se débarrasser des parasites ou lèchent leurs blessures pour assainir leurs plaies. Les hommes en charge de ces animaux sont alertés par ces modifications de comportement et cherchent d'autres moyens de soulager leurs maux, principalement parce que leur survie dépend en grande partie de leurs élevages. Ainsi, pâtres, bergers, écuyers mais aussi augures, sorciers, sacrificateurs ou autres rebouteux sont les ancêtres de nos vétérinaires actuels. Médecine populaire et empirique, la vétérinaire s'est donc transmise oralement, par l'expérience et la pratique.

Rapidement, l'utilisation des animaux prend de l'ampleur : non seulement leur chair et leurs productions (lait, œufs, peau, laine...) répondent aux besoins humains, mais ils deviennent moyen de transport, aide à l'agriculture et attirail de l'armée pour la guerre. À partir de ces finalités pragmatiques, des liens se nouent entre l'homme et l'animal. À travers le regard, voire l'échange d'affection, la bête apporte réconfort et soutien moral à l'humain auquel elle est liée. En parallèle, l'utilité médicale et scientifique de

l'expérimentation animale est petit à petit prise en compte, parfois valorisée, parfois interdite, et cela encore de nos jours.

Cependant, l'animal n'est pas toujours considéré comme un simple moyen ou un objet : il peut aussi être sacré. 4000 ans avant J.-C., de nombreuses religions, en Babylonie, en Assyrie, en Crète ou en Perse, ont pour emblème le taureau. En Égypte, le bœuf Apis, un taureau, symbolisait Râ, le soleil, la puissance, la force créatrice. Dans la mythologie scandinave, Thor était aussi le Dieu taureau. Environ 800 ans avant notre ère, ces cultes du taureau sont remplacés par celui du bélier. Subtilement, avec l'influence du christianisme, le bélier passe le relais au poisson. L'animal constitue alors un symbole religieux fort.

Antiquité

Durant l'Antiquité, des peuples comme les Égyptiens, les Hindous, les Perses ou les Assyriens, qui possédaient d'immenses troupeaux et élevaient certaines espèces au rang de divinité, étaient pourtant peu prolifiques sur ce sujet. Certaines représentations graphiques montrent néanmoins une connaissance approfondie de l'hygiène, du traitement des plaies, de l'embaumement des cadavres, du marquage des bêtes par le feu, des opérations chirurgicales de castration, des amputations ou autres réparations de fractures réalisées sur des animaux. À cette époque, les prêtres des temples utilisaient les animaux à des fins propitiatoires, pour des sacrifices et des rituels où les viscères, en particulier le foie, étaient consultés.



Ci-contre : statue d'Asclépios, Dieu grec de la médecine et de la guérison

Ci-dessous : Ver de Guinée, Olivia Gulin (2012)

Actuellement, de nombreux historiens débattent au sujet du Baton d'Asclépios, imortant symbole de la médecine, au même titre que le Caducée : est-ce un serpent venimeux enroulé autour du bâton, ou est-ce un bout de bois communément utilisé durant l'Antiquité afin de forcer le ver de Guinée (parasite de l'espèce *Dracunculus medinensis*, un long et très fin nématode) à s'extraire de l'hôte qu'il infeste ?



La civilisation grecque connaît une grande amélioration des conditions de santé, grâce à l'utilisation de la médecine. Déjà, au IV^e siècle avant J.-C., Aristote s'autorise la pratique de la dissection et parle d'étudier les parties du corps humain et de les comparer avec celles d'animaux jugés proches de l'homme, tels le porc et le singe.

Déjà, en 1700 avant notre ère, le Code de l'Hammourabi avait légiféré sur le travail du vétérinaire : « Si le médecin des bœufs ou des ânes a traité d'une plaie grave un bœuf ou un âne et l'a guéri, le maître du bœuf ou de l'âne donnera au médecin, pour son salaire, un sixième de sicle d'argent. » Plus tard, certains textes religieux, en particulier la Bible ou le Coran, pourront laisser entrevoir un début de prévention grâce à des mesures sanitaires :

« L'Éternel parla à Moïse et à Aaron et leur dit : [...] Vous ne mangerez pas le porc [...] vous le regarderez comme impur. Vous ne mangerez pas de leur chair, et vous ne toucherez pas leurs corps morts. »

Ancien Testament, Le Pentateuque, Lévitique 11

On peut supposer que ces interdictions avaient pour but de limiter la contamination humaine par des agents tels que la Trichinella, ver contaminant l'intestin grêle du porc et répandant ses larves dans tout l'organisme.

Le monde romain apporte quelques améliorations notables grâce à ses nombreux agronomes et érudits polygraphes. Parmi eux, Varron, grand officier de Pompéi, écrivit, un siècle avant notre ère, un *Traité de l'Agriculture* contenant quelques chapitres avisés sur l'élevage et les maladies du bétail. On lui doit notamment l'apparition d'idées annonçant la microbiologie et une certaine logique infectieuse : « Si dans un lieu quelconque, il y a des marécages, là se développent des animaux tellement petits que les yeux ne peuvent les voir et qui, pénétrant dans le corps avec l'air, par la bouche ou les narines, produisent de graves maladies ». Malheureusement, cette approche fut quelque peu oubliée durant des siècles, jusqu'aux travaux de Pasteur.

Au IV^e siècle de notre ère, Apsyrte, « le plus renommé des hippiatres grecs, peut être, à juste titre, appelé le père de la médecine vétérinaire. Avant lui, la littérature vétérinaire n'avait, pour ainsi dire, acquis droit de cité que dans les ouvrages des philosophes, des naturalistes, des agronomes, dont elle était le complément nécessaire », écrit Moulé dans son *Histoire de la médecine vétérinaire* de 1891. Le *Traité vétérinaire* d'Apsyrte, qui n'existe plus mais dont on retrouve plus de cent vingt articles dans *L'Hippiatrique*, peut donc être considéré comme le premier en ce genre que nous ait transmis l'Antiquité. Il y disserte longuement sur les maladies connues de

son temps et se montre suffisamment exact dans ses descriptions des symptômes, et logique dans les traitements qu'il conseille. « Tu n'y trouveras pas une haute éloquence, mais une éloquence suivant pas à pas la raison » dit-il dans sa préface. Encore longtemps après, la plupart des vétérinaires ne faisaient guère que suivre et recopier ses préceptes.

Malheureusement, peu de documents ont été conservés de ces époques, sans doute en raison des préjugés décrits au v^e siècle par **Végèce** : l'art de soigner les animaux aurait été considéré comme vil et méprisable, et ceci malgré que le fait de posséder un grand nombre de bêtes était source d'honneur et de respectabilité.

Moyen Âge

Le **Moyen Âge** est marqué par un recul du progrès, particulièrement dans les domaines de la médecine et de l'hygiène, ainsi que par l'essor du commerce maritime et des caravanes, notamment avec la Route de la Soie. Cette période est connue comme **le temps des grandes pestes**, qui ravagent les populations. De 1347 à 1351, la peste noire décime l'Eurasie. Le Pape Clément VI en évalue la mortalité à 23 millions d'hommes, soit presque un tiers des habitants.

La peste peut être répertoriée en trois maladies distinctes : la peste bubonique, transmise par la puce ; la peste septicémique, lorsque la transmission entraîne une infection générale de l'organisme à cause d'une trop grande quantité de germes dans le sang ; enfin, la peste pulmonaire, qui ne peut être considérée comme une **zoonose** du fait que la contagion du bacille se fait directement d'homme à homme, par voie aérienne.



Le Triomphe de la Mort, Pieter Bruegel (1562)
(peinture reflétant la terreur et les bouleversements sociaux survenus après les ravages de la peste en Europe médiévale)

L'ignorance et l'aveuglement religieux de l'époque, qui interprète ces pertes par « la volonté de Dieu » ou la « **théorie des humeurs** », ralentit notoirement le développement de la pensée et des sciences. La transmission du mal par des parasites et des animaux est néanmoins envisagée.



Parasites propagateurs de la peste,
Ortus sanitatis, Joanna de Cuba (1491)

Les Chrétiens reconnaissant la « **personne animale** », il n'était pas étrange, à cette époque, que comparaissent devant les tribunaux, des animaux, qui avaient à répondre aux injonctions humaines. L'animal était en effet jugé responsable de ses actes : porcs ou chiens étaient exécutés publiquement à la suite de procès pour morsure... Limaces ou sauterelles pouvaient, elles aussi, être poursuivies pour atteinte aux denrées agricoles. Ces dernières étaient parfois grâciées, en raison du « droit » à se nourrir pour la survie de leur espèce. Ces pratiques ont perduré jusqu'à la période révolutionnaire. D'autre part, un grand mépris public affectait ceux qui manipulaient les cadavres d'animaux ; par exemple, en Allemagne, l'équarrisseur était privé de ses droits de citoyen.

procès

Dans le *Roman de Renart*, ensemble de récits d'auteurs principalement anonymes qui dépeignent avec humour la société médiévale dans laquelle ils vivent, Noble le Roi fait convoquer le goupil pour son procès :

« Je vais convoquer Renart, et de vos yeux et de vos oreilles vous pourrez voir et entendre comment je sais punir les traîtres, les assassins et les voleurs de nuit. »

« Ah ! Renart !
Que le feu de l'enfer te dévore ! »

Enluminure du *Procès de Renart*,
auteur inconnu (xvi^e siècle)



Islam

L'esprit religieux empêche le développement de la vétérinaire et des autres médecines en Occident. Néanmoins les savoirs grecs, romains, perses et hindous ont perdu et se sont développés en terre d'Islam où la passion de l'agriculture et la vénération du cheval ont permis de faire progresser les méthodes d'élevage et de reproduction des équidés, l'étude de leurs maladies et leurs soins. La médecine des animaux y est d'ailleurs considérée comme plus complexe que la médecine humaine car, au contraire de l'homme, la bête ne peut communiquer sa douleur au praticien. Les savoirs étaient alors importants, notamment au niveau des infections parasitaires, comme le montre cette note :

« Toute chute de laine ou de poils des ovins et des dromadaires, accompagnée d'inappétence est le symptôme d'un parasite abdominal. »
(source non déterminée)

Après la chute de l'Andalousie, en 1492, la vétérinaire arabe, novatrice, décline jusqu'à ce que l'Europe ne reprenne le relais.



Traité du soin des chevaux, inconnu (1670)

Renaissance

L'Europe, et particulièrement la France, l'Italie, l'Allemagne et l'Angleterre se mettent à produire, à partir de la Renaissance, des œuvres sérieuses et abouties grâce à l'imprimerie. L'abandon des superstitions au profit de l'observation ainsi que la pratique des dissections anatomiques, permettent enfin d'entrer dans une phase rationnelle et scientifique. L'atmosphère du XVIII^e siècle, propice au développement des sciences et de la philosophie, notamment grâce aux humanistes et à l'*Encyclopédie*, permet alors le recul de l'emprise de l'Église. De plus, sous l'influence des écrits de Rousseau, la Nature devient à la mode et, vers 1750, un mouvement se développe, la physiocratie, ce qui signifie « gouverner par la nature »; d'après les termes grecs φύσις (la nature) et κυβερνώ (gouverner). Elle valorise une politique et une économie en accord avec un ordre naturel, les lois de la nature.

Grâce à Buffon, le XVIII^e siècle amorce une transformation du statut de l'animal. Auparavant, il existait un fort clivage entre l'homme, grand, pensant, doté d'une âme immortelle, et l'animal, la brute, le corps matériel, la « machine » de Descartes. Buffon est le premier à comparer l'anatomie de l'homme à celle des espèces animales et à permettre d'ébaucher une réfutation de la théorie biblique de la Création en émettant la possibilité d'une modification chronologique des espèces.

ère industrielle

L'ère industrielle s'accompagne d'un exode rural massif, ce qui engendre des conditions de vie rudimentaires dans des appartements insalubres. Cette tranche de la population défavorisée est particulièrement touchée par la tuberculose.

Des auteurs tels que Zola ou Dickens décriront l'horreur de la tuberculose, qui frappait et tuait de jeunes adultes en quête de modernité et de liberté. « Chez lequel est le poison dont je vais mourir? Quel est-il, hystérie, alcoolisme, tuberculose, scrofule? » se demande le Docteur Pascal dans le XX^e opus des *Rougon-Macquart*, après avoir vu sa famille dépérir dans d'affreuses conditions.

Le XIX^e siècle est marqué par le fléau

Edward Jenner (1749-1823), médecin anglais, survécut à la variole (*smallpox*) alors qu'il était jeune garçon, devenant ainsi immunisé contre l'infection. Ayant eu connaissance d'une maladie semblable (*cowpox*), il l'inocula à un enfant pour tester sa théorie de vaccin. L'expérimentation fut efficace, et, 5 ans plus tard, 100 000 personnes avaient été vaccinées en suivant sa méthode. La caricature ci-contre montre Jenner vaccinant ces patients, ces derniers craignant, selon la rumeur, que l'injection de vérole bovine ne leur donne des attributs et une apparence semblable à celle des vaches.



The Cow-pock («Le leader des vaches»), James Gillray (1802)

de la **rage canine**. La peur de l'infection prend des tournures irrationnelles, du fait du mode de contamination, qui peut être une simple morsure de chien, et du manque de traitement efficace. Fréquemment, les personnes mordues se suicident ou sont tuées, par crainte de la propagation de la maladie. En 1880, **Pasteur** commence ses recherches et cinq ans après, il met au point un vaccin. Grâce à lui, 120 ans plus tard, la France se déclarera officiellement indemne de la rage sylvanique (du chien, du loup et du renard).

En 1918 et 1919, une pandémie de **grippe espagnole** (virus A/H1N1) touche le monde entier. 40 millions de personnes en meurent, soit plus du double du nombre des victimes de la Première Guerre mondiale qui l'engendra.

Les maladies inter-espèces ont parfois été utilisées comme des **armes biologiques**. En 1930, l'armée japonaise contamine une partie de la Chine avec des puces infectées par la peste. Les Anglais, quant à eux, bombardent l'île de Gruinard avec des projectiles contenant le bacille du charbon.

Dès 1960, les programmes de **prophylaxie** se développent afin de répondre aux nécessités du ministère de l'Agriculture en matière de sécurité sanitaire des aliments.

Le virus du **Sida**, même s'il paraît être originaire d'un primate et transmis à l'homme d'une manière encore inconnue, ne peut être considéré comme une maladie inter-espèces à proprement parler, tant la transmission actuelle se fait essentiellement, voire exclusivement d'humain à humain. Néanmoins, la provenance animale de l'unique pandémie apparue au xx^e siècle ne doit pas être minimisée.

Moulage japonais décrivant les différents types de vers parasites, les organes qu'ils infestent, et leurs moyens de transmission, auteur inconnu (autour de 1935)



«L'analogie de mécanisme du corps de l'homme et de l'animal est véritablement constante, s'éloigner de la route qui conduit à la guérison de l'un et chercher de nouvelles voies pour la guérison de l'autre, c'est s'exposer à tomber dans des écarts criminels.»

Claude Bourgelat, *Encyclopédie* (édition de 1756)

L'HOMME ET L'ENSEIGNEMENT

L'idée de créer des établissements de formation pour lutter contre les maladies animales germe peu à peu dans l'esprit des hommes de sciences et des lettrés. Malgré la nécessité grandissante d'infrastructures d'enseignement, notamment pour le soin des chevaux, dont le besoin est croissant dans les armées du xviii^e siècle, ou pour le transport des hommes et des marchandises, les tentatives de création d'écoles vétérinaires seront d'abord infructueuses à Berlin, en Hollande et en Suisse. La France est alors si profondément touchée par les épizooties qu'un contrôleur général des finances nommé Bertin le remarque et s'inquiète de leurs ravages. Il encourage alors son ami **Claude Bourgelat**, écuyer du Roi, à fonder, en 1761, à Lyon, la première école vétérinaire. L'expérience est un succès : cinq ans plus tard, une seconde école ouvre à Paris.

Claude Bourgelat (1712 – 1779), écuyer, avocat et savant français. Fondateur en 1761 de la première école vétérinaire, il est aussi l'instigateur de la biopathologie comparée avec son concept de *one health*.

Claude Bourgelat, médaillon de l'ouvrage *Traité de la conformation extérieure du cheval* (1769)



«Nous avons connu l'intimité des rapports qui existent entre la machine humaine et la machine animale, rapports qui sont tels que l'une et l'autre médecine s'éclaireront et se perfectionneront mutuellement» écrit-il dans son dernier ouvrage daté de 1777, intitulé *Règlement pour les Écoles royales vétérinaires* et qui lui fait office de testament philosophique.

avancée fulgurante. Il ouvre les portes de ses écoles vétérinaires à tous ceux qui, «chargés par état de veiller à la conservation des hommes», désirent «interroger la nature, chercher des analogies et vérifier les idées dont la confirmation peut être utile à l'espèce humaine». Très rapidement, des progrès se réalisent dans la prévention et le traitement des épizooties. Par exemple, un étudiant est appelé à traiter le cas du charbon qui décime un troupeau entier de moutons. Soupçonneux, le jeune homme fait creuser sous l'étable et y découvre les cadavres de quatre bœufs morts de la maladie, enterrés là par le paysan suivant les conseils de charlatans. Le transfert des moutons vers une autre bergerie suffira à enrayer la propagation du charbon.

Cette période est marquée par la publication de nombreux guides, dictionnaires, traités et autres ouvrages spécialisés dans la vétérinaire, l'agronomie et l'environnement. Cette première école mondiale attire des élèves de toute l'Europe qui, une fois leur cursus terminé, fondent eux-mêmes, dans leur pays, une école de médecine vétérinaire découlant de l'apprentissage et de la réflexion initiés par Bourgelat. Vers la fin du XVIII^e siècle, il existe vingt-trois écoles vétérinaires, toutes situées en Europe.

La médecine vétérinaire telle qu'on la connaît aujourd'hui a sûrement profité de sa naissance et de son développement tardifs; ainsi, le mysticisme, les théories philosophiques ou les croyances abstraites, les préjugés et l'empirisme qui ont tant retardé le progrès de la médecine générale n'ont pas eu l'occasion d'endoctriner ou de restreindre cette science. Dès leur création, les écoles s'attachent à l'apprentissage professionnel et utilisent l'observation consciencieuse et pragmatique des faits. De nos jours, le monde médical n'a de cesse d'étudier et d'utiliser la machine animale pour parfaire sa connaissance de l'homme et de ses pathologies, ainsi que pour développer des traitements.

Il présentait déjà, il y a deux cent cinquante ans, donc bien avant la théorie de l'évolution darwinienne, que l'homme et l'animal sont intimement liés.

Grâce à lui, la médecine de l'époque connaît une

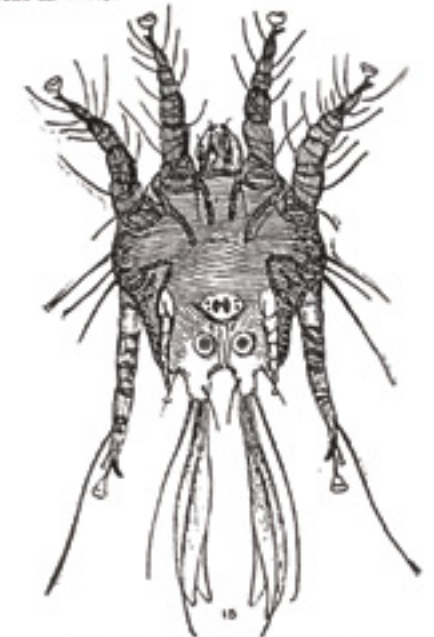
*International illustrated stock book,
International Stock Food Co,
Minneapolis (1906)*



Advanced Case of Common Scab in Sheep.



Parasite of Common Sheep Scab.



Parasite of Scabies of the Ho.



Trichina Magnified 100 Times.



Trichina Encysted in a Muscle.

Composition d'après la photographie
Summer Day, Cartes Essence,
E. Otkrytochky (2007)

III

III

d é c o u v r i r

«Harmonieuse combinaison de l'os,
de la chair et du système pileux
qui réunit en l'homme
le règne animal, le minéral
et le règne végétal.»

Boris Vian, *Les Bâtisseurs d'empire* (1959)

INFECTION DU VIVANT

MALADIES ET ZOOZOSES

définition

Les **infections** sont nombreuses et très diverses. Elles sont les résultantes d'interactions, parfois très sophistiquées et singulières, entre deux populations : un **germe**, parfois agent pathogène (parasite, bactérie, virus), et les organismes qui y sont réceptifs. Le germe est un organisme vivant dans ou à proximité d'un autre organisme, souvent en **ymbiose** (du grec ancien συμβίωσις, «vie ensemble»). Cette relation entre deux êtres se fait généralement au détriment de l'hôte : celui-ci peut subir diverses maladies, inflammations, réponses immunitaires, lésions tissulaires ou inconforts, tandis que le germe bénéficie de nourriture, de protection et d'abri sans offrir aucun bénéfice en retour. Dans certains cas néanmoins, l'infection reste asymptomatique. Les germes sont rarement des prédateurs puisqu'ils profitent de leur hôte sans chercher à le tuer. Cette «**paix armée**», comme elle est ainsi nommée, est un équilibre fragile mais nécessaire à la survie du germe et de l'hôte, tous deux co-évoluant et s'organisant pour assurer leur survie.

Majoritairement, les germes peuvent infecter plusieurs **hôtes**. Lorsque les agents pathogènes sévissent chez au moins deux vertébrés, dont l'un est l'homme, on parle alors de **zoonose** (en vétérinaire) ou d'**anthropozoonose** (dans le langage médical humain). L'étude étymologique grecque de ces termes permet de comprendre leurs fondements : ils sont formés des mots *ἄνθρωπος*, l'être humain, de *ζῷον*, l'animal, et de *νόσος*, la maladie.

La définition du mot «zoonose» a évolué depuis sa création par **Rudolf Virchow**, médecin pathologiste allemand du XIX^e siècle. La zoonose désignait initialement toutes les maladies animales sans qu'une possible transmission à l'homme ne soit évoquée. Ce n'est qu'en 1959 que l'Organisation Mondiale de la Santé lui a donné cette définition, encore valide actuellement :

«Les zoonoses sont des infections se transmettant naturellement des animaux vertébrés à l'homme et vice-versa.»

Depuis lors, cette définition a évolué, et il est aujourd'hui difficile d'avoir une vision globale, internationale et interdisciplinaire des pathologies pouvant être considérées comme zoonotiques. Plus récemment, les définitions mettent l'accent sur un agent pathogène infectieux circulant entre l'homme et au moins un animal vertébré,

quelles qu'en soient les conséquences et les modalités. Par ailleurs, de nombreuses classifications entre les différentes pathologies sont proposées, en fonction de leur possibilité de transmission (classification épidémiologique), selon le micro-organisme pathogène mis en cause (classification étiologique), ou selon les espèces animales impliquées (classification zoologique)...

On s'accorde aujourd'hui généralement sur la **définition de Savey**, formulée en 2004 :

«Les zoonoses sont dues à des agents transmissibles (bactéries, virus, parasites ou prions) qui ne sont pas inféodés à un seul hôte et qui peuvent provoquer une infection ou une infestation (avec ou sans maladie clinique) chez au moins deux espèces de vertébrés dont l'homme.»

Si le terme est encore peu employé, il s'avère que les zoonoses font partie intégrante du monde et de la société : on se souvient bien de la **peste**, transmise par les puces de rats, ou même de la **rage** inoculée par morsure de chien. Plus récemment, la télévision nous a montré de nombreuses images de bovidés tremblants, atteints de la **maladie de la «vache folle»**, mortelle pour l'homme, comme la maladie de **Creutzfeld-Jacob** à laquelle elle s'apparente. Il y a encore quelques mois, en juillet 2012, la Chine annonçait l'abattage de 150 000 poulets afin de prévenir le risque épidémique de **grippe aviaire**.

Le risque d'émergence de zoonoses graves classiques, comme la **tuberculose**, le **charbon** ou la **rage**, n'est pas négligeable; cependant, l'inquiétude principale se concentre sur l'**émergence** et la dissémination de nouvelles infections.

Émerger vient du latin *emergere* : sortir de l'eau, commencer à apparaître. L'émergence s'effectue en règle générale en deux étapes : l'introduction d'un nouvel agent pathogène dans un milieu indemne, puis sa dissémination dans une population dépourvue de défenses immunitaires suffisantes pour le contrer. De nombreuses infections inter-espèces ont ainsi pu émerger; elles existaient parfois depuis toujours chez l'animal mais ont profité de circonstances favorables (changements climatiques, augmentation de traitements immunodépresseurs, transfert d'espèces...) pour révéler leur caractère zoonotique. Il est donc très difficile de savoir quelles maladies animales pourraient potentiellement être dangereuses pour l'homme, d'autant plus que la virulence d'un germe peut varier en fonction du génotype en présence.

émergence

« Nous sommes à l'aube d'une crise mondiale due aux maladies infectieuses »

déclarait l'Organisation Mondiale de la Santé, en 1996, face à des chiffres inquiétants : tandis qu'aujourd'hui, 60% des infections touchant l'homme seraient d'origine animale, ce phénomène s'amplifie. Depuis une vingtaine d'années en effet, 75% des maladies émergentes à fort risque épidémique seraient zoonotiques. Le risque d'apparition de zoonoses émergentes pourrait résulter des altérations profondes que l'homme apporte à son milieu (barrages, déforestation, monoculture, conditions d'élevage...). Les modifications régulières que subissent notre environnement et le monde qui nous entoure ont de fortes répercussions sur la possibilité d'émergence de nouveaux agents infectieux. L'environnement, le comportement humain et les facteurs socio-culturels déterminent la persistance/incidence des germes. Dès lors, des maladies émergentes peuvent apparaître lors de changements apportés à ces états ; avec, par exemple, des modifications de l'écosystème (pouvant entraîner un accroissement du contact entre l'homme et les vecteurs), la croissance de la démographie urbaine, les changements de pratiques agricoles (l'élevage intensif ou au contraire le retour au biologique), le manque d'hygiène, de contrôle sanitaire ou de système de santé dans certains pays en développement, pourtant enclins à de forts échanges internationaux (Europe de l'Est), des déplacements massifs de population, l'accroissement de la fréquence et de la vitesse des voyages et des échanges de denrées... Cela semble être le cas pour l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) induite chez des bovins alimentés de farines animales, composées en partie de carcasses. Le réchauffement climatique, avec la migration d'espèces, notamment des arthropodes vecteurs, constitue aussi un sujet d'inquiétude. De plus, le risque épidémique de ces maladies est en constante augmentation, du fait de notre économie mondialisée où marchandises, hommes et animaux circulent de plus en plus et de plus en plus vite.

UMR

Il apparaît alors primordial que de nombreux corps professionnels, scientifiques et législatifs, se penchent sur ces préoccupations, afin de prévenir les risques et de trouver des moyens de protection ou de traitement, pour l'homme comme pour l'animal. C'est dans ce cadre là qu'agit l'UMR BIPAR. Cette Unité Mixte de Recherche en Biologie moléculaire et Immunologie parasitaires et fongiques a installé ses laboratoires et ses bureaux à l'ENVA, l'École nationale vétérinaire de Maisons-Alfort, créée en 1765 par Claude Bourgelat. Leurs recherches et leur veille permettent de développer des outils de modélisation et de maîtrise du risque infectieux.

Grâce à la clinique vétérinaire présente sur le site, les animaux bénéficient des dernières avancées thérapeutiques qui associent leur traitement et l'évolution de la recherche, en adéquation avec le respect éthique de l'animal et une information complète à destination de son propriétaire. Cependant, une de leur visée finale, malgré le corps de métier dit «vétérinaire», reste la protection, la prévention et le traitement de l'être humain.

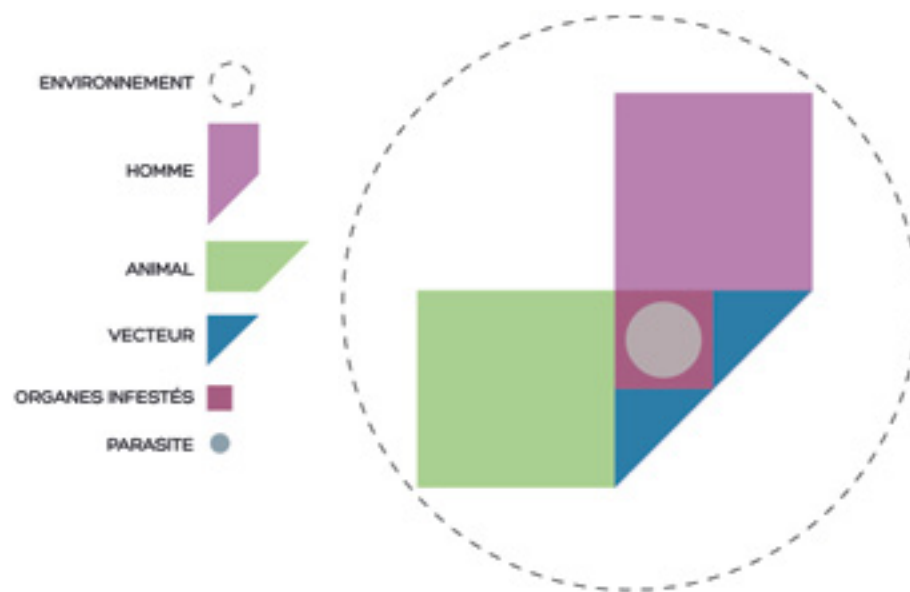


Schéma représentatif d'une maladie zoonotique

Pour prévenir la maladie ou la traiter, il est important de comprendre les biotopes du germe (hôtes-réservoirs et cycles de transmission). L'éthologie, c'est-à-dire l'étude du comportement et des mœurs d'une espèce animale, peut aussi avoir une utilité non-négligeable dans les mesures de prophylaxie. Comprendre et communiquer les cycles de transmission et de vie du germe permettent, en effet, de prévenir les risques grâce à la compréhension du modèle épidémiologique. Ceci doit donner aux vétérinaires plus de facilité pour déceler la source, la traiter, empêcher sa dissémination... le tout grâce à une stratégie cohérente et adaptée à la spécificité de chaque situation.

«L'animal qui a le plus profité de la compagnie de l'homme est le microbe.»

Malcolm de Chazal, *Penser par étapes* (1950)

parasites

PARASITES ET MICRO-ORGANISMES

Les **parasites** étant, par définition, des organismes vivants tirant profit d'un hôte, ils constituent une part du règne animal et comprennent environ 800000 espèces identifiées et classées en 33 phyla (lignées). La classification taxonomique la plus largement acceptée sépare ces derniers en **endoparasites** (*endo*, «à l'intérieur» de l'hôte, de façon extra- ou intracellulaire) et **ectoparasites** (*ecto*, «à l'extérieur»).

Les parasites peuvent être des **micromycètes** (champignons microscopiques), des **protozoaires** (eucaryote unicellulaire se nourrissant par phagocytose) ou des **métazoaires** (eucaryotes pluricellulaires, dont font partie les helminthes, arthropodes, mollusques, crustacés, insectes, arachnides, etc.; se présentant sous forme d'imago (l'adulte mâle ou femelle), de nymphe (larve) ou d'œuf).

Les **helminthes** sont doués de mouvements et peuvent se reproduire de façon sexuée ou non selon l'espèce. En font partie, les vers plats (**trématodes**), les vers plats à forme de ruban segmenté (**cestodes**) et les vers ronds segmentés (**nématodes**). L'Organisation Mondiale de la Santé estime qu'une personne sur quatre abrite un ver parasite.

Les **champignons** sont des eucaryotes unicellulaires (**levures**) ou pluricellulaires (**moisissures**), immobiles et se nourrissant de molécules organiques directement dans le milieu. Lorsque le champignon s'installe dans le corps, il peut devenir pathogène : on parle alors de **mycose** (en général causée par un **micromycète**, c'est-à-dire un champignon, ou **fungi**, de taille microscopique).

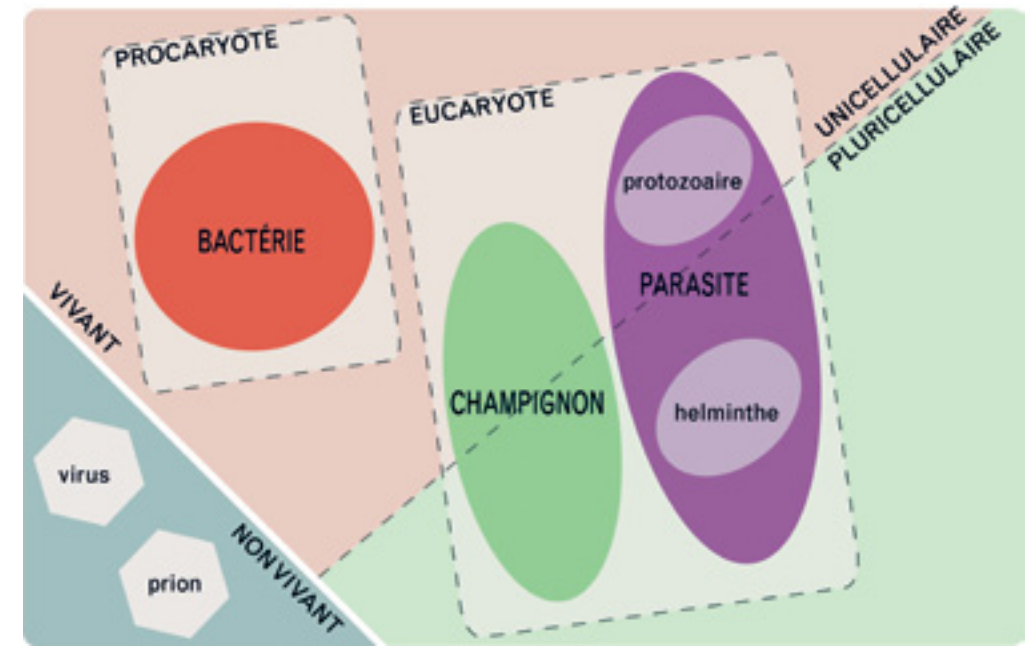
Enfin, les **ectoparasites** incluent les puces, tiques, poux, moustiques, punaises et mites. En général, ils mordent, piquent, ou s'accrochent indéfiniment à la peau de leur hôte afin de se repaître de leur sang ou de leurs cellules...

En raison de leur morphologie et de leur biologie (mobilité, reproduction, métabolisme), de leurs moyens de transmission et de propagation, de leurs cycles et de la nature des hôtes touchés,

les parasites sont extrêmement **hétéroclites**, même au sein d'une même famille. Le *tœnia* par exemple, ver plat de l'intestin, peut dépasser les 10 mètres; à l'opposé, les microsporidies sont des germes intra-cellulaires de l'ordre du micromètre.

En microbiologie infectieuse, il est convenu, en France et dans de nombreux autres pays à l'exception des États anglo-saxons, de regrouper les parasites et les micromycètes (champignons microscopiques) dans une même discipline, la parasitologie-mycologie.

Schéma explicatif des différents types de micro-organismes



Les **micro-organismes infectieux** à l'origine d'une zoonose peuvent, quant à eux, être des **parasites** (certains vers et champignons), mais aussi des **virus**, des **prions** ou des **bactéries**.

Une **bactérie** est un organisme vivant procaryote (cellule unique caractérisée par une absence de noyau et d'organites, compartiments du cytoplasme) qui se reproduit par simple division cellulaire. Elles sont ubiquitaires et certaines sont pathogènes.

Quant aux **virus**, ils ne peuvent être considérés comme des organismes vivants. Constitués d'un génome (ADN ou ARN) dans une capsidie protéique, ils se multiplient en dupliquant leur information génétique grâce à la machinerie de leur cellule-hôte qu'ils détournent à leur profit.

Il existe aussi des agents transmissibles non conventionnels nommés **prions**; ce sont des entités protéiques non vivantes (par exemple l'agent de l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) ou l'agent de la maladie de Creutzfeldt-Jacob).

Ce mémoire ne prendra pas en compte ces deux derniers types de micro-organismes non vivants, du fait de l'absence d'études de l'UMR à leur sujet.

micro-organismes

INTERACTION ET TRANSMISSION

Certains cycles de vie d'un parasite sont relativement simples (en cas d'hôte unique, le cycle est direct ou **monoxène**, à l'inverse des cycles **hétéroxènes**). De même, les parasites **ténoxènes** ne peuvent infecter qu'un spectre restreint d'espèces, à l'opposé des parasites **euryxènes**, à spécificité large, dotés parfois de plusieurs **réservoirs** entretenant la maladie.

hôtes

Les **hôtes** de parasites sont, contrairement à eux, les animaux qualifiés (de façon sûrement exagérée) de libres ou sauvages, les animaux d'élevage, le bétail domestiqué pour les besoins de l'homme et sa consommation, ainsi que les animaux de compagnie.

Le cycle de vie d'un parasite s'achève chez un **hôte définitif**, transportant l'adulte à un stade sexuellement reproductif. Avant cela, un ou plusieurs **hôtes intermédiaires** peuvent intervenir : ils colportent, quant à eux, des larves ou des parasites encore sexuellement immatures. Entre hôte intermédiaire et hôte définitif, le parasite peut transiter par des **hôtes paraténiques**, chez lesquels la forme larvaire reste en sommeil avant d'être transmise à son hôte définitif.

Par ailleurs, les **hôtes-réservoirs** hébergent le même germe ou le même stade évolutif du parasite que l'homme. Ce sont des organismes chez lesquels l'agent pathogène prolifère abondamment. Or, si l'espèce-réservoir disparaît, il en ira certainement de même de l'agent qu'elle entretient. Le réservoir est en général peu sensible à l'effet néfaste du micro-organisme, ce qui permet sa survie et sa multiplication durant de longues périodes. Par exemple, du fait de la présence d'un réservoir sauvage et important de bovins en Irlande, cette zone aura de très fortes chances de perdurer comme secteur d'enzootie de la tuberculose.

Le moustique se trouve être l'ennemi public numéro un : or, il n'est pas dangereux en lui-même, mais cette buveuse de sang, car seule la femelle est incriminée, est un vecteur inoculant toutes sortes de maladies dont le paludisme, première cause de mortalité humaine. Plus de 2 millions de personnes meurent ainsi chaque année à cause de maladies transmises par le moustique.

Les **hôtes-vecteurs**, quant à eux, ne sont pas infectés par la maladie, mais dispersent l'infection en transportant les agents pathogènes d'un hôte ou d'un milieu à un autre. C'est particulièrement le cas des invertébrés considérés comme parasites (moustiques, tiques, mollusques...).

Les zoonoses portent différents noms en fonction de leur classification épidémiologique. Les **cyclozoonoses** nécessitent au moins un hôte intermédiaire; on parle alors de **métazoonose** lorsqu'il est invertébré et de **phérozoonose** lorsqu'il est, en plus, arthropode.

transmission

La **transmission** entre hôtes peut s'effectuer de nombreuses façons, par exemple par contact (griffure, morsure...), par voie respiratoire (inhalation de poussières ou de poils...), par voie digestive (mains sales, ingestion de viande ou d'œufs insuffisamment cuits, de lait non-pasteurisé, de végétaux souillés par du fumier...).

Les **orthozoonoses** sont transmises directement lors de contact avec un animal-hôte vivant ou mort, tandis qu'à l'opposé les **saprozoonoses** sont indirectes et nécessitent le passage de l'agent pathogène dans le milieu extérieur.

Lorsque l'infection se propage d'homme à homme ou d'homme à animal, la zoonose est **intensive**; dans le cas contraire, elle est **bornée**. L'homme est souvent un hôte accidentel ne pouvant permettre au parasite d'évoluer ou simplement de transmettre le germe : on parle alors de «cul-de-sac épidémiologique».

Les maladies infectieuses, dont les zoonoses, dépendent d'une **chaîne de transmission** comprenant un **réservoir** (l'animal et son environnement souillé ou contaminé), une **porte de sortie** (salive, urine, sang...), un **mode de transmission** (contact, ingestion, inoculation...), une **porte d'entrée** (peau, muqueuse, voie respiratoire, sanguine...) et un **hôte-récepteur** (doté d'un état immunitaire spécifique).

Les moyens de prévention contre ces pathologies se fondent sur une rupture, effectuée le plus en amont possible de cette chaîne. Différents moyens sont alors mis en œuvre, comme la prophylaxie active (jouant sur le réservoir), les masques de protection respiratoire (limitant les portes de sortie), la lutte contre les vecteurs telle que la démoustication ou les traitements pullicides ou acaricides, des pratiques d'hygiène stricte (limitant les portes d'entrée), enfin, des mesures d'information et de prévention (prophylaxie passive) spécifiques chez les hôtes potentiels ou propriétaires d'hôtes.

Les équipes de l'UMR étudient les **parasites alimentaires**, les **bactéries arthropodes transmises par vecteurs** et les **champignons opportunistes aéroportés**. Le chapitre qui suit permettra de définir, de décrire et d'expliquer leur nature, leur cycles de transmission et d'évolution, et les pathologies qu'ils peuvent provoquer.

Trichinella spiralis (adultes et mues),
composition à partir de
microélectrogramme

CYCLES BIOLOGIQUES

«L'animal n'est pas une machine thermodynamique isolée
mais un corps vivant qui interagit avec son environnement.»

Antoine Spire, *Le Monde de l'Éducation* (juillet - août 2001)

LES PARASITES ALIMENTAIRES

Il existe neuf espèces de *Trichinella*, petit nématode pouvant infecter les mammifères monogastriques, voire des reptiles et des oiseaux. L'homme peut être touché par chacune de ces espèces, mais les plus répandues restent *Trichinella spiralis* et *T. britovi*. L'espèce *spiralis*, étudiée à l'UMR, infecte principalement les porcs, les chevaux et les rats. La trichinellose n'est pas symptomatique chez les animaux, mais elle constitue une grave pathologie pour l'homme. La transmission se fait intégralement par voie alimentaire (ingestion de viandes infectées, pas assez cuites pour l'homme, ou consommation de charognes, de rats, ou de carcasses infectées pour les animaux). L'homme est un hôte accidentel et représente une impasse pour le parasite.

Le cycle de *Trichinella spp* est assez simple. Du fait que tous les stades évolutifs du parasite se retrouvent chez un même hôte porteur, il est donc monoxène. Lorsqu'un organisme ingère de la viande infectée par des larves de *Trichinella*, ces dernières se développent dans l'intestin du nouvel hôte, au niveau de l'épithélium. Les adultes s'y reproduisent et permettent à de nouvelles larves de naître, puis migrent via les vaisseaux sanguins et lymphatiques vers les cellules des muscles striés. Chez certaines espèces, ces larves vont détourner la fonction de la fibre musculaire, la transformant en une cellule nourricière grâce à la formation d'une capsule de collagène. Elles s'installent ainsi dans les muscles et deviennent des kystes où des larves, mesurant environ 600-900 µm de long, restent viables pendant plusieurs années. *T. spiralis* est l'une des espèces les plus prolifiques et l'hôte infecté peut détenir plusieurs centaines de larves en un seul gramme de muscle.

La trichinellose est une grave maladie pour l'humain : on estime environ à 10000 par an les nouvelles infections dans le monde, et dix millions de personnes seraient séro-positives pour ce micro-organisme. Exceptionnelle en France jusqu'en 1975, en trente ans, plus de 2500 cas se sont cependant déclarés sur l'ensemble du territoire, à travers 38 épidémies principalement liées à la consommation de viande de cheval. Le renforcement de mesures de Santé publique, par la mise en place de contrôles vétérinaires et d'un réseau de surveillance, a permis de faire passer le nombre de cas moyens annuels à 1,3 (autrement dit, des cas sporadiques).

cycle

pathologie

Les derniers cas de trichinellose humaine concernent les chasseurs, consommateurs de sangliers non contrôlés par les services vétérinaires. La trichinellose est ubiquitaire dans le monde, mais moins répandue dans les pays où l'on ne mange pas de porc. Dans certains pays en situation de difficultés économiques, comme la Roumanie, la Serbie ou la Croatie, cette parasitose zoonotique est majoritaire, avec jusqu'à 0,1% de porcins contaminés.

Les systèmes de prophylaxie sont, entre autres, le contrôle à l'abattoir des espèces sensibles (principalement porcs, chevaux, sangliers), l'éradication des rats, porteurs de l'agent, ou la cuisson des viandes à cœur. La congélation peut ne pas être efficace car certaines espèces y sont résistantes. Récemment, l'UMR BIPAR joua un rôle important dans la conception d'un programme d'assurance qualité efficace de lutte contre ce parasite.

Les **symptômes** de la trichinellose humaine suivent les différents stades du cycle biologique du parasite et de la quantité de larves ingérées; ils vont des troubles intestinaux (nausées, diarrhées, vomissements, fatigues, fièvres...) à de la fièvre, de l'œdème (surtout facial), de la toux ou des démangeaisons lorsque les larves

migrent, et enfin des douleurs aiguës dans les muscles (myalgies) lorsque le parasite s'installe.

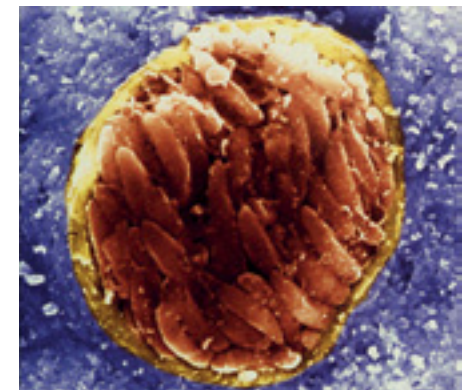
La **toxoplasmose**, due au protozoaire intracellulaire *Toxoplasma gondii*, est l'une des zoonoses parasitaires les plus répandues chez l'homme au niveau mondial; heureusement, elle est généralement bénigne, mais présente un risque sérieux pour les nouveaux-nés, les femmes enceintes séronégatives (susceptibles de transmettre le parasite au fœtus) et les sujets immunodéprimés.

Le **cycle** de *Toxoplasma gondii* est aussi **monoxène**, mais il diffère selon ses hôtes.

Chez le **chat** (et quelques autres félidés), **hôte définitif**, le cycle est **sexué**. Après cheminement dans le tube digestif, les œufs du parasite sont éliminés et propagés dans la nature par défécation. Ces **oocystes** ne deviennent infectieux qu'après sporulation dans l'environnement (entre 1 à 5 jours). La sporulation est la production de spores, cellules reproductrices asexuées chez certains végétaux et protozoaire.

La multiplication du parasite se fait de façon **asexuée** chez l'**hôte intermédiaire** (qui peut être n'importe quel **animal homéotherme**). L'inoculation a lieu par ingestion d'**oocystes** qui libèrent des **sporozoïtes** dans l'intestin, ou par ingestion de viande contenant des kystes relâchant des **bradyzoïtes**. *Sporozoïtes* ou *bradyzoïtes* se différencient en *tachyzoïtes*, puis se disséminent rapidement dans la circulation sanguine, causant ainsi une parasitémie de quelques jours. Finalement, ils se (re)développent en *bradyzoïtes* en s'encystant dans les tissus. Les principaux hôtes atteints sont les moutons, les chèvres et les porcs, puis les bovins, les volailles, les chiens et les chevaux, voire enfin les mollusques.

Puisque presque toutes les espèces de mammifères homéothermes sont réceptives à l'agent pathogène de la toxoplasmose, de nombreuses espèces animales renferment des **kystes** dans leurs muscles et leurs viscères. De plus, les **oocystes**, très résistants, peuvent perdurer longtemps dans les fèces des félidés et sont la principale cause de persistance de l'infection par contamination de l'environnement (végétaux, eaux).

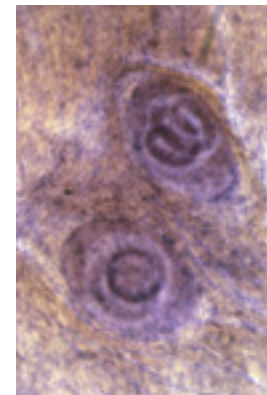


Kyste cellulaire contenant des bradyzoïtes de *Toxoplasma gondii*, Quizlet



Ci-contre :
anatomie du parasite *Trichinella*,
panneau mural,
Jung, Koch and Quentrell

Ci-dessous :
muscle infesté par des larves
de *Trichinella spiralis*,
S.J. Upton



transmission

Le parasite se transmet par **voie naturelle digestive** (ingestion de viande infectée crue ou peu cuite, le lait cru de chèvre, des végétaux ou de l'eau souillés, un contact direct ou accidentel (transcutané) avec un chat ou sa litière. La transmission peut aussi se faire par voie congénitale ou lors de greffes. L'inoculation d'un *oocyste*, un kyste ou un *tachyzoïte* est en effet suffisante pour transmettre la maladie. Les *trachyzoïtes* contaminent le fœtus par la mère et sont contenus dans le lait cru; les *bradyzoïtes* sont présents dans la viande mal cuite, tandis que les *oocystes* infestent la terre et les végétaux.

Les animaux ne présentent généralement aucun **symptôme**, à l'exception des petits ruminants chez qui *T. gondii* provoque de nombreux avortements et une mortalité néonatale élevée, ce qui engendre des pertes économiques non-négligeables. En France, selon les régions, 15 à 72% des ovins sont infectés et renferment donc des kystes, première cause d'infestation humaine par ingestion. Les animaux carnivores se contaminent par ingestion de viande infestée tandis que les ruminants le sont par inoculation d'*oocystes* provenant de fèces félines.

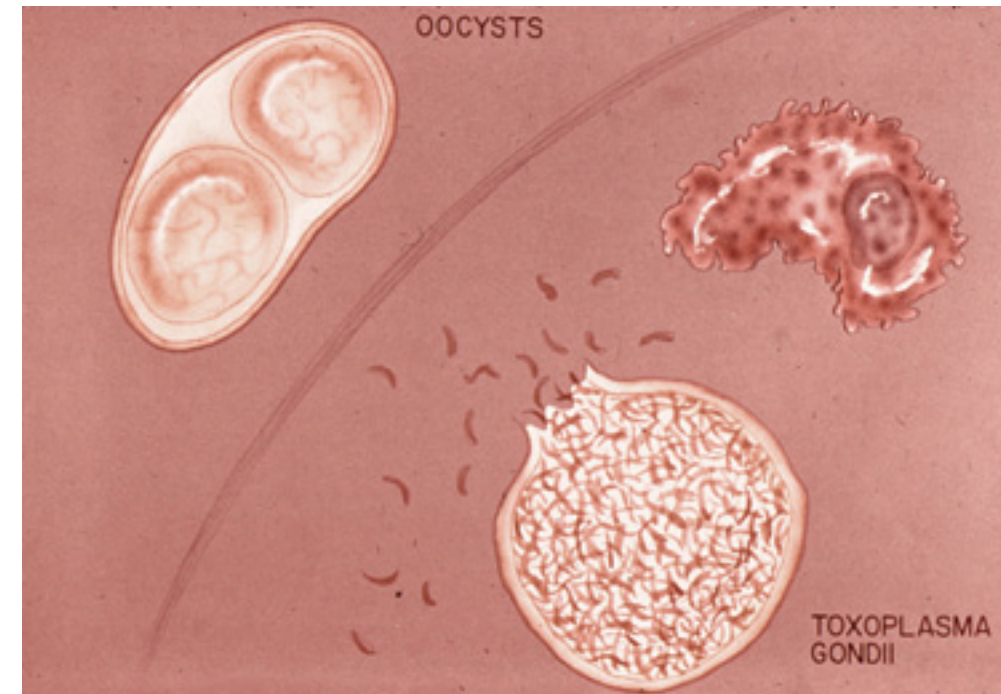
Afin de prévenir ces risques, la contamination des pâturages doit diminuer, notamment en limitant l'accès des chats à proximité des exploitations agricoles ou en les traitant par Taltozuril. Quant à l'homme, le respect de règles primaires d'hygiène (nettoyage des mains, des légumes, cuisson de la viande et du lait) permet de prévenir le risque. Les blattes et les mouches, vecteurs de l'agent pathogène, doivent aussi être tenues à distance.

pathologie

La **toxoplasmose** est avant tout endémique et, dans certains cas seulement, épidémique (l'une des plus importantes épidémies, due à l'ingestion d'eau contaminée au Canada, aurait été de 5000 cas en 1995). Elle est cosmopolite mais plus fréquente dans les pays chauds et humides. De plus, sa séroprévalence varie d'un pays à l'autre (de 7 à 80%, dont 40% pour la France), ainsi qu'entre les régions; ces fortes variations sont encore mal expliquées.

On compterait de 200000 à 300000 nouveaux cas en France par an, avec seulement moins de 2 cas symptomatiques sur 10; parmi eux, les patients atteints du SIDA, comptent 200 nouveaux cas chaque année. Par ailleurs, environ 45% de la population adulte française est infectée: une réinfestation toxoplasmique exogène est alors anodine en raison de la protection immunitaire due à la primo-infection. Parmi eux, 70% présenteraient des kystes de larves inactives dans le cerveau. Une réinfestation endogène est alors possible chez les individus immunodéprimés, en raison de la rupture de kystes tissulaires: la multiplication rapide et excessive des *tachyzoïtes* qui s'ensuit peut provoquer une **neurotoxoplasmose**

formant des abcès cérébraux qui peuvent être gravissimes. Heureusement, grâce à la trithérapie, ce risque est moindre; cependant certains pays n'ont que peu accès à ce traitement et le niveau de mortalité y est alors important. Un quart des sujets atteint du SIDA développe la maladie, mortelle en l'absence de traitement. Rarement, certaines formes atypiques graves peuvent être observées chez des sujets non-immunodéprimés.



Cycle extra-intestinal de *Toxoplasma gondii* dans des cellules de mammifères, Ghogan

Durant les cinq dernières années, un certain nombre d'études ont mis en avant la possibilité de **troubles du comportement** chez les sujets infestés (donc près de la moitié de la population française). Une infection par la *T. gondii* peut modifier le comportement des animaux-hôtes intermédiaires; en effet, en 2011, il a été démontré que des rats infectés présentaient des signes d'excitation sexuelle après avoir renifflé de l'urine de félin, au lieu des signes naturels de peur détectés chez les individus sains. Ils auraient même tendance à rechercher la présence de chats au lieu de la fuir, ce qui favoriserait la transmission du parasite à l'hôte définitif.

Toutefois, de nombreux spécialistes admettent avoir des réserves au sujet de ces études, et ce principalement vis-à-vis des troubles du comportement humain.

comportement

Chez l'homme, il semblerait qu'une toxoplasmose latente pourrait engendrer une augmentation des comportements à risques, un ralentissement des réactions, et des sentiments d'insécurité et de doute. Dès lors, certaines études ont montré que le risque d'accident de voiture était presque trois fois plus élevé chez les individus atteints. « Si ces données sont exactes, cela signifie qu'un million de personnes chaque année meurent uniquement parce qu'elles sont infectées par le Toxoplasme » déclare, en 2003, le chercheur Jaroslav Flegr dans *The Guardian*. Trois ans plus tard, un article écrit par Kevin Lafferty allait même jusqu'à suggérer que la prévalence de la toxoplasmose pourrait avoir des effets à grande échelle sur la culture d'un pays.

Néanmoins, on doit prendre en compte le fait que les individus les plus téméraires ont plus de chances d'être infestés par le parasite car ils sont plus imprudents face aux risques potentiels par ingestion de viande mal cuite. Cependant, cela ne peut remettre en question le retard de réaction.

Les comportements observés pourraient être dus à une encéphalite (inflammation du cerveau) causée par les kystes, induisant des modifications dans la production de neurotransmetteurs (éventuellement la dopamine). Ce phénomène peut être comparé à celui qu'engendre la prise d'antidépresseurs et de stimulants, provoquant plusieurs mécanismes inhibiteurs de recapture de la dopamine.

Cryptosporidium est un protozoaire infectant les cellules épithéliales intestinales, principalement chez les ruminants et les personnes jeunes, âgées, ou immunodéprimées. Le développement du parasite dans l'organisme-hôte dépend du statut immunitaire du sujet. L'espèce principale est *Cryptosporidium parvum*, mais près de vingt autres espèces existent et pourraient contaminer près de 80 espèces de mammifères, de façon plus anecdotique. À peu près une épidémie de diarrhées sur deux dans le monde, ainsi que 2 à 6 % des cas sporadiques graves, seraient dus à une de ces espèces. *C. parvum* est prédominant et étudié à l'UMR; il présente huit génotypes, dont deux sont pathogènes pour l'homme (génotype I : hommes; génotype II : hommes et bovins).

pathologie

En 1993, à Milwaukee, aux États-Unis, de fortes précipitations ont augmenté le niveau de l'eau, permettant à celle-ci d'entrer en contact avec des fèces contaminées. Sur 880 000 personnes desservies par l'usine de traitement des eaux de distribution, 403 000 sont tombées malades en une vingtaine de jours. Certaines entreprises ont même été complètement fermées en raison d'un important manque

de personnel. Tous subissaient, chez eux ou dans les hôpitaux pris d'assaut, les symptômes du parasite (crampes, fièvres, vomissements, diarrhées...). Plus de 64 millions de dollars ont ainsi été perdus durant le mois par manque de productivité, et ceci dans une zone relativement restreinte. Bien que l'épidémie n'ait occasionné « que » 104 décès, la population s'est déclarée choquée qu'une telle crise puisse avoir encore lieu dans nos sociétés contemporaines.

C. parvum est particulièrement résistant au traitement classique de lutte contre les micro-organismes. Les oocystes sont très résistants, notamment au chlore et à la majorité des désinfectants, et peuvent survivre 12 mois dans des eaux glacées. Même si ce parasite est présent dans 90 % des eaux de surface, l'eau traitée dans la plupart des villes est exempte d'oocystes, grâce à l'utilisation de micro-filtres inférieurs à 1 micron et, plus rarement, grâce au recours à l'ozone, très efficace contre les œufs.

Chez les animaux, le parasite est la première cause des entérites diarrhéiques du veau nouveau-né. La difficulté de réhydratation et de traitement des jeunes veaux entraîne une mortalité élevée et engendre par là-même de fortes pertes économiques. Les ruminants de moins d'un mois sont les plus affectés, avec une morbidité de plus de 80 % chez les agneaux et les chevreaux, et un taux de mortalité de 10 à 15 %

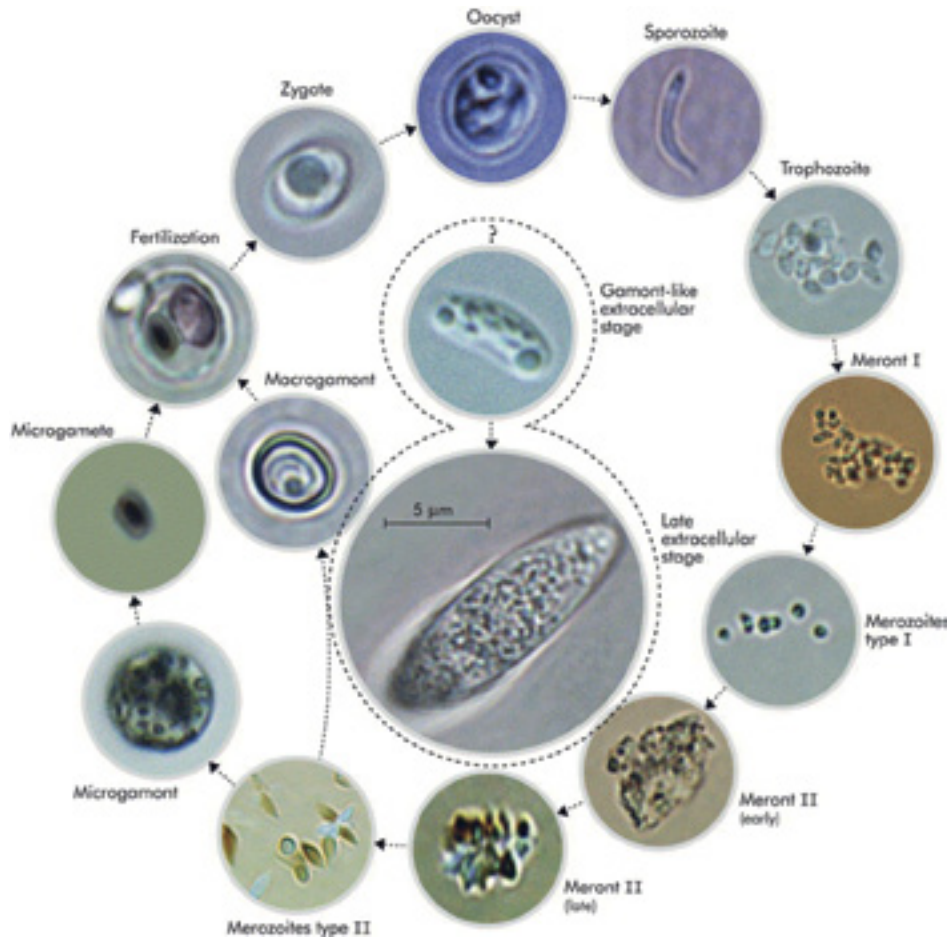
Chez l'homme, la maladie provoque d'importantes diarrhées mais évolue vers une guérison spontanée sous cinq jours. Néanmoins, les patients immunodéprimés peuvent présenter une infection plus grave causant d'importants désordres électrolytiques pouvant faire perdre jusqu'à six litres d'eau par jour. L'utilisation systématique de trithérapie pour les patients atteints du SIDA en France a permis de réduire considérablement les cas de cryptosporidiose, qui demeure toutefois importante et grave dans de nombreux autres pays.

Les fèces d'un sujet infesté contiennent un nombre élevé d'oocystes et transmettent alors la maladie d'hôte en hôte. L'ingestion de quelques-uns de ces micro-organismes est suffisante pour provoquer la maladie : ce parasite présente alors un fort potentiel de contamination. L'ingestion d'oocystes disséminés dans l'environnement par les matières fécales représente le moyen de transmission principal (avec par exemple l'absorption accidentelle d'eau de piscine contaminée ou l'alimentation à partir de légumes d'un jardin fertilisé avec du fumier). Néanmoins, la transmission directe par contact avec un bovin n'est pas négligeable (15 à 57 % des cas sporadiques).

transmission

cycle

Le cycle de vie du parasite est **monoxène**; il est en grande partie semblable à celui des autres parasites alimentaires, comme pour *Trichinella spp.* Cependant, *Cryptosporidium spp.* ne pénètre pas à l'intérieur des cellules mais se localise à la surface des **entérocytes** (un des principaux types de cellules constituant l'épithélium intestinal).



Stades d'évolution de *Cryptosporidium parvum* en culture cellulaire.

Alaria alata est un ver plat quasi-microscopique (3 à 6 mm de long sur 1 à 1,5 mm de large) qui présente de nombreux stades évolutifs et un cycle de transmission assez complexe. Ce **trématode** appartient à la famille des *Diplostomatidae*; à son stade final, il est potentiellement dangereux pour l'homme, puisque les larves du stade mésocercaire peuvent infester une grande variété d'hôtes paraténiques incluant les amphibiens, les reptiles, les oiseaux d'eau et un large spectre de mammifères dont les primates.

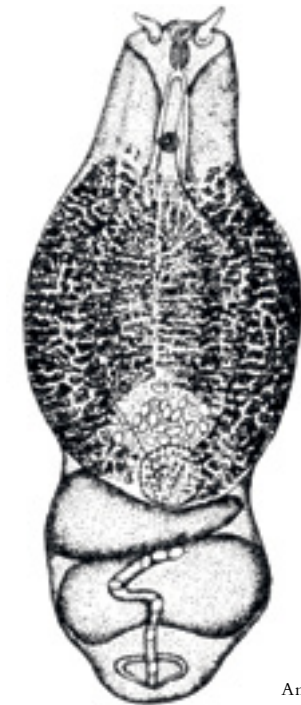
cycle

Le cycle biologique d'*Alaria alata* commence dans les fèces d'un carnivore, lorsque les œufs éclosent en **miracidium** dans l'environnement. Un mollusque, par exemple un escargot d'eau, s'infectera au contact de ces œufs, leur permettant alors de se développer sous la forme de **furcocercaire**. Transmis par la suite à un second hôte intermédiaire, un amphibien (grenouille), ils évolueront à nouveau, en **métacercaire** puis en **mésocercaire**. Plusieurs possibilités s'offrent alors au parasite. Son hôte peut devenir le repas d'un petit rongeur, servant de **vecteur**, qui sera mangé à son tour par un carnivore : *Alaria* prendra alors sa forme adulte, sexuée, et se reproduira afin d'assurer la continuité du cycle. D'un autre côté, il est également possible que des **mésocercaires** arrivent dans l'organisme d'un **hôte accidentel**, dit **paraténique**, comme le sanglier ou l'homme. *Alaria* ne pouvant progresser vers le stade adulte, les larves se comporteront en **larva migrans**, cherchant en vain à travers l'organisme un lieu adéquat pour se développer.

Tandis que les animaux ne présentent généralement pas de symptômes de ce parasite infestant leur intestin et migrant vers les muscles, les tissus adipeux, ou les organes, les hommes, au contraire, souffrent de troubles digestifs (diarrhées avec fièvre et maux de tête) voire respiratoires (hémorragie des poumons). Après perforation de l'intestin, les larves vont chercher leur site définitif, s'enkystant dans les muscles et pouvant causer des lésions sur le foie, le cerveau et les poumons.

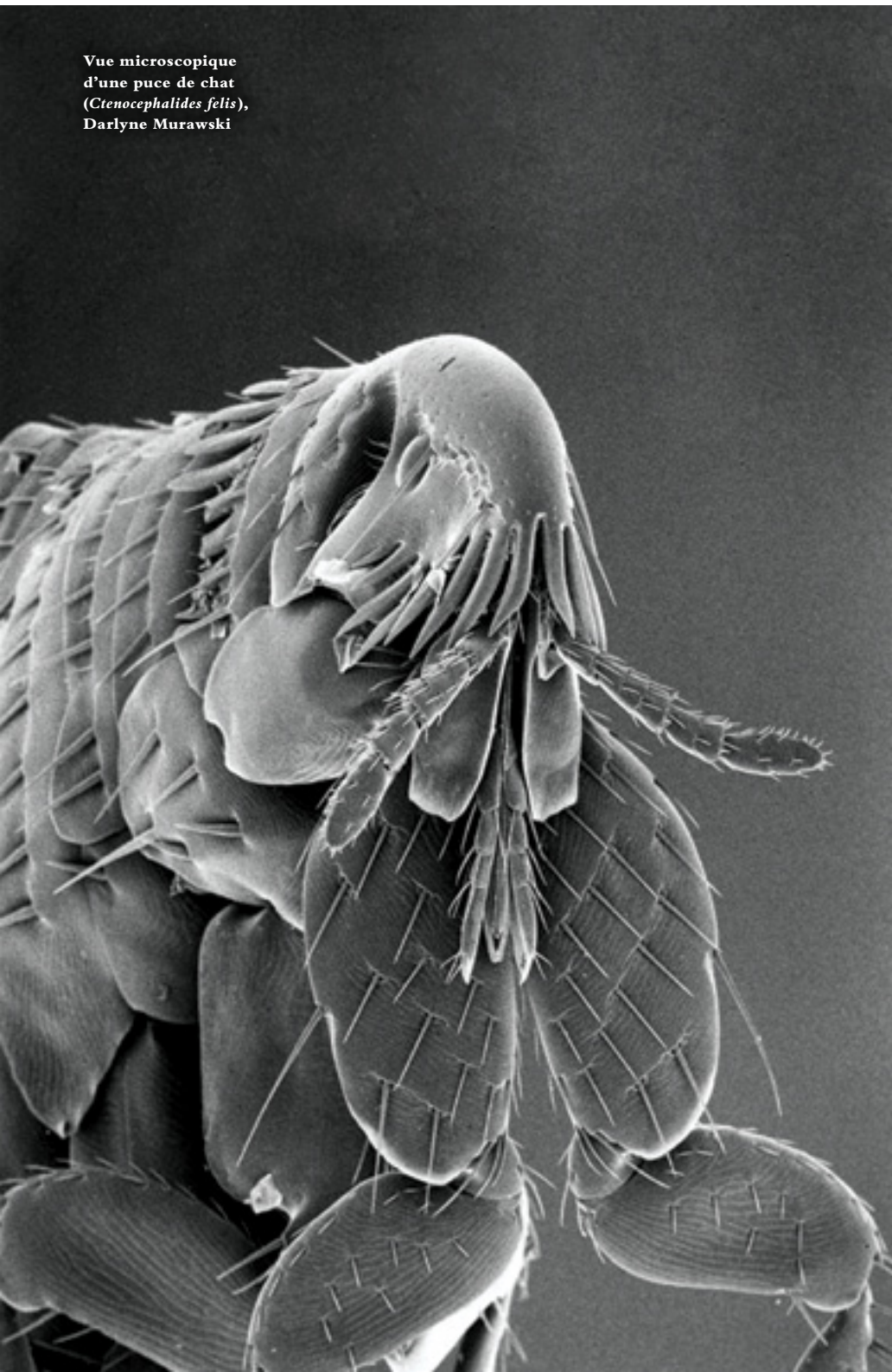
pathologie

Alaria spp. est plutôt **résistant** à la congélation, à la chaleur et aux détergents classiques et peut survivre plusieurs semaines dans des carcasses en putréfaction. Néanmoins, la transmission se faisant essentiellement par **ingestion**, il est possible de prévenir le risque en évitant de se nourrir de viscères de sangliers dans des zones à risque (proches de zones humides, étangs, lacs, rivières calmes) et en cuisant à cœur leurs viandes ou celle des batraciens, ceci jusqu'à obtenir une «viande grise».



Anatomie d'*Alaria*

Vue microscopique
d'une puce de chat
(*Ctenocephalides felis*),
Darlyne Murawski



« Les hommes sont comme les animaux :
les gros mangent les petits
et les petits les piquent. »

Voltaire

LES BACTÉRIES VECTORISÉES

Les *Bartonella* sont des bactéries pathogènes intracellulaires ayant une affinité pour les globules rouges (hématotropes) et infectant de nombreux mammifères. Les bartonelles sont de petits bacilles (bactéries ayant la forme de bâtonnets) de taille inférieure à 0,5 x 1,5 µm. À ce jour, 25 espèces de bartonelles sont recensées. Parmi elles, *Bartonella henselae*, qui infecte l'homme et les mammifères, surtout félins, est à l'origine de zoonoses émergentes et virulentes, notamment la maladie des griffes du chat, qui compte environ 5000 cas par an, est la première zoonose française urbaine.

Sept cas humains sur dix surviennent après une griffure, et 1 sur dix après une morsure. Les autres cas résultent d'une morsure ou piqûre d'un vecteur (puce, tique) ou d'une autre voie d'inoculation. Le chien pourrait, par ailleurs, jouer un rôle, toutefois très limité, dans le portage de l'infection.

Le réservoir de la maladie est le chat, principalement les sujets de moins d'un an et les chats errants (un sur deux portant la bactérie, pour seulement un sur huit chez les chats domestiques). Entre eux, la maladie se propagerait surtout à travers *Ctenocephalides felis*, la puce du chat. Après un repas sanguin sur l'animal, la bactérie se multiplie dans le tractus digestif de la puce puis elle est ensuite éliminée dans ses déjections, contaminant alors le pelage et la peau du prochain hôte. Au prochain repas sanguin, ou à la suite de blessures, la bactérie peut pénétrer dans l'organisme suivant.

Immédiatement après l'inoculation, la bactérie colonise l'endothélium avoisinant (couche de tissu cellulaire la plus interne des vaisseaux sanguins, celle en contact avec le sang) et s'y niche. De façon cyclique, environ tous les cinq jours, des bactéries seront disséminées dans le sang où elles contamineront les globules rouges, permettant ainsi de multiplier les organes touchés et d'étendre l'infection.

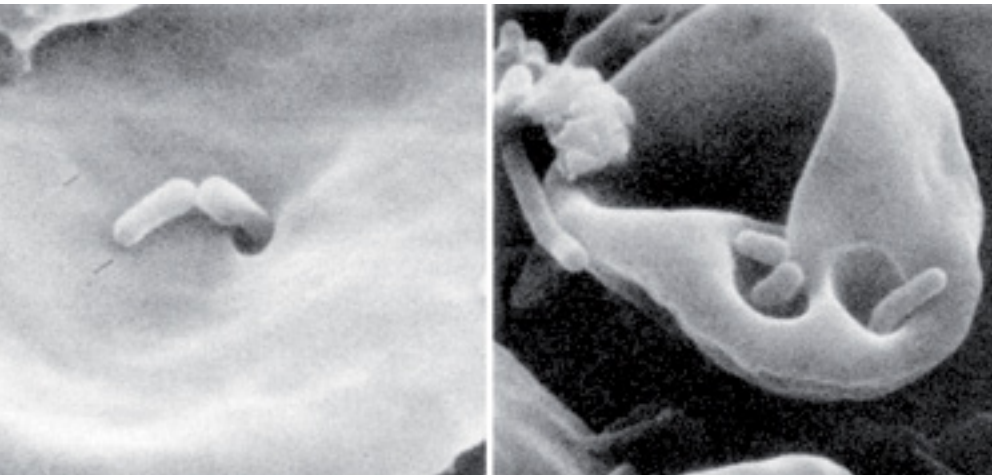
Tandis que les chats atteints demeurent en bonne santé, les symptômes chez les hommes sont essentiellement ceux d'une adénopathie (inflammation et hypertrophie des ganglions) qui se développe progressivement. La plupart du temps, les lésions régressent naturellement mais une suppuration chronique peut parfois s'installer. De plus, des formes graves atypiques sont possibles, et ceci, même chez les sujets non-immunodéprimés. La maladie des

ONELLA

cycle

pathologie

griffes du chat est, la plupart du temps, bénigne, et les principaux atteints sont les enfants de moins de 15 ans ; néanmoins, la bactérie peut, chez les sujets immunodéprimés en particulier ceux atteints du VIH, provoquer des formes atypiques graves.



Ci-dessus : Électromicrogramme montrant l'entrée de *Bartonella bacilliformis* dans des globules rouges de l'homme.

Ci-dessous : *The body louse! - Death from typhus!*, Otis Archives of the National Museum of Medicine.

(Poster de la 2nd Guerre Mondiale. Le visage de la puce présente des caractéristiques identifiant un japonais, mais aussi Hitler. À l'époque, ces posters de prévention médicales pouvaient être un bon moyen de propagande, associant dans les esprits les vecteurs de maladies, à l'ennemi),

puce

Afin de pouvoir se reproduire, la **puce adulte** se nourrit du sang de son hôte, qu'elle ne quitte que rarement. Deux jours après ce repas sanguin et après accouplement, elle pond sur lui une cinquantaine d'œufs. Ces derniers tombent alors du pelage dans l'environnement. Entre deux jours et deux semaines, ils éclosent en un premier **stade larvaire**. Petit à petit, les puces se développent en un deuxième stade larvaire ainsi qu'un troisième. En moins de deux semaines, le troisième stade formera un **cocon** qui finira par éclore en puce adulte. Ces cocons sont collants et facilement recouverts des débris de leur environnement. Le nouvel adulte cherche ensuite un hôte pour se nourrir, et la boucle est bouclée (l'hôte pouvant être commun entre la nouvelle puce et son ancienne génitrice). La puce fait plusieurs **repas sanguins**, comprenant chacun de 5 à 10 µl de sang. Le taux de bactéries chez une espèce infectée est d'environ 1 million par ml de sang (soit 1 hématie touchée sur 10000). Si certaines puces ne quittent jamais le pelage de l'animal-hôte, la puce *Ctenocephalides*, quant à elle, est mobile et peut se déplacer dans l'environnement afin de trouver un autre hôte, et ainsi, de transmettre la bactérie.

Anaplasma est une **rickettsiale**, **bactérie** parasite



Puce



intracellulaire obligatoire de petite taille (environ 300nm). Ses espèces sont polymorphes et peuvent se présenter sous une forme **sphérique** (coccoïde) ou **ellipsoïdale**. Leur paroi cellulaire est fragile, d'où leur difficulté à survivre en dehors d'une cellule-hôte. Immobiles, on les retrouve dans des vacuoles à l'intérieur du cytoplasme, soit de manière isolée, soit regroupées dans des inclusions denses ou **morulas**. Les cellules infectées sont en général les **polynucléaires** (globules blancs ou leucocytes), qui participent au système immunitaire en nettoyant l'organisme (et, en mourant forme le pus).

Plusieurs espèces d'*Anaplasma* existent, classées depuis une dizaine d'années en fonction de séquences à ADN, principalement celles qui codent des protéines de surface.

L'anaplasmose est une pathologie induite par *Anaplasma phagocytophilum*. L'incidence (le nombre de cas sur une population) de la pathologie ne cesse d'augmenter depuis les années 2000 : il est passé d'1,4 cas à 6,1 par million d'habitants. Néanmoins, moins d'un pour cent des cas décèdera de l'infection.

Cette bactérie touche une grande variété d'espèces (homme, chien, chat, cheval, mouton, chat, cerf, rongeur...), cependant la pathologie ne peut se transmettre entre animaux, ou d'homme à animal, sans interaction d'un **vecteur** (majoritairement les tiques, même si d'autres arthropodes sont aussi incriminés). Le cycle de vie de l'agent pathogène se fait en général entièrement dans l'intestin de son hôte ou du vecteur.

tiques

Les **tiques** sont des **acariens**, et non des insectes (elles n'ont pas d'antennes, et huit pattes au lieu de six). Elles sont ubiquitaires sur le territoire français mais présentent des variations de densité très importantes selon l'espèce et le lieu. Les zones à risques sont les milieux boisés, mais les pâtures sont aussi propices à leur développement, à cause de la présence de bovins, eux-mêmes réservoirs de bactéries zoonotiques. *Ixodes ricinus* est l'espèce la plus fréquente, et celle étudiée à l'UMR.

Il existe au moins 800 espèces de tiques différentes dans le monde, classées en deux types : les tiques dures (**ixodidés**) et les tiques molles (**argasidés**). La tique dure est plus commune, mais aussi plus entreprenante : elle attend un hôte potentiel dans un lieu adéquat, comme le haut des brins d'herbe, pour s'accrocher à sa peau ou à son poil lors de son passage. Au contraire, la tique molle préfère séjourner dans le nid de son hôte, attendant son retour et dépendante de celui-ci.

cycle

Les tiques dures connaissent trois étapes évolutives au cours de leur vie, tandis que les tiques molles auront en supplément plusieurs stades en tant que nymphes. Elles présentent un cycle de développement à **trois hôtes** : une tique adulte pique et suce le sang d'un grand animal (bétail, cerf ou chevreuil principalement) puis, une fois gorgée, et après accouplement, la femelle tombe sur le sol et y pond ses **œufs**. De vingt à cinquante jours plus tard, des **larves** naissent puis s'attaquent à des petits animaux vivant à proximité (souris, rat, musaraigne) voire à des oiseaux. Ce repas sanguin leur permet d'augmenter de volume et de se métamorphoser en **nymphe** en retombant à nouveau sur le sol. L'alimentation sur un nouvel hôte, légèrement plus gros cette fois-ci (lapin, faisand, écu-reuil) leur permet de devenir **adulte** et de terminer le cycle en s'attaquant enfin à un hôte définitif.



Tique de forêt,
Michael Braun (2009)

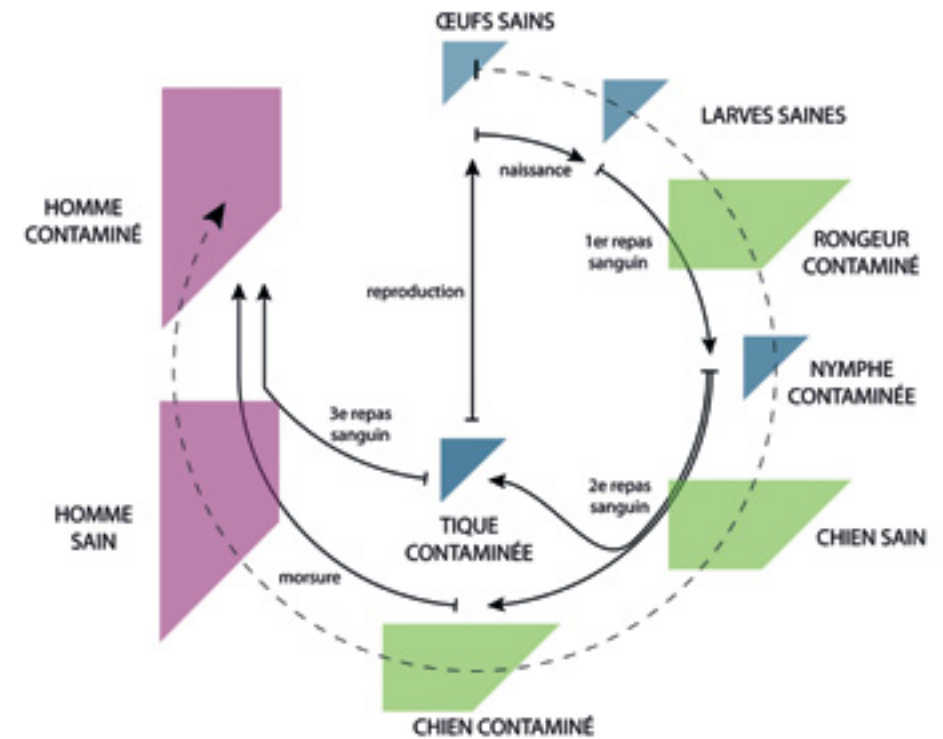
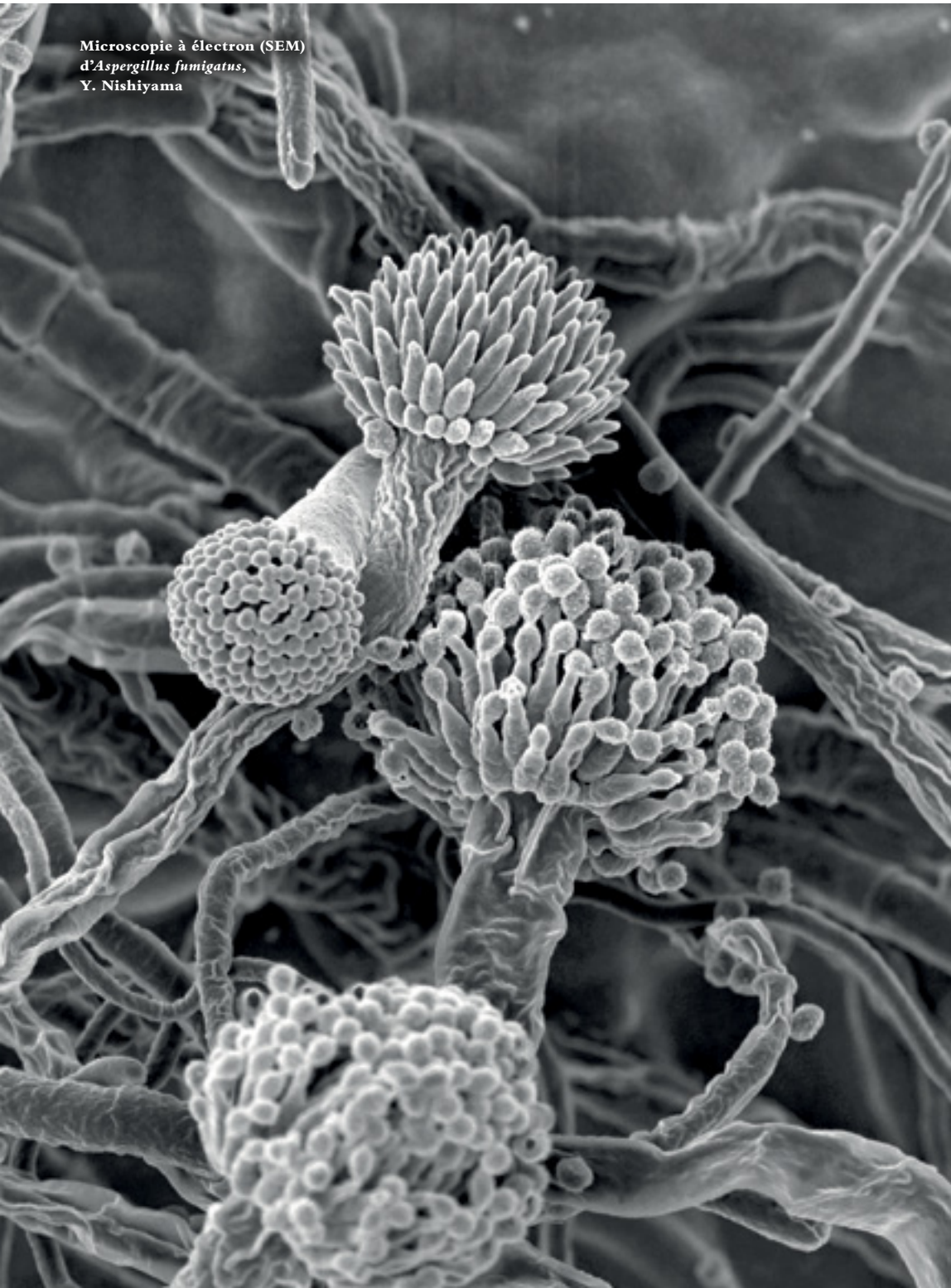


Schéma d'explication du cycle d'*Anaplasma*
(selon le schéma d'une maladie zoonotique)

À chaque étape de leur évolution, les tiques ont besoin d'un nouveau repas sanguin. Compléter leur cycle de vie peut leur demander jusqu'à trois ans, tandis qu'une grande partie d'entre elles mourront à cause de la difficulté à trouver un nouvel hôte nourricier.

Alors que la puce « pique » son hôte, la tique le « mord ». Malgré leur absence de dents, elles peuvent s'insérer solidement dans la peau grâce à leur **rostre**. Les tiques molles y resteront le temps de leur repas sanguin (environ une heure); cependant, les tiques dures s'insèrent sous la peau par le biais de leur organe d'ancrage afin d'y rester de quelques jours à une semaine.

Si l'hôte est atteint d'**anaplasmose** et que la tique ingère une **bactérie** lors de son repas composé de centaines de cellules sanguines, elle ira se localiser dans les **glandes salivaires** et s'y multipliera. De petites quantités de salive de tiques pénètrent dans l'organisme de leur hôte après une morsure, pouvant dès lors le contaminer.



Microscopie à électron (SEM)
d'*Aspergillus fumigatus*,
Y. Nishiyama

LES CHAMPIGNONS OPPORTUNISTES

Les **mycètes**, plus communément appelés champignons, sont des organismes eucaryotes dont il existe plus de 100000 espèces différentes. Ils ne faut pas les confondre avec les plantes car ils forment un règne à part entière. L'UMR étudie plus précisément les **ascomycètes**, eucaryotes, généralement multicellulaires (comme les **moisissures**) mais parfois unicellulaires (**levures**).

Un champignon est formé d'un appareil végétatif immobile, le **thalle**, lui-même constitué de cellules allongées de forme filamenteuse nommées **hyphes**, parfois associées en **mycélium**. Les hyphes disposent d'une partie apicale qui, par élongation de l'apex, permet au mycète d'absorber les nutriments environnants. Lorsqu'il se nourrit de matières mortes, en décomposition, il participe au recyclage et vit en **saprobiose** avec son milieu. Au contraire, on parle de parasitisme **endophyte** lorsqu'il s'alimente en nutriments à l'intérieur-même d'un organisme vivant. Selon les conditions de l'environnement, certains champignons peuvent avoir une croissance particulièrement forte (une trentaine de centimètres par heure).

Ces champignons ont différents pouvoirs pathogènes : la **mycotoxicose** (l'intoxication due à l'ingestion d'un aliment contaminé par un micromycète y sécrétant des toxines), le **mycétisme** (dû aux champignons vénéneux), l'**allergie fongique** ou la **mycose**. Les mycoses causées par *Aspergillus* (aspergillose) et *Candida* (candidose) sont étudiées à l'UMR.

Si le milieu est défavorable à sa survie, le champignon va chercher à se disséminer et à coloniser d'autres milieux, grâce à la dispersion de ses **spores**, petites poussières facilement emportées par le vent. Sa reproduction peut se faire de manière **sexuée** (le champignon dit **téléomorphe** produit ses spores par méiose) ou **asexuée** (dans ce cas, il est **anamorphe** et produit ses spores par mitose). Lors de la reproduction asexuée, le mycélium va produire des **conidies**, ou **mitospores**, par **mitose** (division cellulaire où chaque nouvelle cellule possède le même nombre de chromosomes que la cellule-mère). Après germination, ces spores formeront de nouveaux mycéliums.

La reproduction sexuée a lieu lorsque deux mycéliums se rencontrent et que se produit la **plasmogamie** ou **somatogamie**, c'est-à-dire la fusion des cytoplasmes de deux de leurs cellules. Ce processus d'**hybridation** permet d'obtenir une cellule à double noyau (dicaryote); ces deux derniers vont alors fusionner (caryogamie) pour former une cellule diploïde (dont tous les chromosomes sont

cycle

présents par paire). Lors de la **méiose** (division cellulaire avec partage de l'information génétique), deux méiospores se forment et germent.

D'autre part, dans certains cas, l'homme peut profiter des capacités biologiques des micromycètes : ils produisent des acides organiques (par exemple, l'acide citrique utilisé par la marque Coca-Cola est secrété par *Aspergillus*) ou même de l'éthanol (comme pour l'alcool présent dans la bière), des antibiotiques (la pénicilline), etc.

Les espèces *Aspergillus* sont des **champignons supérieurs** faisant naturellement partie de la microflore du **sol**. Il existe sept sous-genres d'*Aspergillus*, regroupant chacun plusieurs espèces. Sur les 184 recensées, 40 sont potentiellement pathogènes chez l'homme ou l'animal.

La plupart des cas d'**aspergillose** sont causés par l'*A. fumigatus*, tandis que l'*A. flavus* et l'*A. niger* viennent au deuxième rang des espèces pathogènes d'*Aspergillus* les plus répandues dans le monde. Toutes trois présentent des formes microscopiques divergentes, il est donc judicieux de représenter et comparer leur structure dans l'espace.

Aspergillus spp est une moisissure dont on décompte de 1 à 20 spores par m³. Un individu moyen en inhale une vingtaine chaque jour ; elle est donc peu pathogène, mais peut le devenir chez des sujets humains ou animaux (mammifères (vaches, dauphins, chevaux, chiens...)

et oiseaux) ayant un système immunitaire déficient. Ce champignon s'installe principalement aux endroits où il est en contact avec un maximum d'oxygène. En plus des **poumons**, les oiseaux ont d'autres compartiments respiratoires, des **sacs aériens** leur permettant d'être plus légers afin de voler : ils sont alors plus facilement victimes d'une infection. Leur température corporelle, supérieure à celle des mammifères, facilite la croissance et la prolifération du champignon. De plus, ils n'ont pas d'épiglotte : leur trachée est donc ouverte en permanence, ce qui facilite l'entrée de l'agent pathogène. Les oiseaux vivent donc en équilibre instable avec ce champignon, grâce à un système immunitaire adapté qui

Air, Sarah Illenberger, 2010



les protège et élimine tout pathogène avant qu'il ne s'installe. Mais en cas de **déficience immunitaire**, le champignon se multiplie et l'oiseau tombe malade. De même que nous tombons plus facilement malades en période de stress, car notre système immunitaire est affaibli, la captivité occasionne un stress important chez certains oiseaux sauvages, qui développent alors une aspergillose. Enfin, le taux d'infection des oiseaux dépend aussi de la quantité d'*Aspergillus* présente dans leur environnement. Des locaux mal ventilés, une mauvaise hygiène ou une surpopulation favorisent la présence du champignon et peuvent augmenter le taux d'infection. La **dinde d'élevage**, particulièrement touchée, est le principal hôte étudié à l'UMR. Ils ont développé un modèle expérimental d'inoculation afin d'étudier de potentiels traitements et vaccins.

Chez un sujet en bonne santé, si elle est inhalée, la spore sera éliminée de l'organisme par expectoration. Cependant, si l'individu n'a pas de système de défense compétent, *Aspergillus* commencera à germer dans ses compartiments respiratoires : ses mycéliums se ramifiant, ses colonies croissent rapidement et peuvent être visibles à l'œil nu ; elles sont de couleur blanche, verte, jaune ou noire. Le traitement étant difficile, la maladie peut alors devenir gravissime en se propageant dans tout l'organisme. Dans la majorité des cas, on observe des troubles respiratoires chroniques causés par le développement du champignon dans les cavités aériennes. Les différentes espèces sont pathologiquement néfastes et peuvent causer, en plus de l'aspergillose, des allergies, des infections et des inflammations superficielles et locales ou des lésions tissulaires...

Pendant que le champignon prolifère, l'organisme cherche à contenir l'infection en édifiant une sorte de « coque » autour de la colonie, que l'on nomme « **granulome aspergillaire** ». De même, l'aspergillome est le développement localisé de la moisissure (boule fongique) dans une cavité. L'aspergillose invasive survient chez les personnes immunodéprimées où la **dissémination hématogène** (dans la circulation sanguine) des micromycètes peut atteindre n'importe quel organe (majoritairement le tube digestif mais parfois aussi les reins, le cœur ou le cerveau...). Le cas le plus grave est l'atteinte du système nerveux central, ce qui peut conduire à des crises convulsives ou à un accident vasculaire cérébral. Aux États-Unis, le nombre de décès associés à *Aspergillus spp* chez les individus immunodéprimés a augmenté (passant de 0,04 décès pour 100000 personnes en 1980 à 0,15 vingt ans plus tard) du fait de l'utilisation commune de traitements par immunosuppresseurs (cancers, greffes, VIH...).

Le traitement se fait par antifongique, mais il peut devenir nécessaire d'employer des corticoïdes ou d'avoir recours à la chirurgie pour l'exérèse du champignon.

pathologie

transmission

L'Aspergillose est une **saprozoonose**, c'est-à-dire que son **réservoir** n'est pas un organisme-hôte, mais plutôt l'**environnement** (sol, eau, matière organique jouant un rôle important dans la multiplication et la dissémination des spores, principalement les fourrages, litières, poussières...). Contrairement aux parasites et germes précédents, le réservoir d'*Aspergillus* est donc **tellurique** : le champignon s'y propage rapidement (formation de colonies en 3 à 5 jours) dans des conditions environnementales favorables (bonne oxygénation, température assez élevée (38°C pour *A. fumigatus* par exemple) et humidité relativement importante).

La transmission se fait majoritairement par l'inhalation de conidies en suspension dans l'air ou par l'intermédiaire d'eau contaminée (exposition pendant la douche), mais le micromycète peut aussi pénétrer dans l'organisme par voie digestive ou par plaie importante. Il n'existe, à ce jour, aucune preuve de transmission interhumaine, excepté par contamination du fœtus à travers le placenta (comme pour le poussin par la coquille).

Les hôpitaux peuvent être une source non négligeable d'*Aspergillus spp* (notamment par les matières plastiques et les tissus qu'ils utilisent). L'infection est donc **opportuniste** et **nosocomiale**. Des règles strictes de prophylaxie doivent être respectées dans les lieux à risques, d'autant plus si des travaux ont lieu à proximité (le brassage de la terre entraîne la dissémination des spores dans l'air). De bonnes pratiques d'hygiène et d'aération permettent généralement de limiter la prolifération et la contamination.

Nymphéas (nénuphar), Les nuages,
Claude Monet (1903)



« Ce nénuphar, dit Colin. Où a-t-elle pu attraper ça ?

– Elle a un nénuphar ? demanda Nicolas incrédule.

– Dans le poumon droit, dit Colin. Le professeur [...] dit aussi qu'il faut tout le temps mettre des fleurs autour d'elle, pour faire peur à l'autre...

– Pourquoi ? demanda Nicolas.

– Parce que s'il fleurit, dit Colin, il y en aura d'autres.

Mais, on ne le laissera pas fleurir... »

Boris Vian, *L'Écume des jours* (1947)

L'agent principal de la candidose est *Candida albicans*, un micromycète unicellulaire composant de façon naturelle et normale la **flore du tube digestif** de l'homme et des animaux. *Candida* est une **levure filamenteuse** ovale et bourgeonnante qui produit des **pseudomycéliums** (soit des ensembles de cellules allongées, sans cloison les séparant) dans les tissus, dans leurs exsudats (liquide organique suintant au niveau d'une surface enflammée) et en culture.

Certaines espèces comme les oiseaux, les canidés, les primates et les hommes y sont particulièrement sensibles.

La pathologie survient lorsqu'il se dissémine hors du tube digestif, généralement dans les tissus environnants. Cela peut provenir de lésions mécaniques (pendant la pose d'un cathéter par exemple) ou de manière plus passive, lorsque le sujet est affaibli ou, là encore, immunodéprimé. Le stress, le diabète, une alimentation riche en sucre, ou la prise de pilule contraceptive ou d'antibiotiques peuvent aussi permettre au champignon de se multiplier et se propager.

Cette mycose **opportuniste** est principalement **nosocomiale** : elle est au quatrième rang des maladies transmises à l'hôpital et sa fréquence ne cesse de croître. La transmission peut avoir lieu par contact direct, voie digestive ou génitale. Les matières virulentes sont le sol, la peau, les muqueuses, les sécrétions buccales, les selles, mais aussi les fruits, produits laitiers, etc. D'autre part, le singe peut aussi transmettre l'infection à l'homme par contact direct avec les lésions (morsures, autopsies...).

Sa multiplication anormale et sa progression dans les tissus adjacents au tractus gastro-intestinal provoquent des symptômes (haleine fétide, anorexie, diarrhées...) et des affections visibles sur la muqueuse buccale et l'œsophage (plaques et stries blanchâtres, dites **muguet buccal**). Le champignon peut aussi causer chez l'homme de nombreuses infections intestinales.

Le traitement par antimycosique est long mais efficace. En cas d'épidémie chez les volailles, les mesures de prophylaxie recommandent systématiquement l'abattage des oiseaux malades, ce qui engendre de fortes pertes économiques.

Composition d'après
Biosphère, Repository of records
Casey Cripe (2011)



III

III

transmission et terre

« La passion de créer fonde le projet de réalisation,
la passion d'aimer fonde le projet de communication,
la passion de jouer fonde le projet de participation. »

Raoul Vaneigem, *Traité de savoir-vivre* (1967)

PHASE D'INCUBATION

« Comme les maladies contagieuses,
les idées neuves demandent
une certaine période d'incubation
avant qu'elles ne soient reconnues. »

Arthur Koestler, *Les Somnambules* (1969)

DES TUTEURS ET UN SUJET

prémices

La genèse de ce projet s'est avérée quelque peu atypique. En septembre, j'ai découvert le sujet qui devait m'incomber pour cette année. Développé en association avec l'École vétérinaire d'Alfort, ce projet semblait passionnant; cependant il ne pouvait répondre aux attentes d'un diplôme d'illustration scientifique. J'ai alors été mise en relation avec un pôle de recherche situé au sein même de l'école et j'ai rencontré celui qui deviendra mon nouveau commanditaire : le professeur Henri-Jean Boulouis. Ce dernier, responsable d'équipe d'une unité de recherche, ainsi que la nouvelle directrice de l'unité, Nadia Haddad, ont rapidement décelé le potentiel d'une telle collaboration : ils m'ont alors présenté la cinquantaine de membres, chercheurs, enseignants, techniciens de l'unité lors d'une Assemblée générale, ainsi que René Chermette et Isabelle Vallée, les deux autres responsables des équipes. Chacun d'eux possédant des thèmes d'études, des visions et des souhaits divergents, il fallait pouvoir élaborer rapidement un sujet en accord avec les attentes de mon diplôme, les besoins du pôle de recherche et mes capacités. Par ailleurs, il est clair que mes commanditaires désirent me laisser une grande liberté créative, tant au niveau des contenus que des orientations. Ils écoutent mes avis et mes suggestions avec intérêt et confiance. En retour, ils me parlent de leurs sujets d'étude avec passion et motivation, et essaient de m'enseigner leur science qui m'était, au début, totalement inconnue.

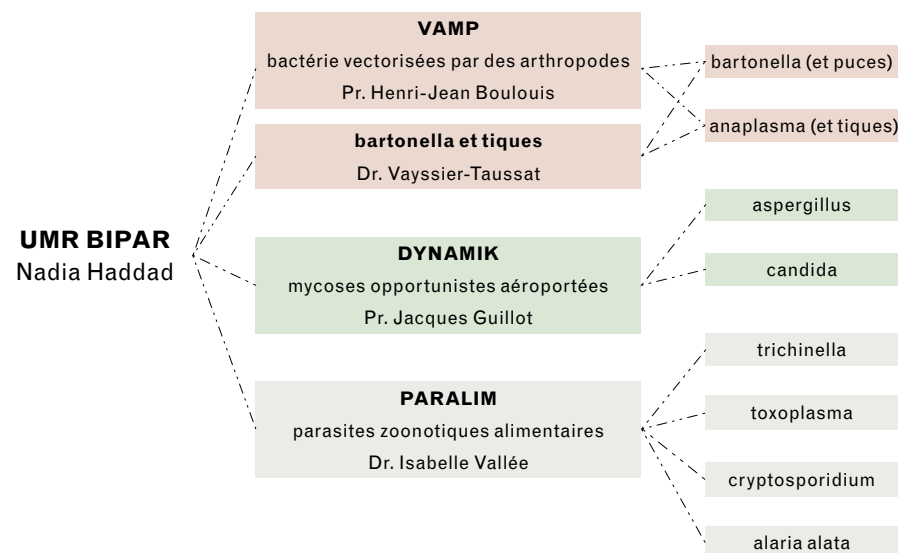
Ce projet répond donc tout à fait aux objectifs d'un diplôme de concepteur-créateur : il n'est pas attendu de moi la simple réalisation d'une commande, mais l'élaboration et la concrétisation d'un projet pertinent, en adéquation avec les intentions et les besoins de toute une équipe de recherche. Dès lors, mes commanditaires se révèlent être plutôt des tuteurs, des référents.

Durant toute l'année, j'aurais ainsi à développer une position de recherche, une attitude d'analyse du réel basé sur son observation, sur l'expérimentation et sur la résolution d'une problématique énoncée. Dès lors, mon travail se trouve être en miroir à celui de mes tuteurs qui, quant à eux, observent, expérimentent et résolvent divers problèmes et questionnements inhérents à la sphère biologique et vétérinaire.

Toutefois, il restait à concevoir un sujet. À chacun de nos rendez-vous, celui-ci se construisait. Cette lente et complexe élaboration a ajouté une difficulté supplémentaire au diplôme et je n'ai véritablement su que début décembre quelle mission m'était impartie. Toutefois, la motivation, l'engagement et les efforts de mes commanditaires m'enchantèrent et j'espère ne pas les décevoir.

Officiellement, mon commanditaire est le Professeur Henri-Jean Boulouis, responsable d'une des équipes de recherche. Néanmoins, je travaille sur la réalisation d'un projet utile, en accord avec l'ensemble de l'Unité mixte de recherche (UMR) dont il fait partie. Cette unité de Biologie moléculaire et Immunologie parasitaires et fongiques (BIPAR) s'articule autour de 3 thématiques de recherche, et elle est composée de 4 équipes :

umr bipar



Deux tuteurs-référents, le docteur Isabelle Vallée et le professeur René Chermette, m'aident et m'accompagnent afin de me donner les informations spécifiques à leurs investigations.



Par ailleurs, dans cette unité, travaillent une cinquantaine de scientifiques, chercheurs, techniciens, enseignants et stagiaires, chacun pouvant être affilié à une des trois institutions collaborant. Y participent l'École vétérinaire (ENVA) où se situe l'UMR, l'Institut national de Recherche agronomique (INRA) et l'Agence nationale de Sécurité sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES). Leurs recherches et leurs veilles permettent de développer des outils de modélisation et de maîtrise du risque infectieux.

Trois thématiques y sont développées, comme nous avons pu le voir dans la partie *découvrir – cycles biologiques* : les parasites alimentaires, les bactéries vectorisées par des arthropodes et les mycoses opportunistes aéroportées.

orientations

Peu à peu, à partir de nos conversations, des pistes se sont dégagées. De toute évidence, il fallait créer une charte graphique et repenser le logo du laboratoire. Néanmoins, la création de supports et logotypes d'identité d'une société n'étant pas l'un des attendus majeurs d'un diplôme d'illustration scientifique, il fallait dégager une problématique en lien avec la démarche spécifique de cette formation. Peu à peu, nous nous sommes aperçus qu'il serait difficile de lier cette communication visuelle spécifique avec le design d'illustration. Dès lors, je ferai en sorte de développer une identité propre à l'UMR à travers mes illustrations en réalisant des images sortant du champ habituel de représentation des cycles. Grâce à cela, l'unité disposera de visuels personnels et reconnaissables pour ses recherches.

Chaque équipe travaille sur une thématique particulière, elle-même fragmentée en divers sujets d'étude. Ces derniers dépendent du micro-organisme observé : les agents pathogènes sont tous différents, tant au niveau de leur nature (du petit ver à la bactérie unicellulaire), que de la voie de transmission (piqûre d'un arthropode-vecteur ou ingestion de viande labrè), ou de la nature des animaux-hôtes ou vecteurs (chats, bovins, mollusques...). Comme vu précédemment, il peut aussi arriver que l'agent évolue durant son cycle de transmission, l'œuf devenant larve, puis nymphe, et enfin adulte. Pour chaque espèce, une histoire se crée. La narrer est alors essentiel pour comprendre la pathologie, ce qui peut devenir particulièrement ardu, tant les hôtes, environnements, stade évolutif, type de transmission, vecteurs, etc. se succèdent.

Le sujet de mon diplôme a donc été circonscrit ainsi :

comment représenter le cycle évolutif et infectieux d'un micro-organisme, ce dernier pouvant être bactérien, fongique ou parasitaire, durant ses différents stades d'évolution et ses changements d'environnements et d'hôtes ?

Afin de compléter la compréhension de l'agent infectieux, des planches anatomiques ainsi que des vues représentant le parasite ou le germe à l'intérieur d'un organisme seront réalisées en complément. Ces illustrations, didactiques, scientifiques et anatomiques, aussi attractives que cohérentes, devront être pensées autour d'un style unique, fort et reconnaissable, afin de donner une véritable identité visuelle à l'UMR.

UNE CIBLE ET DES SUPPORTS

Il existe plusieurs pistes de cibles pour ce projet. Mes commanditaires ont exprimé le souhait que chaque illustration de cycle soit réalisée trois fois : une pour le grand public, une pour le scientifique disposant de quelques connaissances, et une pour le spécialiste. Personnellement, j'ai d'abord cru qu'il serait possible de créer des illustrations uniques répondant au niveau d'exigence de ces trois publics. Néanmoins, il s'avère que certaines données sont trop complexes et spécifiques à la parasitologie ou à la microbiologie pour le néophyte. Il apparaît donc être pertinent que chaque image de cycle soit déclinée en 2, voire en 3 exemplaires au maximum (selon les niveaux de complexité du cycle et du micro-organisme). Le premier niveau, compréhensible par tout-un-chacun, résumera brièvement les transmissions et les espèces afin de vulgariser l'information pour le grand public, novice en microbiologie et parasitologie. La seconde version, plus complexe et exhaustive, s'adressera aux scientifiques et aux étudiants de l'école vétérinaire de Maisons-Alfort. À travers elle, il sera possible de développer une médiation scientifique entre chercheurs pour, par exemple, des congrès ou afin d'illustrer les écrits de mes commanditaires. Enfin, pour s'adresser aux spécialistes, je réaliserai une version enrichie du cycle qui contiendra, quant à elle, l'intégralité des informations éclairant sa compréhension.

cible

Par ailleurs, en France, contrairement aux États-Unis, les pôles de recherche font rarement appel à des professionnels pour concevoir l'image de leur entreprise et la communication de leur information, et les chercheurs ne se voient pas comme des entrepreneurs. Néanmoins, comme dans le cadre d'une entreprise, les UMRs ont besoin de se faire connaître, de se démarquer, et de recevoir des fonds pour progresser. Mes illustrations doivent donc être

particulièrement **attractives**, esthétiques et intéressantes, afin de **mettre en valeur** l'intelligence et le **professionnalisme** des études de cette unité de recherche. Ces dernières ne seront pas simplement des schémas pratiques et didactiques, mais des illustrations à la fois pertinentes et plaisantes visuellement, séduisantes aussi bien pour le grand public que pour le chercheur.



Dès septembre 2013, l'UMR sera évaluée par l'**Agence d'évaluation de la Recherche et de l'Enseignement supérieur (AÉRES)**. Le précédent comité d'experts a examiné en 2008 l'UMR, afin d'en mesurer la qualité et d'administrer avis et propositions pour l'aider à améliorer son efficacité. Les membres

du Conseil sont des chercheurs et des scientifiques, mais ne sont pas forcément spécialisés en parasitologie ou en microbiologie. Mes commanditaires devant donc expliquer en détail leurs sujets d'étude, des illustrations pourraient leur servir, aussi bien pour instruire que pour mettre en valeur leurs recherches.

Au final, le cœur de ce projet se recentre autour de cette évaluation. Créer plusieurs variations d'illustrations est moins crucial, du fait qu'une seule variante sera transmise à l'AÉRES. Je mettrai donc l'accent sur la création d'un ensemble d'images pour chaque cycle afin de participer à la présentation des recherches de l'unité pour leur évaluation.

Toutefois, des illustrations s'adressant du grand public aux spécialistes sont potentiellement utiles pour mes commanditaires : elles peuvent permettre de **prévenir**, **informer** ou **enseigner** aux **professions à risques**, aux **collaborateurs**, aux **étudiants**, aux **scientifiques** lors de **congrès** ou à travers des **articles...** ou simplement aux individus **curieux** au sujet des cycles parasitaires inter-espèces. Le cycle sera donc développé sous plusieurs versions, si cela est pertinent avec les besoins spécifiques de mes commanditaires : ces derniers peuvent être orientés plutôt vers l'**éducation** (je pense notamment aux enseignants-chercheurs de l'ENVA) ou vers la **prévention** (avec l'Agence de sécurité sanitaire ANSES). Mon travail de présentation des études de l'UMR et des cycles parasitaires ne sera pas seulement **informatif**, il se doit aussi de **communiquer** à une cible spécifique, de **vulgariser** les savoirs, ou de faire acte de **médiation scientifique** entre chercheurs.

La cible reste donc très ouverte, mais ne prend en compte ni les enfants ni les adolescents, qui ne font pas partie de l'audience de l'UMR. Par conséquent, je dois trouver un style illustratif large permettant de m'adresser à un milieu **professionnel** de **spécialistes**, ou au contraire, à un **public néophyte**.

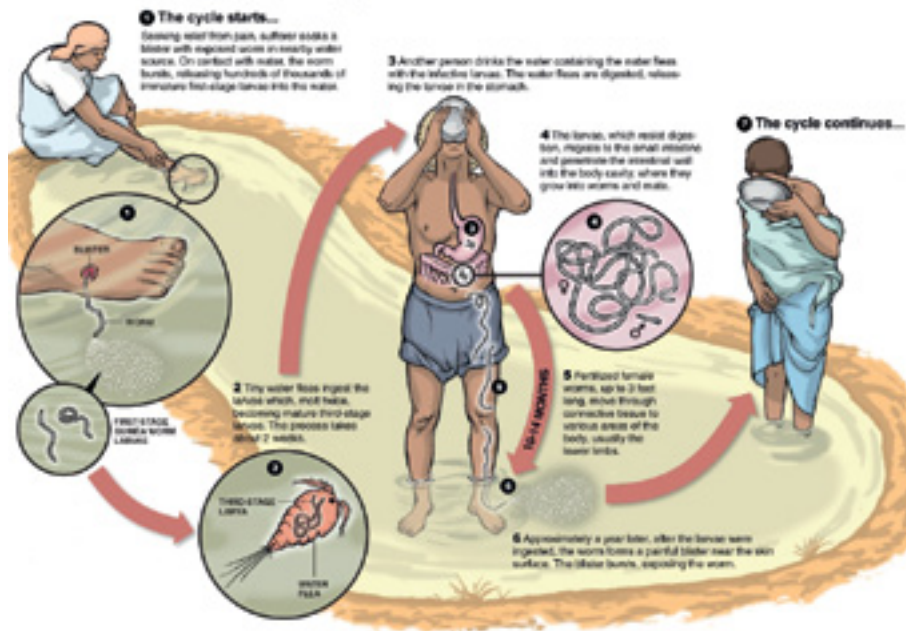
Pour ce projet, je dois réaliser des illustrations pouvant correspondre à «**une banque d'images**» **multi-supports** car, pour le moment, nous ne sommes fixés sur aucun médium en particulier. Les possibilités sont larges, tout comme les cibles (grand public, chercheurs, étudiants...) et les visées (présentation, communication, médiation, vulgarisation...). Les souhaits de mes commanditaires sont variés et restent vagues : des posters pour présenter l'UMR et ses thèmes d'étude, un dépliant expliquant et décrivant leurs objectifs et recherches, des images pour un potentiel site web futur, etc. Il est indéniable que tout cela ne peut être réalisé durant les quelques mois de mon diplôme, et que si les objectifs restent vagues, mes illustrations le seront aussi.

Par ailleurs, l'idée de créer des images convenant à une multitude et à une grande pluralité de médiums est plaisante, mais une illustration ne doit être faite sans réfléchir aussi bien à sa **cible** et à sa **visée**, qu'à son **support**. Dans le cas contraire, mes dessins de cycles seront «convenables» pour tout, mais ne seront jamais parfaitement **pertinent pour un objectif précis**. Il est donc essentiel que je me concentre sur une mission clé, et que je propose à l'unité des pistes judicieuses et fonctionnelles.

Des conversations que j'ai pu avoir depuis le début de ce diplôme, il m'a semblé comprendre que la priorité devait être donnée à l'évaluation par l'AÉRES. Celle-ci se fera premièrement au moyen d'un **fascicule** d'environ 250 pages, délivré en septembre, qui présente l'UMR et ses recherches, tant administrativement que scientifiquement. Plus tard, début 2014, un comité de chercheurs et scientifiques viendra dans les locaux de l'unité, situés à l'ENVA, pour visiter et observer l'endroit, et pour rencontrer ses membres. Des **réunions** auront lieu et des **diaporamas** seront projetés.

Afin de participer à la communication et à la médiation des recherches de l'unité, et pour mettre en valeur la qualité de leurs études, il est alors judicieux de réaliser des illustrations pour la brochure, des images vues lors de la diffusion de diaporamas ou des posters. Il me semble alors pertinent, au vu du sujet et de cette évaluation, de réaliser les **huit cycles à travers huit images uniques**, celles-ci étant toutefois composées d'un **ensemble d'illustrations** : le cycle de transmission et d'évolution du parasite, avec autour, en complément, les **dessins subsidiaires** tels que les vues intracellulaires ou les études anatomiques. L'ensemble sera agencé afin d'être **imprimé sur des posters grands formats**, pouvant être affichés dans les locaux (comme proposé par mes commanditaires), ou présentés lors des réunions. Pour la brochure, cet ensemble pourra être **scindé** entre, d'une part le cycle, et d'autre part chaque dessin complémentaire. Grâce à cela, la différence d'échelle entre les posters grands formats et les pages A4 de la brochure ne posera pas de problème de résolution.

The Life Cycle of Guinea Worm Disease



Certains systèmes graphiques ont également attiré mon attention. Il m'a semblé intéressant de sortir de la représentation plane et circulaire pour s'orienter vers une *vue en perspective*, où le cycle prend vie l'intérieur même de son *environnement*. De telles représentations sont moins éloignées du réel, de notre vision, et permettent plus facilement à l'observateur d'*entrer dans l'image*. Cette stratégie peut également être utile lorsque le parasite ou le germe infeste l'organisme : dès lors, on le (pour)suit, comme dans un jeu de plateau, à travers le corps *cartographié* de l'hôte infesté.

Malgré leur multiplicité, je dois m'avouer insatisfaite des différentes représentations des cycles parasitaires inter-espèces existants. Mes commanditaires n'ont pas non plus été en mesure de me fournir des images pouvant inspirer ma production. Le problème est donc épineux : afin d'être efficace dans ce projet, je n'aurai pas d'autre choix que de créer un *système nouveau*, une méthode personnelle, apte à *renouveler* la représentation des cycles.

Ci-dessus :
Guinea Worm Disease,
 Al Granberg (2009)

Ci-contre :
Cattle Grub Life Cycle,
 Tony Linka (2011)



PHASE D'INVASION

DES INSPIRATIONS ET UNE RÉFLEXION

Avant de trouver une orientation en accord avec les exigences du projet, je suis passée par de nombreuses phases et perspectives divergentes. Néanmoins, j'ai toujours estimé essentiel de travailler la *composition* et le *style graphique* en parallèle, du fait que j'ai à représenter des cycles complexes. Ces derniers sont communément présentés sous la forme de schémas. Il est vrai que cet outil didactique, s'il est bien employé, est d'une grande clarté et permet une bonne compréhension. Toutefois, pour mettre en valeur l'UMR et lui créer une identité spécifique, je dois m'éloigner de cette tradition afin que mes réalisations soient, bien sûr didactiques, mais aussi *attractives* et *singulières*.

Il en va de même pour le style du dessin, qui est, en général, tantôt trop réaliste tantôt trop rudimentaire. Toutefois, la simplification présente des avantages vu que j'ai énormément d'éléments épars et divergents à juxtaposer, tandis que trop de détails, comme dans l'hyper-réalisme ou le naturalisme, risquent de compliquer et de compromettre le transfert de connaissances. Il me faut donc m'éloigner de l'habituelle composition circulaire et austère des cycles, tout en évitant l'écueil d'un graphisme trop illustratif et gratuit, et pas assez *condensé*. Synthétiser l'information implique d'avoir auparavant pu *intégrer*, *comprendre* et *sélectionner*, parmi l'ensemble des données, celles qui sont indispensables, et ainsi *épurer* le dessin pour ne figurer que l'*essentiel*.

L'idée serait donc de mettre l'accent sur une *composition* intelligente, claire et presque *géométrique*, permettant de comprendre du premier coup d'œil le sens de la lecture et les *points-clés* de la transmission. Au second plan, la manière de représenter, relativement simple, portera toutes les informations pertinentes sans s'égarer dans des détails visuels à but uniquement esthétique.

Néanmoins, avec *l'Odyssée d'Alaria*, nous avons pu appréhender que les cycles *racontent une histoire* à part entière, dans laquelle *péripiéties* et *personnages* se succèdent. L'imaginaire peut alors se développer au sein même du réel, et mes dessins pourraient éclaircir une part passionnante et méconnue du monde. Il serait alors dommage de retirer la *fantaisie* et la *poésie* qu'il est possible de transmettre par l'illustration.

Pour les **dessins en addition aux cycles**, qui complètent l'explication de façon plus précise, les possibilités sont plus larges et les enjeux moins compliqués. Dès lors, ils seront réalisés avec les mêmes choix graphiques et structurels des illustrations de cycles. Ainsi, l'ensemble sera harmonieux, et ils pourront se présenter en vis-à-vis ou faire partie inhérente du cycle (notamment pour les posters). De plus, que ce soit pour représenter le parasite à l'intérieur d'un organisme, ou pour montrer sa forme et son anatomie, une perspective simple proche de l'isométrie et des formes brutes presque géométriques, sans ornementation complexe, sont des moyens efficaces de transmettre l'information, que celle-ci soit à communiquer ou bien à vulgariser.

Les exemples ci-dessous montrent qu'avec peu de traits et une forte simplification, voire une géométrisation des formes, il est possible d'aboutir à des représentations reconnaissables au premier coup d'œil tout en restant attractives pour une cible large. Le risque de l'extrême simplification étant de créer des images froides, vides et impersonnelles, les couleurs doivent être mûrement choisies, de même des textures peuvent être ajoutées, aux formes stylisées, sans alambiquer le tout. Un style simple, mais non enfantin, épuré et minimal sans être austère, peut constituer un bon compromis entre la vectorisation et le réalisme.

Si les formes, les couleurs et la composition sont bien traitées, un minimum de nuances, peu de détails ainsi que peu, voire pas, d'ombres permettent d'obtenir une image simple mais esthétique. Un jeu entre la **forme** et la **contre-forme** peut aussi être un bon moyen de représenter de façon pragmatique, mais plaisante. Grâce à l'informatique, il est assez aisé de figurer le réel en utilisant des formes brutes, proches de la géométrie.

Ci-dessous (gauche): *Dogs*, Rob Bailey (2012)

(droite): *Earth*, Junior Science, Ned Wenlock (2009)



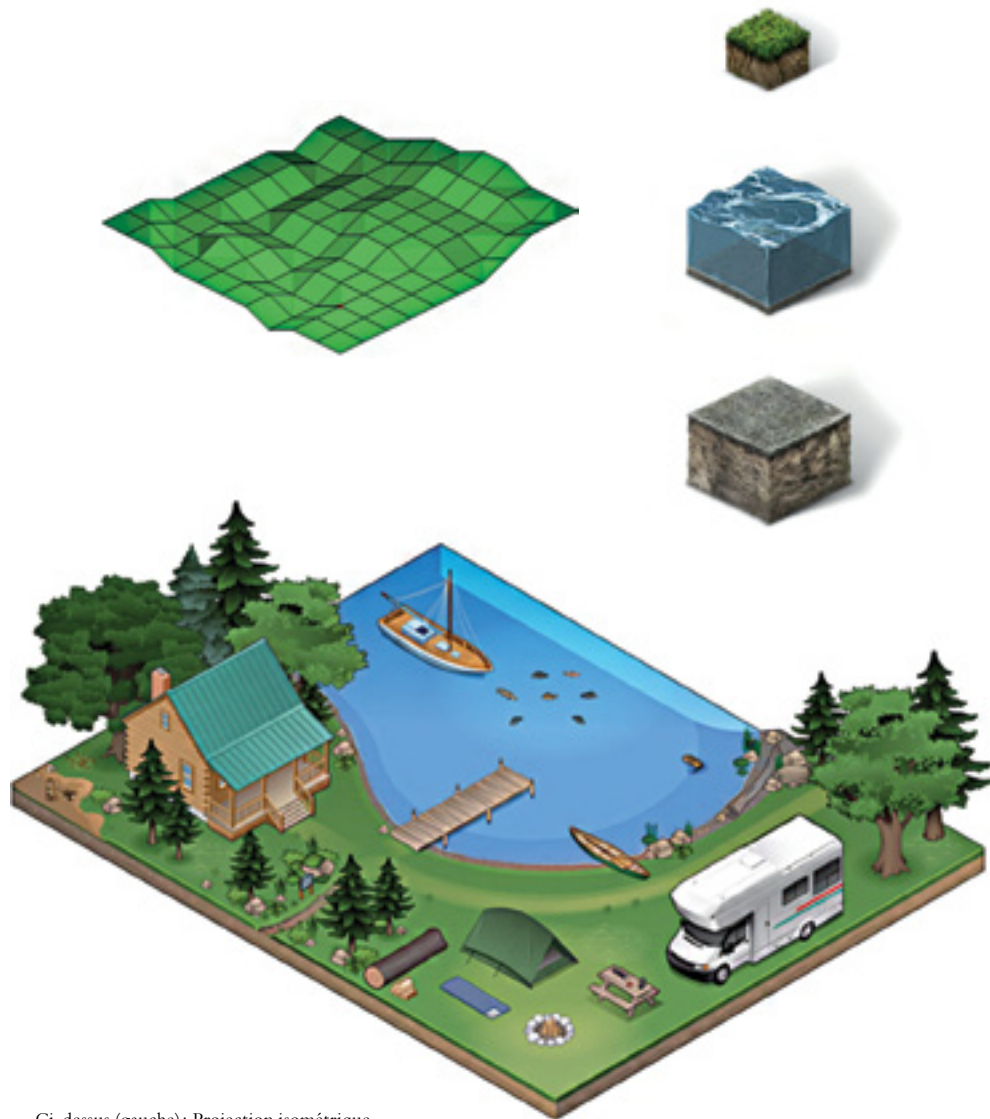
De **nombreuses étapes** se succédant durant ces cycles, il est essentiel de toutes les expliquer. Chaque moment doit être appréhendé séparément, mais l'ensemble constitue une seule et même image. Dès lors, le recours à la **bande dessinée** pouvait être un choix pertinent, notamment grâce au séquençage en cases. Toutefois, la multitude de dessins, au moins un par étape, génère une lecture saccadée, morcelée, voire mécanique, alors que les cycles naturels s'effectuent **progressivement**, en suivant et en respectant le **mouvement de la nature**. Afin de montrer cela, la figuration des cycles pourrait s'effectuer au sein même d'un **microcosme**: la transmission se ferait ainsi dans la retranscription de son **environnement** (lac, bois, domicile...). Contrairement à la majorité des schémas existants, le lieu où se passe l'action ne serait pas omis, et l'image gagnerait ainsi en **expressivité**. Dès lors, des choix avisés concernant les éléments dépeints et leurs couleurs, permettraient de créer une **ambiance** spécifique au **biotope**.

Cycle biologique de la douve du foie, Le Livre de la Santé, volume xiv: climat, plantes, parasites, pollution, allergie, Joseph Handler (1968)



surface des feuilles. Manges par l'homme, par exemple dans du croissant de fontaine, elles gagnent un rois hépatique (1) (2-16), et peuvent alors causer des troubles graves allant jusqu'à nécessiter une intervention chirurgicale. Cette maladie porte le nom de « distomatose hépatique ». Si le diagnostic peut être fait avant que la douve n'ait eu le temps de se fixer, le traitement est assez facile, à l'aide de l'oméprazole, médicament extrait de l'herbe d'Égypte.





Ci-dessus (gauche) : Projection isométrique

(droite) : *Grass, water, paved tiles*, Andy Mindler (2011)(centre) : *Lake illustration*, Enache Cristian (2012)Ci-dessous : *World's Ecosystem Services*, Münster UAS (2013)

DES ESSAIS ET UNE STRATÉGIE

Dans les dessins présents en fin de partie, j'ai souhaité illustrer des paysages très simplement, par isométrie, dite perspective 2.5D, ce qui me permet de passer outre la complexité de la 3D. Cette méthode de représentation ludique évoque les RPGs, ou *Rôle Playing Games* : des jeux vidéos qui s'inspirent des *jeux de rôles sur table* ; le joueur y incarne un ou plusieurs personnages et les fait évoluer au cours de quêtes.

L'influence des *jeux de plateau* peut être soulignée par un *map-page* du sol : des *cases* y sont visibles. L'environnement, par nature nébuleux, se simplifie par *géométrisation* ; le public peut alors aisément *se repérer* et suivre l'évolution, parfois complexe et chaotique, du germe au sein du *micromonde* quadrillé. La multitude des éléments animaux, végétaux ou matériels ne pose alors pas de problème puisqu'ils viennent se positionner au-dessus, tels des *pions* sur un jeu de plateau.

Cet ensemble de cases permet d'en sélectionner une, selon l'intérêt qu'elle présente, de zoomer dessus ou même de la déplacer. Grâce aux logiciels informatiques, chaque élément (case du sol ou élément de l'environnement, comme un arbre, une maison ou un animal) sera modifiable ou déplaçable. De plus, ces composantes de l'image pourront être réutilisables dans d'autres cycles (par exemple pour deux parasites investissant un même hôte). En effet, en isométrie, la taille des éléments n'est pas modifiée par leur degré d'éloignement (tandis que dans la perspective dite « à points de fuite », un objet situé au premier plan sera plus grand que s'il est proche de la ligne d'horizon). (cf. *schéma explicatif en fin de partie*)

Par ailleurs, par l'emploi d'un style graphique stylisé et non naturaliste, le public comprendra aisément que les règles d'échelles ne sont pas respectées : le fait qu'une grenouille fasse un cinquième de la taille d'un loup ne sera alors pas choquant.

En plus de cela, les images complémentaires peuvent s'agencer autour du microcosme. Ces vues anatomiques ou intracellulaires, de l'organisme contaminé ou du parasite, sont des *agrandissements* de parties du cycle de transmission en lui-même. Ces dessins sont plus détaillés, et enrichissent le cycle qui, lui, se doit d'être condensé ; ils peuvent alors s'y associer par *zoom* sur les cases de l'environnement.

LES RÉOLUTIONS ET L'ACTION

L'**organisation** du cycle est essentielle pour sa compréhension. L'étude de l'existant m'a permis de comprendre qu'il serait négatif de déroger à la forme **circulaire**. Néanmoins, le cercle peut être investi dans sa totalité, voire complexifié : par exemple en réseaux. Cependant, les cycles étant composés de nombreux éléments très différents (tant au niveau des couleurs et des formes que de l'imaginaire auquel ils renvoient), il peut être troublant de voir une image aussi complexe et détaillée. Les formes et les couleurs seront donc extrêmement simplifiées. De même, cycles de transmission, étapes d'évolution, germes et hôtes se rencontreront dans un espace géométrique clos.

Grâce à l'isométrie et à ses méthodes, l'image tend vers la **cartographie** et la **maquette**. Ces dessins, ludiques, permettent de plonger le public dans un univers recréé, concentré autour du cycle de transmission inter-espèces. Les espèces sont alors les personnages, et le parasite qui en est le héros, réalise sa «quête» en allant d'hôte en hôte. Le public le suit ainsi dans son **aventure**.

Les **images complémentaires**, en périphérie du cycle de transmission et d'évolution, permettent à la cible d'en apprendre plus sur chaque étape-clé, et détaillent en profondeur le cycle en lui-même. Dès lors, vis-à-vis de la pluralité des cibles de ce projet, les informations variées selon le public seront celles présentes dans ces dessins additionnels. Le cycle en lui-même, figuré dans son microcosme, ne changera pas ; tandis que les «zooms», détaillant l'action (étapes de transmission, d'évolution) ou les éléments (hôtes, vecteurs, germes), seront des images variant en fonction de la nécessité de complexité de l'information à transmettre.

J'ai commencé à réaliser des **organigrammes** pour assembler l'ensemble des données à intégrer à mes dessins. Par la suite, je vais **schématiser des espaces** de façon très géométrique. Partant de ces plateformes abruptes et sobres, j'ajouterai peu à peu des éléments, des **détails**, pour rendre l'illustration plus complète, didactique et esthétique. La perspective isométrique permet de réaliser ces composantes de l'image séparément, puis de les disposer sur le micromonde, tels des pions sur une maquette ou un plateau de

jeu. Grâce à cela, le même arbre peut être copié, placé et replacé, sur un ou plusieurs cycles. Une telle méthode permet de gagner du temps, mais surtout de créer des univers en accord les uns avec les autres : si la cible voit le même arbre, la même couleur d'herbe, le même type d'animal... elle comprendra qu'il s'agit du même biotope, et que plusieurs germes peuvent se retrouver dans un même lieu. De plus, son **regard s'habitue** à l'élément stylisé tel quel («cette forme signifie tel arbre de tel lieu»), et il pourra, inconsciemment, traiter les images de cycles et les comprendre de plus en plus facilement. Comme vu précédemment, les éléments à figurer dans ces cycles sont très nombreux, il n'y a donc pas utilité, en plus, de créer des variations supplémentaires qui n'ont pas lieu d'être. Par conséquent, j'aurais d'une part huit sols de huit biotopes, et une multitude d'éléments-pions à placer par-dessus, selon le type de lieu à représenter et des animaux-hôtes en vigueur.

En parallèle, les dessins complémentaires seront pensés, et traités, de la même manière : une image simple et concise, presque basique, mais attractive, pour le grand public ; elle s'enrichira d'informations et de détails, se complexifiera selon le degré de connaissances de la cible et du message à faire passer. Par exemple, la tique, de l'illustration centrale du cycle, sera comprise, par tout-un-chacun, comme «une tique». Dans une image additionnelle, le grand public verra l'anatomie de base d'une puce typique. Au contraire, cette image **variera** si elle s'adresse à un spécialiste : des détails supplémentaires, tels que la forme du rostre, très spécifique selon les espèces, lui permettront d'identifier quant à lui «la tique *Ixodes ricinus*».

La façon la plus efficace et rapide de réaliser ces principes est très certainement par **vecteurs**. De plus, par rapport au type de support (tantôt poster, tantôt illustrations éparses pour la brochure), le vecteur permet de ne pas se poser de question au sujet de la résolution, et donc de la taille d'impression de l'image. Néanmoins, ayant plus de facilité avec le crayon qu'avec la tablette graphique, je pense dessiner mes brouillons à la main, à l'aide d'une table lumineuse (permettant, tel l'utilisation de calques, de faire peu à peu monter le degré de détail d'un dessin), puis les scanner. Le trait vectoriel et la couleur, effectués par procédé informatique, seront alors facilement transformables selon les choix et les conseils de mes commanditaires et professeurs.

Pour ce projet, j'aurai donc à représenter huit cycles inter-espèces correspondant à la dissémination des huit parasites-germes. Pour ce faire, la composition de l'image et l'environnement-support changeront à chaque cycle : il y aura alors huit microcosmes, huit structures de cycle, donc huit illustrations (composées de plusieurs dessins agencés les uns avec les autres). Les éléments (animal, végétal, biologiques...) présents dans chacun d'eux, pourront, quant à eux, être semblables et réemployés si besoin est. En fonction du message à transmettre, la représentation du cycle en lui-même ne changera pas, contrairement aux dessins additionnels qui préciseront l'information et varieront selon la cible (AÉRES principalement, mais aussi parfois le grand public, des étudiants, des scientifiques...) et la visée (communiquer, ou vulgariser, présenter ou valoriser les études de l'UMR, etc). Le système de représentation, fondé sur l'isométrie et la simplification, de même que la technique par vecteur, permettra de créer, faire varier, inter-changer, ou réutiliser, selon les cas, la multitude d'éléments qu'il est important d'imager.



Everything is a cycle, Teagan White (2010)

L'homme est le fruit d'une lente et complexe évolution, son histoire est faite de multiples ramifications qui n'ont eu de cesse de transformer son corps et son esprit. Si l'homme peut être considéré comme un animal évolué, il ne faut toutefois pas se méprendre en confondant sa différenciation avec une preuve de progrès ou de supériorité. L'homme est simplement un animal qui diffère : ce qu'il a pu gagner en bipédie, en intelligence ou en conscience, il l'aura sûrement perdu en terme d'instinct, de légèreté et de paix. Pareillement, les espèces parasites ont peu à peu perdu leur capacité à vivre en autonomie et en toute liberté; certaines se sont défaites de leurs jambes, mâchoires, oreilles ou yeux... au point de devenir de simples enveloppes, absorbant des nutriments et se reproduisant jusqu'à leur mort.

«À chaque étape de l'apparition de la vie, certaines espèces ont abandonné la lutte, satisfaites du niveau de complexité qu'elles avaient atteint», écrivait Horace Stunkard, célèbre parasitologue américain du siècle dernier.
«Des organismes vivant en liberté ont renoncé à leur indépendance pour devenir parasites, en échange d'un échappatoire aux dangers de la nature», ajoutait Carl Zimmer, dans son *Parasite Rex*, publié en 2000.

De nombreux scientifiques ont qualifié ces parasites, qu'ils soient vers, champignons ou puces, d'organismes égoïstes et rétrogrades, de «dégénérés». Pourtant, les parasites inter-espèces sont complexes, car ils sont adaptés aussi bien à un environnement qu'à leurs hôtes. Ils sont au cœur de l'histoire de la vie, transportant des maladies et pouvant tuer des êtres un milliard de fois plus grands qu'eux. Ni faibles, ni fragiles, ils sont généralement disséminés aux quatre coins du monde, infectant des millions de personnes. Ce sont des entités dangereuses, tout en étant extrêmement simplistes, épurées jusqu'au paroxysme.

«La simplicité n'est pas un but dans l'art, mais on arrive à la simplicité malgré soi en s'approchant du sens réel des choses» affirmait, il y a une centaine d'années, l'artiste sculpteur Constantin Brancusi.

Dès lors, je ne peux m'empêcher d'établir un parallèle entre ces parasites et mon projet. Pour le penser, et commencer à le concrétiser, j'ai eu à m'adapter aux contraintes, à nourrir ma recherche et à produire, puis reproduire, un système fondé sur la simplification des formes, réduisant le réel mais sans le déprécier.

ABSTRACT

“You will die
but the carbon will not;
its career does not end with you.
It will return to the soil, and there
a plant may take it up again in time,
sending it once more on a cycle
of plant and animal life.”

Jacob Bronowski

GENERAL CONTEXT

Since the dawn of time, men and animals have been living side by side. During prehistory, animals were considered exclusively as feeding resources, in the same way as plants. Their meat and products (milk, eggs, skin, wool) fulfilled human needs, but then, gradually, men learned to use them for other purposes. Some animals were bred to be used as a pantry within easy reach, while others would be employed as a means of transportation or in farming. Every animal has its own characteristics, and men have learned how to use them according to their assets. For instance, while dogs were a good way to guard a house, horses were used by man to wage war. Then, finally, as proximity fosters bonding, men began to appreciate or even love their *beast friends*.

However, despite the joy that animals can bring about, some hazards should not be ignored. Just like man, animals can suffer from disease. Just like man, they can transmit infections and spread trouble. *Some diseases can affect both men and animals*. These diseases are usually called *Zoonosis*. They are *infections* or *infestations* by a *microorganism* (such as a virus, a *bacterium*, *fungus* or *parasites*) that can contaminate man and at least one other vertebrate. Even if the word *Zoonosis* is not common knowledge, a lot of these diseases are well-known, for instance, the *plague*, the *rabies* and lately *BSE* (Bovine spongiform encephalopathy) or the *avian flu*.

Besides, numbers are worrying; while today approximately 60% of infections in humans come from animals, this phenomenon seems to be on the increase. For about twenty years, 75% of *emerging diseases* with high epidemic risk have turned out to be zoonotic.

ISSUES

It is in this context that the *BIPAR research unit* operates. BIPAR is the acronym of Biologie et Immunologie Parasitaire et Fongique, or, in English, the *Molecular Biology and Immunology in parasitic and fungal diseases*. This structure was created in 1999. It involves the collaboration of several public institutions such as ENVA (the *veterinary School of Alfort* where the unit is located), ANSES (the *French Agency for food safety and Animal Health*), and INRA (a French public research institute dedicated to scientific studies on *agriculture-related issues*). It comprises about fifty researchers, engineers, technicians, professors and students who study and monitor parasitic infections in animals to develop tools for modeling and controlling the risk of infection. This unit is directed by Prof. Nadia Haddad while the three team leaders are Prof. Boulouis, Dr. Vallée and Prof. Chermette. They are respectively involved in three scientific fields:

vector-borne pathogens (including *Bartonella henselae*, the main etiological agent of cat scratch disease)

food-borne zoonotic parasites (the unit has acquired a recognized expertise on early immunodiagnosis of trichinellosis in pigs, and more recently on the transmission of *Toxoplasma gondii*, a parasite involving pet and farm animals).

opportunistic fungi (for instance by avian experimental models developed and used in poultry facilities to monitor the airborne contamination of aspergillosis)

Each theme is divided into various items of study. They result in the micro-organism observed, the *pathogen*: they are all different by their *nature* (from the unicellular organism to the little worm), as well as by their *transmission path* (for example from the bite of an arthropod vector to the ingestion of labrum flesh). Finally, their animal *hosts* or *vectors* also differ. The organism can also *evolve* during its transmission cycle: eggs become larvae, then pupae and finally mature adults. For each species and each cycle, a story is created. It is essential to narrate these *chronicles* to provide a full comprehension of the microorganism and its transmitted disease. It can become very arduous since there will be a lot of elements to represent, such as hosts, vectors, evolution stages, environments, transmission means and so on.

SUBJECT

When I started to work on this project, there was actually no project at all. Everything was to be done. By meeting my tutors, little by little, we started to apprehend what was needed, and determine what I could do. BIPAR has no visual communication nor illustrations to contribute to the passing on of scientific knowledge. Moreover, in a few months, they will be *evaluated* by AERES, the *French Evaluation Agency for Research and higher Education*. In this context, it would be useful to provide a powerful *visual identity* and *scientific graphic resources* to increase the *communication* of their actions and knowledge.

My tutors are very interested in this project, but they also wish to allow me a great amount of creative liberty in terms of both *contents* and *orientations*. Not only do I have to draw pictures, but I also have to elaborate and design a suitable subject, which should be satisfactory and in-keeping with the intents and needs of the whole research team.

In early December, a concrete subject started to emerge. It seemed fundamental that I should illustrate in a didactic way the transmission and the evolution cycles of eight infections (two *bacterial*, two *fungal*, and four *parasitic* infections). In some cases, in order to allow for a better understanding of the pathology, anatomical drawings of parasites, intracellular representations, and affected organs illustrations will also be made.

The eight micro-organisms I will work on are: *Trichinella spiralis*, *Toxoplasma gondii*, *Cryptosporidium parvum*, *Alaria alata*, *Bartonella henselae*, *Anaplasma phagocytophilum*, *Aspegillus fumigatus* and *Candida albicans*.

PROJECT

Around the world, a lot of illustrations of zoonotic transmission cycles already exist; yet none seems really pertinent. In fact, they are mostly schematic; they are vector pictures or hyper-realistic illustrations. In those pictures, communicating knowledge seems to come second to aesthetics, or vice versa. I have to find the *right balance* between the *attractiveness* and the *requirements* of the *communication* of *scientific knowledge*.

This is a wide subject of multiple targets; it is very likely that there will be three separate ones. In this case, each illustration may have three variations which will allow for a deeper and deeper display of information. In the first one, I will only *summarize* the cycle or the species. It will address a *large public* which includes science *neophytes*. Thus I will have to make knowledge very *accessible*. The second level will be much more complete and complex, and will

target *students* and/or *researchers*. The last picture on the same topic will be comprehensive, and will contain the maximum of helpful and meaningful information. In this case, only a *specialist* would understand it entirely. However, in some cases I think it would be possible to aggregate two or three levels in order to save time and avoid repetitions.

Nevertheless, I should not forget that the main target is AERES and their *evaluation* of the work of my tutors. I hope I will be able to create *meaningful* illustrations to contribute to showing their work. Moreover, as far as AERES is concerned, only one level of knowledge is expected: it would not be useful to pass on them three images on the same topic.

Therefore, I intend to use a graphic style accessible to a very large public. My drawings have to be attractive for all the people, regardless of their age. The cycles I have to illustrate can be very complex and need to contain a lot of information. Even in the simplest case, I always have to depict micro-organisms (fungus, bacterium or parasites), animals (and sometimes insects), man and environments. It will often be needed to look through the skin and sometimes even to zoom to see inside the species, and their affected organs or cells.

Therefore, every image will have *many elements* with *diversified scales*. In addition to that, the sets of pictures have to be *harmonious*, even if the illustrations are cycle or anatomical drawings. I need to find a way to portray and compose my illustrations in order to allow a multitude of elements to be presented. That is the reason why all these reasons have guided me to a very *simple* and *geometric* style of illustration. Something clean, maybe a little bit minimalist, but still sensitive, seems to be a right answer to successfully represent this much manifold and scattered information.

I will use an *isometric* perspective to create a *microcosm* in which the cycle will take place. The scene will have a substantial importance, for it is the place where all the information and the elements will belong. This simple way to represent to world will bring me a huge creative liberty to create and place under animals, host, parasites, plants, etc. The whole picture will call to mind some typical illustrations from *cartography* or even *board games* and *role playing games*.

For this project, and especially for the evaluation of the unit, I have to design illustrations for various types of media. The eight cycles will be depicted in eight illustrations, each one composed of a large image of the transmission and evolution cycle, and a few additional pictures around which will be more detailed and will help to communicate information in a more complete way. They will be printed on large sized posters, or will be divided in order to be involved in the two hundred and fifty-page brochure which will introduce the unit and describe as well as explain their subjects of study.

BIBLIOGRAPHIE

ouvrages
scientifiquesessais, thèses
et articles

- Carl Zimmer, *Rex* (2000)
- Edward R. Dewey,
Cycles : The mysterious forces that trigger events (1971)
- Fried Bernard, *Food-borne parasitic zoonoses* (2007)
- Fulford Martha *et alii*, *Companion animal zoonoses* (2011)
- Pilet Charles, *L'Animal médecin : OGM et nouveaux médicaments, greffes, vache folle, grippe aviaire...* (2005)
- Shakespeare Martin, *Zoonoses, second edition* (2009)
- Collectif Pan American Sanitary Bureau, *Zoonoses and Communicable diseases common to man and animals, Volume I Bacterioses and Mycoses* (2001)
- Bourgeade A, Gallais H. *et alii*, *Des maladies animales aux infections humaines* (1992)
- Canini Laetitia, *Les Zoonoses en France : évaluation des connaissances des médecins et vétérinaires* (2010)
- Castaño Héctor González,
Comptes rendus du Parasite de Michel Serres (2012)
- Catsaras Marc, *Histoire des rapports humains animaux dans les sociétés occidentales* (1999)
- Dufor Barbar *et alii*, *Approche épidémiologique des Zoonoses* (2004)
- Hamedy Ahmad, Möhl Katharina *et alii*, *Biology of Alaria spp. and human exposition risk to Alaria mesocercariae* (2009)
- Jeanjot-Emery Pol, *Les Origines de la médecine des animaux domestiques et la création de l'enseignement vétérinaire* (2002)
- Maurin-Blanchet Henri, *L'Expérimentation animale au cours du temps : un beau sujet de controverse* (2007)
- Robin Daniel, *Bougelat et les Écoles vétérinaires* (1999)

Revue scientifique et technique de l'OIE, volume 19,
« L'Évolution des zoonoses », Bernard Toma (2000)

périodiques
et enquêtes

Dossier mensuel INRA recherche, sous la direction de
Gilles Aumont, Jean De Rycke, Jean-Michel Elsen *et alii*,
« Les Zoonoses », (juin 2005)

Revue francophone des Laboratoires, numéro 391,
« Les infections à Bartonella chez l'homme et l'animal :
aspects, diagnostics et thérapeutiques », Henri-Jean Boulouis,
Nadia Haddad *et alii* (avril 2007)

*Zoonotic Diseases: A Guide to Establishing Collaboration between Animal
and Human Health Sectors at the Country Level*, collectif (2008)

La Démarche qualité dans la recherche publique et l'enseignement supérieur,
chapitre XX, « Démarche qualité de l'unité mixte BIPAR »,
collectif (2009)

NY Times, « The Ecology of disease », Jim Robbins
(14 juillet 2012)

« Les Agents biologiques et leur diversité », séminaire de lancement
du programme de recherche du Plan national Santé-Environnement
et du Plan Santé-Travail, organisé par l'Agence nationale
de la recherche (31 mars et 1er avril 2005)

symposiums
(résumés écrits)

« L'Homme, le mangeur, l'animal : qui nourrit l'autre ? », organisé
par l'OCHA1 sous la direction scientifique de Jean-Pierre Poulain
(12 et 13 mai 2006 à l'Institut Pasteur, Paris)

« Emerging and newly recognised Infectious diseases in cats »,
organisé par The International society of feline medicine
(juin 2010, Amsterdam)

« L'Évolution des relations entre l'homme et l'animal :
une approche transdisciplinaire » avec Éric Baratay, Séverine
Nadaud, Corinne Cotinot *et alii* (29 novembre 2011, Paris)

L'Université médicale virtuelle francophone, *Supports de cours* (2009)

autres

L'OIE, l'AFSSA, le CDC, l'ANR, le CNRS, l'INSERM *et alii*,
Fiches d'information générale sur les maladies

*composé en grotesque
et en bembo*

•

*sur du papier cyclus offset
pour les pages intérieures
et sensation gloss, blanc tactile
pour la couverture*

•

*achevé d'imprimer sur les presses
d'ISlprint-La Plaine Saint-Denis*

•

mai 2013

•

