

Petites questions de physiologie animale

**Licence de sciences de la vie (deuxième année) Faculté des
sciences et techniques Université Jean Monnet de Saint-Étienne
Publié par Sandrine Heusser**

Petites questions de physiologie animale

par et Sandrine Heusser

Copyright © 2017 Université Jean Monnet de Saint-Étienne



Cet ouvrage est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Partage dans les mêmes conditions 4.0 International. [<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>]

Dédicace

À ces complices dont la compagnie, plus ou moins longue, nous enrichit...

- Gérard Vidal, dont les idées vastes et lumineuses élargissent et éclairent notre horizon ;
- Henri-Gabriel Dupuy, dont les défis histologiques restent sans égal ;
- Jean-Marie Keller et Michel Dauça, guides patients et pertinents dans les méandres de l'imagerie.

Remerciements

Nombreux sont ceux qui ont, de près ou de loin, œuvré à la réalisation de cet opuscle.

Barbara Bürgel et Thomas Olivier ont accepté de participer à l'aventure et leurs compétences nous ont été précieuses. Nous leur sommes très reconnaissants.

Nos remerciements vont en particulier à François Hennecart, directeur de la Faculté des sciences et techniques, et Thierry Terrat, responsable administratif, pour leur soutien et la gestion des aspects pratiques du projet.

Ils s'adressent également à l'équipe technique du département de biologie. Odile Liset, Anne-Laure Verdonck, Marie-Agnès Russo et Pascal Disle ont fait preuve de dévouement, d'une remarquable réactivité et d'une grande efficacité notamment au moment de la préparation des illustrations qui est venue s'ajouter à leurs tâches habituelles.

Cette publication nous fournit l'occasion d'exprimer notre reconnaissance à nos fournisseurs, en particulier Messieurs Gilles Deleage, Grégory Multin et Flamaut sur qui nous savons pouvoir compter, y compris pour des demandes impromptues et dans l'urgence !

Un grand merci à Charles-Henri Eyraud qui nous a fait bénéficier de son expertise d'Oxygen et de DocBook, à Jean-Pierre Moussus et Margarethe Maillart pour l'accès libre qu'ils nous ont donné aux collections d'histoire naturelle de l'ENS de Lyon et à Henri-Gabriel Dupuy dont le génie histotechnologique est indéniable et qui nous a transmis ses précieuses collections.

Je dois aussi beaucoup à Emmanuel Quémener dont l'expertise informatique m'a permis de surmonter des problèmes qui sans lui auraient été insolubles. Qu'il soit assuré de ma profonde gratitude.

Et surtout, que les étudiants de deuxième année de licence de sciences de la vie de l'université Jean Monnet de Saint-Étienne, tour à tour enthousiastes et mécontents, dynamiques et dépités, trouvent ici la reconnaissance de leur mérite et de leur persévérance.

Table des matières

Préface	xi
L'hémolymphe des Insectes	1
Introduction	1
L'hémolymphe : des hémocytes et un liquide	2
L'hémolymphe : un milieu de distribution de matière, de défense, d'information et de transmission des forces	3
L'hémolymphe : un liquide mis en mouvement dans l'appareil circulatoire	4
Conclusion	6
Posséder plusieurs compartiments liquidiens, à partir de l'exemple des Annélides	9
Introduction	9
La diversité des compartiments liquidiens des Annélides	9
Les spécificités et les complémentarités fonctionnelles des compartiments liquidiens	15
Conclusion	16
La distribution chez les organismes sans appareil circulatoire	19
Introduction	19
L'appareil circulatoire : un dispositif anatomique de distribution	19
La distribution sans appareil circulatoire et avec des cellules profondes, à travers l'exemple des Plathelminthes	22
La distribution sans appareil circulatoire et avec des cellules superficielles, à travers l'exemple des Porifères	25
Conclusion	26
Les métanéphridies des Annélides et des Arthropodes	29
Introduction	29
Annélides et Arthropodes, des animaux métamérisés possédant un cœlome	29
Les métanéphridies, des organes tubuleux ouverts sur le cœlome et formés de divers segments	33
Les métanéphridies, des organes excréteurs	36
Conclusion	38
Les fonctions des branchies des Téléostéens	41
Introduction	41
Les branchies : des organes respiratoires	41
Les branchies : des organes effecteurs de l'homéostasie et excréteurs	43
Conclusion	45
Branchie et poumon, deux organes respiratoires des Vertébrés (Téléostéens et Mammifères)	47
Introduction	47
Branchie et poumon : des organes d'échange des gaz respiratoires en milieu aquatique et en milieu aérien	48
Branchie et poumon : des interfaces avec convection des milieux extérieur et intérieur	51
Conclusion	54
Les gaz respiratoires, de l'échangeur à la cellule et inversement	56
Introduction	56
L'échangeur et le transfert des gaz respiratoires entre les milieux extérieur et intérieur	56
Le milieu intérieur et le transport des gaz respiratoires entre échangeur et cellules	60
Conclusion	64
Les échanges gazeux et la ventilation chez les Araignées	66
Introduction	66
Les poumons et les trachées : organes respiratoires des Araignées	66
Les échanges de gaz respiratoires : une diffusion entre milieu extérieur et hémolymphe	69
La ventilation : un renouvellement de l'air des organes respiratoires	69
Conclusion	70
Réaliser échanges gazeux et prise alimentaire avec le même organe, à partir de l'exemple des Bivalves	72
Introduction	72
Les branchies, organes des échanges par diffusion des gaz respiratoires	73
Les branchies, organes de la prise alimentaire par filtration	75

Les branchies, organes traversés par un courant d'eau ventilatoire et alimentaire	77
Conclusion	79
L'hépatopancréas des Mollusques et des Arthropodes	81
Introduction	81
L'hépatopancréas, un organe de l'appareil digestif	82
L'hépatopancréas, une expansion tubuleuse du tube digestif moyen à fonctions digestive, absorbante et métabolique	86
Conclusion	88
L'alimentation chez les Cnidaires	90
Introduction	90
Une prise alimentaire variée, de la phagotrophie à l'osmotrophie	91
La digestion et l'absorption par l'endoderme de la cavité gastrovasculaire	93
Conclusion	93
La prise alimentaire chez les Annélides	96
Introduction	96
Se nourrir d'aliments solides de grande taille	96
Se nourrir d'aliments solides de petite taille	97
Se nourrir de liquide	100
Conclusion	102
La prise alimentaire et le bec des oiseaux	104
Introduction	104
La filtration avec un bec muni de lamelles	105
La capture de proies vivantes et mobiles avec un bec long et fin	107
L'extraction de nourriture peu accessible avec un bec puissant	110
La saisie et le déchiquetage avec un bec crochu	113
Capture, extraction et ingestion : des becs polyvalents aux becs spécialisés	116
Conclusion	120
Se nourrir par filtration	122
Introduction	122
Se nourrir par filtration branchiale avec courant d'eau ciliaire	122
Se nourrir par filtration pariétale avec courant d'eau ciliaire	124
Se nourrir par filtration tentaculaire avec courant d'eau ciliaire	126
Se nourrir par filtration : diversité des filtres, variété de l'origine des courants d'eau et paramètres	127
Conclusion	128
Le traitement de la nourriture par l'appareil digestif chez les Insectes	131
Introduction	131
La prise alimentaire et le traitement mécanique de la nourriture par les pièces buccales	132
Les traitements chimique et mécanique des aliments par le stomodéum et le mésentéron ..	133
Le traitement chimique des aliments par des hôtes de l'appareil digestif	136
Conclusion	136
L'alimentation et la distribution chez les Porifères	138
Introduction	138
L'alimentation des Porifères : une filtration de l'eau et une rétention de particules en suspension	139
La distribution chez les Porifères : une prise en charge par les amœbocytes	141
La diversité de l'alimentation et de la distribution chez les Porifères : symbiotes et carnivores	142
Conclusion	143
L'hydrosquelette et le mouvement à partir des exemples des Annélides et des Mollusques	145
Introduction	145
L'hydrosquelette dans la déformation du corps et le déplacement de l'organisme	146
L'hydrosquelette dans la déformation et le mouvement d'un organe	149
Conclusion	151
Se déplacer avec un squelette externe à partir de l'exemple des Insectes	154
Introduction	154
Le déplacement des Insectes : marche, saut, vol	154
Le déplacement des Insectes : exercer une force sur le milieu avec un exosquelette	158

Le déplacement des Insectes : produire une force par une musculature	159
Conclusion	160
Le maintien de la température corporelle chez les Mammifères	163
Introduction	163
La température corporelle : conséquence des apports et pertes de chaleur	164
Les échanges de chaleur : modalités et limitation des transferts de chaleur	167
La thermorégulation : des capteurs sensibles à la température corporelle et un centre de contrôle de la température	169
Conclusion	170
Le problème de l'eau et des ions chez les Sélaciens marins	173
Introduction	173
Vivre en milieu marin : évoluer dans un milieu riche en ions et de forte concentration osmotique	173
Le maintien des concentrations osmotiques et ioniques du milieu intérieur	176
Conclusion	179
Le tégument des animaux à partir des exemples des Arthropodes et des Vertébrés	181
Introduction	181
Le tégument : un revêtement corporel épithélial et conjonctif, et des dérivés spécialisés ...	182
Le tégument : un revêtement protecteur, une surface d'échanges et un organe de relation ..	185
Conclusion	187

Liste des illustrations

1. Sphérulocyte de frottis d'hémolymphe d'asticot de Mouche	2
2. Relations entre hémolymphe et tubes de Malpighi	3
3. Anatomie du Criquet en vue dorsale	4
4. Thorax de Criquet en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	5
5. Cœur de Criquet en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	5
6. Organisation de l'appareil circulatoire des Insectes en coupe longitudinale	6
7. Appareil circulatoire ouvert des Insectes	6
8. Appareil circulatoire clos des Vertébrés	7
1. Anatomie du Lombric en vue dorsale	11
2. Compartiments liquidiens du Lombric en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon) ...	12
3. Vaisseau sanguin latéral du Lombric en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	13
4. Frottis de liquide coelomique de Lombric coloré au May-Grünwald Giemsa	14
1. Anatomie du Lombric en vue dorsale	20
2. Comparaison des dimensions d'un Lombric et d'une Planaire	22
3. Paroi corporelle de Planaire en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	23
4. Planaire (A) et Lombric (B) en coupes transversales (Collection de l'ENS de Lyon)	24
5. Corbeille vibratile et choanocytes de Sycon (Collection de l'ENS de Lyon)	26
6. Corbeilles vibratiles de la paroi de Sycon (Collection de l'ENS de Lyon)	26
1. Arbre phylogénétique des Annélides et des Arthropodes	30
2. Anatomie du Lombric en vue dorsale	31
3. Anatomie de l'Écrevisse en vue dorsale	32
4. Anatomie de l'Écrevisse en vue dorsale	32
5. Anatomie du Lombric en coupe transversale – (Collection de l'ENS de Lyon)	33
6. Métanéphridie de Lombric en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	34
7. Néphrostome et segment grêle de métanéphridie de Lombric en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	34
8. Glande verte d'Écrevisse en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	35
9. Saccule de glande verte d'Écrevisse en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	35
10. Canal néphridien de glande verte d'Écrevisse en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	36
11. Labyrinthe de glande verte d'Écrevisse en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	36
12. Métanéphridie du Lombric et excrétion	37
13. Métanéphridie de l'Écrevisse et excrétion	38
1. Anatomie du Gardon en vue ventrale	41
2. Arc branchial de Gardon isolé en vue latérale	42
3. Cavité branchiale de tête de Perche en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	42
4. Lame et lamelles branchiales de Truitelle en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	42
5. Ionocytes de branchie de Gardon en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	44
1. Appareil branchial de Gardon en vue ventrale	48
2. Branchie de Gardon en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	48
3. Lame et lamelles branchiales de Gardon en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	49
4. Appareil pulmonaire de Souris en vue ventrale	49
5. Alvéoles de poumon de Rat en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	50
6. Phases de la ventilation chez les Téléostéens	52
7. Phases de la ventilation chez les Mammifères	53
1. Enveloppe corporelle de Lombric en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	57
2. Branchie de Gardon en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	57
3. Lame et lamelles de branchie de Gardon en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	58
4. Alvéoles de poumons de Rat en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	58
5. Anatomie de la jonction thoraco-abdominale du Criquet en vue dorsale	59
6. Formes tendue et relâchée de l'hémoglobine	61

7. Le dioxygène : de l'échangeur à la prise en charge par le milieu intérieur	61
8. Le dioxygène : du milieu intérieur à la cellule consommatrice	62
9. Le dioxyde de carbone : de la cellule productrice au milieu intérieur	63
10. Le dioxyde de carbone : du milieu intérieur au milieu extérieur	64
1. Morphologie de l'Épeire fasciée en vue dorsale	67
2. Opisthosome d'Araignée en coupe longitudinale	67
3. Poumon d'Araignée en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	68
4. Lamelles de poumon d'Araignée en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	68
5. Atrium de poumon d'Araignée en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	70
6. Circulation de l'air dans les poumons d'Araignée.	70
1. Anatomie de la Moule en vue ventrale	73
2. Lame branchiale de Moule en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	74
3. Lame branchiale de Coque en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	74
4. Filaments branchiaux de Coque en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	75
5. Bord libre de branchie de Moule en montage extemporané	76
6. Filaments branchiaux de Moule en coupe transversale, au microscope optique (Collection de l'ENS de Lyon)	76
7. Voir la vidéo "Mouvements des cils branchiaux de Moule"	77
8. Palourde immergée en vue latérale	78
1. Appareil digestif de l'Escargot en vue dorsale	82
2. Tube digestif et hépatopancréas de l'Escargot en vue dorsale	83
3. Hépatopancréas d'Escargot en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	83
4. Tubule d'hépatopancréas d'Escargot en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	84
5. Appareil digestif du Crabe vert en vue dorsale	85
6. Hépatopancréas de Crabe en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	85
7. Tubule d'hépatopancréas de Crabe (Collection de l'ENS de Lyon)	86
8. Foie de Porc en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	88
9. Pancréas de Rat en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	88
1. Position systématique des Cnidaires	90
2. Morphologie de l'Hydre d'eau douce en montage <i>in toto</i> (Collection de l'Université Jean Monnet)	90
3. Tentacule d'Hydre d'eau douce en coupe transversale (Collection de l'Université Jean Monnet)	91
4. Paroi de la colonne gastrique de l'Hydre d'eau douce en coupe longitudinale (Collection de l'Université Jean Monnet)	93
1. Région antérieure de Néreis, trompe dévaginée à gauche et trompe invaginée à droite, en vue dorsale	96
2. Sabelle avec panache de tentacules déployé en vue dorsale	98
3. Région antérieure d'Arénicole en vue dorsale	99
4. Région antérieure de Lombric en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	100
5. Morphologie de la Sangsue en montage <i>in toto</i> (Collection de l'ENS de Lyon)	101
1. Bec de Moineau à l'éclosion en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	104
2. Tête de Cygne tuberculé	105
3. Tête de Flammant rose (Jardin aux Oiseaux de Upie)	106
4. Tête de Spatule blanche (Collection de l'ENS de Lyon)	106
5. Tête de Pélican blanc (Jardin aux Oiseaux de Upie)	107
6. Hirondelle rustique (Collection de l'Université Jean Monnet)	108
7. Tête de Grand cormoran (Collection de l'ENS de Lyon)	109
8. Héron cendré (Metz)	109
9. Tête d'Avocette élégante (Collection de l'ENS de Lyon)	110
10. Tête de Chardonneret élégant (Collection de l'ENS de Lyon)	111
11. Tête de Bec-croisé (Collection de l'ENS de Lyon)	111
12. Tête de Pic vert (Collection de l'Université Jean Monnet)	112
13. Tête d'Étourneau sansonnet (Collection de l'ENS de Lyon)	113
14. Tête de Faucon crécerelle (Collection de l'ENS de Lyon)	114
15. Tête d'Aigle des steppes (Jardin aux Oiseaux de Upie)	115
16. Tête de Vautour fauve (Jardin aux Oiseaux de Upie)	115
17. Tête de Chouette effraie (Collection de l'Université Jean Monnet)	116

18. Tête de Corneille noire (Collection de l'Université Jean Monnet)	117
19. Tête de Merle noir (Collection de l'Université Jean Monnet)	117
20. Tête de Mouette rieuse (Collection de l'Université Jean Monnet)	118
21. Tête de Toucan toco (Costa Rica)	119
22. Colibri à gorge rubis (Costa Rica)	120
1. Voir la vidéo "Battements des cils branchiaux de Moule"	123
2. Filaments branchiaux de Moule en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	123
3. Anatomie de la Moule en vue ventrale	124
4. Paroi corporelle de Sycon en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	125
5. Corbeilles vibratiles de Sycon en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	125
6. Panache tentaculaire de Sabelle en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	126
7. Pinnules de tentacule de Sabelle en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	126
8. Voir la vidéo "Battements des cils branchiaux de Moule"	128
1. <i>Appareil digestif de Criquet en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)</i>	131
2. Pièces buccales de Criquet en vue antérieure	132
3. Gésier de Criquet en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	133
4. Glandes salivaires de Criquet en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	134
5. Mésenteron de Criquet en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	134
6. Iléon de Grillon en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	136
1. Morphologie de l'Éponge tube de fer	138
2. Paroi corporelle de Sycon en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	139
3. Fonction alimentaire d'un choanocyte de Porifère	140
4. Paroi corporelle de Sycon en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	140
5. Distribution chez les Porifères	141
6. Association Subérite figue – Pagure poilu en vue externe	142
1. Voir la vidéo "Mouvement d'un Lombric"	146
2. Métamères de Lombric en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	146
3. Paroi corporelle du Lombric en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	147
4. Métamère de Lombric en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	147
5. Soie de Lombric en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	148
6. Mouvements des soies lors du déplacement d'un Lombric	148
7. Moule en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	149
8. Pied de Moule en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	150
9. Morphologie de la Coque	150
10. Enfouissement de la Coque dans le sable	151
1. Voir la vidéo "Marche du Criquet en vue dorsale"	155
2. Voir la vidéo "Marche du Criquet en vue latérale"	155
3. Patte métathoracique de Criquet en vue latérale	156
4. Voir la vidéo "Saut du Criquet"	156
5. Articulation aile-thorax chez le Criquet en vue dorsale	157
6. Relation fibre musculaire-cuticule chez le Criquet en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	158
7. Membrane articulaire de thorax de Grillon en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	159
8. Anatomie du thorax de Grillon en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	160
1. Intensités respiratoires de Rats placés à des températures de 24 et 20°C	164
2. Tissus adipeux blanc et brun de Souris en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon) ..	165
3. Glande sudoripare humaine en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	166
4. Étapes et organes impliqués dans la thermorégulation	170
1. Composition du milieu intérieur et de l'eau de mer en solutés osmotiques	174
2. Lame branchiale de Roussette en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	174
3. Lamelles branchiales de Roussette en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)	175
4. Tégument de Roussette en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	175
5. Rein de Roussette en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	176
6. Néphron ouvert à glomérule intranéphronique de mésonéphros de Sélacien marin	176
7. Glande rectale de Roussette en coupe transversale (Collection ENS de Lyon)	178
8. Sécrétion de liquide hyperosmotique au milieu intérieur des cellules de la glande rectale des Sélaciens	178

9. Osmorégulation et ionorégulation chez le Requin	179
1. Tégument d'Écrevisse en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	182
2. Tégument de Souris en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	183
3. Tégument de thorax de Grillon en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	184
4. Pelage de Chien	184
5. Tégument de Grenouille en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)	185

Liste des tableaux

1. Composition du sang du Lombric (concentration des ions, du glucose et des acides aminés en mmol/l, concentrations des protéines en g/l)	13
2. Composition du liquide cœlomique du Lombric (concentration des ions, du glucose et des acides aminés en mmol/l, concentrations des protéines en g/l)	14
3. Concentrations de diverses substances dans le milieu intérieur et dans le milieu extérieur des Polychètes marines (concentrations des ions en mmol/l, concentrations des protéines en g/l)	14
1. Température corporelle de quelques Mammifères	163

Préface

L'idée de la construction de ce recueil d'articles est née d'une double envie : prouver à nos étudiants de licence qu'ils sont capables de réaliser des travaux qu'ils n'imaginent pas, et démontrer à ceux qui sont convaincus qu'il est compliqué de mettre en œuvre des projets originaux en licence, en particulier en raison des effectifs étudiants, qu'ils se trompent !

Au-delà de ces considérations générales, il s'agissait de confronter les étudiants de licence de sciences de la vie au niveau d'exigence d'une production professionnelle et de leur permettre de mettre en application les connaissances et compétences acquises au cours des trois premiers semestres de leurs études supérieures.

La rédaction d'articles scientifiques de synthèse de niveau licence par groupes de trois ou quatre étudiants a en l'occurrence pour objectifs de développer leur esprit d'analyse et de synthèse, et d'améliorer leur capacité à travailler en groupe restreint. Il s'agit aussi de compléter leurs compétences en recherche documentaire et de les sensibiliser à la nécessité de citer leurs sources avec précision. S'approprier une thématique nouvelle grâce aux technologies de l'information et de la communication, produire des illustrations soignées à l'aide de matériel perfectionné, rédiger avec rigueur, utiliser des outils informatiques complexes sont autant d'aptitudes qu'il est important de cultiver aujourd'hui.

À travers la production de cet ouvrage, les étudiants ont pu combiner savoirs, savoir-faire et savoir-être en un premier niveau de savoir-agir.

Certes, tout n'a pas été réussi pour cette première édition mais les difficultés relevées ne manqueront pas d'être prises en compte pour que la deuxième soit plus efficace.

Le résultat publié est le fruit d'échanges riches et multiples entre étudiants et enseignants et d'une correction finale des textes et illustrations par la responsable de publication, visant à éliminer les imprécisions et erreurs les plus flagrantes. Sans doute des coquilles seront détectées, par avance nous vous prions de nous en excuser.

Vous souhaitant une lecture agréable et édifiante !

L'hémolymphe des Insectes

Elissa Andraos <elissa.andraos@etu.univ-st-etienne.fr>

Mehdi Benmakhlouf

<mehdi.benmakhlouf@etu.univ-st-etienne.fr>

Élodie Fauritte <elodie.fauritte@etu.univ-st-etienne.fr>

Inès Suchel <ines.suchel@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Les Insectes sont des organismes dont les cellules possèdent un noyau et des organites, ce sont des Eucaryotes. Leurs spermatozoïdes portent un unique flagelle, ce sont des Unicotes. Ils sont constitués de multiples cellules organisées en tissus et organes, ce sont des Métazoaires. Leur corps présente une symétrie bilatérale et leur bouche se forme à l'emplacement du premier orifice du tube digestif embryonnaire, ce sont des Bilatériens protostomiens. Animaux non Vertébrés, ils possèdent un corps segmenté formé de métamères et recouvert d'une cuticule qu'ils perdent durant la mue, ce sont des Ecdysozoaires euarthropodes. Leur bouche est dotée de mandibules et leur tête est porteuse d'antennes, ce sont des Mandibulates. Les Insectes sont caractérisés par la présence de trois paires d'appendices ambulatoires portées par le thorax, ainsi que deux paires d'ailes.

Comme celui de la plupart des animaux, leur corps est constitué d'organes agencés en appareils et systèmes, spécialisés dans la réalisation de fonctions.

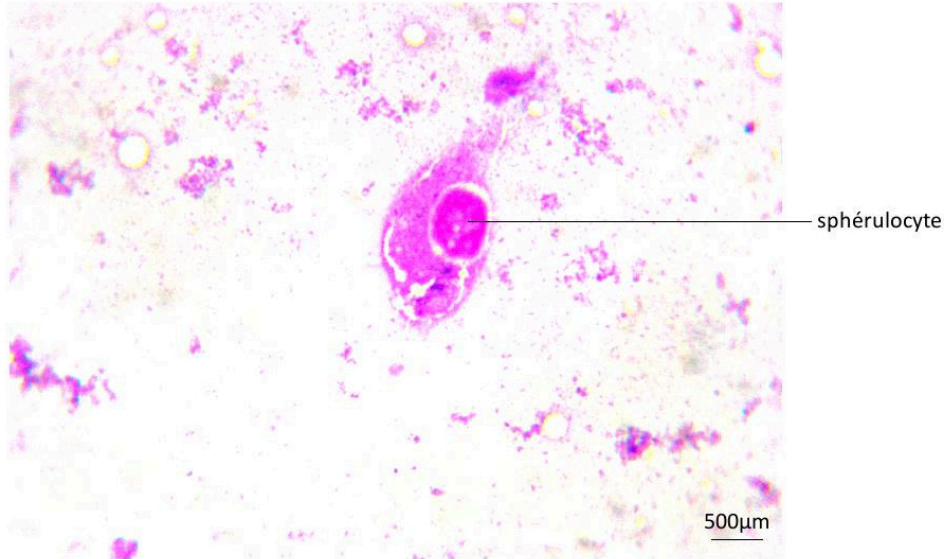
L'appareil circulatoire est un ensemble d'organes permettant le déplacement d'un liquide dans l'organisme. Chez les Insectes, l'appareil circulatoire est ouvert, le liquide circulant n'étant pas endigué sur tout son parcours et se déversant dans la cavité générale. Le liquide circulant, en continuité avec le liquide interstitiel, est appelé hémolymphe. Le volume de l'hémolymphe est considérable, représentant jusqu'à 30% de la masse du corps, mais variable d'une espèce à l'autre voire pour un individu.

Quelles sont les constituants de l'hémolymphe des Insectes ?

Quels sont les rôles de ce liquide ?

L'hémolymphe : des hémocytes et un liquide

Figure 1. Sphérulocyte de frottis d'hémolymphe d'asticot de Mouche



L'hémolymphe contient des cellules, appelées hémocytes, en suspension dans un liquide. Selon leurs morphologies et leurs fonctions, plusieurs types d'hémocytes sont distingués : les prohémoctes, les granulocytes, les plasmatoctes, les sphérulocytes, les adipohémocytes et les coagulocytes. Les prohémoctes sont des petites cellules circulantes, précurseurs des autres types cellulaires. Les plasmatoctes et les granulocytes sont majoritaires dans l'hémolymphe. Ils interviennent dans la réponse immunitaire non spécifique, luttant contre les corps étrangers par phagocytose et encapsulation. Les sphérulocytes sont surtout situés sous la cuticule et réalisent la coagulation lors d'une déchirure de la cuticule. Ils ont un rôle métabolique de même que les adipohémocytes. Outre les hémocytes, des débris tissulaires et des cellules adipeuses peuvent également se trouver dans l'hémolymphe.

Le plasma est formé d'une importante quantité d'eau, de glucides, de protéines et d'acides aminés ainsi que de substances non organiques comme des ions calcium, sodium, potassium, magnésium.

L'hémolymphe est un lieu de stockage d'acides aminés dont la nature varie selon les espèces et le stade de développement. Le métabolisme des acides aminés est principalement localisé dans les corps gras et la plupart des protéines de l'hémolymphe y sont produites. À la fin du stade larvaire des Insectes, les corps gras peuvent réabsorber et stocker les protéines. Il existe d'autres constituants azotés non protéiques comme l'urée, l'ammoniaque, l'acide urique.

Chez les Insectes, les paramètres du milieu intérieur comme la concentration en diverses substances (ions, matières organiques) ou le pH peuvent varier. L'hémolymphe contribue au maintien de ces paramètres.

En relation avec sa composition, quelles sont les fonctions de l'hémolymphe ?

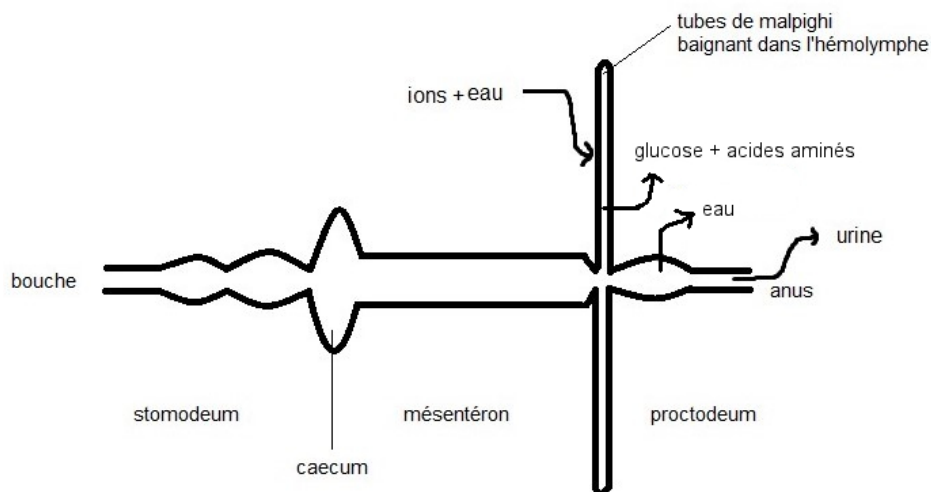
L'hémolymphe : un milieu de distribution de matière, de défense, d'information et de transmission des forces

L'hémolymphe et la distribution de matière : transport des nutriments et des déchets

L'hémolymphe distribue les nutriments et les métabolites aux organes des Insectes, par exemple le glucose et les acides aminés aux cellules germinales.

L'hémolymphe est également impliquée dans l'excrétion, fonction d'élimination des déchets métaboliques et particulièrement des déchets azotés de l'organisme. Chez les Insectes, l'appareil excréteur est constitué de tubes de Malpighi baignant dans l'hémolymphe. L'urine primitive est produite grâce à un transport actif d'ions potassium de l'hémolymphe vers la lumière des tubes de Malpighi. Le gradient de concentration en résultant provoque un flux entrant d'eau et de différentes substances comme les déchets azotés, le glucose et les acides aminés vers la lumière des tubes de Malpighi. Le glucose et les acides aminés sont réabsorbés lors du transit de l'urine dans les tubes de Malpighi et l'eau dans le proctodéum, ces molécules retournent à l'hémolymphe.

Figure 2. Relations entre hémolymphe et tubes de Malpighi



L'hémolymphe et la défense : immunité et protection

Les granulocytes et les plasmatoctes de l'hémolymphe interviennent dans les réactions immunitaires, par les processus de phagocytose et d'encapsulation.

La phagocytose est un processus cellulaire comportant quatre étapes successives :

- l'adhérence du microorganisme aux cellules phagocytaires ;
- l'ingestion du microorganisme par les cellules phagocytaires ;
- la digestion du microorganisme par des enzymes des lysosomes ;
- l'expulsion des résidus non digérés du microorganisme.

L'encapsulation implique l'action coordonnée de plusieurs hémocytes se réunissant autour du microorganisme et en réalisant la dégradation.

Chez certains Insectes, l'hémolymphe peut intervenir dans la protection et la défense vis-à-vis des prédateurs. Elle peut être libérée au niveau de diverses régions du corps. En présence d'un prédateur, la Chrysomèle noire libère un liquide rouge-orangé par la bouche et les articulations, tout en se tenant immobile. Il s'agit d'hémolymphe dont le goût est désagréable pour les prédateurs.

En cas de rupture locale de la cuticule, l'hémolymphe intervient comme agent cicatrisant. Les sphérulocytes qu'elle contient sont responsables d'une coagulation entraînant la cicatrisation. Elle peut en outre contribuer à la régénération d'organes ou de tissus lésés.

L'hémolymphe et l'information : transport des hormones

L'hémolymphe permet le transport des hormones des organes sécréteurs jusqu'aux cellules cibles.

Parmi elles figurent :

- les hormones impliquées dans le développement comme les hormones juvéniles produites par les corps allates, les hormones stéroïdes produites par les glandes de mue ;
- les hormones impliquées dans la reproduction telles que les hormones juvéniles.

L'hémolymphe et la transmission des forces : développement de pressions

L'hémolymphe est un acteur de la mue des Insectes, qui permet leur croissance. La mue consiste en un renouvellement de la cuticule. Elle implique la production d'une nouvelle cuticule et l'élimination de l'ancienne. Après une digestion partielle de l'ancienne cuticule, la pression hydrostatique de l'hémolymphe augmente du fait de la contraction de la musculature corporelle. La pression qu'elle exerce sur l'ancienne cuticule entraîne sa rupture au niveau de lignes de moindre résistance, permettant l'extraction de l'Insecte de son ancienne enveloppe.

De même, elle contribue à l'émergence de la Mouche adulte hors de l'enveloppe de la puppe qui l'entoure durant la fin du développement post-embryonnaire. S'accumulant dans une poche située sur la tête de la Mouche, elle exerce une pression sur la ligne de moindre résistance de l'enveloppe de la puppe qui cède alors.

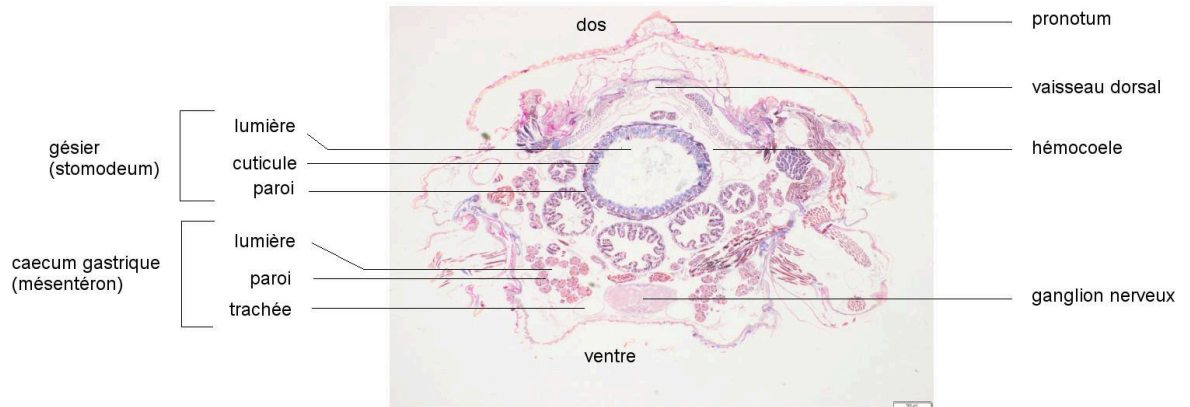
L'hémolymphe : un liquide mis en mouvement dans l'appareil circulatoire

Figure 3. Anatomie du Criquet en vue dorsale



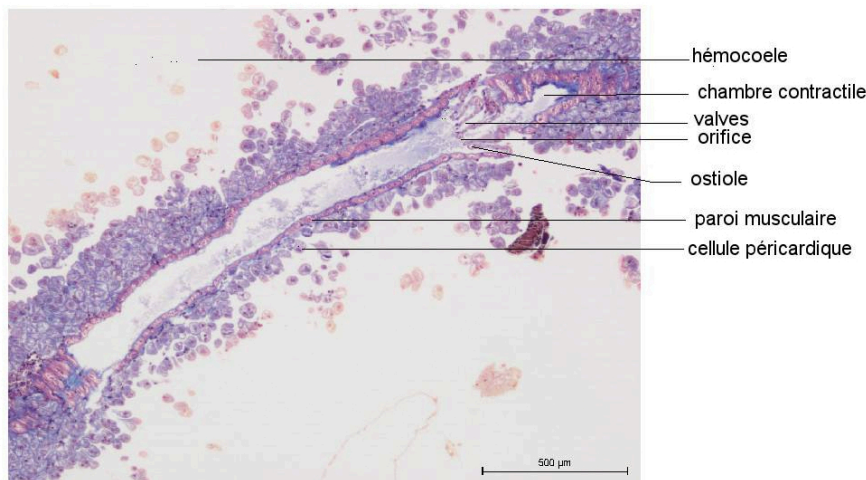
Les Insectes possèdent un appareil circulatoire ouvert, dans lequel l'hémolymphe n'est pas endiguée dans des vaisseaux sur tout son parcours mais rejoint la cavité générale, appelée hémocoèle. L'appareil circulatoire des Insectes ne forme pas de réseau vasculaire.

Figure 4. Thorax de Criquet en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



L'appareil circulatoire des Insectes est simple. L'hémolymphe est propulsée vers l'avant du corps par un cœur dorsal formé de bulbes contractiles, dont le nombre peut atteindre 11. Elle circule dans un vaisseau dorsal appelé aorte qui s'ouvre dans la cavité générale avant de retourner au cœur grâce à des orifices, les ostioles.

Figure 5. Cœur de Criquet en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Le cœur provient de cardioblastes embryonnaires mésodermiques, s'agencant en tube cardiaque dans la lumière duquel circule l'hémolymphe.

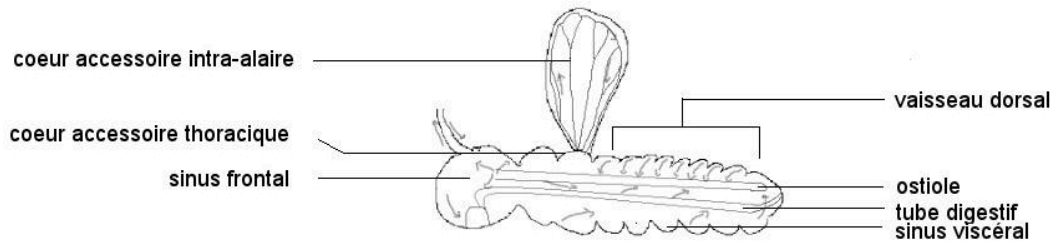
L'activité cardiaque comporte deux phases successives :

- la diastole, due au relâchement des muscles cardiaques, permettant l'entrée de l'hémolymphe ;
- la systole, due à la contraction des muscles cardiaques, responsable de la propulsion de l'hémolymphe.

Le cœur est logé dans un sinus dorsal délimité par un diaphragme conjonctif. La contraction de muscles aliformes insérés sur le diaphragme provoque une aspiration de l'hémolymphe dans le sinus dorsal, favorisant son entrée dans le cœur. Elle y pénètre par l'intermédiaire des ostioles, lorsque les muscles cardiaques disposés en anneau se relâchent.

La contraction de la musculature cardiaque propulse l'hémolymphe dans l'aorte. Elle est accompagnée de la fermeture des ostioles par pincement, empêchant toute sortie par cette voie. Des valves présentes dans les chambres cardiaques orientent la circulation.

Figure 6. Organisation de l'appareil circulatoire des Insectes en coupe longitudinale



L'hémolymphe se répand dans l'hémocœle. Elle est présente dans tout le corps et baigne directement les organes. En conséquence, le contrôle du débit du liquide circulant dans les différents organes est difficile. Parallèlement la pression relativement faible du liquide circulant rend son retour au cœur délicat.

Des cœurs accessoires sont présents dans le thorax, les ailes et les pattes. Ils favorisent la propulsion de l'hémolymphe dans ces régions corporelles et organes. Ils permettent aussi le déploiement des ailes, fripées au moment de l'émergence, avant le durcissement de la cuticule.

La circulation de l'hémolymphe dans l'hémocœle peut également être facilitée par les mouvements corporels et la ventilation. Les contractions de la musculature corporelle provoquent des déformations de la cavité générale, mettant en mouvement l'hémolymphe qu'elle contient.

Conclusion

L'hémolymphe des Insectes est un liquide essentiellement composé d'hémocytes et de plasma. Translucide, il ne contient pas de pigment, à la différence du sang des Vertébrés de couleur rouge en raison de la présence d'hémoglobine. L'hémolymphe n'est pas impliquée dans le transport des gaz respiratoires mais achemine les substances nutritives aux tissus et draine les déchets métaboliques. Elle permet également la lutte contre les agents pathogènes grâce à certains hémocytes, les plasmotocytes et les granulocytes.

Elle circule dans un appareil circulatoire ouvert, mise en mouvement par les contractions du cœur. Elle irrigue les organes une fois déversée dans la cavité générale.

Figure 7. Appareil circulatoire ouvert des Insectes

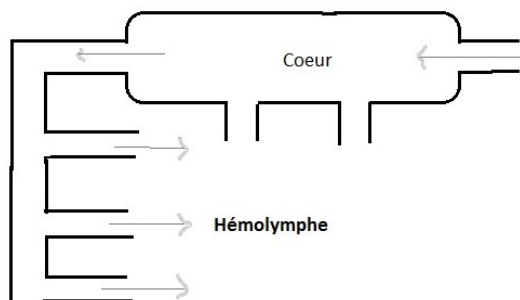
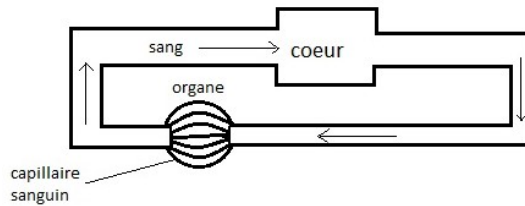


Figure 8. Appareil circulatoire clos des Vertébrés



L'appareil circulatoire ouvert des Insectes diffère de celui des Vertébrés dans lequel le liquide, appelé sang, circule endigué sur tout son trajet dans des vaisseaux.

D'autres animaux possèdent un appareil circulatoire ouvert et de l'hémolymphe. Ce sont par exemple les Mollusques (à l'exception des Céphalopodes).

Bibliographie et sitographie

Livres

Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale*. Dunod. 2015. 212 p.. *Sciences sup. Sciences de la Vie*. [978-2-10-071233-5]

Sites internet

George Dolisi. *Terminologie médicale H [en ligne]*. 2017 [date de consultation : 12 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.bio-top.net/Terminologie/H/hemato2.htm> [<http://www.bio-top.net/Terminologie/H/hemato2.htm>].

Alain Fraval. *Le système circulatoire In Insectes [en ligne]*. 2012 [date de consultation : 01 mars 2017]. Disponible sur : <http://www7.inra.fr/opie-insectes/pdf/i166fraval2.pdf>.

Benoît Gilles. *La mue chez les Insectes In Passion Entomologie [en ligne]*. Benoît Gilles. 2014 [date de consultation : 12 mars 2017]. Disponible sur : <http://passion-entomologie.fr/mue-chez-les-insectes/>.

René Lafont. *Excrétion In Universalis éducation [en ligne]*. [date de consultation : 12 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/excretion/>.

Joseph Nicolas. *TP de biologie animale In Joseph Nicolas - SVT - BCPST1 [en ligne]*. Joseph Nicolas. 2016 [date de consultation : 12 mars 2017]. Disponible sur : <http://josephnicolassvt.fr/wp-content/uploads/2016/09/TP-biologie-animale.pdf>.

François Panchout. *Physiologie des Insectes - le système circulatoire In le Monde des Insectes [en ligne]*. 2007 [date de consultation : 05 mars 2017]. Disponible sur : <https://www.insecte.org/spip.php?article36>.

Étienne Roux. *Les appareils circulatoires des Métazoaires In e-fisio physiologie cellulaire et animale [en ligne]*. Étienne Roux. [date de consultation : 04 mars 2017]. Disponible sur : <http://efisio.online.fr/enseignement11/DOV/a-circulatoires.pdf>.

Jean-Yves Toullec et René Lafont. *Insectes, In Universalis éducation [en ligne]*. [date de consultation : 12 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/insectes/>.

Hémolymphe In *Wikipédia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. 2017 [date de consultation : 04 mars 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9molymphe> .

Appareil circulatoire des Fourmis In *MyrmecoFourmis [en ligne]*. 2011 [date de consultation : 05 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.myrmecofourmis.com/forum/viewtopic.php?t=7247> .

Organisation interne des Insectes In *Arthropodes de France [en ligne]*. dom. 2004 [date de consultation : 05 mars 2017]. Disponible sur : <http://dom.naturimages.free.fr/organinsectes.htm> .

Physiologie/ Le système circulatoire des Insectes In *Face à Phasme - Portail [en ligne]*. Goncalves Hugo. [date de consultation : 05 mars 2017]. Disponible sur : <http://face-a-phasme.azureforum.com/t113-physiologie-le-systeme-circulatoire-des-insectes> .

Posséder plusieurs compartiments liquidiens, à partir de l'exemple des Annélides

Jean-Philippe De Oliveira

<jean.philippe.deoliveira@etu.univ-st-etienne.fr>

Clara Gil <clara.gil@etu.univ-st-etienne.fr>

Ariane Longeray

<ariane.longeray@etu.univ-st-etienne.fr>

Anaïs Vaithilingom

<anais.vaithilingom@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Le monde animal est très vaste, il comporte un très grand nombre d'espèces. Chaque organisme évolue dans un milieu de vie avec lequel il réalise des échanges de matière et d'énergie permettant le maintien de son intégrité et son fonctionnement.

Les êtres vivants animaux sont principalement constitués d'eau. Elle représente environ 70% de la masse corporelle et est répartie dans des compartiments liquidiens. Ils correspondent à des unités du milieu intérieur, séparées les unes des autres par une ou plusieurs membranes, dont la composition est homogène. Les compartiments liquidiens sont représentés par les milieux intracellulaire et extracellulaires, ces derniers constituant le milieu intérieur.

Les paramètres du milieu doivent être compatibles avec la vie cellulaire. Chaque organisme réalise des échanges avec le milieu extérieur dans lequel il vit, qui lui permettent de pallier les éventuels changements de ce dernier. Le maintien de la stabilité des paramètres du milieu intérieur est appelé homéostasie.

Les Annélides possèdent plusieurs compartiments liquidiens. Ce phylum regroupe près de 16 000 espèces réparties en trois groupes : les Polychètes, les Oligochètes et les Achètes. Ils sont notamment caractérisés par un corps annelé, formé d'une succession de segments appelés métamères, et un mésoderme creusé de cavités formant un cœlome.

Quels sont les compartiments liquidiens des Annélides et leurs caractéristiques ?

Quelles sont leurs fonctions ?

La diversité des compartiments liquidiens des Annélides

Le compartiment intracellulaire : un milieu homogène dans l'organisme

Le milieu intracellulaire est un compartiment liquidien non spécifique des Annélides ; seules les concentrations des différents solutés varient selon les espèces.

Posséder plusieurs compartiments
liquidiens, à partir de
l'exemple des Annélides

Le milieu intracellulaire comprend le hyaloplasme, le nucléoplasme ainsi que les liquides contenus dans les différents organites comme les mitochondries. Ces compartiments sont considérés comme liquidiens puisque chacun d'entre eux est délimité par une membrane et constitué de liquide riche en eau.

Le compartiment intracellulaire : des liquides de compositions voisines

Le hyaloplasme, aussi appelé cytosol, constitue la partie liquide du cytoplasme. Délimité par la membrane plasmique de la cellule, il est assez visqueux : il contient environ 85% d'eau, des ions (majoritairement Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Cl^-), des protéines, des acides aminés, du glucose, des lipides, des gaz (O_2), des ARNm, et des ARNt. Le pH du cytosol est d'environ 7,2.

Le nucléoplasme est la partie liquide du noyau cellulaire. Délimité par l'enveloppe nucléaire, il est composé de 70 à 90% d'eau, d'enzymes de synthèse des ARN et ADN, de protéines et porte l'information génétique sous forme d'ADN double brin. Son pH se situe autour de 7.

La matrice mitochondriale est le lieu de la transcription et de la traduction de l'ADN mitochondrial. Elle contient des enzymes du cycle de Krebs. Des granulations (c'est à dire des accumulations de cations) peuvent y être observées. Son pH est de 7,8.

Le compartiment intracellulaire : un milieu réactionnel

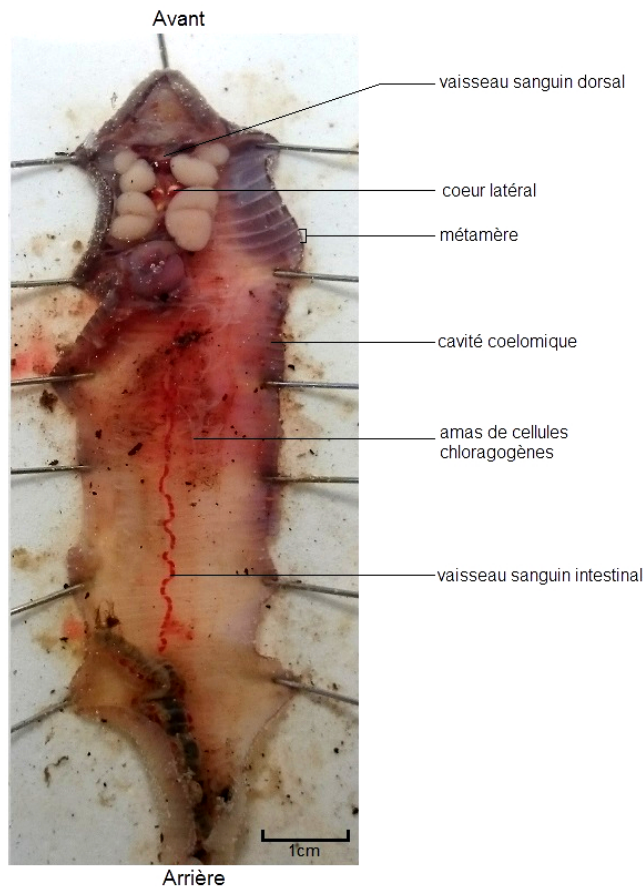
Le milieu intracellulaire est le siège du métabolisme, il permet la production d'énergie. C'est à cet endroit que se produisent les voies de l'anabolisme et du catabolisme des molécules organiques. Il constitue une réserve de macromolécules, sous forme de vacuoles stockant des lipides ou des glucides. Enfin, il est impliqué dans la transduction des signaux et est le lieu de traduction des protéines.

Le milieu intracellulaire maintient l'intégrité de l'organisme à travers différents mécanismes d'échanges entre cellules et milieu extracellulaire.

Posséder plusieurs compartiments
liquidiens, à partir de
l'exemple des Annélides

Les compartiments extracellulaires : des milieux variés dans l'organisme

Figure 1. Anatomie du Lombric en vue dorsale



Les compartiments extracellulaires : un milieu interstitiel, un appareil circulatoire et un cœlome

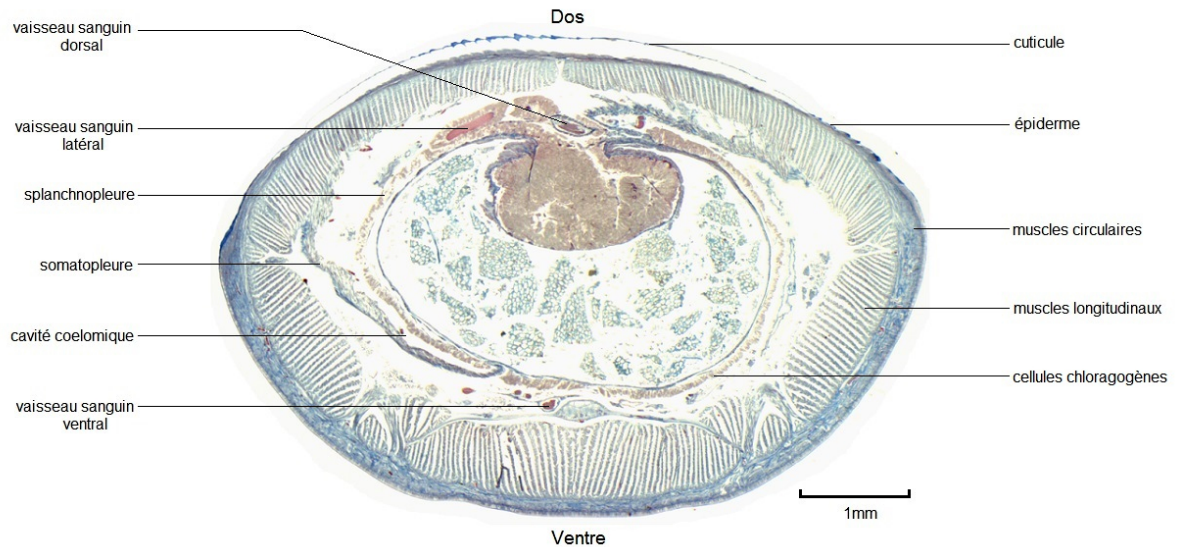
Le milieu intérieur des Annélides est constitué de trois compartiments liquidiens :

- le compartiment interstitiel ;
- l'appareil circulatoire clos ;
- le cœlome métamérisé.

Deux de ces structures peuvent être mises en évidence ci-dessous : l'appareil circulatoire clos (vaisseaux sanguins) et le cœlome (cavité cœlomique).

Posséder plusieurs compartiments
liquidiens, à partir de
l'exemple des Annélides

**Figure 2. Compartiments liquidiens du Lombric en coupe transversale
(Collection de l'ENS de Lyon)**



Le compartiment interstitiel : organisation et composition du liquide interstitiel

Le compartiment interstitiel contient le liquide interstitiel qui est un liquide intratissulaire. Il comprend un grand nombre de cellules immunitaires et joue ainsi un rôle dans l'immunité des Annélides. Issu directement du sang, il est constitué à 90% d'eau, de substances dissoutes de faible masse moléculaire ainsi que de quelques protéines.

L'appareil circulatoire : organisation et composition du sang

L'appareil circulatoire des Annélides est clos et délimité par des parois d'origine mésodermique. Il est constitué de deux vaisseaux principaux, ramifiés en capillaires, vaisseaux de petit diamètre. Ils pénètrent jusqu'à l'intérieur des organes où ils sont le lieu des échanges de gaz respiratoires, de nutriments et de déchets.

La structure des vaisseaux sanguins est très simple. Dans chaque métamère, les deux vaisseaux principaux se situent de part et d'autre du tube digestif, en positions dorsale et ventrale. Il est important de noter que le système sanguin est métamérisé. Chez les Oligochètes, il existe deux vaisseaux pariétaux ramifiés jusqu'au tégument. Chez les Polychètes, ils sont aussi ramifiés vers les parapodes.

Le sang circule en sens unique et est mis en mouvement par des cœurs et par les déplacements de l'animal.

Les Achètes ont un appareil circulatoire plus complexe ou plus simple selon les groupes. Dans le groupe des Arhynchobdelles, il a totalement disparu, ses fonctions sont assurées par le coelome.

Posséder plusieurs compartiments
liquidiens, à partir de
l'exemple des Annélides

Figure 3. Vaisseau sanguin latéral du *Lombric* en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)

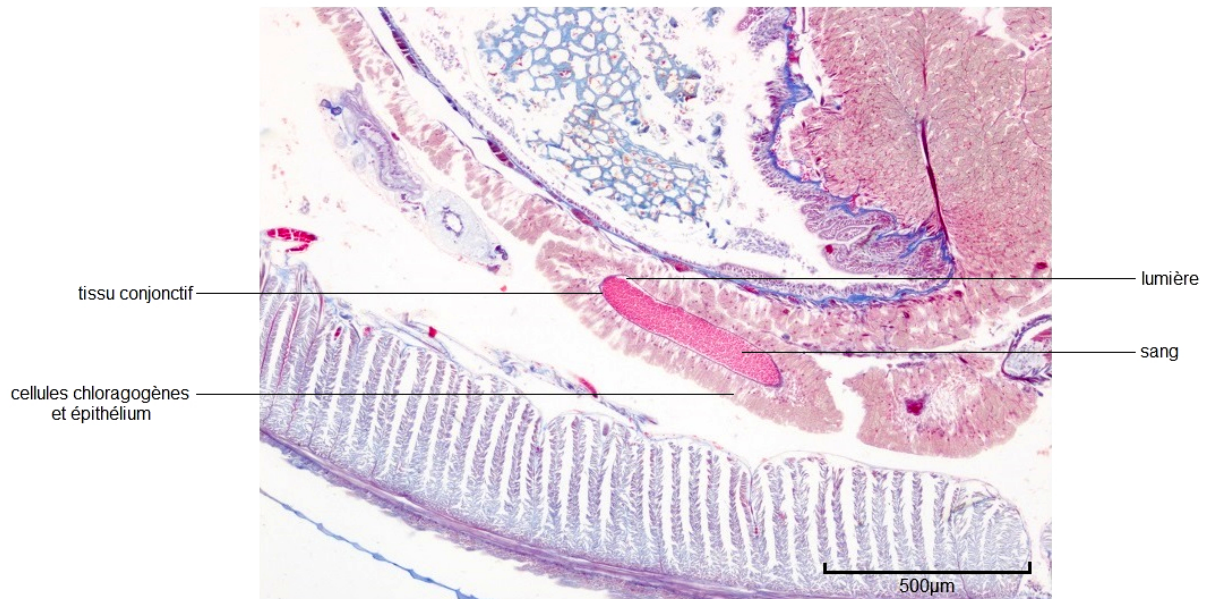


Tableau 1. Composition du sang du *Lombric* (concentration des ions, du glucose et des acides aminés en mmol/l, concentrations des protéines en g/l)

Solutés	Sang
Na ⁺	85,7
Mg ²⁺	-
Ca ²⁺	8,3
K ⁺	5,5
Cl ⁺	39
Protéines	-
Glucose	5
Acides aminés	0,5

Chez les Oligochètes et les Polychètes, le sang contient des pigments respiratoires de type ferroprotéines semblables à l'hémoglobine tels que la chlorocruorine, l'hémérythrine ou encore l'érythrocrorine. Des nutriments s'y trouvent également, comme des lipides, du glucose ou encore des acides aminés libres. Des sous-produits du catabolisme protéique comme l'urée ou l'ammoniaque y circulent aussi.

Le cœlome : organisation et composition du liquide cœlomique

Le cœlome est représenté par deux cavités cœlomiques dans chaque métamère. Les dissépinements entre les métamères forment des cloisons épithélio-musculaires qui rendent ces cavités étanches et les isolent les unes des autres. Elles sont tapissées d'un épithélium pavimenteux.

L'organisation du cœlome varie selon les groupes d'Annélides. Il est par exemple absent chez les Achètes.

Le liquide cœlomique contient très peu de glucides, d'acides aminés et de graisses. En revanche, il est riche en cellules libres telles que les cellules germinales, les cœlomocytes non pigmentés apparentés aux leucocytes, les cellules chloragogènes, les érythrocytes et les amibocytes. Il comporte aussi des ions dont la forte concentration lui confère une osmolarité élevée. Celle-ci contribue à l'homéostasie du milieu intérieur.

Posséder plusieurs compartiments
liquidiens, à partir de
l'exemple des Annélides

Figure 4. Frottis de liquide cœlomique de *Lombric* coloré au May-Grünwald Giemsa

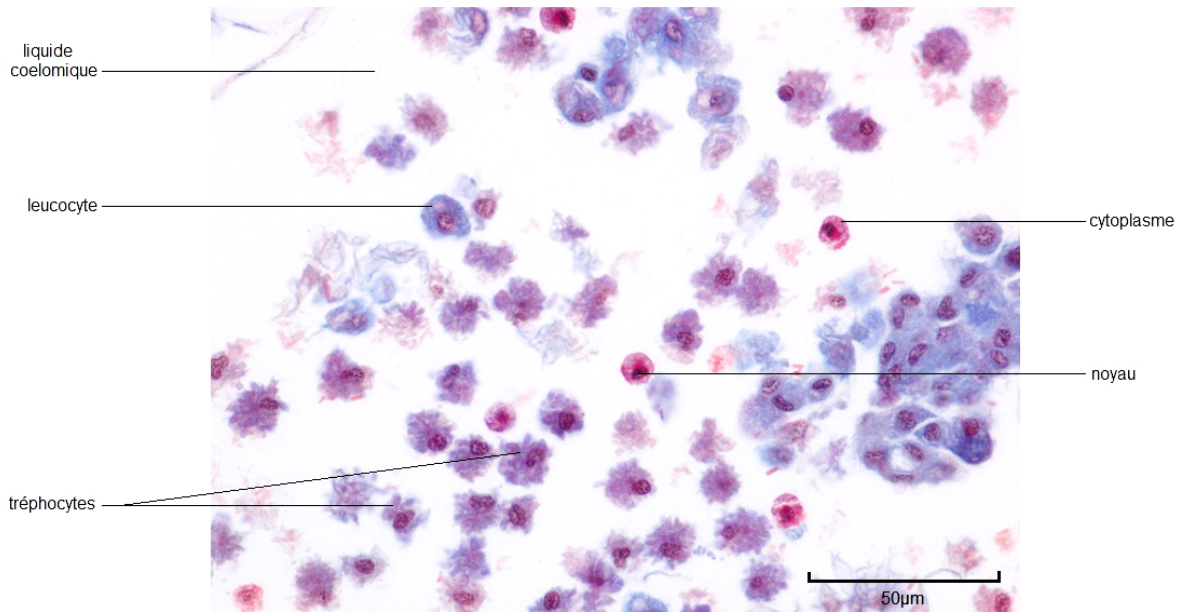


Tableau 2. Composition du liquide cœlomique du *Lombric* (concentration des ions, du glucose et des acides aminés en mmol/l, concentrations des protéines en g/l)

Solutés	Liquide cœlomique
Na ⁺	75,6
Mg ²⁺	-
Ca ²⁺	2,9
K ⁺	4
Cl ⁺	42,8
Protéines	0,2
Glucose	-
Acides aminés	-

Les compartiments extracellulaires : comparaison avec le milieu extérieur

Tableau 3. Concentrations de diverses substances dans le milieu intérieur et dans le milieu extérieur des Polychètes marines (concentrations des ions en mmol/l, concentrations des protéines en g/l)

	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	Protéines
Polychètes	476	54,6	10,5	10,5	557	0,2
Eau de mer	480	54,5	10,5	10,5	560	-

La concentration osmotique du milieu intérieur des Annélides marines est comparable à celle de l'eau de mer, c'est pourquoi ces animaux sont qualifiés d'isoosmotiques à leur milieu. En conséquence aucun flux net d'eau ou d'ions n'existe entre leur milieu intérieur et leur environnement. Si l'osmolarité

Posséder plusieurs compartiments
liquidiens, à partir de
l'exemple des Annélides

du milieu de vie varie, la concentration osmotique et les concentrations des ions du milieu intérieur varient de la même manière. Elles sont aussi osmoconformes.

Les compartiments extracellulaires : origine

Le développement embryonnaire des Annélides conduit à une larve trochophore triploblastique. Durant son développement, seule la région moyenne de la larve s'allonge et se segmente, c'est la métamérisation. De part et d'autre du tube digestif, deux massifs mésodermiques sont présents. Ils croissent vers l'avant et se fragmentent en paires de massifs successives. Chacun subit une schizocoelie, c'est à dire un creusement, menant à l'apparition d'une paire de cavités cœlomiques par métamère. La métamérie qui en résulte peut être altérée selon les groupes d'Annélides.

L'appareil circulatoire a pour origine la splanchnopleure, paroi des cavités cœlomiques située au contact du tube digestif, au niveau des mésentères dorsaux et ventraux.

Les spécificités et les complémentarités fonctionnelles des compartiments liquidiens

Le compartiment cœlomique : des rôles structural et dynamique

Le cœlome étant organisé en plusieurs cavités étanches, entourées d'une forte musculature, il joue un rôle mécanique qui s'exprime dans les fonctions de locomotion et d'alimentation.

Le cœlome : une structure de soutien et locomotrice

Le liquide cœlomique possède un volume constant, car comme tout liquide il est incompressible. Associé à la musculature de la paroi du corps, il constitue un hydrosquelette. Ce dernier soutient le corps et contribue à la définition de la forme du corps.

Les mouvements locomoteurs sont dus aux déformations des métamères. Les cavités cœlomiques servent d'appui aux muscles.

Les Lombrics effectuent des mouvements qualifiés de péristaltiques, correspondant à des ondes de contraction se propageant vers l'avant, dues aux contractions coordonnées des muscles longitudinaux et circulaires.

Le cœlome : une structure déformable

La mise en mouvement des lobes buccaux des Oligochètes et des trompes chez les Polychètes se fait grâce à la contraction des muscles pariétaux des métamères antérieurs. Ce sont les contractions musculaires qui entraînent une déformation des métamères antérieurs grâce aux mouvements exercés sur les cavités cœlomiques. Cela permet à l'animal de s'alimenter.

Les compartiments cœlomique et sanguin : une fonction de distribution

Le cœlome et l'appareil circulatoire : des structures prenant en charge nutriments et déchets

Le cœlome participe à la distribution des nutriments au moyen des cellules chloragogènes, issues de la paroi de la cavité cœlomique. Lorsque ces cellules se trouvent contre le tube digestif, elles ont la capacité de collecter certains nutriments. Elles sont ensuite libérées dans le liquide cœlomique, assurant le transfert des nutriments aux organes et aux ovocytes.

Posséder plusieurs compartiments
liquidiens, à partir de
l'exemple des Annélides

Les nutriments sont également distribués dans l'organisme par l'appareil circulatoire.

Chaque métamère, hormis les trois premiers et les trois derniers, possède une paire d'organes excréteurs, les métanéphridies. Elles filtrent le liquide cœlomique. Il contient les déchets métaboliques provenant du sang, transférés par un processus d'ultrafiltration à travers les parois des vaisseaux sanguins et des cavités cœlomiques. Le tubule des métanéphridies effectue des échanges avec les capillaires sanguins qui le longent. Des sécrétions de sels, de déchets azotés sous forme de NH_4^+ , d'urée et d'acide urique, ont lieu du sang vers le tubule, ainsi que des réabsorptions de sels, d'acides aminés et d'eau en sens inverse.

Les cellules chloragogènes permettent le catabolisme de nombreuses molécules et participent à l'uréogénèse.

Le milieu intracellulaire est renouvelé grâce à des échanges avec le liquide interstitiel, correspondant notamment à l'entrée de nutriments et la sortie de déchets du métabolisme. Le liquide interstitiel est pour sa part renouvelé grâce à des échanges avec le sang qui distribue les nutriments dans l'organisme et draine les déchets. Des échanges interviennent également en sang et liquide cœlomique, en particulier de déchets. Le liquide cœlomique est débarrassé des déchets du métabolisme par les métanéphridies.

L'appareil circulatoire et le cœlome : des structures prenant en charge les gaz respiratoires

Les chlorocruorines, les hémérythrine et les érythrocrorines sont des protéines semblables à l'hémoglobine. Elles transportent le dioxygène dans le sang. L'échange de dioxygène avec le milieu extérieur est réalisé par diffusion au niveau des ramifications des vaisseaux sanguins sous le tégument. Le sang est hématosé à travers le tégument.

Chez certaines Polychètes le liquide cœlomique renferme des cellules nucléées contenant de l'hémoglobine. Ces érythrocytes distribuent le dioxygène dans le corps.

Le cœlome : une structure de production et de maturation des gamètes

La reproduction sexuée des Annélides implique la formation de gamètes. Les gamètes sont produits par différenciation et prolifération de l'épithélium des cavités cœlomiques. Le cœlome abrite par la suite les gamètes pendant leur maturation. La nutrition des cellules germinales est assurée par des cellules spécialisées de l'épithélium de la cavité cœlomique.

Le cœlome : une structure de défense

Les cœlomocytes sont représentés par des tréphocytes et des leucocytes, cellules non pigmentées et dotées de propriétés phagocytaires et mobiles par des mouvements amiboïdes. Elles sont produites à partir de l'épithélium cœlomique. Elles assurent la protection de l'organisme vis-à-vis d'agents pathogènes en réalisant leur phagocytose. Elles peuvent transmettre les sous-produits de la phagocytose aux métanéphridies.

Il est important de noter que le liquide interstitiel comporte lui aussi un grand nombre de cellules immunitaires. Elles participent également à la défense de l'organisme.

Conclusion

Les Annélides possèdent plusieurs compartiments liquidiens. Parmi ces compartiments, le cœlome intervient dans la réalisation de plusieurs grandes fonctions comme la nutrition, la reproduction ou encore le déplacement. L'appareil circulatoire, lui, est impliqué principalement dans la nutrition. Enfin, le liquide interstitiel joue un rôle dans l'immunité. Il faut noter que le domaine intracellulaire joue

Posséder plusieurs compartiments
liquidiens, à partir de
l'exemple des Annélides

un rôle important dans la survie de l'animal et se compose de substances variées en concentrations stables tout comme le milieu extracellulaire.

La diversité et la pluralité des compartiments liquidiens permettent donc la réalisation de nombreuses fonctions fondamentales chez les Annélides.

Les Sangsues, qui appartiennent au groupe des Achètes, ont une organisation plus complexe. Elles possèdent des compartiments liquidiens différents de ceux des autres Annélides.

Bibliographie et sitographie

Livres

- André Beaumont et Pierre Cassier. *Travaux pratiques de biologie animale*. 3ème édition. Dunod. 1998. 502 p.. *Sciences sup. Sciences de la vie..* [2-10-003649-1]
- André Beaumont, Pierre Cassier, Jean-Paul Truchot, et Michel Dauça. *Biologie et physiologie animales*. 2ème édition. Dunod. 2004. 493 p.. *Sciences sup. Sciences de la vie..* [2-10-007280-3]
- Marc Maillat. *Biologie Cellulaire*. 7ème édition. Masson. 1995. 327 p.. *Abrégés..* [2-225-84754-1]
- Michel Rieutort. *Physiologie animale 2, les grandes fonctions..* Masson. 1986. 280 p.. *Abrégés..* [2-225-80480-X]
- Yves Turquier. *L'organisme dans son milieu 2, l'organisme en équilibre avec son milieu..* Doin. 1994. 334 p.. [2-7040-0695-4]

Sites internet

- Alice Grecheez. *Compartiments liquidiens, homéostasie et régulation In Le Bureau des étudiants en sciences de Valrose, Université Nice Sophia-Antipolis [en ligne]*. BDE Sciences. 2010 [date de consultation : 01 avril 2017]. Disponible sur : [http://bdesciences.com/nolaj/SVS/L3/Semestre%20V/Grandes%20Fonctions%20Animales/Cours/BEH%20\(2010\)/Compartiments%20Liquidiens,%20Homéostasie,%20Régulation.pdf](http://bdesciences.com/nolaj/SVS/L3/Semestre%20V/Grandes%20Fonctions%20Animales/Cours/BEH%20(2010)/Compartiments%20Liquidiens,%20Homéostasie,%20Régulation.pdf) .
- Diane Godin-Ribuot. *Les compartiments liquidiens de l'organisme In Université Numérique Francophone des Sciences de la Santé et du Sport [en ligne]*. Cellule TICE de la faculté de pharmacie et de médecine de Grenoble. 2011 [date de consultation : 01 avril 2017]. Disponible sur : http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble_1112/godin_ribuot_diane/godin_ribuot_diane_p02/godin_ribuot_diane_p02.pdf .
- Guillaume. *Licence 3 | Biologie Animale – Chapitre 4-1 : Métazoaires triploblastiques cœlomates – les Annélides In Biodeug, cours de biologie et géologie [en ligne]*. Biodeug. 2012 [date de consultation : 06 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.biodeug.com/licence-3-biologie-animale-chapitre-4-1-metazoaires-triploblastiques-clomates-les-annelides> .
- Avelyne Villain. *Physiologie humaine - le milieu intérieur In Université de Siant-Étienne [en ligne]*. 2017 [date de consultation : 11 février 2017]. Disponible sur : <https://claroline-connect.univ-st-etienne.fr/web/app.php/resource/open/file/150316> .
- Jimmy Wales. *Cytoplasme In Wikipédia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. 2004 [date de consultation : 15 février 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cytosol> .
- Jimmy Wales. *Cœlome In Wikipédia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. 2005 [date de consultation : 10 mars 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C5%93lome> .
- Les Annélides In Site du cours de zoologie, Diversité et évolution animale : les non vertébrés [en ligne]*. Université catholique de Louvain, Université de Namur. 2016 [date de consultation : 20 avril

Posséder plusieurs compartiments
liquidiens, à partir de
l'exemple des Annélides

2017]. Disponible sur : https://www.zoology-uclouvain.be/docs/syllabus-interactif/syllabus_annelides_biol.pdf .

La distribution chez les organismes sans appareil circulatoire

Laurine Chavand

<laurine.chavand@etu.univ-st-etienne.fr>

Ilda Fuzier <ilda.fuzier@etu.univ-st-etienne.fr>

Florence Rouchouse

<florence.rouchouse@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Après l'alimentation et la digestion, un organisme achemine vers ses cellules, des plus superficielles au plus profondes, des nutriments. De même lorsqu'il réalise des échanges gazeux respiratoires, le dioxygène est acheminé à toutes ses cellules. C'est le rôle de la fonction de distribution.

La distribution est l'action de répartir des substances dans un organisme. Elle assure le maintien de son unité et l'approvisionnement en nutriments et en gaz respiratoires des organes, permettant leur fonctionnement. La distribution fait intuitivement penser à l'appareil circulatoire qui est un dispositif connectant les organes grâce à un liquide circulant dans un système clos ou partiellement clos. Ce liquide est mis en mouvement par le cœur.

L'appareil circulatoire est l'acteur principal de la distribution, cependant certains organismes en sont dépourvus et subviennent tout de même aux besoins de leurs organes et de leurs cellules.

Comment ces organismes sans appareil circulatoire effectuent une distribution efficace, et à quelles contraintes doivent-ils faire face ?

L'étude d'un animal avec appareil circulatoire permet de comprendre les rôles de cet appareil et les mécanismes impliqués. L'exemple du *Lombric* est choisi car il existe des organismes morphologiquement proches mais sans appareil circulatoire, les Plathelminthes. Une comparaison sera possible.

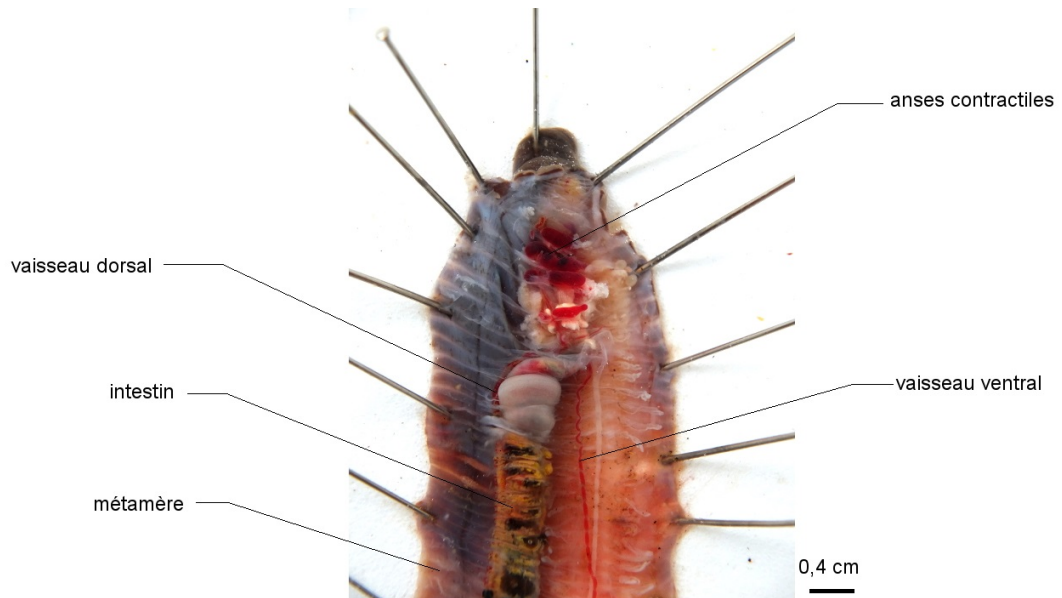
D'autres organismes tels que les Porifères ne possèdent pas d'appareil circulatoire, mais effectuent tout de même une distribution vers leurs cellules qui sont superficielles comparées à celles des Plathelminthes.

L'appareil circulatoire : un dispositif anatomique de distribution

Le *Lombric* est une espèce appartenant au groupe des Annélides. Il présente une symétrie bilatérale et est constitué de trois feuilletts cellulaires, comme les Plathelminthes. Tous deux possèdent un hydrosquelette. Cet animal est métamérisé et vit dans le sol. Il possède un appareil circulatoire clos.

L'appareil circulatoire : un dispositif connectant les organes

Figure 1. Anatomie du Lombric en vue dorsale



L'appareil circulatoire du Lombric est formé de vaisseaux sanguins et de cœurs latéraux. Il existe deux vaisseaux longitudinaux, le vaisseau ventral et le vaisseau dorsal, reliés par de nombreuses anses vasculaires présentes dans chaque métamère. À l'avant (dans la région de l'œsophage), le Lombric possède cinq anses vasculaires renflées qui se contractent, les cœurs latéraux. Ils permettent de faire circuler le sang.

La circulation est unidirectionnelle. Le sang passe dans le vaisseau ventral et est amené vers l'arrière du corps. Il transite ensuite dans les organes distribuant les nutriments et le dioxygène. Le sang désoxygéné passe dans les anses et rejoint le vaisseau dorsal et l'avant du corps. Une fois dans la partie antérieure de l'animal, il court dans les cœurs latéraux qui l'expulsent dans le vaisseau ventral. En dehors de cette boucle vasculaire, le sang se répand dans les capillaires, où les échanges et la distribution sont facilités.

L'appareil circulatoire : un dispositif de distribution et de drainage

La distribution et le drainage des gaz respiratoires

Le Lombric, qui n'a pas d'appareil respiratoire, effectue ses échanges gazeux par voie trans-tégumentaire. Ces échanges se font par diffusion à travers le tégument perméable et recouvert de mucus, le dioxygène entrant et le dioxyde de carbone sortant.

Le dioxygène présent dans l'organisme au niveau du tégument de l'animal est pris en charge par l'appareil circulatoire et plus particulièrement les capillaires. L'hémoglobine présente dans le sang transporte et distribue les gaz respiratoires aux organes.

Cette distribution efficace permet un mode de vie actif.

La distribution et le drainage des nutriments

Le Lombric se nourrit principalement de terre. L'appareil circulatoire transporte les nutriments, issus de la terre, jusqu'aux organes. Ils passent dans le sang au niveau des capillaires présents dans la paroi de l'intestin puis ils circulent dans les vaisseaux de l'appareil circulatoire et alimentent les organes.

Le sang est ensuite débarrassé des déchets produits par les organes grâce aux métanéphridies, présentes par paires dans chaque métamère. Des processus de filtration, de réabsorption et de sécrétion interviennent. L'élimination des déchets se fait au niveau de pores excréteurs, les néphridiopores.

L'appareil circulatoire : un dispositif qui combine flux de masse et diffusion

L'appareil circulatoire du Lombric propulse du sang dans les vaisseaux. Il permet un flux de masse à l'échelle de l'organisme. La diffusion existe mais elle est masquée par le flux de masse. Elle est présente au niveau cellulaire et elle se fait sur de courtes distances, entre l'appareil circulatoire et les cellules.

La diffusion est le transfert d'une substance selon un gradient de concentration. Il s'agit d'un transfert passif, c'est à dire qu'il ne nécessite pas d'énergie.

La loi de Fick rend compte du processus de diffusion :

$$J_x = D_x \times \Delta C_x \times S/E$$

avec

- J_x : flux en mol.s^{-1} ;
- D_x : coefficient de diffusion en $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$;
- ΔC_x : gradient de concentration en mol.m^{-3} ;
- S : surface d'échange entre deux compartiments de concentration en solutés différents en m^2 ;
- E : épaisseur de la membrane qui sépare les deux compartiments en m.

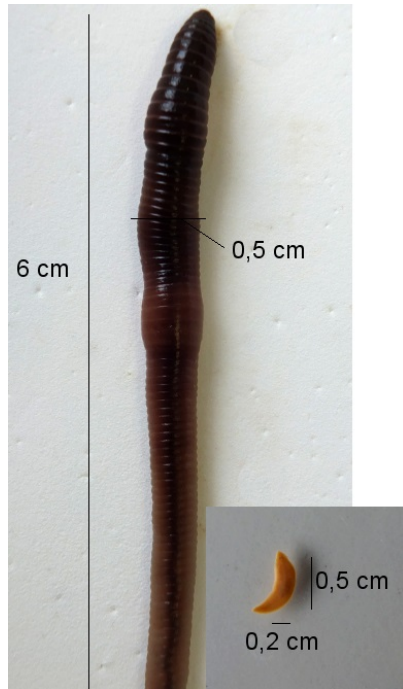
Le flux entre deux milieux est proportionnel au coefficient de diffusion, à la différence de concentrations ainsi qu'à la surface de la membrane qui les sépare et inversement proportionnel à l'épaisseur de cette membrane. En d'autres termes, le flux augmente si la surface d'échange augmente, si l'épaisseur de la membrane diminue, ou si la différence de concentrations en solutés entre les deux milieux augmente.

Les Lombrics ne sont pas les seuls à utiliser la diffusion, tous les animaux l'utilisent, dont les animaux sans appareil circulatoire. Ceux-ci effectuent la distribution sans flux de masse endigué contrairement au Lombric.

Comment est réalisée la distribution chez les animaux dépourvus d'appareil circulatoire ?

La distribution sans appareil circulatoire et avec des cellules profondes, à travers l'exemple des Plathelminthes

Figure 2. Comparaison des dimensions d'un Lombric et d'une Planaire



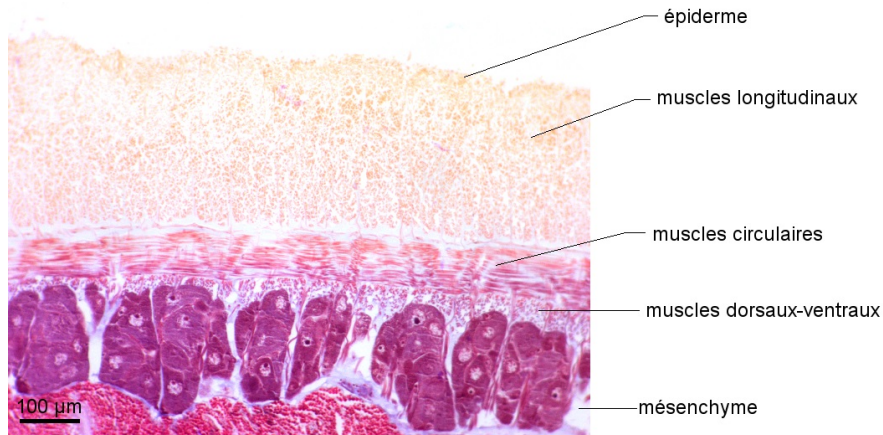
Les Plathelminthes, comme les Lombrics, sont des vers. Ils ont une morphologie semblable, et leurs distributions peuvent être comparées.

Les Plathelminthes ou Vers plats sont bilatériens. Ils sont constitués de trois feuillets cellulaires, l'ectoderme, le mésoderme et l'endoderme. Ces vers sont épais d'environ 0,2 cm, c'est à dire deux fois moins que le Lombric. Ils sont acéломates, dépourvus de cavité interne, et possèdent un hydrosquelette comme le Lombric, impliquant du liquide interstitiel.

Les Plathelminthes ne possèdent pas d'appareil circulatoire ni de sang, à la différence du Lombric, mais d'autres dispositifs permettent d'assurer la distribution et d'approvisionner les cellules profondes.

La distribution et la forme du corps

Figure 3. Paroi corporelle de Planaire en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



À la différence du *Lombric*, les Plathelminthes n'ont pas d'appareil circulatoire ni de vaisseaux sanguins assurant l'approvisionnement des cellules profondes.

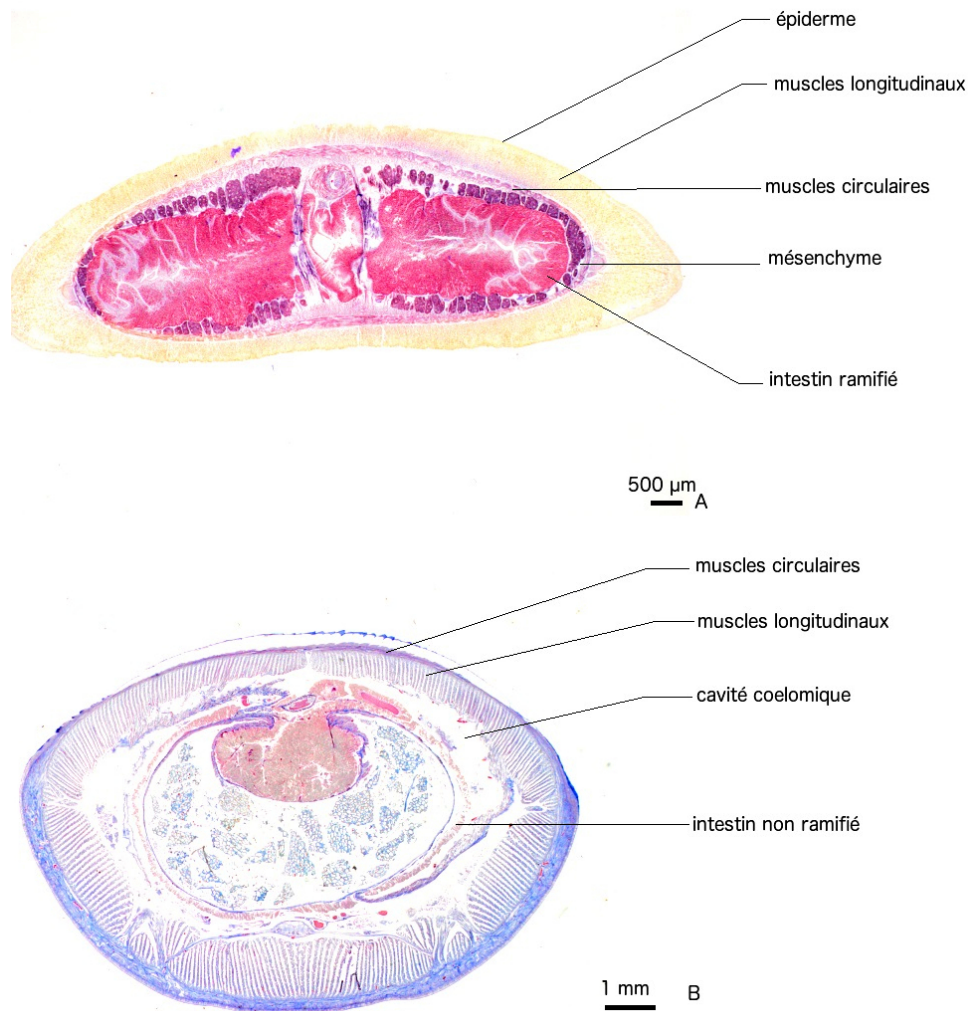
Les Plathelminthes ont en revanche un corps très plat permettant de réduire les distances de transfert de substances entre le milieu extérieur et les cellules profondes. Cette forme plate est maintenue par les muscles. Il y a différents types de muscles, des muscles circulaires, des muscles longitudinaux, ainsi que des muscles transversaux qui relient les deux faces de l'animal.

De plus, ces animaux possèdent un tissu interstitiel, le mésenchyme, baigné de liquide interstitiel. Associé à la musculature de la paroi du corps, il joue le rôle de squelette hydrostatique et intervient dans le mouvement de l'organisme. Les mouvements corporels mettent en circulation le liquide interstitiel. Le brassage de ce liquide permet la distribution aux cellules et favorise la diffusion dans l'organisme. La diffusion est aussi présente chez le *Lombric* mais a une importance plus limitée.

Les échanges gazeux respiratoires sont réalisés à travers le tégument par diffusion, comme chez le *Lombric*. La distribution du dioxygène est effectuée par le liquide interstitiel dans lequel le gaz diffuse. L'apport de nutriments et l'excrétion des déchets se font aussi par diffusion dans le liquide interstitiel, mais pas seulement.

La distribution, la forme des organes et les cellules mobiles

Figure 4. Planaire (A) et Lombric (B) en coupes transversales (Collection de l'ENS de Lyon)



Les Vers plats ont un appareil digestif comportant un intestin très ramifié, à la différence de celui du Lombric, ce qui permet d'augmenter la surface d'échange avec le liquide interstitiel et surtout de réduire les distances de diffusion des substances absorbées entre intestin et cellules consommatrices. Les ramifications de l'intestin permettent de favoriser la diffusion. Les nutriments sont distribués par le liquide, comme vu précédemment, mais aussi par des cellules spécialisées situées sous les couches de muscles, les cellules amiboïdes. Des cellules de réserve sont également présentes, dans le mésenchyme sous les muscles.

L'appareil excréteur est formé d'un réseau de protonéphridies ouvertes sur l'extérieur par des pores excréteurs appelés néphridiopores. À la différence du Lombric, les Plathelminthes ont des protonéphridies dispersées dans l'ensemble du mésenchyme ce qui limite la distance de diffusion des déchets métaboliques entre les cellules productrices et les structures excrétrices.

La distribution vers les cellules profondes chez les Plathelminthes se fait soit par diffusion grâce au liquide interstitiel, brassé par les mouvements de l'animal dus aux muscles, soit grâce à des cellules spécialisées.

La distribution sans appareil circulatoire et avec des cellules superficielles, à travers l'exemple des Porifères

L'exemple des Plathelminthes illustre une distribution vers des cellules profondes, celui des Porifères montre une distribution vers des cellules superficielles en absence appareil circulatoire.

Les Porifères sont des organismes vivant dans l'eau. Ils ont une forme de panier creux fixé par une base et possèdent une ouverture à l'opposé. La cavité est appelée spongiocœle et l'ouverture oscule. Ces animaux possèdent une couche de cellules interne appelée choanoderme et une couche de cellules externe appelée pinacoderme. Entre ces deux couches cellulaires se trouve le mésohyle, une gelée dans laquelle baignent entre autres des cellules amiboïdes. Les Porifères sont parcourus par un courant d'eau traversant les deux couches cellulaires et le mésohyle. L'eau du milieu extérieur entre dans le spongiocœle par des pores et sort par l'oscule.

Les Porifères, de par leur distribution vers des cellules superficielles, se rapprochent des Cnidaires. Ce sont des organismes diploblastiques, vivant dans l'eau et possédant une cavité ainsi qu'une ouverture unique comme les Porifères. Ils sont également constitués de deux couches de cellules, le gastroderme à l'intérieur et l'épiderme à l'extérieur.

Des échanges gazeux respiratoires individuels

Les Porifères et les Cnidaires ne possèdent pas d'appareil circulatoire et pas d'appareil respiratoire. Cependant leurs cellules sont approvisionnées en dioxygène.

Le dioxygène du milieu extérieur entre dans les cellules par diffusion simple. Si la pression partielle de ce gaz est plus importante à l'extérieur de la cellule, il diffuse vers le cytosol. De cette manière les cellules superficielles des Porifères et Cnidaires réalisent des échanges de gaz respiratoires directement avec le milieu extérieur.

La distribution du dioxygène dans l'organisme n'est pas nécessaire car il diffuse dans chaque cellule grâce au gradient de pression partielle. Le gradient est maintenu et les cellules sont toutes en contact avec l'eau.

La respiration est intracellulaire, les cellules consomment du glucose et en extraient l'énergie grâce au dioxygène.

La distribution de nutriments par des cellules mobiles

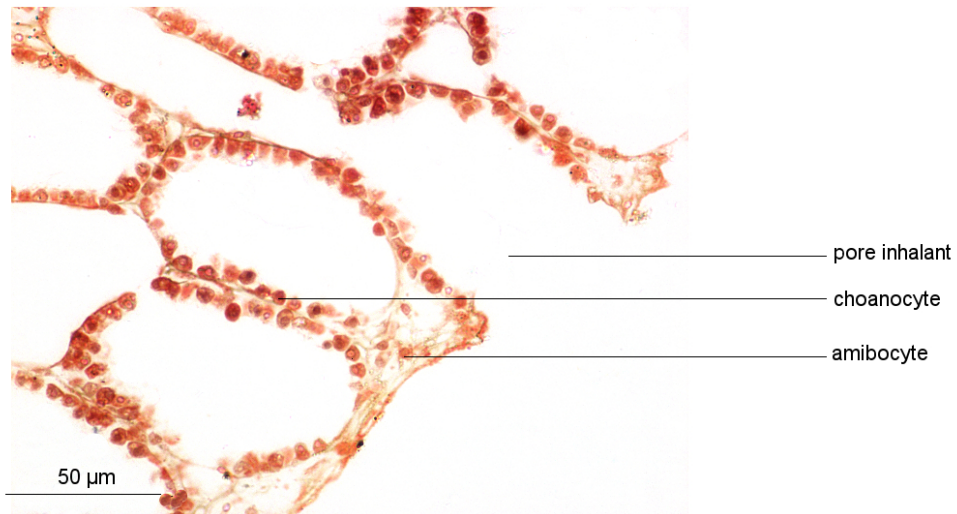
Les Porifères n'ont pas d'appareil digestif, l'ingestion et le traitement des substances nutritives est réalisé individuellement par les cellules. Chez les Cnidaires il existe une cavité gastrique dans laquelle se déversent des enzymes digestives.

Les aliments de petite taille entrant en contact avec les cellules des Porifères peuvent être phagocytés. Il existe un système de sélection des particules alimentaires par la taille grâce aux pores de la paroi corporelle qui communiquent avec les corbeilles tapissées de choanocytes, parfois par l'intermédiaire de canaux ramifiés, dont les dimensions décroissent.

Les aliments traversent les microvillosités des choanocytes puis entrent dans ces cellules, ce sont les sites de la phagocytose.

La distribution est assurée par des amibocytes qui ont la capacité de récupérer les particules phagocytées, de former une vacuole digestive et de se déplacer dans le mésohyle.

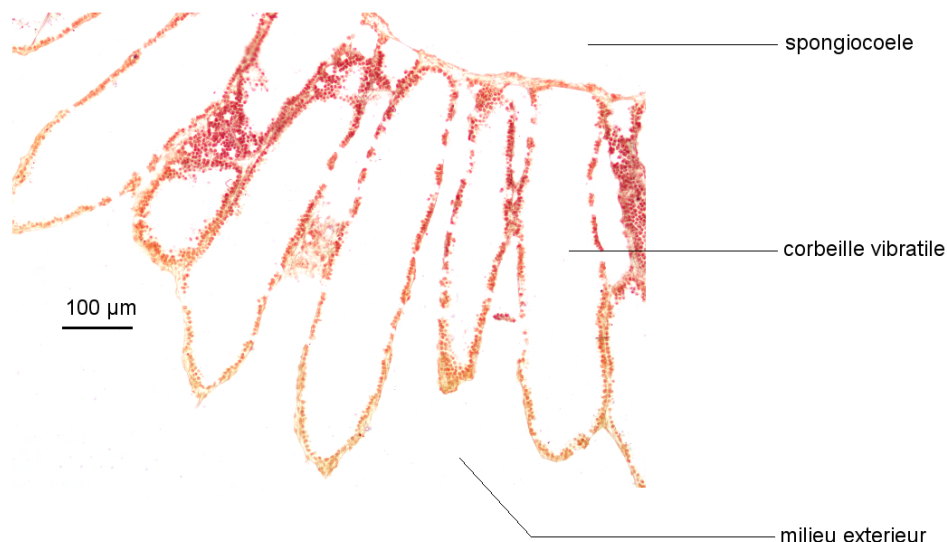
Figure 5. Corbeille vibratile et choanocytes de Sycon (Collection de l'ENS de Lyon)



Les amibocytes permettent le transport des nutriments qui ne pourrait se faire par simple diffusion.

La satisfaction des besoins nutritifs des Porifères implique le développement d'un grand nombre de corbeilles ou chambres à choanocytes, de 8000 à 18000 par mm³. Des adaptations morphologiques permettent l'augmentation du nombre de choanocytes et de la surface de choanoderme, les Porifères de type sycon et leucon en sont des exemples. Ils possèdent respectivement des corbeilles et des chambres vibratiles tapissées de choanocytes, reliées les unes aux autres et traversées par un flux d'eau provenant de l'extérieur de l'organisme. Le nombre de choanocytes au millimètre cube est doublé par rapport à un Porifère de type ascon qui ne possède pas de telles structures.

Figure 6. Corbeilles vibratiles de la paroi de Sycon (Collection de l'ENS de Lyon)



Conclusion

Les organismes dépourvus d'appareil circulatoire réalisent une distribution efficace en utilisant la diffusion, le brassage et le transport par des cellules.

La distribution vers des cellules profondes, comme chez les Plathelminthes, est réalisée grâce à une réduction des distances et une augmentation des surfaces d'échange, leurs corps sont plats, leurs intestins sont ramifiés, et leurs protonéphridies sont réparties dans tout l'organisme. Ces adaptations permettent d'optimiser la diffusion des nutriments et des gaz respiratoires dans l'organisme, ainsi que le drainage des déchets. La distribution est aussi effectuée par des cellules amiboïdes qui se déplacent en milieu liquide. Ces cellules sont importantes pour la distribution des nutriments.

La distribution vers des cellules superficielles, comme chez les Porifères, est effectuée grâce à la diffusion et aux déplacements d'amibocytes. Toutes les cellules des Porifères sont en contact avec l'eau et réalisent individuellement leurs échanges gazeux respiratoires.

Ainsi, les diverses adaptations que présentent ces organismes permettent une distribution efficace contournant les contraintes dues à l'absence d'appareil circulatoire et à l'utilisation de la diffusion.

L'étude des organismes sans appareil circulatoire conduit à la question de l'origine de cette absence. Est-elle due à une disparition ou à une apparition plus tardive ?

Bibliographie et sitographie

Livres

Claude Faurie, Christiane Ferra, Paul Médori, Jean Devaux, et Jean-Louis Hemptinne. *Écologie : approche scientifique et pratique*. Lavoisier. 2011. 488 p.. [978-2-7430-1016-4]

Sites internet

Pierre Davoust. *Les vers In ÉcoSocioSystèmes [en ligne]*. Pierre Davoust. 2017 [date de consultation : 23 février 2017]. Disponible sur : <http://www.ecosociosystemes.fr/vers.html> .

Pierre Dejours et Alexis Moysse. *Respiration In Universalis education [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 16 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/respiration/> .

Jacques Ducruet. *Embranchement des Annelides : le lombric In Université Lyon 1 [en ligne]*. Université Claude Bernard Lyon I, Laboratoire d'écologie des hydrosystème fluviaux. 2000 [date de consultation : 16 mars 2017]. Disponible sur : <http://nte-serveur.univ-lyon1.fr/nte/biologieanimale/boatp/annelides/lombric.htm> .

Guillaume. *Licence 3 | Biologie Animale – Chapitre 3 : Métazoaires triploblastiques / Acœlomates et Pseudo-cœlomates In Biodeug, cours de biologie et géologie [en ligne]*. Biodeug. 2012 [date de consultation : 20 février 2017]. Disponible sur : <http://www.biodeug.com/licence-3-biologie-animale-chapitre-3-metazoaires-triploblastiques-acoelomates-et-pseudo-coelomates/> .

Guillaume. *Licence 3 | Biologie animale - Chapitre 4-1 : Métazoaires triploblastiques coelomates - les Annelides In Biodeug, cours de biologie et géologie [en ligne]*. Biodeug. 2012 [date de consultation : 24 février 2017]. Disponible sur : <http://www.biodeug.com/licence-3-biologie-animale-chapitre-4-1-metazoaires-triploblastiques-clomates-les-annelides/> .

Antoine Morin. *Les Annelides In Animaux : structures et fonctions [en ligne]*. Université d'Ottawa. 2002 [date de consultation : 24 février 2017]. Disponible sur : http://simulium.bio.uottawa.ca/bio2525/Notes/Les_Annelides.htm .

Antoine Morin. *Les Cnidaires In Animaux : structures et fonctions [en ligne]*. Université d'Ottawa. 2002 [date de consultation : 24 février 2017]. Disponible sur : http://simulium.bio.uottawa.ca/bio2525/Notes/Les_Cnidaires.htm .

- Antoine Morin. *Les Plathelminthes In Animaux : structures et fonctions [en ligne]*. Université d'Ottawa. 2002 [date de consultation : 15 février 2017]. Disponible sur : http://simulium.bio.uottawa.ca/bio2525/Notes/Les_Plathelminthes.htm .
- Antoine Morin. *Les Porifères In Animaux : structures et fonctions [en ligne]*. Université d'Ottawa. 2002 [date de consultation : 24 février 2017]. Disponible sur : http://simulium.bio.uottawa.ca/bio2525/Notes/Les_Poriferes.htm .
- Claude Paul-Malvy. *Cours : les Spongiaires ou Porifères In eBiologie [en ligne]*. eBiologie. [date de consultation : 24 février 2017]. Disponible sur : <http://www.ebiologie.fr/cours/s/252/les-spongiaires-ou-poriferes> .
- A.N. Spencer. *Cnidaires In Historica Canada [en ligne]*. Encyclopédie Canadienne. [date de consultation : 24 février 2017]. Disponible sur : <http://www.encyclopediecanadienne.ca/fr/article/cnidaires/> .
- Henri Termier, Geneviève Termier, et Odette Tuzet. *Spongiaires In Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 24 février 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/spongiaires/> .
- La diffusion In Système circulatoire et respiratoire [en ligne]*. École secondaire François-Bourrin. [date de consultation : 27 février 2017]. Disponible sur : http://sciencebourrin.weebly.com/uploads/3/9/4/3/3943039/systemes_circulatoire_et_respiratoire_notes.pdf [http://sciencebourrin.weebly.com/uploads/3/9/4/3/3943039/systemes_circulatoire_et_respiratoire_notes.pdf] .
- Le système respiratoire In elombric : verdeterre.fr [en ligne]*. Elombric : verdeterre.fr. [date de consultation : 14 mars 2017]. Disponible sur : <http://verdeterre.fr/faq/107-biologie/respiration/12-respiration#top> .
- Les annélides In Site du cours de zoologie, Diversité et évolution animale : les non-vertébrés [en ligne]*. Université Catholique du Louvain, Université de Namur. [date de consultation : 24 février 2017]. Disponible sur : http://zoology-uclouvain.be/docs/syllabus-interactif/syllabus_annelides_bir.pdf .
- Les Lophotrochozoaires : Les Annélides In Cours de biologie [en ligne]*. coursbiologie.net. [date de consultation : 24 février 2017]. Disponible sur : <http://coursbiologie.net/les-lophotrochozoaires-les-annelides.html> .
- Les Plathelminthes In Club de plongée de Chatou [en ligne]*. Club de plongée de Chatou. [date de consultation : 15 février 2017]. Disponible sur : <http://www.plongeechatou.com/files/cours%20bio%202012/Plathelminthes.pdf> .
- Les Plathelminthes In Cours de biologie, biologie animale [en ligne]*. coursbiologie.net. [date de consultation : 23 février 2017]. Disponible sur : <http://coursbiologie.net/les-plathelminthes.html> .
- Les Plathelminthes In Site du cours de zoologie, Diversité et évolution animale : les non-vertébrés [en ligne]*. Université Catholique du Louvain, Université de Namur. [date de consultation : 06 mars 2017]. Disponible sur : <http://zoology-uclouvain.be/syllabus-interactif.php?mode=&id=15> .
- Plathyelminthes In Site du cours de zoologie, Diversité et évolution animale : les non-vertébrés [en ligne]*. Université Catholique du Louvain, Université de Namur. [date de consultation : 23 février 2017]. Disponible sur : <http://zoology-uclouvain.be/docs/multimedia/plathyelminthes> .

Les métanéphridies des Annélides et des Arthropodes

Émilie Lahet <emilie.lahet@etu.univ-st-etienne.fr>

Céline Marchand

<celine.marchand@etu.univ-st-etienne.fr>

Charlène Millot <charlene.millot@etu.univ-st-etienne.fr>

Charlène Montmartin

<charlene.montmartin@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Le métabolisme animal produit des déchets quelle que soit l'espèce considérée. L'excrétion est le processus permettant le rejet des déchets hors de l'organisme. Elle est réalisée par l'appareil excréteur qui contribue également à l'équilibre hydrominéral de l'organisme, conservation d'un volume d'eau et de concentrations en solutés stables.

Dans le monde animal, il y a une grande diversité des structures excrétrices, les appareils excréteurs ayant connu des modifications structurales au cours de l'évolution.

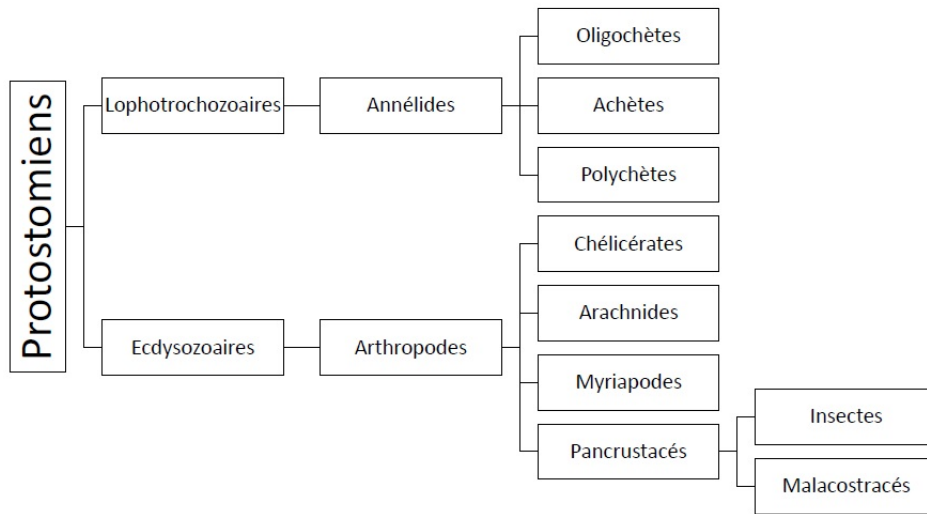
Ainsi dans l'espèce humaine, l'appareil excréteur est formé de quatre organes principaux que sont les reins, les uretères, la vessie et l'urètre. Les déchets sont éliminés hors de l'organisme par l'intermédiaire de l'urine.

L'appareil excréteur des animaux est généralement constitué d'un canal s'ouvrant sur l'extérieur par un pore. Les Annélides et les Arthropodes étudiés ici possèdent des structures excrétrices appelées métanéphridies.

Annélides et Arthropodes, des animaux métamérisés possédant un cœlome

Les groupes des Annélides et des Arthropodes rassemblent de nombreux organismes bilatériens vivant dans les milieux aquatiques ou terrestre.

Figure 1. Arbre phylogénétique des Annélides et des Arthropodes

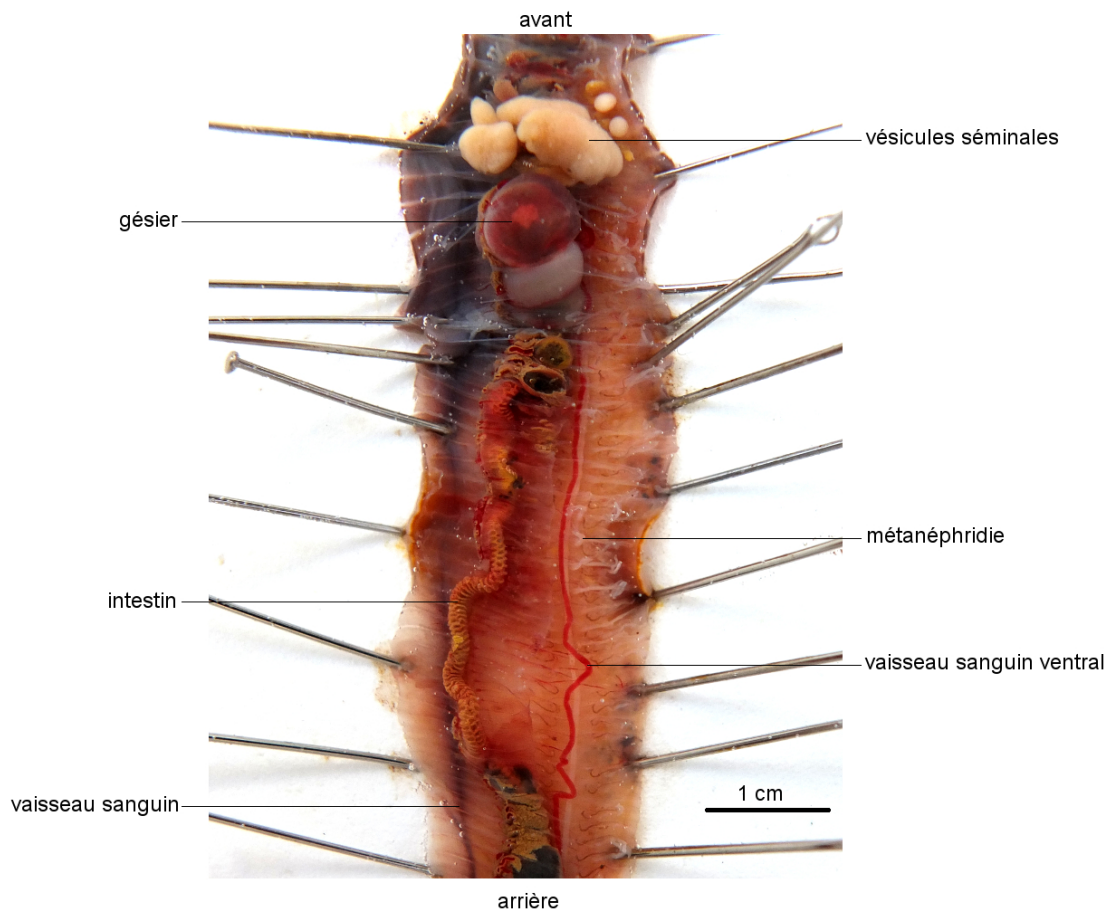


L'exemple du Lombric, un Lumbricidé, est utilisé puisqu'il représente assez bien le fonctionnement de l'appareil excréteur des Annélides. Il vit en milieu humide, et peut être considéré comme dulçaquicole. Son corps est constitué de trois parties : la région antérieure, le tronc et le pygidium. Il présente un ensemble d'anneaux qui se répètent, appelés métamères.

Parmi les Arthropodes l'Écrevisse, du groupe des Malacostracés, est aussi dulçaquicole. Elle possède un corps divisé en trois régions appelées tagmes, qui sont de l'avant vers l'arrière : la tête, le péréion et le pléon. L'Écrevisse est une espèce dont de nombreux métamères ont fusionné ou disparu. Elle possède une métamérie altérée, dite hétéronome. Son système nerveux est condensé dans la région antérieure, sa bouche se situe vers l'arrière de la tête et les métamères céphaliques ont fusionné, en relation avec un processus de céphalisation. Certains organes tels que les métanéphridies de l'appareil excréteur ont perdu leur caractère métamérisé.

Les groupes des Annélides et des Arthropodes présentent tous deux une métamérie.

Figure 2. Anatomie du Lombric en vue dorsale



Chaque métamère du Lombric contient deux cavités remplies de liquide. Ce sont les cavités coelomiques. Le liquide qui y circule est appelé liquide coelomique. Les métanéphridies sont présentes par paire dans chaque métamère. Ce sont des organes excréteurs se présentant sous forme de tubes dont une extrémité est ouverte sur la cavité coelomique d'un métamère et l'autre débouche sur l'extérieur au niveau du métamère suivant.

Figure 3. Anatomie de l'Écrevisse en vue dorsale

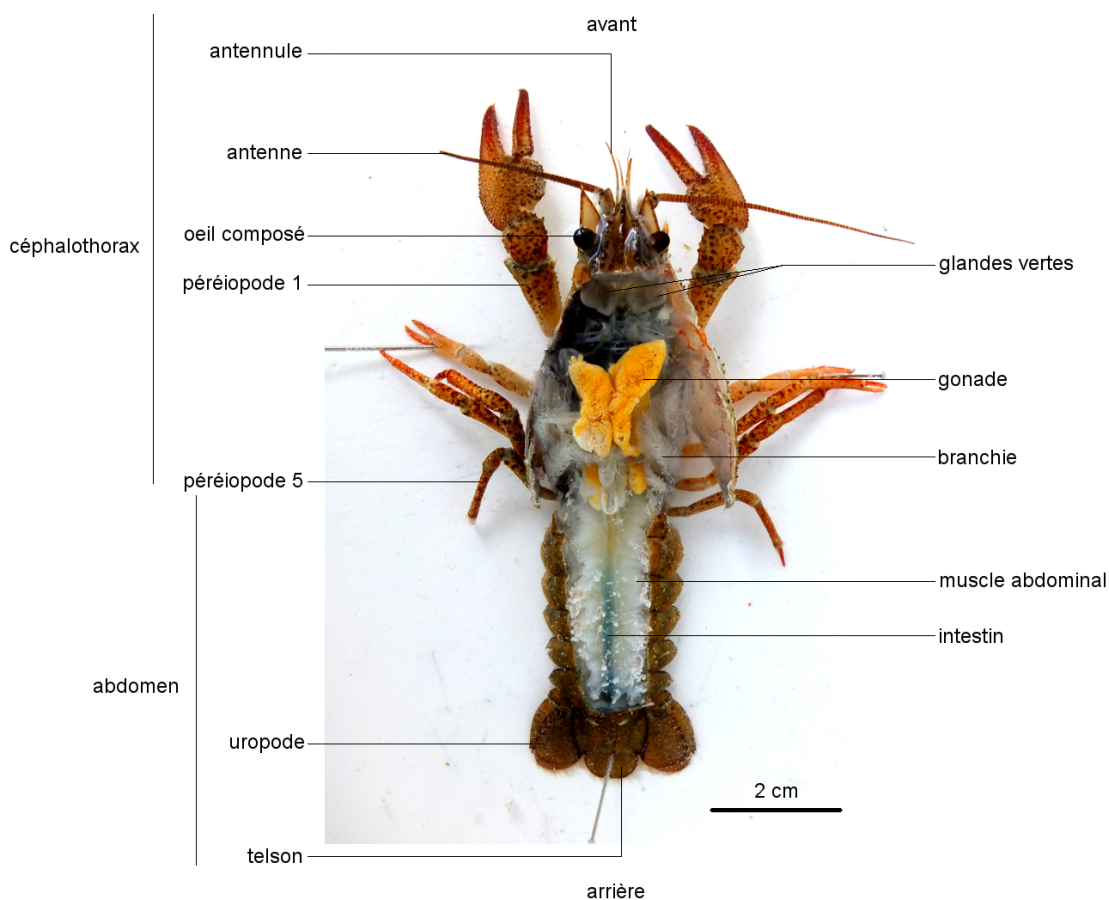
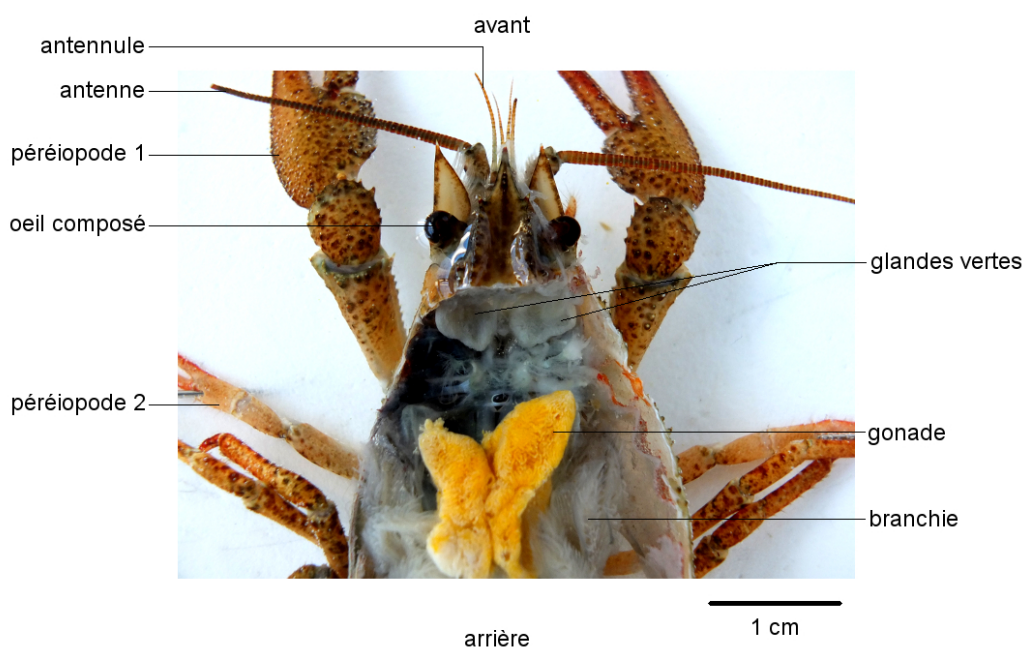


Figure 4. Anatomie de l'Écrevisse en vue dorsale



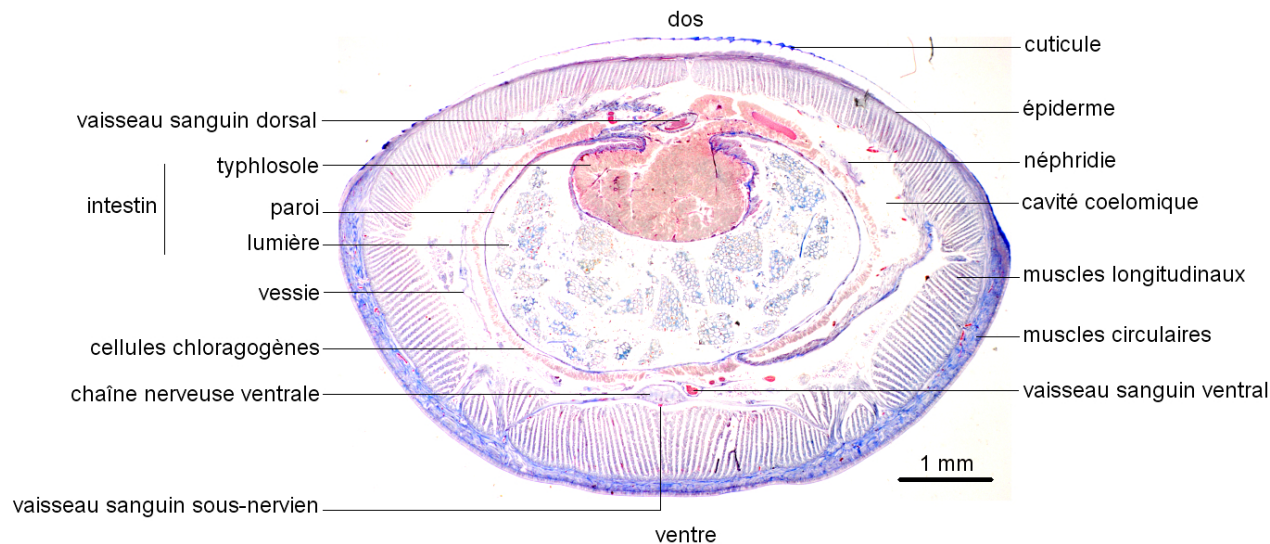
Chez les Malacostracés les glandes vertes, également appelées glandes antennaires, sont les organes excréteurs principaux. Elles sont au nombre de deux, associées en paire, et se situent entre

l'estomac et la seconde paire d'antennes. L'Écrevisse possède une cavité générale non métamérisée appelée hémocœle. Le coelome a fusionné avec le blastocœle. Une disparition précoce des vésicules coelomiques métamérisées intervient au stade embryonnaire. Contrairement aux Annélides qui possèdent une paire de métanéphridies par segment ou métamère, les Arthropodes possèdent seulement une paire de métanéphridies pour l'ensemble de l'organisme.

Les métanéphridies, des organes tubuleux ouverts sur le coelome et formés de divers segments

La structure de l'appareil excréteur dans ces deux groupes diffère légèrement.

Figure 5. Anatomie du Lombric en coupe transversale – (Collection de l'ENS de Lyon)



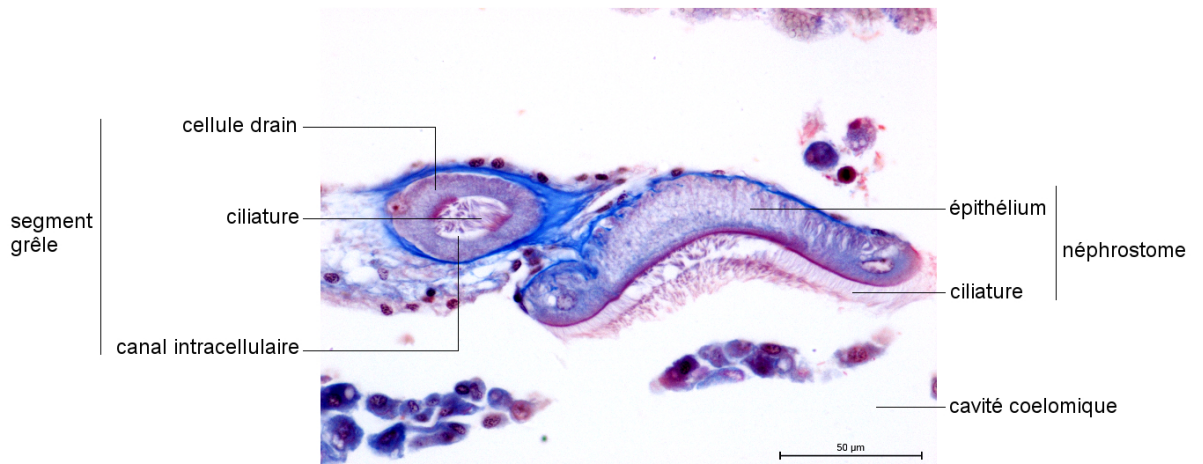
Chez le Lombric, chaque métanéphridie est formée successivement de quatre régions :

- le néphrostome ;
- le tube collecteur ou canal néphridien ;
- la vessie ;
- le néphridiopore.

Figure 6. Métanéphridie de *Lombric* en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Figure 7. Néphrostome et segment grêle de métanéphridie de *Lombric* en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



La métanéphridie s'ouvre à une extrémité sur la cavité coelomique d'un métamère par l'intermédiaire du néphrostome. Elle se poursuit par le tube néphridien puis la vessie dans la cavité coelomique du métamère suivant. Elle débouche enfin sur l'extérieur par l'intermédiaire du néphridiopore.

Le néphrostome se présente comme un entonnoir cilié. Le tube néphridien est formé de trois segments. Le premier, relié au néphrostome, est appelé segment grêle. Il est de faible diamètre et présente des cils. Le deuxième, appelé segment moyen, est lui aussi cilié et possède un plus grand diamètre que le premier. Enfin, le troisième ou segment large ne présente pas de cils mais une bordure en brosse. La paroi de la vessie comporte des fibres musculaires.

Figure 8. Glande verte d'Écrevisse en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)

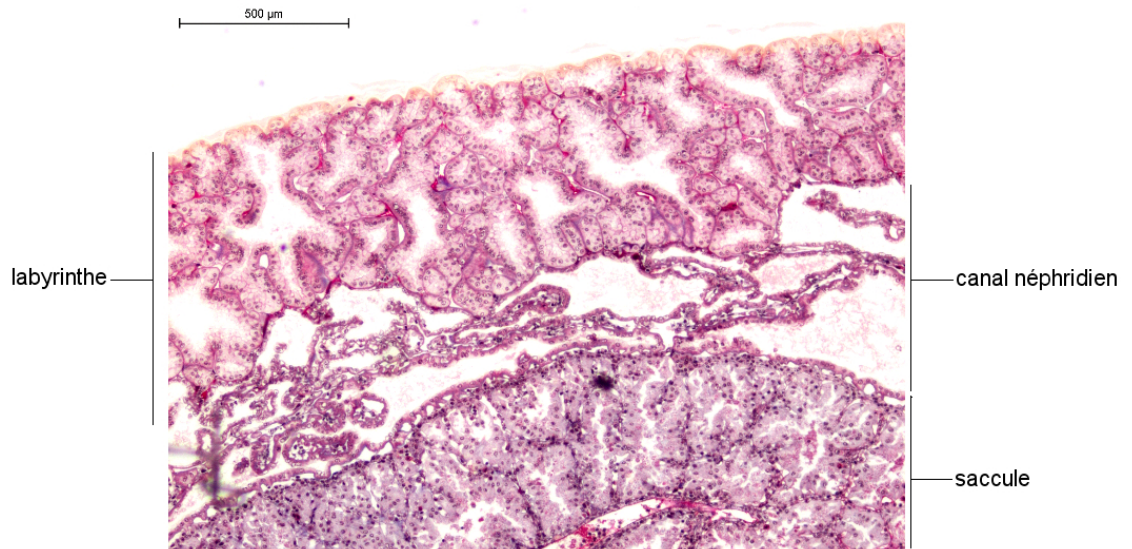


Figure 9. Sacculé de glande verte d'Écrevisse en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)

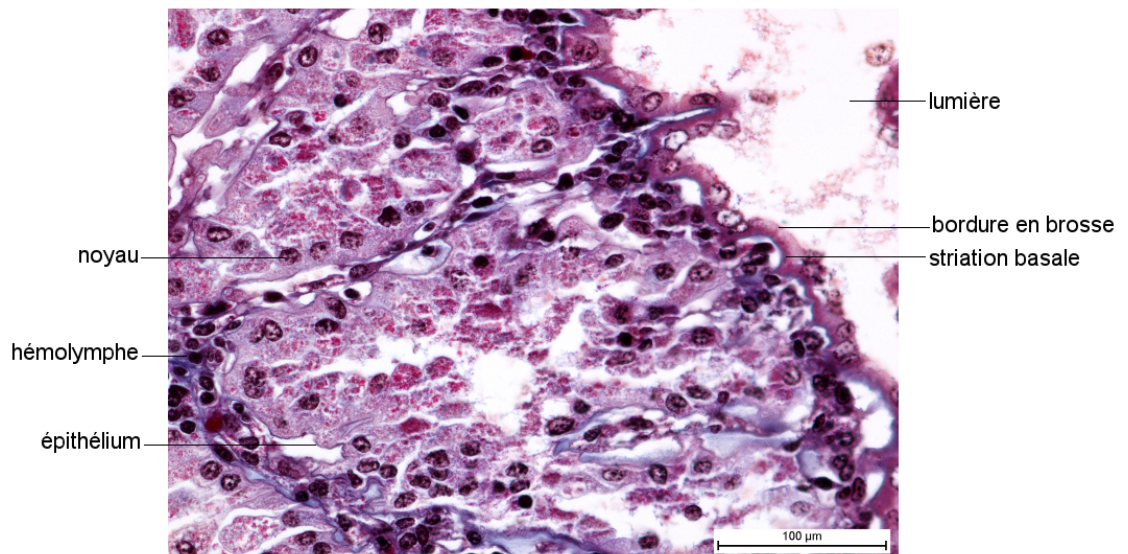


Figure 10. Canal néphridien de glande verte d'Écrevisse en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)

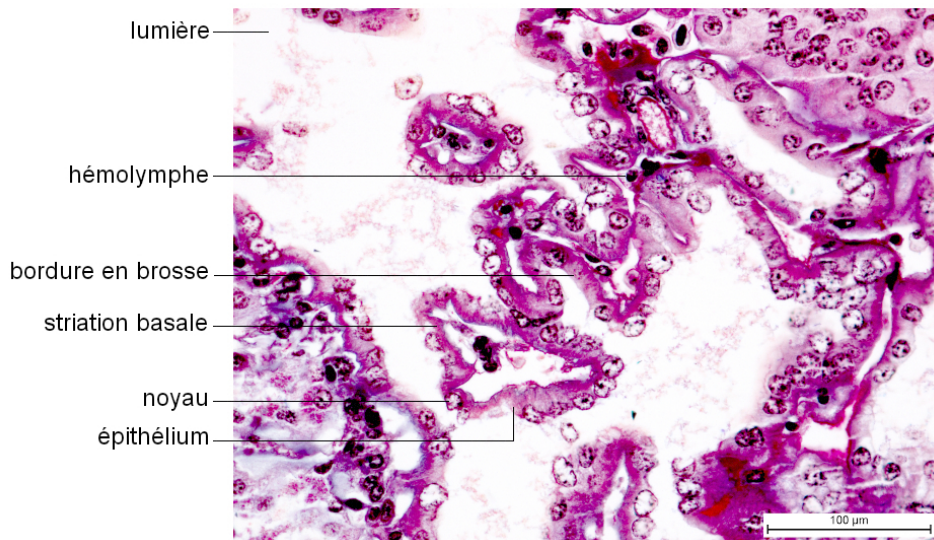
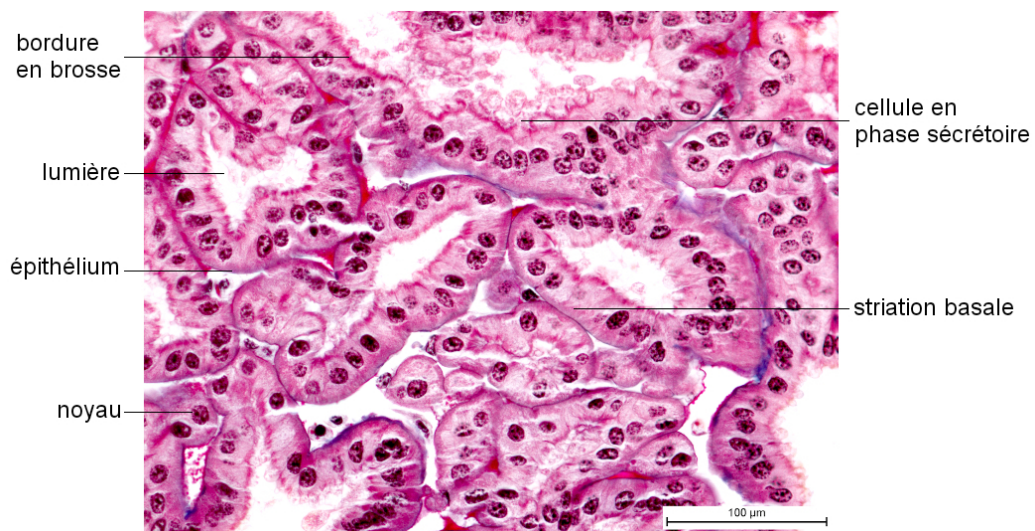


Figure 11. Labyrinthe de glande verte d'Écrevisse en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



La glande verte comprend un saccule terminal d'origine coelomique qui débouche sur le canal excréteur par un néphrostome. Vient ensuite la vessie reliée à un pore antennaire ou excréteur par un canal court. Chez les Arthropodes, la paroi du saccule présente des replis membranaires. Ces derniers ont des expansions ramifiées reliées par une cloison. Le canal excréteur est long et complexe. Il est composé d'un labyrinthe et d'un canal néphridien en deux parties : un canal transparent suivi d'un canal blanc. La vessie est d'origine ectodermique et est tapissée d'une cuticule.

Les métanéphridies, des organes excréteurs

La fonction des métanéphridies est sensiblement la même dans les deux groupes. Les métanéphridies sont les organes excréteurs et osmorégulateurs de l'animal.

Chez les Annélides, l'urine est produite à partir du liquide coelomique, qui reçoit les déchets du sang. Sa composition est modifiée tout au long de son parcours dans la métanéphridie.

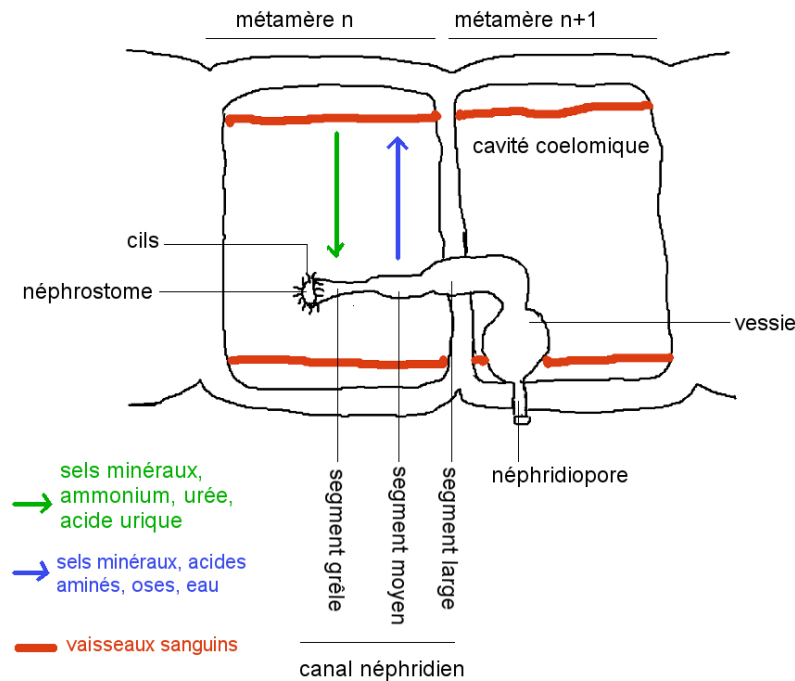
Chez les Arthropodes, l'urine est produite à partir de l'hémolymphe et non du liquide coelomique au niveau du saccule et du labyrinthe. De même elle est modifiée ensuite.

Dans les deux cas, la formation de l'urine est réalisée par filtration, sous l'effet d'un gradient de pression hydrostatique. L'urine est à ce stade isoosmotique au milieu intérieur, c'est-à-dire qu'ils ont la même concentration osmotique.

Des mouvements de solutés sont effectués entre urine et milieu intérieur, souvent contre le gradient électrochimique grâce à un apport d'énergie. Ce sont des transports actifs. L'eau, les petites molécules organiques et les substances minérales peuvent passer à travers la paroi de la métanéphridie. Ceci conduit à une modification de la composition de l'urine qui est alors stockée dans la vessie puis évacuée hors de l'organisme par l'intermédiaire de pores.

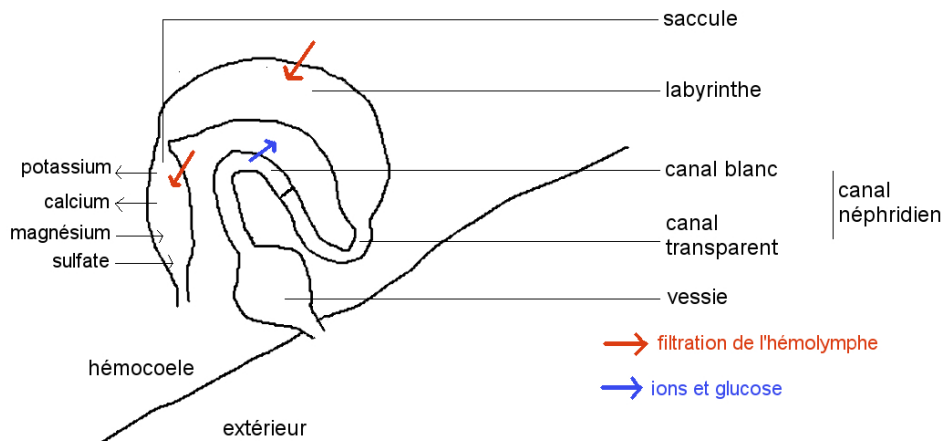
L'urine évacuée est souvent hypoosmotique par rapport au milieu intérieur. Cela permet d'éliminer l'eau excédentaire. La réabsorption des solutés permet de limiter leurs pertes de solutés.

Figure 12. Métanéphridie du Lombric et excrétion



Chez les Annélides, des capillaires sanguins sont associés au canal néphridien, cela permet les échanges entre le sang et la métanéphridie. Les cils présents sur les parois des différentes structures permettent la circulation de l'urine dans le canal. Lorsque l'urine primitive arrive au niveau du premier segment de la métanéphridie du Lombric, il y a sécrétion de sels minéraux, d'ions ammonium, d'urée et d'acide urique provenant du sang. Ensuite au niveau du segment large s'établissent des réabsorptions de sels, d'acides aminés, d'oses et d'eau vers le sang. Ces échanges permettent la modification de l'urine. L'urine diluée s'écoule dans la vessie pour être évacuée hors du corps.

Figure 13. Métanéphridie de l'Écrevisse et excrétion



Chez les Arthropodes, les ions potassium et calcium sont sécrétés vers l'urine tandis que les ions magnésium et sulfates sont réabsorbés. Comme le segment large du canal néphridien des Annélides, le saccule et le labyrinthe ont un épithélium présentant de nombreux replis. Cela augmente la surface d'échanges. Les échanges se font tout au long du parcours de l'urine dans le tube mais il y a une légère différence de fonctionnement entre la glande verte de l'Écrevisse et la métanéphridie du Lombric.

Le canal transparent possède un petit diamètre et l'urine y circule avec une pression élevée. La paroi plissée du canal blanc présente une importante surface d'échanges. C'est dans ce canal que se produisent les réabsorptions d'ions et de glucose. La vessie a un rôle de stockage de l'urine avant l'évacuation. Le pore antennaire, ou excréteur, rejette les déchets à l'extérieur de l'animal. L'appareil excréteur élimine les déchets azotés sous forme d'ammoniaque bien que la majorité d'entre eux soit rejetés par les branchies. Comme chez les Annélides, l'urine finale diluée s'accumule dans la vessie puis est évacuée vers l'extérieur par un pore.

Conclusion

Les Annélides et les Arthropodes possèdent des organes excréteurs métanéphridiens. Le Lombric possède une paire de métanéphridies par métamère alors que l'Écrevisse en possède une seule paire pour tout l'organisme. Leurs organisations diffèrent bien qu'elles aient le même rôle. L'urine primitive est produite par filtration et est isoosmotique au milieu intérieur. Elle subit alors une réabsorption d'eau et d'autres molécules diminuant les pertes. L'urine finale est diluée et possède une concentration osmotique plus faible que celle du milieu intérieur. Elle est stockée dans la vessie jusqu'à son évacuation par le néphridiopore.

Des espèces appartenant à un même groupe évolutif peuvent présenter des différences d'organisation de leurs organes excréteurs. Elles résultent de la disparition de certains organes ou de l'adaptation des organes en relation avec le milieu de vie. L'appareil excréteur, quel que soit son fonctionnement, remplit toujours le même rôle. Il permet l'évacuation des déchets métaboliques contenus dans l'urine en dehors de l'organisme.

Bibliographie et sitographie

Livres

Anne-Marie Bautz, Alain Bautz, et Dominique Chardard. *Mini manuel de biologie animale*. 3ème édition. Dunod. 2015. 215 p.. [978-2-10-072084-2].

- André Beaumont et Pierre Cassier. *Biologie animale, des Protozoaires aux Métazoaires épithélioneuriens, tome 2*. 3ème édition. Dunod Université. 1983. 954 p.. [2-04-015573-3].
- Neil Campbell, Jane Reece, Lisa Urry, Mickael Cain, Steven Wasserman, Peter Minorsky, et Ribert Jackson. *Campbell Biologie* . 9ème édition. Pearson Education. 2012. 1458 p.. [978-2-7613-5065]
- J. Cukerzis et La biologie de l'écrevisse (*Astacus astacus* L.). Quae. 1984. 313 p.. [2-85340-558-3].
- Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale 1, Les grands plans d'organisation*. 3ème édition. Dunod. 2008. 135 p.. *Sciences sup.*. [978-2-10-05186-6]
- Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale, Les grands plans d'organisation*. 2ème édition. Dunod. 2008. 215 p.. *Sciences sup.*. [978-2-10-52135-7]
- Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale*. Dunod. 2015. 219 p.. *Sciences sup.*. [978-2-10-071233-5]
- Daniel Richard, Bruno Anselme, et Jean-Claude Baehr. *Physiologie des animaux, construction de l'organisme homéostasie et fonctions de relations tome 2*. Nathan Université. 1998. 352 p.. *Fac science*. [2-09-190726-X]
- Jean-Marc Ridet, Roland Platel, et François J Meunier. *Zoologie 1, des Protozoaires aux Échinodermes*. Ellipses. 1998. 224 p.. [2-7298-9269-9]
- Knut Schmidt-Nielsen. *Animal physiology, adaptation and environment*. 4th edition. Cambridge University Press. 1990. 614 p.. [0-521-38196-7].
- Yves Turquier. *L'organisme dans son milieu, tome 1, les fonctions de nutrition*. Doin. 1989. 315 p.. [2-7040-0620-2]

Sites internet

- Jacques Forest. *Crustacés in Encyclopædia Universalis [en ligne]*. Encyclopædia Universalis. [date de consultation : 22 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/crustaces/> .
- Guillaume. *Licence 3 | Biologie Animale – Chapitre 4-1 : Métazoaires triploblastiques cœlomates – les Annélides In Biodeug, cours de biologie et géologie [en ligne]*. 2012 [date de consultation : 01 février 2017]. Disponible sur : <http://www.biodeug.com/licence-3-biologie-animale-chapitre-4-1-metazoaires-triploblastiques-clomates-les-annelides/> [http://www.biodeug.com/licence-3-biologie-animale-chapitre-4-1-metazoaires-triploblastiques-clomates-les-annelides/] .
- Antoine Morin. *Les Annélides In Animaux : structures et fonctions [en ligne]*. Université d'Ottawa. 2003 [date de consultation : 26 mars 2017]. Disponible sur : http://simulium.bio.uottawa.ca/bio2525/notes/les_annelides.htm .
- Julien Nowak. *Les Arthropodes In entomoLOGIC [en ligne]*. Nowak Julien. [date de consultation : 22 mars 2017]. Disponible sur : <https://entomologic.jimdo.com/les-arthropodes/> [https://entomologic.jimdo.com/les-arthropodes/].
- Julien Nowak. *La glande verte de l'Écrevisse In Fichier PDF [en ligne]*. Nowak Julien. [date de consultation : 22 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.fichier-pdf.fr/2012/07/11/glande-verte-de-l-ecrevisse/glande-verte-de-l-ecrevisse.pdf> .
- L'appareil excréteur In ebiologie [en ligne]*. Ebiologie. [date de consultation : 17 février 2017]. Disponible sur : <http://www.ebiologie.fr/cours/s/78/l-appareil-excreteur> .
- Les Annélides In Biodis [en ligne]*. Vincent De Schuyteneer. Vincent De Schuyteneer. 20 mai 2016 [date de consultation : 26 mars 2017]. Disponible

sur : <http://www.vdsciences.com/pages/sciences-biologiques/biologie-animale/zoologie-descriptive/biol-animale-14-annelides.html> .

Les Lophotrochozoaires : les Annelides In Cours de biologie [en ligne]. 30 juin 2013 [date de consultation : 26 mars 2017]. Disponible sur : <http://coursbiologie.net/les-lophotrochozoaires-les-annelides.html> [<http://coursbiologie.net/les-lophotrochozoaires-les-annelides.html>] .

Les fonctions des branchies des Téléostéens

Léa Bednarczuk <lea.bednarczuk@etu.univ-st-etienne.fr>
Olivia Cordemy <olivia.cordemy@etu.univ-st-etienne.fr>
Lina Greffet <lina.greffet@etu.univ-st-etienne.fr>
Marine Vandenberghe
<marine.vandenberghe@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

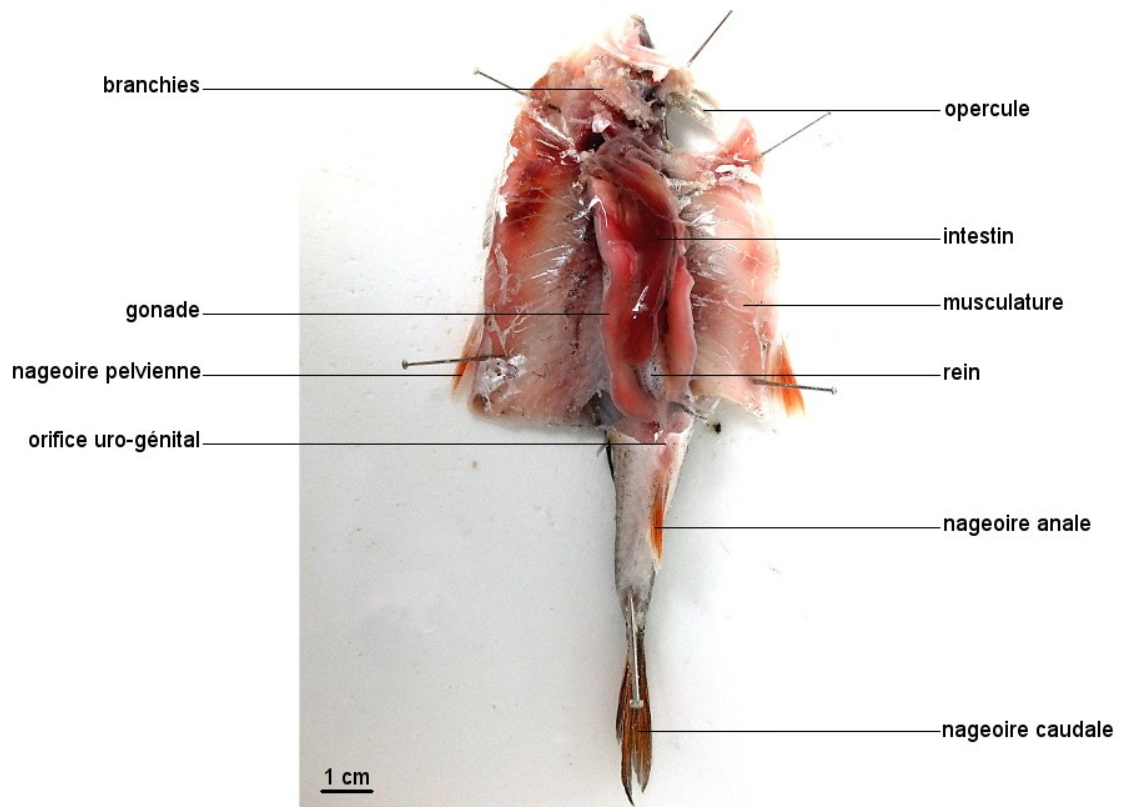
Les Téléostéens sont des poissons osseux. Ils possèdent tous des branchies.

Quelles sont leurs fonctions ?

Les branchies : des organes respiratoires

Les branchies : des évaginations pharyngiennes repliées

Figure 1. Anatomie du Gardon en vue ventrale



Les branchies sont des évaginations de la paroi du pharynx. Il s'agit d'organes pairs situés au niveau de la tête, de part et d'autre du pharynx. Chaque groupe est recouvert d'un opercule délimitant une cavité branchiale. Chaque cavité branchiale abrite quatre arcs branchiaux.

Figure 2. Arc branchial de Gardon isolé en vue latérale



Chaque arc branchial soutient de multiples paires de lames branchiales, libres sur leur longueur.

Figure 3. Cavité branchiale de tête de Perche en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)

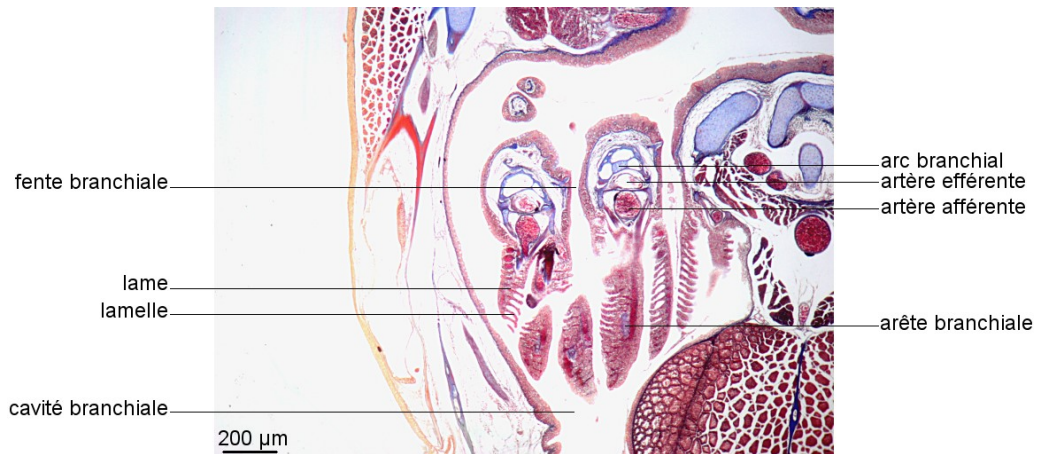
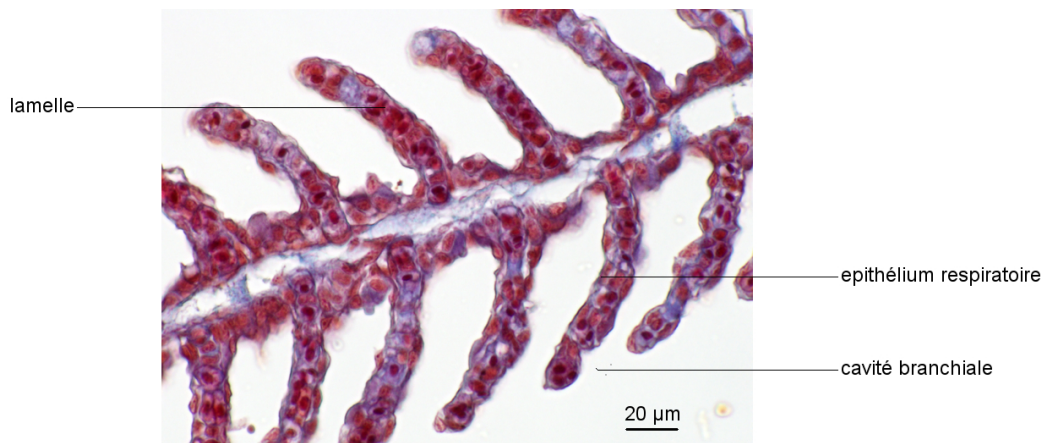


Figure 4. Lame et lamelles branchiales de Truitelle en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les lames branchiales portent de nombreuses lamelles branchiales perpendiculaires à leur surface.

Les échanges gazeux sont réalisés au niveau des lamelles branchiales dont l'épithélium est simple et pavimenteux. Son épaisseur est faible. Les branchies présentent une surface d'échange très étendue pour un volume relativement réduit.

Les branchies sont vascularisées par des artères branchiales afférentes et efférentes. L'eau circule dans le sens inverse du sang.

Les branchies : des échanges gazeux respiratoires par diffusion

Les échanges de gaz respiratoires concernent de petites molécules gazeuses : le dioxygène O₂ et le dioxyde de carbone CO₂. Le dioxygène dissous dans l'eau du milieu extérieur traverse les cellules épithéliales des lamelles branchiales et enrichit le sang. Le dioxyde de carbone présent dans le sang est de même rejeté dans le milieu extérieur.

Du fait de leur petite taille et de l'absence de charge, ces molécules sont capables de traverser la bicouche phospholipidique des cellules épithéliales par diffusion simple. Ce type de transfert est passif. En d'autres termes, il s'effectue sans consommation d'énergie. La diffusion simple ne nécessite pas de transporteurs, de canaux ou encore de vésicules. Elle s'effectue toujours suivant le gradient de pression partielle, c'est-à-dire du milieu de pression partielle élevée vers le milieu de pression partielle faible jusqu'à l'équilibre des pressions partielles dans les deux milieux.

La diffusion simple est décrite par la loi de Fick :

Flux du gaz = constante de diffusion x différence de pression partielle x surface de l'échangeur x épaisseur de l'échangeur⁻¹

Cette loi met en évidence que le flux de gaz respiratoire est proportionnel à la différence de pression partielle du gaz entre le milieu intérieur et le milieu extérieur et à l'aire de la surface de diffusion. Il est également inversement proportionnel à l'épaisseur de la surface de diffusion. L'échangeur est représenté par l'épithélium des lamelles branchiales.

La surface d'échange de l'appareil branchial a une étendue moyenne de 1 à 10 cm² par gramme d'animal.

L'épithélium branchial simple et pavimenteux a une épaisseur d'environ 2 µm.

La différence de pression partielle entre l'eau et le sang le long des lamelles est assurée par le renouvellement de l'eau au contact de la surface d'échanges, appelée ventilation. La circulation à contre-courant des milieux extérieur et intérieur est à l'origine du maintien de la différence de pression partielle sur toute la longueur des lamelles branchiales.

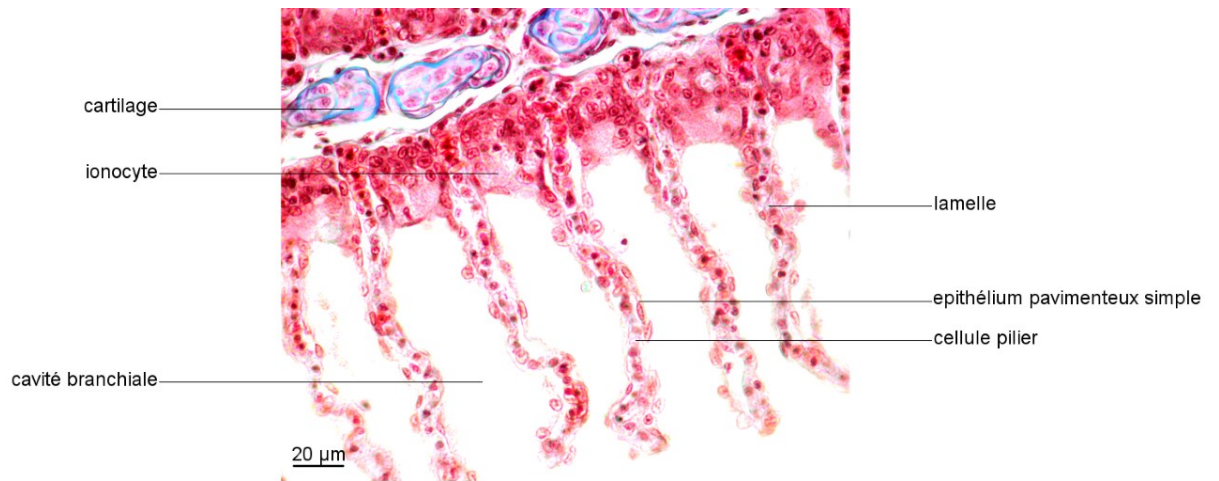
La fonction principale des branchies correspond aux échanges de gaz respiratoires. Les branchies possèdent d'autres fonctions, osmorégulatrice et excrétrice.

Les branchies : des organes effecteurs de l'homéostasie et excréteurs

Les branchies : des échanges actifs d'ions Na⁺ et Cl⁻ impliqués dans le maintien de l'équilibre hydroélectrolytique

Les Téléostéens marins vivent dans un milieu dont la salinité est de l'ordre de 35 g/l, alors que les Téléostéens dulçaquicoles évoluent dans un milieu dont la salinité est d'environ 0,5 g/l.

Figure 5. Ionocytes de branchie de Gardon en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les ions sodium (Na^+) et chlorures (Cl^-) traversent les membranes cellulaires grâce à des dispositifs spécifiques, transporteurs ou canaux, actifs ou passifs. L'eau traverse les membranes cellulaires grâce à des protéines membranaires appelées aquaporines. Les mouvements d'eau s'effectuent du milieu le moins concentré en solutés vers le milieu le plus concentré.

Les Téléostéens marins possèdent un milieu intérieur contenant trois fois moins d'ions sodium et chlorures que leur milieu de vie. Ils sont hypoosmotiques à leur environnement : la concentration osmotique du milieu extérieur est supérieure à celle du milieu intérieur. Des mouvements d'eau passifs se produisent, du milieu intérieur vers le milieu extérieur. Cela entraîne une perte importante d'eau pour ces animaux. Cette déshydratation est compensée par l'ingestion d'eau. L'eau consommée est chargée en ions sodium et chlorures, ce qui augmente la concentration en ions du milieu intérieur. Par ailleurs, ces ions pénètrent dans l'organisme par les surfaces corporelles perméables, comme l'épithélium respiratoire.

Les branchies extraient du sang les ions Na^+ et Cl^- et les expulsent dans le milieu extérieur par transport actif grâce à des ionocytes ou cellules à chlorures situées dans l'épithélium branchial. Ces cellules présentent une surface d'échange très vaste grâce à de nombreuses invaginations membranaires de forme tubulaire. Elles contiennent beaucoup de mitochondries qui apportent l'énergie nécessaire aux transports.

Les Téléostéens dulçaquicoles vivent dans des eaux peu concentrées en ions Na^+ et Cl^- par rapport à leur milieu intérieur. Ils sont hyperosmotiques vis-à-vis de leur environnement. L'eau entre passivement dans l'organisme, ce qui diminue la concentration osmotique du milieu intérieur. Les Téléostéens dulçaquicoles boivent peu d'eau contrairement aux Téléostéens marins. Parallèlement, les ions Na^+ et Cl^- traversent les surfaces corporelles perméables, de l'organisme vers le milieu extérieur. Les cellules branchiales captent des ions Na^+ et Cl^- , compensant les pertes liées aux flux spontanés.

Ces différents mécanismes participent au maintien de l'homéostasie.

Les branchies : des échanges actifs d'ions H_3O^+ et HCO_3^- impliqués dans le maintien de l'équilibre acido-basique

Chez les Téléostéens, les branchies ont un rôle de premier plan dans le maintien du pH du milieu intérieur. Si les milieux aquatiques présentent un pH globalement constant, les Téléostéens font face à des variations de pH de leur milieu intérieur, d'origine métabolique. La consommation des nutriments produit des substances acides (sulfates, phosphates, pyruvates).

Le pH dépend de la quantité d'acides et de bases en solution : plus il y a d'acides comme H_3O^+ dans le milieu plus le pH est bas, et plus il y a de base comme HCO_3^- plus le pH est élevé.

Les branchies contribuent à l'équilibre acido-basique par le biais d'échanges d'ions. Ils impliquent différents transporteurs dont les plus importants sont l'antiport $\text{Na}^+/\text{H}_3\text{O}^+$ (un ion sodium capté en échange d'un proton rejeté) et l'antiport $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ (un ion chlorure capté en échange d'un ion bicarbonate) qui permettent respectivement d'éliminer l'excès d'acide et de base. Les activités de ces transporteurs ioniques sont indépendantes.

Les branchies : des organes excréteurs

Les déchets azotés sont essentiellement représentés par l'ammoniac NH_3 . Le catabolisme des acides aminés et des bases azotées est à l'origine de la majeure partie de ces déchets. L'ammoniac est un composé hautement toxique pour l'organisme. Il est rapidement évacué ou subit des transformations en composés moins toxiques, l'acide urique et l'urée.

Les Téléostéens sont des organismes ammoniotéliques. En d'autres termes, ils excrètent la majorité de leurs déchets azotés sous forme d'ammoniac. Seuls 5% des déchets des Téléostéens sont transformés en urée éliminée par l'appareil excréteur rénal. Les 95% des déchets restants sont évacués par les branchies sous forme d'ammoniac.

L'ammoniac se trouve sous forme d'ions ammonium NH_4^+ au pH physiologiques. Étant chargés, ils peuvent difficilement être rejetés par diffusion simple. Leur élimination nécessite un transporteur. En l'occurrence, un antiport $\text{Na}^+/\text{NH}_4^+$ branchial fait sortir les ions ammonium de l'organisme.

Conclusion

Les branchies des Téléostéens sont des organes à multiples fonctions. Elles assurent les échanges respiratoires et contribuent à l'homéostasie grâce à des cellules spécifiques (ionocytes) et des protéines transmembranaires (canaux et transporteurs).

D'autres espèces possèdent des branchies avec des fonctions différentes telles que la prise de nourriture, chez la Moule par exemple.

Bibliographie et sitographie

Livres

Jacques Berthet et Alain Amar-Costesec. *Dictionnaire de biologie*. De Boeck. 2003. 1034 p.. [2-8041-2798-2]

Roger Eckert, David John Randall, Warren Burggren, Kathleen French, Alain Propper, et Louis Henquell. *Physiologie animale: mécanismes et adaptations*. De Boeck. 1999. 822 p.. [2-7445-0053-4]

Bill Indge. *La biologie de A à Z*. Dunod. 2004. 352 p.. *Sciences SUP*. [2-10007411-3]

Yvan Le Bras. *Étude génétique et génomique de la réponse à un changement de salinité chez la truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss**. Université de Rennes. 2010. 285 p.. *Thèse de l'université de Rennes 1*.

Michel Rieutort. *Physiologie animale : les grandes fonctions*. Masson. 1997. 322 p.. *Enseignement des sciences de la vie*. [222580480X]

Yves Turquier. *L'organisme dans son milieu, tome 2, l'organisme en équilibre avec son milieu*. Doin. 1998. 334 p.. [2704006954]

Sites internet

- Fabien Baillon et Philippe Lours. *Lois phénoménologiques de la diffusion : les équations de Fick In Au Cœur des Matériaux Cristallins [en ligne]*. Mines Albi-Carmaux. 2015 [date de consultation : 02 mai 2017]. Disponible sur : <http://nte.mines-albi.fr/SciMat/co/SM5uc1-2.html> .
- Romain Berardozi. *La respiration chez les animaux In Ressources en Sciences de la Vie et Sciences de la Terre [en ligne]*. Berardozi Romain. 2015 [date de consultation : 02 mai 2017]. Disponible sur : http://perso.ens-lyon.fr/romain.berardozi/SV/Respiration/respiration_animale_CAPES_3.php .
- Guillaume. *Master 1 | Physio Animale – Chapitre 5 : Excrétion chez les poissons, oiseaux et des mammifères adaptés In Biodeug [en ligne]*. Biodeug. 2012 [date de consultation : 02 mai 2017]. Disponible sur : <http://www.biodeug.com/master-1-physio-animale-chapitre-5-excretion-chez-les-poissons-oiseaux-et-des-mammiferes-adaptés/> .
- Tanguy Jean. *La respiration des Vertébrés en milieu aquatique et en milieu aérien. Comparaison de la fonction respiratoire chez les Téléostéens et chez les mammifères (terrestres) In tanguyjean.businesscatalyst.com [en ligne]*. Jean Tanguy. 2014 [date de consultation : 02 mai 2017]. Disponible sur : <http://tanguyjean.businesscatalyst.com/assets/correction-capes-blanc-21-11-2014-respiration.pdf> .
- François Saint-André. *Téléostéens et holostéens In Encyclopaedia Universalis[en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. 2017 [date de consultation : 02 mai 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/teleosteens-et-holosteens/> .
- Branchie In Wikipedia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. 2017 [date de consultation : 02 mai 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Branchie> .
- L'anatomie des poissons In Wikipedia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. 2017 [date de consultation : 02 mai 2017]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Anatomie_des_poissons .
- La respiration chez les animaux In Formation des maîtres Sciences de la Vie [en ligne]*. Université Pierre et Marie Curie. 2011 [date de consultation : 02 mai 2017]. Disponible sur : <http://maitres.snv.jussieu.fr/agreginterne/2-enseignement/Contenu%202010-2011/poly%20respiration.pdf> .
- Qu'est-ce que l'osmorégulation ? In Zoomalia [en ligne]*. Zoomalia. 2017 [date de consultation : 02 mai 2017]. Disponible sur : <http://www.zoomalia.com/blog/article/osmoregulation-poisson.html> .

Branchie et poumon, deux organes respiratoires des Vertébrés (Téléostéens et Mammifères)

Typhaine Brual <typhaine.brual@etu.univ-st-etienne.fr>

Vanessa Guarneri

<vanessa.guarneri@etu.univ-st-etienne.fr>

Cassandra Mirabel

<cassandra.mirabel@etu.univ-st-etienne.fr>

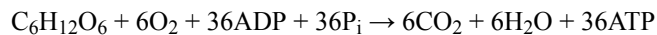
Léonore Simonnet

<leonore.simonnet@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Les Métazoaires réalisent des échanges gazeux respiratoires avec leur milieu de vie. À l'échelle de l'organisme, ces échanges consistent en un apport de dioxygène et un rejet de dioxyde de carbone. Ils sont le reflet d'une voie métabolique cellulaire : la respiration.

La respiration cellulaire est un ensemble de réactions de dégradation de nutriments permettant l'extraction d'énergie chimique. Elle est transférée dans une molécule fournissant de l'énergie aux cellules, l'adénosine triphosphate (ATP). Par exemple, si la molécule dégradée est le glucose, l'équation bilan de la respiration cellulaire est :



Parmi les Métazoaires figure le groupe des Vertébrés, organismes caractérisés par la possession d'une colonne vertébrale. Certains sont aquatiques comme les Téléostéens et d'autres sont aériens comme les Mammifères. Bien que l'eau et l'air contiennent tous deux du dioxygène et du dioxyde de carbone, ces milieux de vie présentent des caractéristiques différentes. Le milieu aérien est 30 fois plus riche en dioxygène que le milieu aquatique. De plus, le dioxygène et le dioxyde de carbone diffusent plus facilement dans l'air que dans l'eau. Enfin, le milieu aquatique est plus dense et visqueux que le milieu aérien et la poussée d'Archimède y est plus importante.

Ces différences conduisent à plusieurs questions relatives aux appareils respiratoires et aux échanges gazeux respiratoires.

Quelles sont les caractéristiques des appareils respiratoires en milieu aquatique et en milieu aérien, dans les cas des Téléostéens et des Mammifères ?

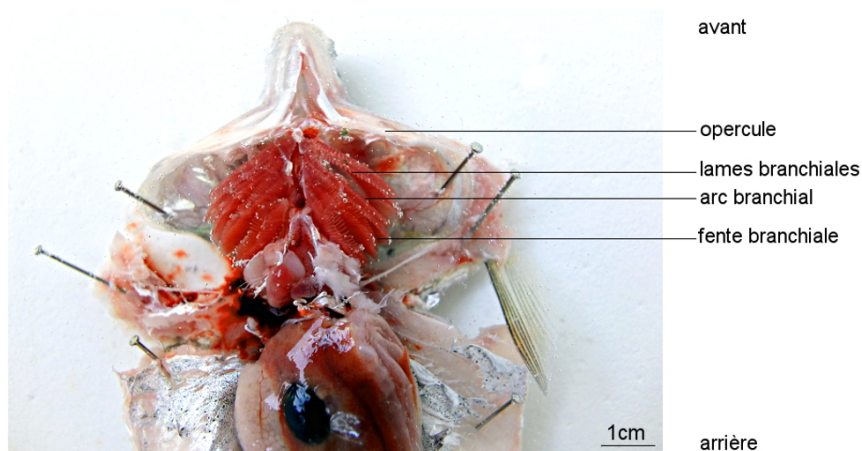
Comment sont réalisés les échanges gazeux respiratoires par ces animaux dans leurs milieux respectifs ?

Branchie et poumon : des organes d'échange des gaz respiratoires en milieu aquatique et en milieu aérien

Branchie et poumon : des organes des appareils respiratoires

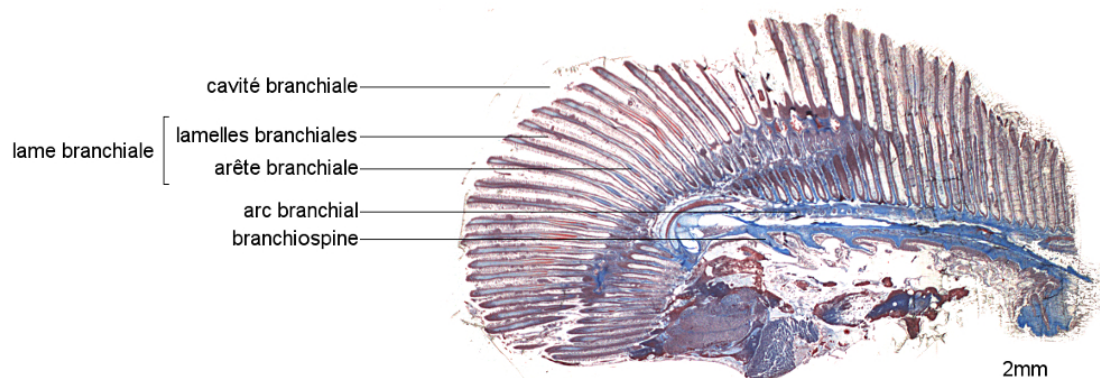
La branchie : un organe de l'appareil respiratoire des Téléostéens

Figure 1. Appareil branchial de Gardon en vue ventrale

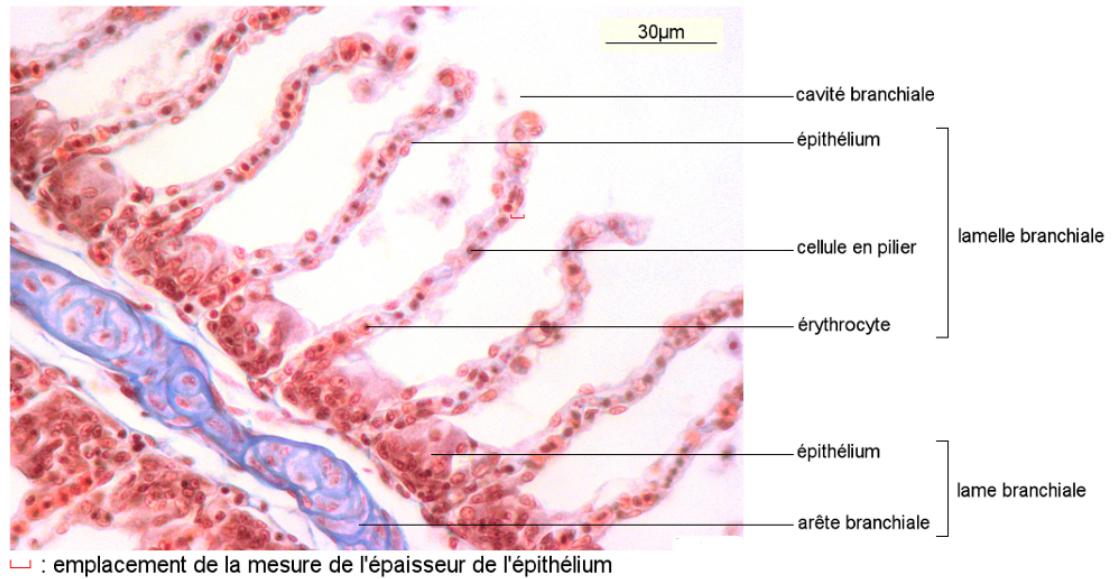


La dissection d'un Gardon révèle l'existence de quatre paires de branchies situées dans deux cavités branchiales latérales, protégées par les opercules. Chaque branchie est formée d'un arc branchial portant une succession de lames branchiales agencées en paires. Les arcs branchiaux sont séparés par les fentes branchiales. Les lames branchiales portent de multiples lamelles.

Figure 2. Branchie de Gardon en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



**Figure 3. Lamelle et lamelles branchiales de Gardon en coupe longitudinale
(Collection de l'ENS de Lyon)**

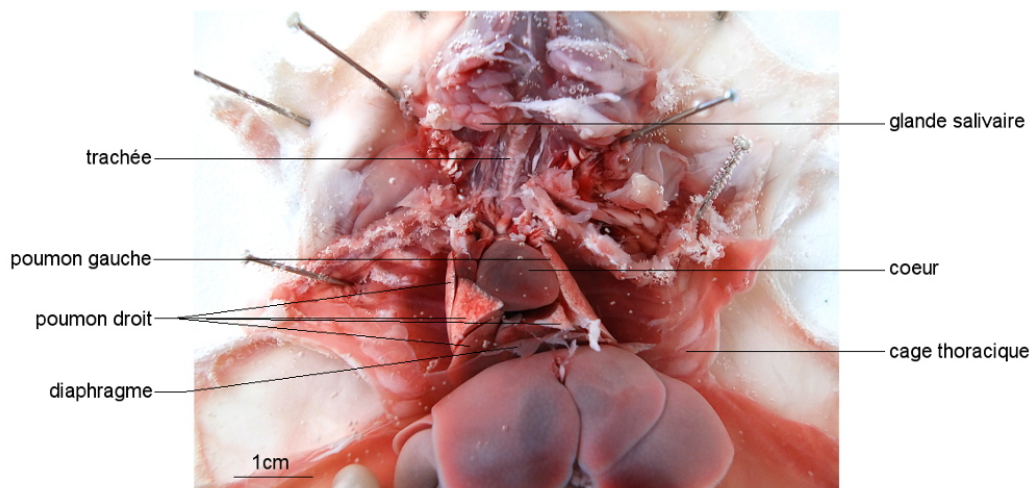


La lamelle est le lieu de l'hématose. Elle présente un épithélium unistratifié pavimenteux. Des cellules en pilier l'empêchent de s'effondrer.

Les branchies sont des évaginations du pharynx portées par le milieu aquatique dense. Qu'en est-il des poumons ?

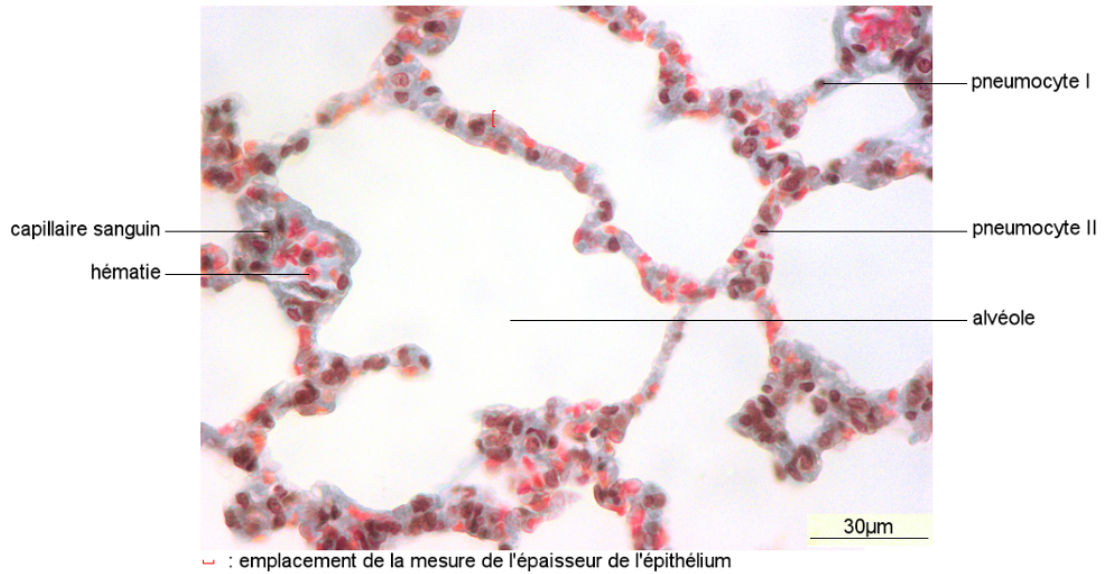
Le poumon : un organe de l'appareil respiratoire des Mammifères

Figure 4. Appareil pulmonaire de Souris en vue ventrale



L'appareil respiratoire de la Souris est constitué d'une trachée reliée aux poumons par des bronches. Le poumon droit est subdivisé en quatre lobes tandis que le poumon gauche est unilobé.

Figure 5. Alvéoles de poumon de Rat en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les bronches se subdivisent en bronchioles. Aux extrémités des bronchioles se situent les alvéoles pulmonaires, où sont réalisés les échanges gazeux. L'alvéole pulmonaire présente un épithélium unistratifié constitué de plusieurs types cellulaires : les pneumocytes de type I, pavimenteux et les pneumocytes de type II cubiques.

Les poumons sont des invaginations du pharynx alors que les branchies sont des évaginations pharyngiennes.

Branchie et poumon : des échangeurs adaptés à la diffusion des gaz respiratoires

Les échangeurs des gaz respiratoires sont représentés par les lamelles branchiales chez les Téléostéens et par les alvéoles pulmonaires chez les Mammifères.

Ces surfaces représentent 400 cm² chez la Truite et 70 à 100 m² chez un adulte de l'espèce humaine. La surface de l'échangeur est donc élevée par rapport à la surface de l'organisme.

La mesure de l'épaisseur de l'échangeur sur des coupes histologiques révèle une distance de 3,3 µm entre milieu extérieur et milieu intérieur chez le Gardon et de 1,7 µm chez le Rat. La paroi est donc très fine.

Ces caractéristiques permettent une optimisation des échanges gazeux respiratoires. Le passage du dioxygène du milieu extérieur vers le sang et du dioxyde de carbone du sang vers le milieu extérieur s'effectue par diffusion simple. La diffusion est un mécanisme de passage de molécules d'un compartiment où elles sont concentrées vers un autre moins où elles sont moins concentrées. Réalisée selon le gradient de concentration, elle n'implique pas de consommation d'énergie.

La loi de Fick décrit la diffusion. Dans le cas d'un gaz noté x, son expression est :

$$J_x = K_x \times \Delta P_x \times S / E$$

avec

- K_x , constante de diffusion du gaz en mol.s⁻¹.m⁻¹.Pa⁻¹ ;
- ΔP_x , différence de pression partielle entre milieu extérieur et milieu intérieur en Pa ;

- S, aire de la surface d'échanges en m^2
- E, épaisseur de la surface d'échanges en m.

Le flux J est exprimé en $mol.s^{-1}$.

D'après la loi de Fick, le flux est plus important si l'aire de la surface d'échanges est grande et que son épaisseur est faible. La structure des branchies et des poumons est telle que les échanges sont optimisés.

Branchie et poumon : des échangeurs fragiles mais protégés

Les échangeurs respiratoires des Téléostéens et des Mammifères présentent une grande surface et une faible épaisseur. Ces caractéristiques les rendent fragiles vis-à-vis de divers agents extérieurs tels que les agents pathogènes, la pression chez les Téléostéens, la déshydratation chez les Mammifères.

Les branchies des Téléostéens sont isolées du milieu extérieur grâce aux opercules. Elles résistent à la pression exercée par l'eau à l'aide des cellules en pilier. Les poumons des Mammifères sont quant à eux protégés par la cage thoracique. Les pneumocytes de type II produisent une substance nommée surfactant dont la fonction est de diminuer la tension superficielle des bronchioles et des alvéoles.

L'air et l'eau transportent des particules en suspension susceptibles d'entrer dans l'appareil respiratoire et d'altérer son fonctionnement.

Chez les Téléostéens, l'épithélium des lamelles branchiales et la production de mucus par les mucocytes permettent de bloquer les particules. Chez les Mammifères, les cellules caliciformes de l'épithélium de la cavité nasale produisent du mucus qui purifie l'air en emprisonnant les particules, l'ensemble est ensuite évacué grâce aux mouvements des cils des cellules épithéliales. Ce mucus contient également une enzyme antibactérienne, le lysozyme, assurant une protection efficace contre les infections. Les macrophages alvéolaires dégradent également les antigènes.

Les Téléostéens font face à une différence d'osmolarité entre l'eau et leur milieu intérieur. Par exemple, un Téléostéen vivant en milieu marin évolue dans un milieu extérieur très concentré en ions tandis que son milieu intérieur l'est peu. L'eau a donc tendance à quitter le milieu intérieur et les ions à y entrer. La boisson et le fonctionnement de pompes à ions contribuent au maintien des concentrations ioniques du compartiment interne. Enfin, la structure invaginée des poumons permet de saturer l'air entrant dans l'appareil respiratoire en vapeur d'eau, ce qui limite la déshydratation de l'échangeur.

Les branchies et les poumons bénéficient ainsi d'une protection efficace.

Branchie et poumon : des interfaces avec convection des milieux extérieur et intérieur

Branchie et poumon : renouvellement du milieu extérieur par ventilation

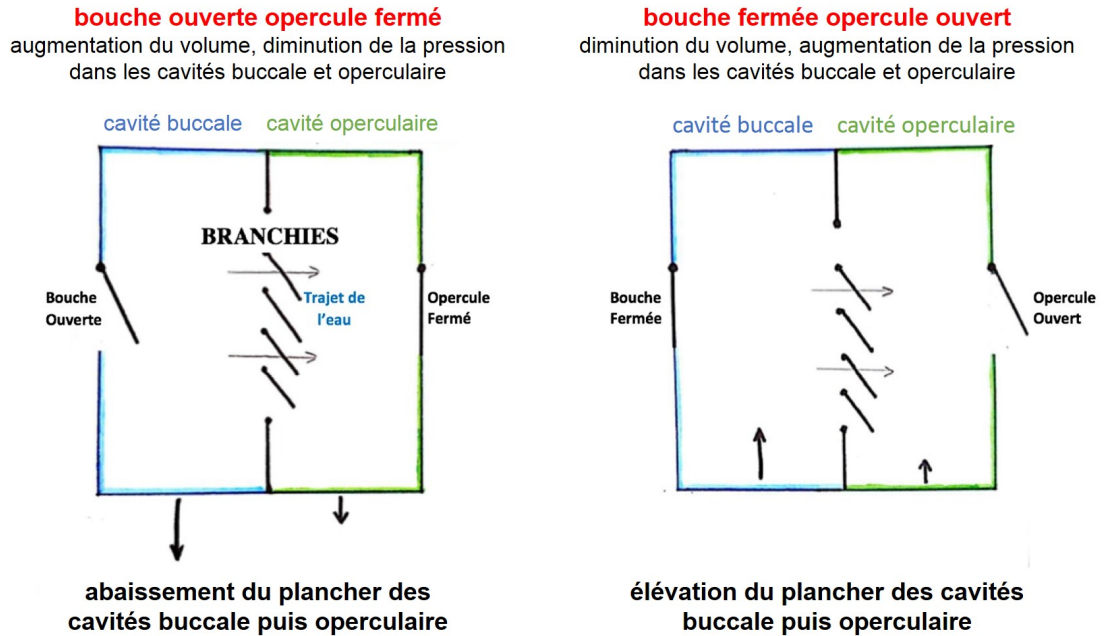
Les Téléostéens et les Mammifères renouvellent respectivement l'eau et l'air présents au contact des surfaces d'échanges respiratoires. Ce mécanisme engendre une différence de pression partielle de dioxygène entre les milieux extérieur et intérieur. La pression partielle du dioxygène est plus importante à l'extérieur qu'à l'intérieur de l'organisme, autorisant la diffusion du dioxygène vers l'organisme. Le renouvellement du milieu extérieur assure le remplacement du dioxygène ayant diffusé.

La convection du milieu externe au contact de l'échangeur respiratoire est appelée ventilation et est réalisée différemment chez les Téléostéens et les Mammifères.

La branchie : un renouvellement de l'eau par convection unidirectionnelle

La ventilation des Téléostéens est divisée en deux phases.

Figure 6. Phases de la ventilation chez les Téléostéens



Le passage de l'eau de la bouche vers les ouïes, orifices des cavités operculaires, est dû aux mouvements du plancher de la cavité buccale et des opercules. Ils provoquent l'augmentation ou la diminution de leur volume selon que les orifices sont ouverts ou fermés. En conséquence, la pression hydrostatique varie dans la cavité buccale et dans la cavité operculaire, et l'eau est aspirée ou expulsée.

Le milieu aquatique est dense et visqueux, le mettre en mouvement nécessite une dépense énergétique importante. Une ventilation unidirectionnelle dans laquelle l'eau parcourt un trajet une fois dans un seul sens permet de réduire la dépense énergétique.

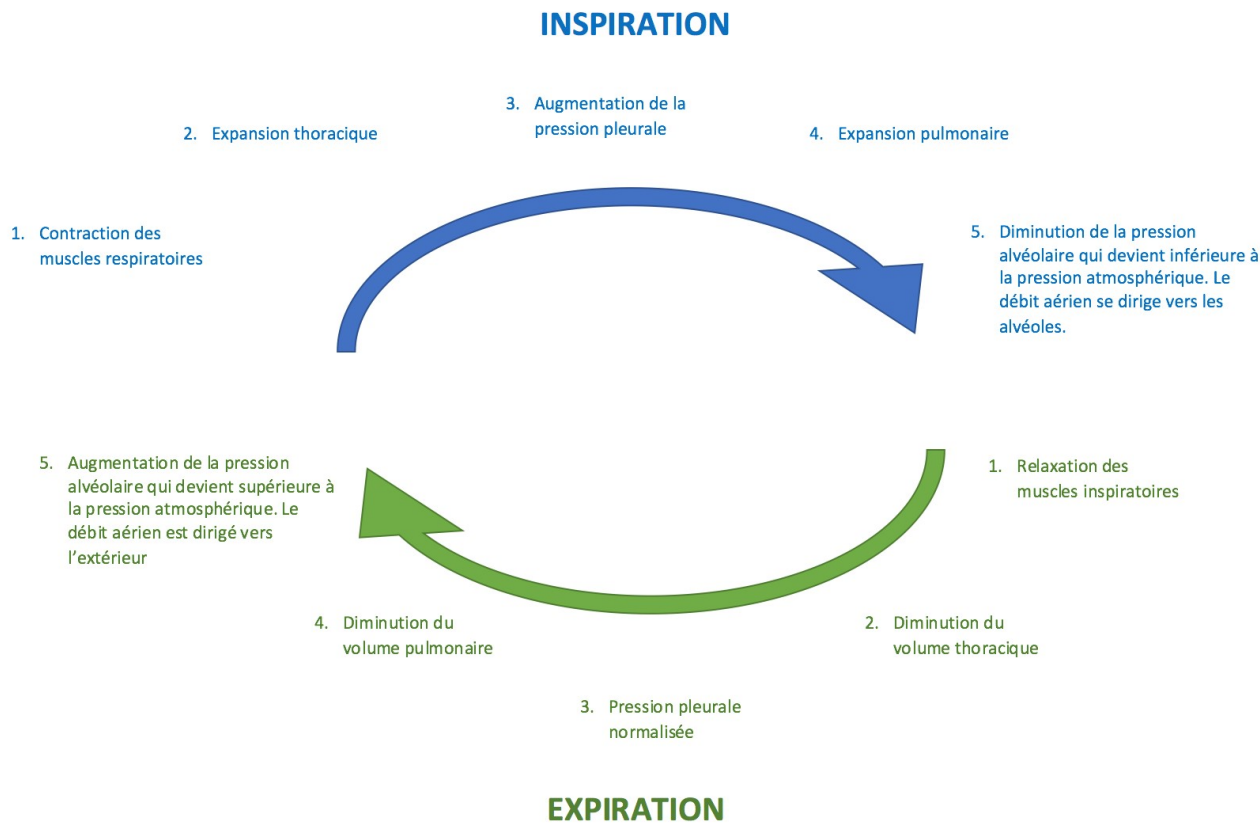
Le sang et l'eau ne circulent pas dans le même sens, ce système contre-courant permet une meilleure extraction du dioxygène en maintenant une différence de pression partielle de dioxygène constante, sur toute la longueur de l'échangeur.

Grâce à la ventilation, les Téléostéens prélèvent efficacement du dioxygène dans un milieu extérieur relativement pauvre en ce gaz.

Le poumon : un renouvellement de l'air par convection bidirectionnelle

La ventilation chez les Mammifères est le renouvellement rythmique de l'air alvéolaire. Elle implique par des mouvements thoraciques et comporte deux phases : l'inspiration et l'expiration.

Figure 7. Phases de la ventilation chez les Mammifères



Lors de l'inspiration, le diaphragme s'abaisse et les muscles intercostaux se contractent : le volume de la cage thoracique augmente. Les plèvres enveloppent les poumons et assurent leur liaison dynamique avec le diaphragme et les muscles intercostaux. Ainsi l'expansion thoracique entraîne une augmentation du volume des poumons transmise par les plèvres. L'augmentation du volume provoque une baisse de pression du gaz alvéolaire. La pression alvéolaire devenant inférieure à la pression atmosphérique, l'air entre dans les poumons.

Lors de l'expiration, les muscles se relâchent et le diaphragme remonte. le volume de la cage thoracique puis des poumons diminue et ainsi la pression du gaz alvéolaire augmente. La pression alvéolaire devient supérieure à la pression atmosphérique, l'air est expulsé des poumons.

Chez la Souris par exemple, le volume d'air successivement inspiré et expiré est de 0,8 ml.

Chez les Mammifères le trajet de l'air est bidirectionnel : il entre puis sort par le même orifice.

Branchie et poumon : renouvellement du milieu intérieur par circulation

Le sang est renouvelé au niveau des échangeurs respiratoires. De cette manière, la pression partielle du dioxygène à l'intérieur de l'organisme demeure plus faible qu'à l'extérieur. Ceci contribue à augmenter le flux entrant de dioxygène. Concernant le dioxyde de carbone, la pression partielle à l'intérieur de l'organisme est maintenue à un niveau plus élevé qu'à l'extérieur, et le flux sortant est favorisé.

Chez les Téléostéens comme chez les Mammifères, le dioxygène est pris en charge par l'hémoglobine des globules rouges du sang circulant sous la surface d'échanges des gaz respiratoires. La circulation du sang et la combinaison du dioxygène avec l'hémoglobine provoquent une diminution locale de la pression partielle de dioxygène du milieu intérieur.

Les relations entre convections externe et interne diffèrent entre Téléostéens et Mammifères. Chez les Téléostéens, la ventilation est unidirectionnelle. L'eau circule dans un sens entre les lamelles branchiales et contient relativement peu de dioxygène. Au sein des lamelles branchiales, le liquide interne circule dans le sens opposé de celui de l'eau : il s'agit d'un système à contre-courant. Ce système permet une capture efficace du dioxygène. Chez les Mammifères, la ventilation est bidirectionnelle. L'air parcourt le même trajet deux fois, et il n'existe pas de sens de circulation particulier du sang par rapport à l'air. Ce système est moins efficace que celui des Téléostéens, mais la richesse de l'air en dioxygène permet un apport suffisant.

Conclusion

Les branchies et les poumons réalisent une fonction commune : les échanges gazeux respiratoires par diffusion. Dans les deux cas, les performances respiratoires sont augmentées grâce à une importante surface d'échanges due aux nombreux replis de l'épithélium de l'appareil respiratoire et à sa faible épaisseur.

La mise en mouvement du milieu extérieur améliore le renouvellement du dioxygène au contact de la surface d'échanges et draine le dioxyde de carbone. La distribution du dioxygène dans le milieu intérieur est favorisée par sa prise en charge par l'hémoglobine.

Bien que ces systèmes soient différents, ils peuvent aussi être présents simultanément chez des animaux comme les Dipneustes, possédant des branchies et des poumons fonctionnels. Les poumons permettent les échanges gazeux respiratoires en surface et les branchies dans l'eau. De même les Lissamphibiens possèdent ces deux types d'appareils respiratoires au cours de leur vie. Le changement de milieu de vie intervenant au moment de la métamorphose est accompagné d'un changement d'appareil respiratoire, de branchial à pulmonaire, permettant une adaptation au milieu de vie.

Bibliographie et sitographie

Livres

André Beaumont, Jean Paul Truchot, et Louis Du Pasquier. *Respiration, circulation, système immunitaire*. Dunod. 1995. 261p.. *Biologie des Vertébrés*. [2-10-002638-0]

Neil Campbell et Jane Reece. *Biologie*. 3ème édition française. Pearson Education. 2007. 1486 p.. [978-2-7440-7223-9]

Romarc Foret. *Dico de io*. De Boeck. 2004. 566 p.. [2-8041-4628-6]

Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de la biologie animale*. Dunod. 2015. 219 p.. *Sciences sup*. [978-2-10-071233-5]

Daniel Richard, Patrick Chevalet, Sylvie Fournel, Frédéric Gros, Patrick Laurenti, Fabienne Pradère, et Thierry Soubaya. *Biologie: licence : tout le cours en fiches*. Dunod. 2010. 696 p.. [978-2-10-053449-4]

Yves Turquier. *L'organisme dans son milieu tome 2, l'organisme en équilibre avec son milieu*. Doin. 1994. 334 p.. [2-7040-0695-4]

Sites internet

Romain Berardozzi. *La respiration chez les animaux In Ressources en Sciences de la Vie et Sciences de la Terre [en ligne]*. Romain Berardozzi. [date de consultation : 16 mars 2017]. Disponible sur : http://perso.ens-lyon.fr/romain.berardozzi/SV/Respiration/respiration_animale_CAPES_2.php .

Branchie et poumon, deux
organes respiratoires des Vertébrés
(Téléostéens et Mammifères)

- François Dart. *Chapitre 1 Compartiments - Relations hydriques 2. Osmorégulation des liquides extracellulaires* In *coproweb.free.fr [en ligne]*. François Dart. [date de consultation : 16 février 2017]. Disponible sur : <http://coproweb.free.fr/pagphy/physioan/ch1s2.htm#top> .
- Pierre Dejours. *Vie animale dans l'air et dans l'eau* In *Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 16 février 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/animal-vie-dans-l-eau-et-dans-l-air/> .
- Tanguy Jean. *La fonction respiratoire chez les Métazoaires* In *tanguyjean.businesscatalyst.com [en ligne]*. Jean Tanguy. [date de consultation : 16 février 2017]. Disponible sur : <http://tanguyjean.businesscatalyst.com/assets/capes-respiration-t-jean.pdf> .
- Tanguy Jean. *La respiration des Vertébrés en milieu aquatique et en milieu aérien. Comparaison de la fonction respiratoire chez les Téléostéens et chez les mammifères (terrestres)* In *tanguyjean.businesscatalyst.com [en ligne]*. Jean Tanguy. 2014 [date de consultation : 16 février 2017]. Disponible sur : <http://tanguyjean.businesscatalyst.com/assets/capes-blanc-21-novembre-2014.pdf> .
- Sandrine Launois-Rollinat. *UE3-2 - Physiologie - Physiologie respiratoire Chapitre 3 : Ventilation pulmonaire (2) Le cycle respiratoire* In *Université Numérique Francophone des Sciences de la Santé et du Sport [en ligne]*. Cellule TICE de la faculté de pharmacie et de médecine de Grenoble. 2011 [date de consultation : 01 mars 2017]. Disponible sur : http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble_1112/launois_rollinat_sandrine/launois_rollinat_sandrine_p03/launois_rollinat_sandrine_p03.pdf .
- Yves Muller. *Licence de Biologie - Cours de Physiologie animale Chapitre 7-2 Respiration et milieu de vie : La ventilation [vidéo en ligne]*. Youtube. 2015 [date de consultation : 01 mars 2017]. Disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=u0SNQsd0saQ> .
- Les poissons comme tous les animaux respirent* In *Vie océane [en ligne]*. Vie océane. [date de consultation : 16 mars 2017]. Disponible sur : <http://vieoceane.free.fr/paf/fichef2a.html> .
- Mammifère* In *Dictionnaire de français [en ligne]*. Jeuge-Maynard Isabelle - Larousse. [date de consultation : 01 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/mammif%C3%A8re/49008> .
- Système respiratoire* In *Ratoupédia l'encyclopédie du rat domestique [en ligne]*. Ratoupédia l'encyclopédie du rat domestique. [date de consultation : 25 avril 2017]. Disponible sur : http://www.ratoupedia.org/archive/Syst%C3%A8me_respiratoire/index.html .
- Téléostéen* In *Dictionnaire de français [en ligne]*. Jeuge-Maynard Isabelle - Larousse. [date de consultation : 01 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/t%C3%A9l%C3%A9ost%C3%A9en/77107> .

Les gaz respiratoires, de l'échangeur à la cellule et inversement

Jeanne Cartier Millon

<jeanne.cartier.millon@etu.univ-st-etienne.fr>

Férial Mancouri <ferial.mancouri@etu.univ-st-etienne.fr>

Lison Massardier

<lison.massardier@etu.univ-st-etienne.fr>

Johan Oca <johan.oca@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Les organismes animaux vivent en milieu aquatique, aérien ou souterrain. Le dioxygène et le dioxyde de carbone sont des gaz présents dans ces milieux. Le dioxygène est nécessaire au métabolisme des cellules animales qui produit du dioxyde de carbone. Le premier entre dans l'organisme alors que le second en sort, les échanges étant réalisés au niveau d'un échangeur. Par définition, un échangeur est une surface constituée d'un épithélium, à travers laquelle des molécules provenant du milieu extérieur entrent dans l'organisme et des molécules issues de l'organisme gagnent le milieu extérieur.

L'échangeur des gaz respiratoires se situe au niveau des poumons pour les Mammifères, des branchies pour les Téléostéens, du tégument pour certaines Annélides ou encore des trachées pour les Insectes. Le dioxygène se déplace dans l'organisme sous différentes formes jusqu'aux cellules consommatrices, le dioxyde de carbone empruntant le chemin inverse.

Plusieurs problèmes se posent.

Comment les organismes réalisent-ils les échanges gazeux entre les milieux extérieur et intérieur ?

D'où proviennent les gaz échangés ?

Comment entrent-ils dans l'organisme et en sortent-ils ?

Quelles sont les modalités de transport des gaz dans le corps ?

Que deviennent les gaz dans les cellules ?

Quels sont leurs rôles ?

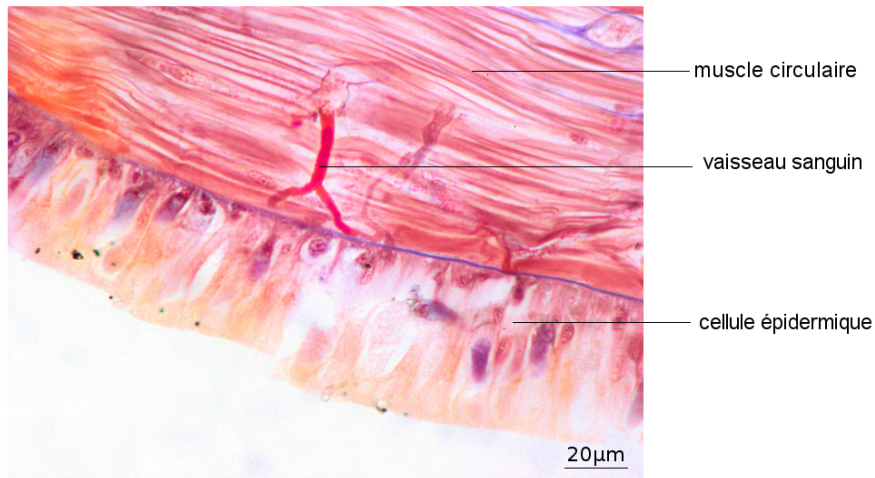
Quel est le lien entre métabolisme cellulaire et échanges gazeux à l'échelle de l'organisme ?

L'échangeur et le transfert des gaz respiratoires entre les milieux extérieur et intérieur

La diversité des organes respiratoires et les plans d'organisation

Certains organismes comme les Annélides ne possèdent pas d'appareil respiratoire. Le Lombric est un exemple d'Annélide oligochète souterraine.

Figure 1. Enveloppe corporelle de Lombric en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les échanges de gaz respiratoires se font à travers le tégument. Il est formé d'une seule couche de cellules épidermiques et d'une cuticule. C'est un épithélium simple prismatique qui repose sur une membrane basale. Les cellules de l'épiderme produisent du mucus. Il permet de garder la surface du tégument humide. Le tégument est perméable aux gaz respiratoires. Les vaisseaux sanguins de l'appareil circulatoire clos sont situés directement sous l'épiderme. Le dioxygène diffuse passivement à travers l'épiderme et rejoint les vaisseaux sanguins et inversement pour le dioxyde de carbone.

Dans le cas des animaux aquatiques comme les Téléostéens, les échanges gazeux sont réalisés par des branchies.

Figure 2. Branchie de Gardon en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)

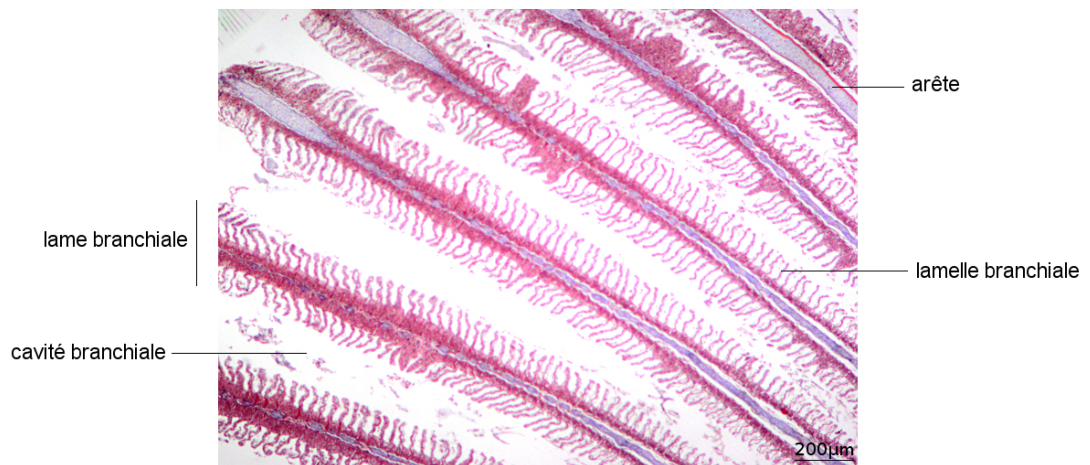
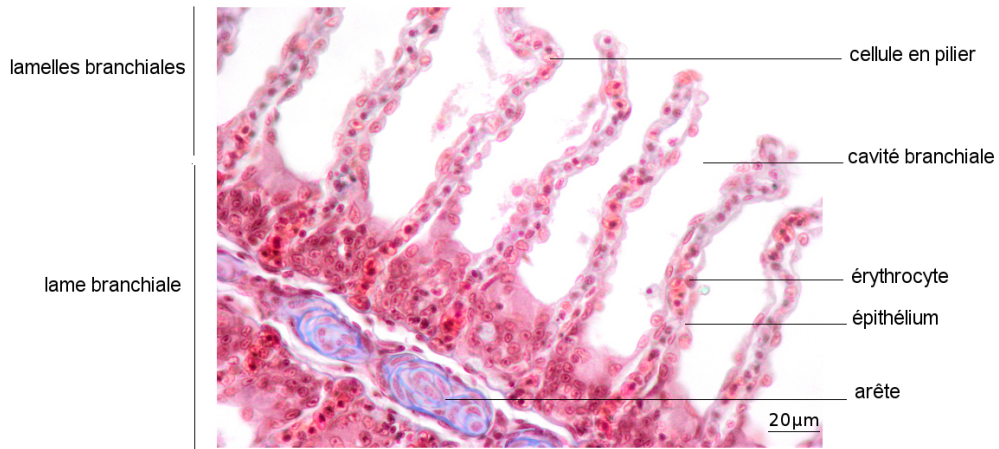


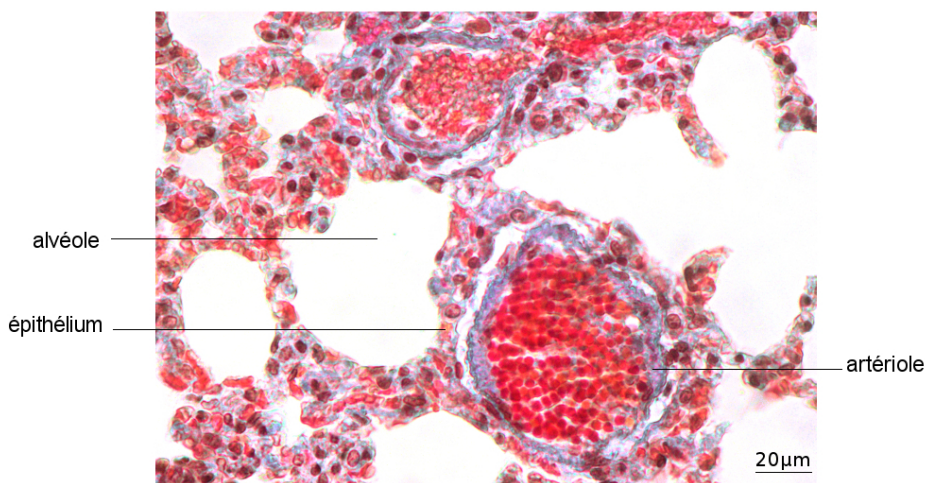
Figure 3. Lame et lamelles de branchie de Gardonen coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Portées par des axes branchiaux squelettiques, les branchies sont constituées d'une succession de paires de lames branchiales. Les lames branchiales sont couvertes d'un épithélium pluristratifié cubique ou pavimenteux, soutenu par du tissu conjonctif fibreux dans lequel courent des vaisseaux sanguins et du tissu cartilagineux. Les lames branchiales sont hérissées de lamelles branchiales perpendiculaires à leur surface. Ces lamelles branchiales possèdent un épithélium simple pavimenteux soutenu par des cellules en pilier, entre lesquelles sont situées des lacunes contenant des érythrocytes. Le dioxygène diffuse passivement à travers l'épithélium des lamelles puis rejoint les vaisseaux sanguins et inversement pour le dioxyde de carbone. L'appareil circulatoire est clos

Chez les animaux terrestres comme les Mammifères, les échanges de gaz ont lieu dans les poumons.

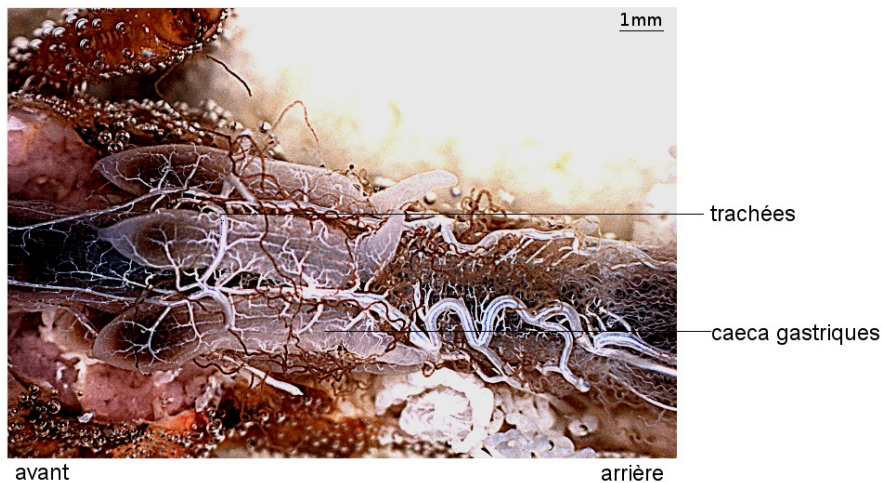
Figure 4. Alvéoles de poumons de Rat en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Dans les poumons, les voies respiratoires, trachée et bronches, se ramifient en bronchioles ouvertes sur des alvéoles. L'épithélium des alvéoles est simple et pavimenteux, majoritairement formé de pneumocytes I. Il repose sur du tissu conjonctif contenant des capillaires sanguins, l'ensemble constituant la paroi alvéolo-capillaire. L'air entre dans les poumons et le dioxygène qu'il contient diffuse à travers cette paroi jusqu'à la lumière des capillaires sanguins et inversement pour le dioxyde de carbone. L'appareil circulatoire est clos.

L'appareil respiratoire des Insectes est constitué de trachées.

Figure 5. Anatomie de la jonction thoraco-abdominale du Criquet en vue dorsale



Les trachées sont des tubes délimités par un épithélium simple et recouvert d'une cuticule. Elles se ramifient dans l'organisme, le dernier niveau de division correspond aux trachéoles. Les trachées communiquent avec l'extérieur par les stigmates. Ce sont des orifices des pleurites capables de s'ouvrir ou se fermer. Les gaz respiratoires entrent dans et sortent de l'appareil trachéen par les stigmates. Le dioxygène parvient aux cellules consommatrices acheminé par les trachées et diffuse passivement à travers les trachéoles. Il n'y a pas d'intervention de l'appareil circulatoire dans le transport des gaz respiratoires.

À la lumière des exemples étudiés, il apparaît que les organes respiratoires des animaux ont des structures diverses. Cependant, tous présentent un échangeur de gaz respiratoires constitué d'un épithélium simple. Leurs cellules sont toutefois de formes différentes. Les gaz respiratoires traversent les échangeurs par diffusion passive.

L'unité des échangeurs des gaz respiratoires et la diffusion

Au niveau de l'échangeur, les gaz respiratoires entrent et sortent de l'organisme. La diffusion permet le passage du dioxygène et du dioxyde de carbone entre les milieux extérieur et intérieur séparés par un épithélium. Cette diffusion est possible du fait de la perméabilité des membranes aux petites molécules gazeuses. Elle ne nécessite ni transporteur ni énergie, elle est passive. Elle suit la loi de Fick.

Dans le cas d'un gaz noté x, son expression est :

$$J_x = K_x \times \Delta P_x \times S / E$$

avec

- J_x , flux en $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$;
- K_x , constante de diffusion du gaz en $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$;
- ΔP_x , différence de pression partielle entre milieu extérieur et milieu intérieur en Pa ;
- S, aire de la surface d'échanges en m^2 ;
- E, épaisseur de la surface d'échanges en m.

Le flux de diffusion varie selon la surface et l'épaisseur de l'échangeur ainsi que la différence de pression partielle de part et d'autre de l'échangeur. La diffusion est d'autant plus efficace que l'échangeur a une grande surface et une faible épaisseur. Ce flux est accru par une augmentation de la surface de l'échangeur, comme la présence de lamelles branchiales dans les branchies ou d'alvéoles

dans les poumons. Il est augmenté par la faible épaisseur de l'échangeur, réalisée avec un épithélium simple.

La différence de pression partielle reflète la différence de concentration en gaz de part et d'autre de l'échangeur. Elle résulte de deux processus : le renouvellement du milieu extérieur au contact de l'échangeur par ventilation et du milieu intérieur par la circulation.

La diversité des organes respiratoires et la ventilation

Les gaz respiratoires se déplacent suivant un gradient de pression partielle. Ils diffusent du point où la pression partielle est la plus forte vers le point où la pression partielle est la plus faible. Le renouvellement du dioxygène dans le milieu extérieur au contact de l'échangeur des gaz respiratoires se fait par ventilation. Elle est à l'origine des gradients de pressions partielles des gaz respiratoires existant entre les milieux extérieur et intérieur de part et d'autre de la surface d'échanges des gaz respiratoires. Elle assure également son maintien.

La ventilation n'est pas présente chez toutes les espèces, elle est par exemple absente chez le Lombric dont les échanges gazeux respiratoires sont tégumentaires.

Chez les Annélides aquatiques, la ventilation est réalisée par des mouvements ondulatoires du corps. Ils permettent le renouvellement des gaz respiratoires au niveau du tégument, interface respiratoire de l'organisme. Dans le cas des animaux aquatiques, la ventilation est unidirectionnelle. Ce type de ventilation est favorisé car l'eau est un milieu visqueux, dont la mise en mouvement est coûteuse en énergie. Le dioxygène est sous forme dissoute dans l'eau.

Pour les Téléostéens, l'eau entre dans la cavité buccale par la bouche, puis atteint le pharynx. Elle traverse ensuite les fentes branchiales, gagne les cavités branchiales et sort par les ouïes. La fermeture de la bouche et le relèvement du plancher buccal augmentent la pression hydrostatique dans la cavité buccale. En conséquence, l'eau transite de la cavité buccale vers la cavité branchiale dont les opercules s'écartent avant que les ouïes s'ouvrent. Lorsque la bouche est ouverte et que les ouïes se ferment, alors que le plancher buccal s'abaisse et que les opercules s'écartent, l'eau entre dans la cavité buccale.

Dans le cas des Mammifères, la ventilation est bidirectionnelle. Ce type de ventilation est favorisé en milieu aérien, en raison de la faible viscosité de l'air. L'air entre par le nez ou la bouche, puis passe dans la cavité buccopharyngée, dans la trachée, puis les bronches et bronchioles qui l'acheminent jusqu'aux alvéoles. L'inspiration et l'expiration impliquent les mêmes orifices, et se font par contraction et relâchement des muscles intercostaux. Un gradient de pression est généré entre la bouche ou le nez et l'échangeur. Lors de l'inspiration, le volume pulmonaire augmente et la pression diminue dans les alvéoles pulmonaires. Au moment de l'expiration, le volume pulmonaire diminue et la pression augmente dans les alvéoles pulmonaires. L'air inspiré permet de renouveler le dioxygène au niveau de l'échangeur, et d'augmenter la pression partielle de ce gaz dans l'air alvéolaire, alors que l'air expiré permet l'évacuation du dioxyde de carbone, et la diminution de la pression partielle de ce gaz dans l'air alvéolaire.

Dans le cas des Insectes comme le Criquet, la ventilation est bidirectionnelle. L'ouverture des stigmates permet l'entrée et la sortie de l'air des trachées. Elle implique la contraction et le relâchement des muscles abdominaux.

Le milieu intérieur et le transport des gaz respiratoires entre échangeur et cellules

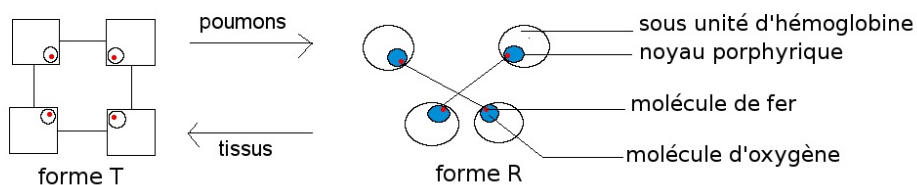
Le liquide interstitiel est un liquide extracellulaire dans lequel baignent les cellules. Les gaz respiratoires sont dissous dans ce liquide avant de diffuser des cellules vers l'appareil circulatoire et inversement. Les transports des gaz respiratoires sont réalisés de façons diverses dans les liquides circulants. Le dioxygène et le dioxyde de carbone sont transportés soit sous forme dissoute dans le plasma ou l'hémolymphe, soit fixés à des molécules spécialisées. Il s'agit de pigments respiratoires qui peuvent être libres dans les liquides circulants ou localisés au sein de cellules circulantes spécialisées. Il en existe plusieurs : l'hémoglobine, la chlorocruorine, l'hémérythrine et l'hémocyanine.

L'entrée et le transport du dioxygène dans le milieu intérieur

Une fois traversé l'épithélium par diffusion, le dioxygène est pris en charge par les liquides circulants, généralement au sein d'un appareil circulatoire. Une partie du dioxygène est dissoute dans le sang ou dans l'hémolymphe. Une autre partie est fixée par un pigment respiratoire. Chez les Mammifères et les Téléostéens, le dioxygène est fixé sur l'hémoglobine. Ce pigment est contenu dans des cellules sanguines spécialisées, les érythrocytes. Chez les Mammifères, les érythrocytes ne possèdent pas de noyau, ce sont des hématies.

Les hémoglobines sont constituées de quatre sous-unités : deux sous-unités alpha (α) et deux sous-unités bêta (β). Elles possèdent chacune un groupement porphyrique avec au centre un atome de fer. Le fer de l'hémoglobine, qu'elle soit liée ou non au dioxygène, reste toujours sous sa forme ferreuse (Fe^{2+}).

Figure 6. Formes tendue et relâchée de l'hémoglobine

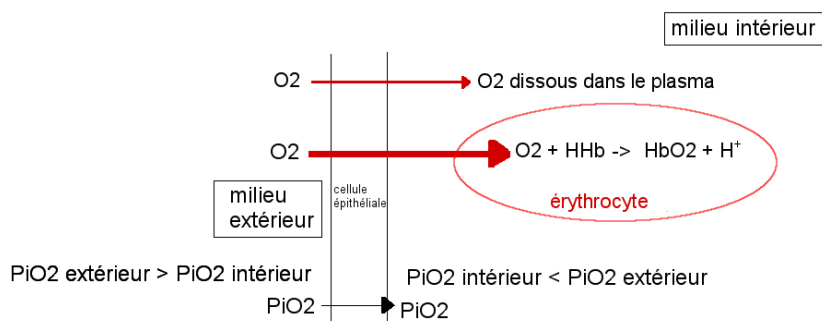


Le dioxygène est fixé par les groupements porphyriques. La fixation provoque une modification de la conformation de l'hémoglobine, qui de tendue en absence de dioxygène devient relâchée lorsqu'elle est associée à quatre molécules de dioxygène. L'affinité de l'hémoglobine pour le dioxygène varie avec le nombre de molécules de dioxygène fixées. Cette propriété permet à l'hémoglobine de jouer le rôle de transporteur. Il existe une autre protéine capable de fixer le dioxygène, la myoglobine. Principalement localisée dans les cellules des organes comme les muscles, elle a une très forte affinité pour le dioxygène et ne peut jouer le rôle de transporteur principal. La myoglobine est utilisée dans le stockage du dioxygène dans le muscle.

Le pH du milieu influence l'affinité de l'hémoglobine pour le dioxygène. C'est l'effet Bohr. Lorsque le pH est acide, la dissociation du dioxygène et du pigment est facilitée. Lorsque le pH est basique, l'association du dioxygène à l'hémoglobine est favorisée.

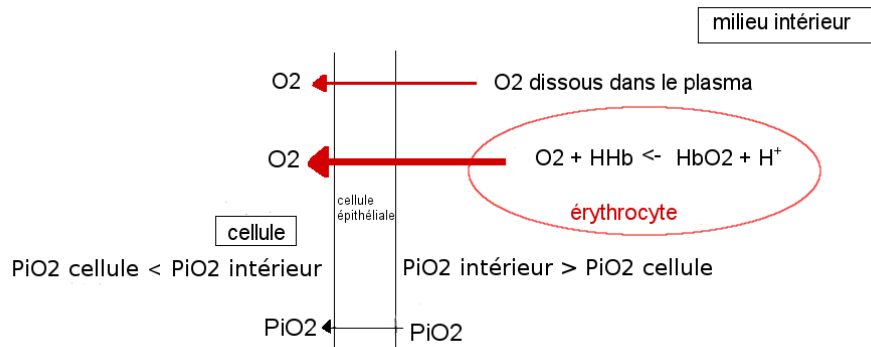
À son entrée dans le milieu intérieur, le dioxygène s'associe à l'hémoglobine réduite (HHb), se fixant sur l'atome de fer. Cette fixation forme l'oxyhémoglobine (HbO_2) et est accompagnée de la libération d'un proton. Le dioxygène est transporté dans l'érythrocyte sous forme d'oxyhémoglobine jusqu'aux cellules des différents organes.

Figure 7. Le dioxygène : de l'échangeur à la prise en charge par le milieu intérieur



Par la suite, une diffusion du dioxygène transporté dans les érythrocytes se produit vers les cellules des organes. L'oxyhémoglobine (HbO_2) fixe un proton et libère le dioxygène. L'hémoglobine est réduite (HHb). Le dioxygène diffuse à travers les membranes des cellules consommatrices.

Figure 8. Le dioxygène : du milieu intérieur à la cellule consommatrice



Les Brachiopodes et certaines Annélides possèdent de l'hémérythrine. Ce pigment est contenu dans des cellules sanguines. Le dioxygène se fixe sur un site constitué de deux ions fer (Fe^{2+} , Fe^{3+}). Il se déplace sous cette forme jusqu'aux cellules consommatrices.

Dans d'autres cas, le dioxygène est transporté par des pigments respiratoires libres dans le plasma ou l'hémolymphe. Certaines espèces d'Annélides polychètes possèdent de la chlorocruorine en solution dans le plasma. Elle est formée de plusieurs sous-unités de globines contenant un groupement porphyrinique et un atome de fer. Le dioxygène se fixe sur cet atome et est transporté librement dans le plasma. Les Écrevisses, les Araignées et les Mollusques possèdent quant à eux de l'hémocyanine, en solution dans l'hémolymphe. Elle est composée de plusieurs sous-unités qui contiennent chacune deux ions cuivre. Le dioxygène est transporté en étant fixé sur les atomes de cuivre jusqu'aux cellules consommatrices.

Le dioxygène peut aussi être transporté librement par des structures spécialisées, les trachées présentes chez les Insectes par exemple. Il n'y a pas de pigments respiratoires. À l'extrémité des trachéoles se trouve un liquide trachéolaire dans lequel le dioxygène est dissous. Il diffuse ensuite vers les cellules consommatrices.

Le transport et la sortie du dioxyde de carbone dans le milieu extérieur

Une fois le dioxygène entré dans les cellules consommatrices, il est utilisé dans le métabolisme, notamment la respiration cellulaire. Il est utilisé dans la phosphorylation oxydative impliquant la chaîne respiratoire. Parallèlement, du dioxyde de carbone et des protons sont produits par le cycle de Krebs. Le dioxyde de carbone est libéré dans le milieu intérieur par diffusion.

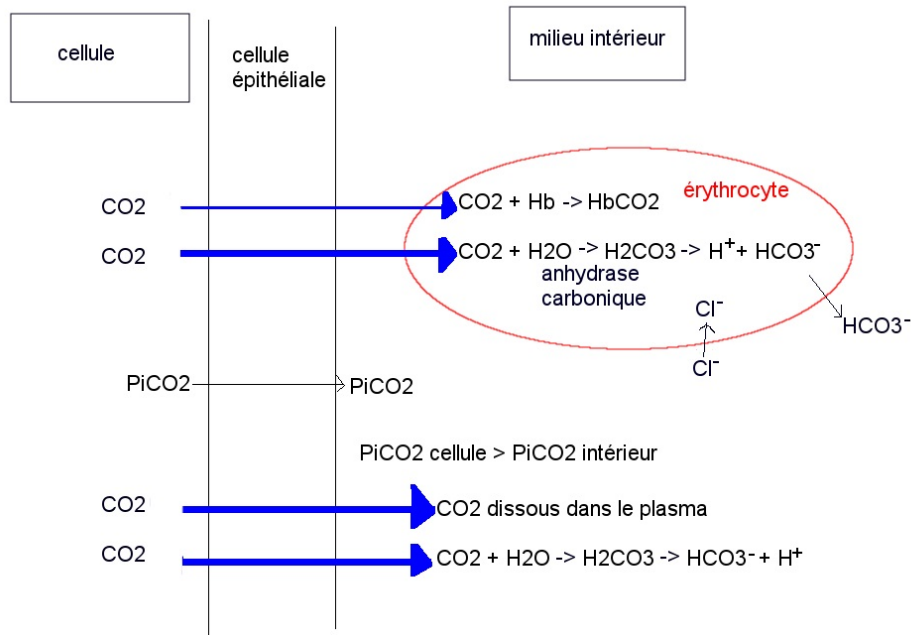
Le dioxyde de carbone est transporté de différentes façons dans l'organisme. Une partie est transportée sous forme dissoute dans le plasma. Une autre partie du dioxyde de carbone est combinée avec de l'eau dans le plasma ou le cytoplasme des érythrocytes et forme de l'acide carbonique puis des ions bicarbonates. Les ions bicarbonates produits sont fixés par des protéines plasmatiques et transportés sous cette forme jusqu'à l'échangeur. Ces réactions sont cependant très lentes.

Une dernière partie du dioxyde de carbone est fixée à l'hémoglobine dans les érythrocytes et forme une carbhémoglobine (HbCO_2). Il est transporté sous cette forme dans l'érythrocyte jusqu'à l'échangeur.

La majeure partie du dioxyde de carbone formé par la respiration cellulaire pénètre dans les érythrocytes et est combiné à l'eau du cytoplasme. Cette réaction est catalysée par une enzyme,

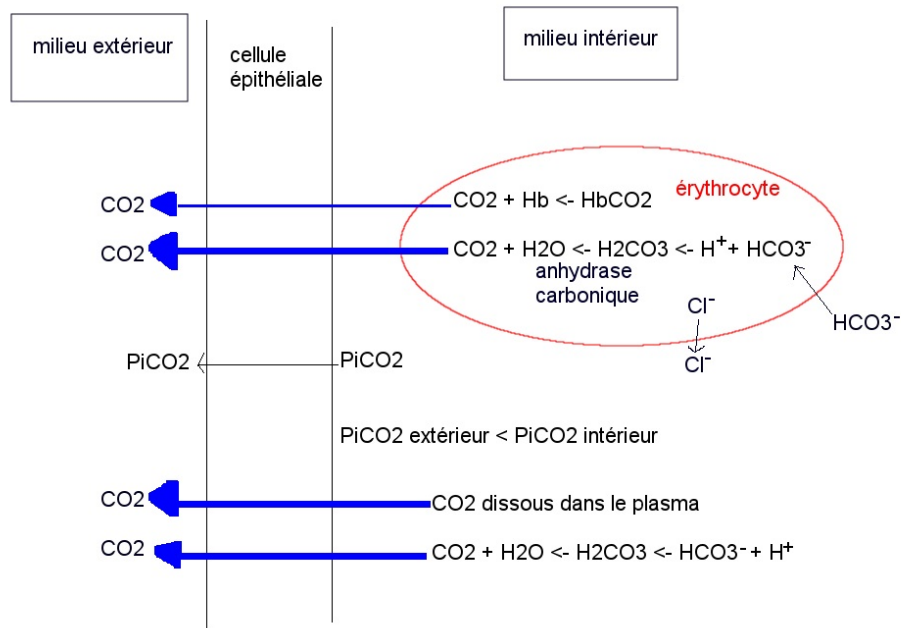
l'anhydrase carbonique, qui accélère la formation de l'acide carbonique. Le fonctionnement de l'anhydrase carbonique nécessite du zinc et de l'eau. L'acide carbonique donne ensuite naissance à des ions bicarbonates et des protons par une réaction de dissociation. Les ions bicarbonates quittent l'érythrocyte. Ils sont transportés dans le plasma jusqu'à l'échangeur. L'équilibre des charges est assuré par l'effet Hamburger, un ion chlorure entrant dans l'érythrocyte quand une molécule de bicarbonate en sort.

Figure 9. Le dioxyde de carbone : de la cellule productrice au milieu intérieur



Au niveau de l'échangeur, le dioxyde de carbone dissous dans le plasma diffuse passivement vers le milieu extérieur. Les ions bicarbonates et les protons du plasma circulent sous forme associée à des protéines. Au niveau de l'échangeur, ils se combinent en acide carbonique qui se dissocie en dioxyde de carbone et en eau. C'est une réaction lente. Le dioxyde de carbone et l'eau diffusent à travers l'échangeur vers le milieu extérieur. Les ions bicarbonates circulant dans le plasma entrent à nouveau dans les érythrocytes. Ils s'associent à des protons provenant de l'hémoglobine réduite et forment de l'acide carbonique. Cette entrée implique la sortie d'ions chlorures. L'anhydrase carbonique catalyse la formation de dioxyde de carbone et d'eau à partir de l'acide carbonique produit. Les molécules formées diffusent passivement vers le milieu extérieur.

Figure 10. Le dioxyde de carbone : du milieu intérieur au milieu extérieur



L'entrée de dioxygène et la sortie de dioxyde de carbone sont simultanées.

Conclusion

Les échanges gazeux entre l'extérieur et l'intérieur de l'organisme se font par diffusion. Les gaz respiratoires se trouvent sous forme gazeuse dans l'atmosphère et sous forme dissoute dans l'eau. L'entrée de dioxygène dans l'organisme est réalisée par diffusion passive, respectant la loi de Fick. Elle se fait à travers l'épithélium de l'échangeur. Il en va de même de la sortie du dioxyde de carbone.

Les mécanismes de transport des gaz respiratoires varient en fonction des organismes. Les gaz peuvent être transportés sous forme liée à un pigment respiratoire, libre ou contenu dans une cellule spécialisée. Ils peuvent aussi se déplacer sous forme dissoute dans le plasma ou sous forme gazeuse dans les trachées. La convection circulatoire permet généralement l'acheminement du dioxygène de l'échangeur jusqu'aux cellules et du dioxyde de carbone des cellules vers l'échangeur.

Les cellules utilisent le dioxygène dans le métabolisme respiratoire qui permet l'obtention de l'énergie nécessaire à l'organisme. Ces réactions produisent du dioxyde de carbone. Finalement, tous ces phénomènes contribuent à conserver l'unité de l'organisme.

Quelles relations peuvent être établies entre milieu de vie et échanges gazeux respiratoires ?

Bibliographie et sitographie

Livres

Gary J. Brusca et Richard C. Brusca. *Invertebrates*. 2nd édition. Sinauer. 2003. 936 p.. [978-0-87893-097-5]

Patrick Chevalet, Nathalie Giraud, Fabienne Pradère, Thierry Soubaya, et Daniel Richard. *Biologie*. Dunod. 2011. 219 p.. *Maxi fiches*. [978-2-10-052319-1]

Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale tome 2, les grandes fonctions*. 2ème édition. Dunod. 2008. 216 p.. *Sciences sup. Atlas*. [978-2-10-052135-7]

Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale*. Dunod. 2015. 219 p.. *Sciences sup.*. [978-2-10-071233-5]

Pierre Peycru, Didier Grandperrin, Christiane Perrier, Bernard Augère, Jean-François Beaux, François Cariou, Pascale Carrère, Cécile Van der Rest, Jean-Michel Dupin, Caroline Hermann-Escuyer, Jean-François Fogelgesang, Stéphane Maury, Eric Queinnec, Élena Salgueiro, et Thierry Darribere. *Biologie tout-en-un, BCPST 2e année*. Dunod. 2014. 672 p.. *J'intègre*. [978-2-10-071470-4]

Yves Turquier. *L'organisme dans son milieu tome 2, l'organisme en équilibre avec son milieu*. Doin. 1994. 334 p.. [2-7040-0695-4]

Sites internet

Bruno Anselme. *La respiration dans le règne animal In Sciences de la nature - lycée Fénélon [en ligne]*. Anselme Bruno. [date de consultation : le 03 mars 2017]. Disponible sur : <https://brunoanselme.files.wordpress.com/2011/11/respirationpoly-2011-1.pdf> .

Romain Berrardozi. *La respiration chez les animaux In Ressources en Sciences de la Vie et Sciences de la Terre [en ligne]*. 2015 [date de consultation : 05 mars 2017]. Disponible sur : http://perso.ens-lyon.fr/romain.berardozi/SV/Respiration/respiration_animale_CAPES_3.php .

David Espeset. *Partie 2 : Organes respiratoires chez les animaux In Animateur nature [en ligne]*. Pensa Éric. [date de consultation : 05 mars 2017]. Disponible sur : http://www.animateur-nature.com/Autres_sujets/milieu-et-repiration2.html .

Tanguy Jean. *La fonction respiratoire chez les Métazoaires In tanguyjean.businesscatalyst.com [en ligne]*. Jean Tanguy. [date de consultation : 10 mars 2017]. Disponible sur : <http://tanguyjean.businesscatalyst.com/assets/capes-respiration-t-jean.pdf> .

Serge Jodra. *Les Crustacés - L'organisation anatomique des Crustacés - L'exemple de l'Écrevisse In Imago Mundi, l'encyclopédie gratuite en ligne [en ligne]*. Serge Jodra. [date de consultation : 15 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.cosmovisions.com/crustacesAnatomie.htm> .

Sandrine Launois-Rollinat. *UE3-2 - Physiologie - Physiologie respiratoire Chapitre 9 : Transport des gaz dans le sang In Université Numérique Francophone des Sciences de la Santé et du Sport [en ligne]*. Cellule TICE de la faculté de pharmacie et de médecine de Grenoble. 2011 [date de consultation : 10 mars 2017]. Disponible sur : http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble_1112/launois_rollinat_sandrine/launois_rollinat_sandrine_p09/launois_rollinat_sandrine_p09.pdf .

Benoit Leblanc. *2.0 Structure des protéines In BCM-514 Biochimie des protéines [en ligne]*. Université de Sherbrooke. Année de publication : 13 août 2013 [date de consultation : 08 mars 2017]. Disponible sur : <http://biochimiedesproteines.espaceweb.usherbrooke.ca/2d.html> .

Antoine Morin. *Les Annélides In Animaux : Structures et fonctions [en ligne]*. Université d'Ottawa. 2002 [date de consultation : 10 mars 2017]. Disponible sur : http://simulium.bio.uottawa.ca/bio2525/Notes/Les_Annelides.htm .

Respiration In Lycée privé technologique professionnel Sainte-Cécile [en ligne]. Lycée privé technologique professionnel Sainte-Cécile. 2013 [date de consultation : 01 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.lycee-sainte-cecile.com/sites/resources/files/Biologie-Physiopathologie/cours%20eleve%20RESPIRATION%20ST2S%202012-2013.pdf> .

Transport des gaz respiratoires dans le sang In Wikisantets [en ligne]. ÉTS. [date de consultation : 11 mars 2017]. Disponible sur : <https://wikisantets.wikispaces.com/Transport+des+gaz+respiratoires+dans+le+sang> .

Les échanges gazeux et la ventilation chez les Araignées

Smaïl Belasla <smail.belasla@etu.univ-st-etienne.fr>

Arthur Bombaron

<arthur.bombaron@etu.univ-st-etienne.fr>

Valentin Luiset <valentin.luiset@etu.univ-st-etienne.fr>

Pierre-Louis Pestre

<pierre.louis.pestre@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Dans le règne animal, le groupe des Arthropodes est de loin celui qui est le plus représenté : 80% des espèces connues en font partie. Les Arthropodes comprennent plusieurs sous-groupes dont celui des Chélicérates. Parmi eux figurent les Arachnides comportant les Araignées, les Scorpions, mais aussi les Acariens.

Chez les Arthropodes et notamment les Araignées, l'appareil circulatoire est ouvert. Le liquide circulant des Arthropodes est appelé hémolymphe. Il est mis en mouvement dans l'organisme grâce à un cœur dorsal contractile.

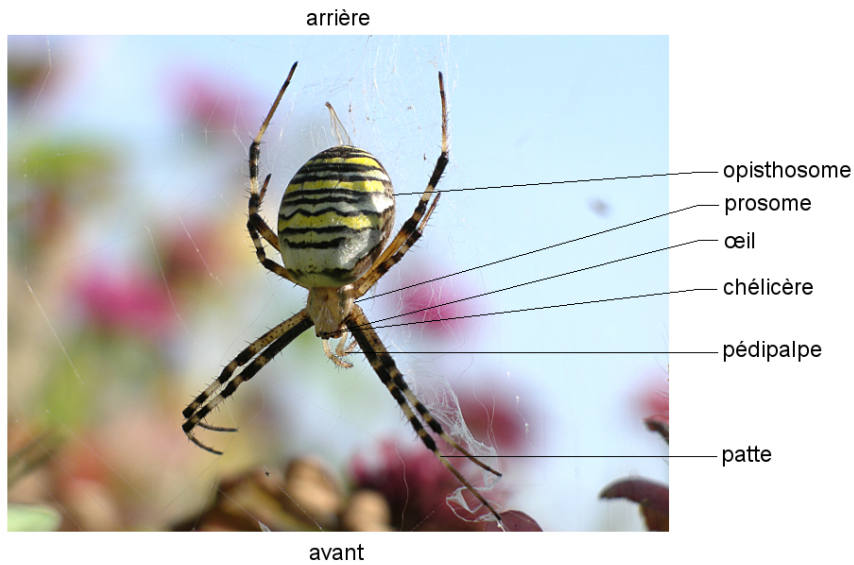
Quelles sont les caractéristiques fonctionnelles des surfaces d'échanges des gaz respiratoires ?

Quels sont les processus physiques impliqués dans la réalisation des échanges gazeux respiratoires ?

Les poumons et les trachées : organes respiratoires des Araignées

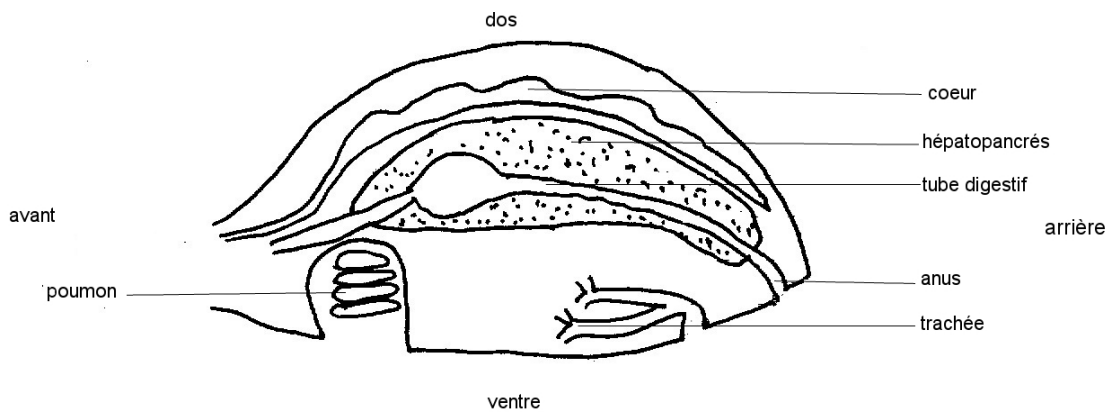
L'appareil respiratoire des Araignées est constitué de poumons, au nombre d'une ou deux paires, et de trachées. Chez les Araignées basales telles les Mésothèles et les Orthognathes, l'appareil respiratoire ne comprend pas de trachées. Au cours de l'évolution, la première paire de poumons a été conservée alors que la deuxième a donné naissance à des trachées par ramification.

Figure 1. Morphologie de l'Épeire fasciée en vue dorsale



Les poumons se trouvent dans l'opisthosome. Ils ont, chez toutes les Araignées, la même structure.

Figure 2. Opisthosome d'Araignée en coupe longitudinale



Les poumons : des organes en lamelles, à l'interface entre milieu extérieur et milieu intérieur

Les poumons sont situés dans l'opisthosome. Chaque poumon est une invagination tégumentaire qui communique avec une chambre appelée atrium, ouverte sur l'extérieur par un stigmate. Le stigmate permet l'entrée et la sortie d'air.

Figure 3. Poumon d'Araignée en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)

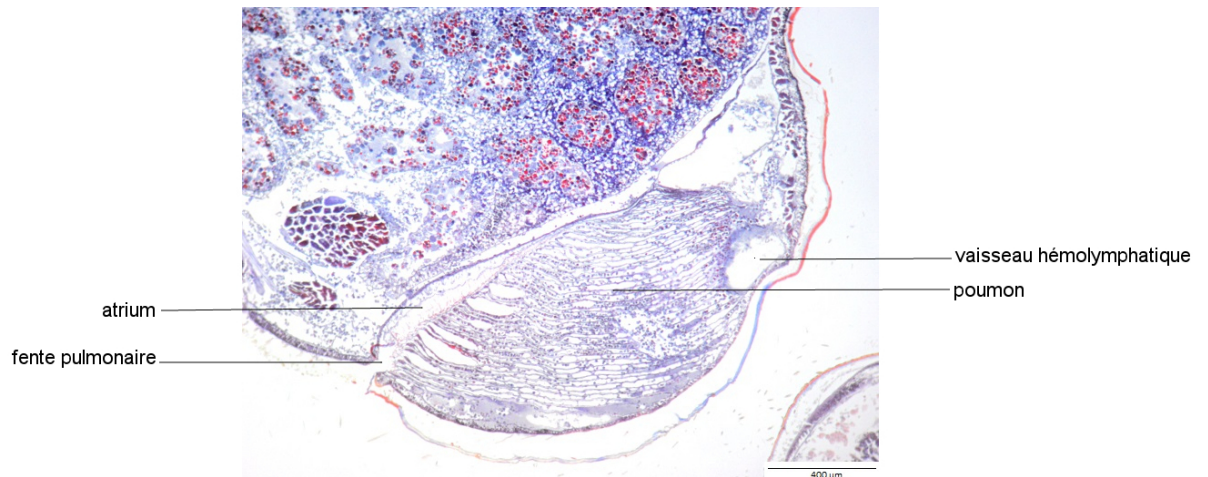
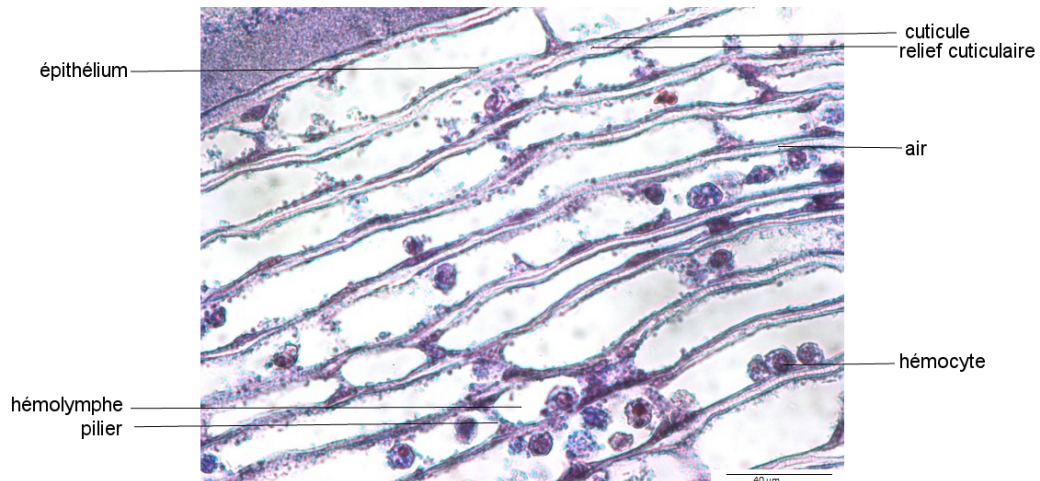


Figure 4. Lamelles de poumon d'Araignée en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



La paroi pulmonaire est repliée et forme des lamelles dans lesquelles circule l'hémolymphe. L'air pénètre dans l'atrium pulmonaire puis est dirigé vers les lamelles pulmonaires entre lesquelles il se répartit. Au niveau des lamelles pulmonaires alternent des espaces hémolymphatiques et des espaces aériens.

Les poumons sont organisés en feuillet. Cette organisation permet une augmentation de la surface à volume constant, ce qui favorise les échanges des gaz respiratoires. Les lamelles pulmonaires sont bordées d'un épithélium simple et pavimenteux en continuité avec l'épiderme. Les corps cellulaires des cellules épithéliales forment des piliers soutenant les lamelles. L'hémolymphe prend en charge le dioxygène et l'achemine vers les tissus consommateurs.

Les trachées : des tubes ramifiés contenant de l'air et baignant dans l'hémolymphe

Les trachées sont des invaginations tubuleuses et ramifiées du tégument. Un bouquet de trachées communique avec l'extérieur par un stigmate. Il permet l'entrée et la sortie de l'air. L'air est acheminé par les trachées en profondeur dans l'organisme.

Comme celle des poumons, la paroi des trachées est constituée d'un épithélium simple et couvert d'une fine cuticule, en continuité avec l'épiderme. Elles sont maintenues ouvertes par des reliefs en anneau

de la cuticule, appelés ténidies. Les échanges gazeux respiratoires sont réalisés avec l'hémolymphe à travers cette paroi.

Les extrémités des trachées, appelées trachéoles, sont en contact avec les tissus. Les échanges gazeux respiratoires peuvent également s'y dérouler.

Les échanges de gaz respiratoires : une diffusion entre milieu extérieur et hémolymphe

Les échanges gazeux sont réalisés par un mécanisme de diffusion simple. La première loi de Fick exprime le flux d'une substance diffusant d'un compartiment vers un autre à travers une interface.

Dans le cas d'un gaz noté x, son expression est :

$$J_x = K_x \times \Delta P_x \times S / E$$

avec

- J_x , flux en $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$;
- K_x , constante de diffusion du gaz en $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$;
- ΔP_x , différence de pression partielle entre milieu extérieur et milieu intérieur en Pa ;
- S , aire de la surface d'échanges en m^2 ;
- E , épaisseur de la surface d'échanges en m.

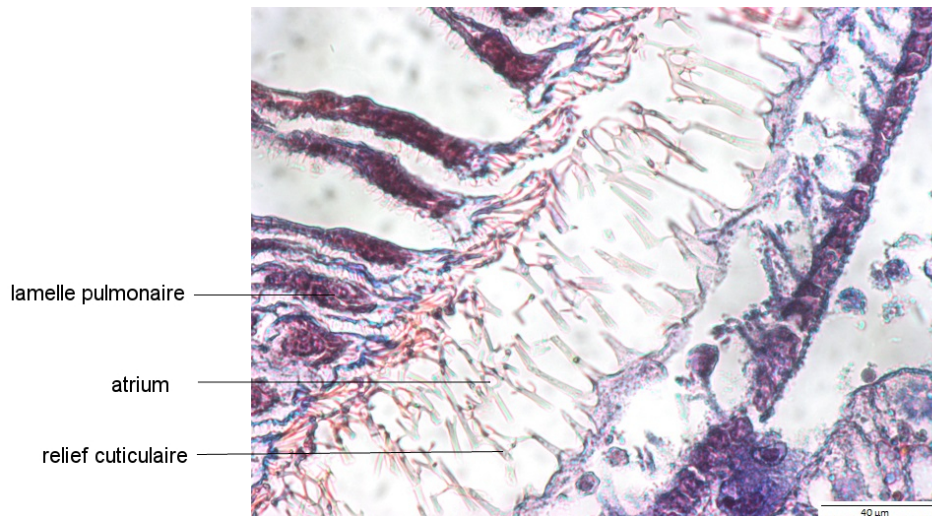
Le dioxygène de l'air des poumons et des trachées diffuse vers l'hémolymphe et le dioxyde de carbone de l'hémolymphe diffuse en sens inverse. Toutefois, ce dernier diffusant facilement dans l'organisme, il est également évacué à travers la surface corporelle.

Chez les Araignées, les transports du dioxygène et du dioxyde de carbone sont réalisés par l'hémolymphe. Ses rôles sont analogues à ceux du sang et du liquide interstitiel des Vertébrés. Le transport du dioxygène est réalisé grâce à un pigment, l'hémocyanine.

La ventilation : un renouvellement de l'air des organes respiratoires

La ventilation est le renouvellement de l'air dans l'appareil respiratoire.

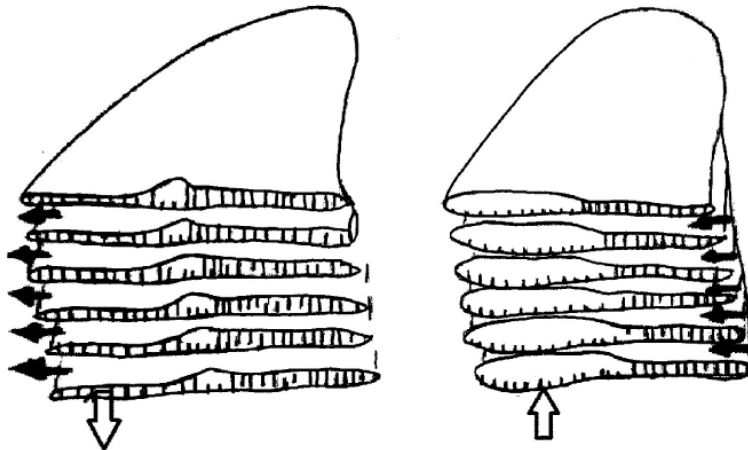
Figure 5. Atrium de poumon d'Araignée en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



L'entrée et la sortie de l'air sont réalisées par les stigmates. Chacun communique avec un atrium, sorte de vestibule. L'atrium est une cavité dans laquelle circule l'air, directement en continuité avec les lamelles pulmonaires. La présence de reliefs cuticulaires permet de retenir les corps étrangers et d'éviter leur pénétration dans le poumon.

La ventilation est favorisée par les battements cardiaques qui provoquent la déformation des poumons.

Figure 6. Circulation de l'air dans les poumons d'Araignée.



La circulation de l'air dans les poumons impliquerait des déformations des lamelles. Les flèches noires représentent la circulation de l'hémolymphe et les flèches blanches la circulation de l'air. L'hémolymphe circule le long des lamelles du poumon. Alors qu'elle pénètre à une extrémité, l'air entre à l'opposé où une dépression est générée. Lorsque l'hémolymphe atteint la région d'entrée de l'air, elle provoque une surpression et l'expulsion de l'air. Ce fonctionnement est décrit comme l'hypothèse du soufflet.

Conclusion

Les Araignées ont deux types d'organes respiratoires, les poumons et les trachées, assurant l'approvisionnement de l'organisme en dioxygène et l'élimination du dioxyde de carbone.

Selon les espèces, les combinaisons varient, ainsi certaines sont dépourvues d'appareil pulmonaire, d'autres possèdent un appareil trachéen très développé, certaines réalisent une respiration tégumentaire.

L'Argyronète est une Araignée originale : elle vit dans l'eau de plans d'eau calmes et possède un appareil respiratoire semblable à celui des Araignées du milieu aérien. Elle produit une poche de soie qu'elle fixe à des plantes aquatiques et la remplit d'air qu'elle capte à la surface grâce aux soies présentes sur son abdomen. Au fur et à mesure qu'elle consomme le dioxygène de sa poche, il est renouvelé par diffusion depuis l'eau environnante, en raison de la différence de pression partielle générée par la consommation. Cependant, le diazote diffuse de la poche vers l'eau environnante, provoquant une diminution de son volume. L'Argyronète rejoint régulièrement la surface, y capte de l'air, et réalimente ainsi sa poche.

Bibliographie et sitographie

Livres

Sandrine Heusser et Henry-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale tome 1, les grandes fonctions*. 3ème édition. Dunod. 2008. 228 p.. *Sciences Sup*. [978-0100518166]

Sandrine Heusser et Henry-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale tome 2, les grandes fonctions*. 2ème édition. Dunod. 2008. 216 p.. *Sciences Sup Atlas*. [978-2100521357]

Rainer Foelix. *Biology of spiders*. 3ème édition. Oxford University Press. 2010. 432 p.. [978-0199734825]

Sites internet

Guillaume. *Licence 3 | Biologie Animale – Chapitre 5-3 : Respiration des arthropodes In Biodeug [en ligne]*. Biodeug. 15 juillet 2012 (date de consultation : 03 mars 2017). Disponible sur : <http://www.biodeug.com/licence-3-biologie-animale-chapitre-5-3-respiration-des-arthropodes/> .

Araneae In Wikipedia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 03 mai 2017 (date de consultation : 03 mai 2017). Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Araneae> .

Les araignées et arachnides In Le monde merveilleux des animaux [en ligne]. archives411.com. 2015 (date de consultation : 03 mars 2017). Disponible sur : <http://animaux.archives411.com/les-araignees-et-arachnides/> [http://animaux.archives411.com/les-araignees-et-arachnides/] .

Réaliser échanges gazeux et prise alimentaire avec le même organe, à partir de l'exemple des Bivalves

Antoine Bruyère

<antoine.bruyere@etu.univ-st-etienne.fr>

Julien Grès <julien.gres@etu.univ-st-etienne.fr>

Marion Mayollet <marion.mayollet@etu.univ-st-etienne.fr>

Vincent Toinon <vincent.toinon@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

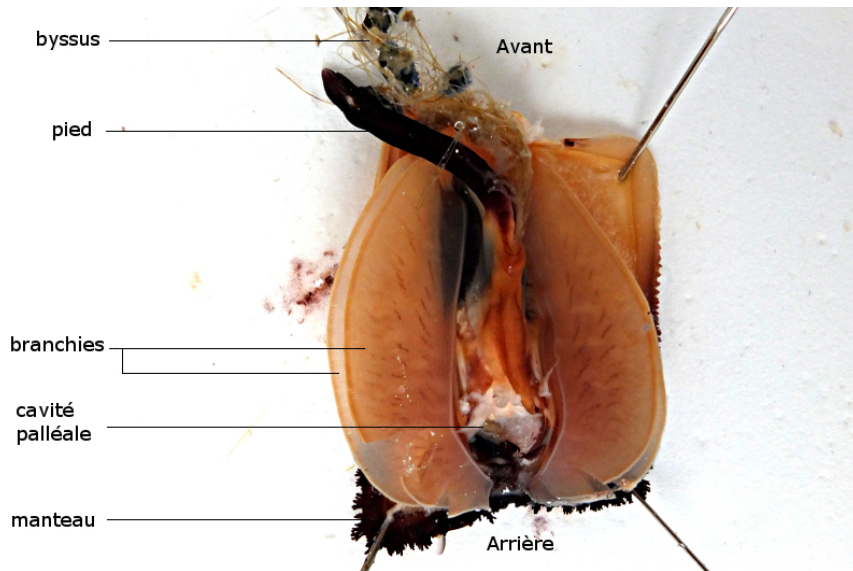
Les Bivalves aussi appelés Lamellibranches font partie du groupe des Mollusques. Aquatiques, ils sont vivants en milieu marin ou en eau douce et regroupent différentes espèces comme la Moule (*Mytilus edulis*), l'Huître (*Ostrea edulis*) ou la Palourde (*Ruditapes decussatus*). Il en existe environ 9200 espèces dont 8000 sont marines.

Les Bivalves sont apparus il y a plus de 500 millions d'années. Leur corps est protégé par une coquille faite de deux valves qu'ils peuvent ouvrir ou fermer grâce à des muscles adducteurs. Les valves sont sécrétées par le manteau qui entoure l'animal. Les Bivalves possèdent deux paires de branchies. Ils sont généralement sédentaires, la Moule par exemple se fixe aux rochers grâce à son byssus. D'autres vivent enfouis dans le sable comme l'Amande de mer (*Glycymeris glycymeris*) ou creusent des trous dans le bois ou la pierre. Certains sont capables de se déplacer grâce aux mouvements de leurs valves comme les Pétoncles (*Chlamys spp.*).

Comment les Bivalves réalisent-ils les échanges gazeux respiratoires et quelle est leur mode de prise alimentaire ?

Les branchies, organes des échanges par diffusion des gaz respiratoires

Figure 1. Anatomie de la Moule en vue ventrale



Les branchies ou cténidies sont des structures localisées dans la cavité palléale délimitée par le manteau. De chaque côté de la masse viscérale deux branchies sont présentes, insérées sur un axe parcouru par un vaisseau afférent et un vaisseau efférent. Chaque branchie est formée de filaments branchiaux parallèles, reliés par des jonctions inter-filaments. Un assemblage de filaments forme un feuillet branchial.

Les feuillets branchiaux sont reliés par des jonctions inter-feuillets comportant un épithélium, du tissu conjonctif fibreux et des fibres musculaires. Selon les groupes de Bivalves, elles sont rares et ponctuelles ou nombreuses et régulières.

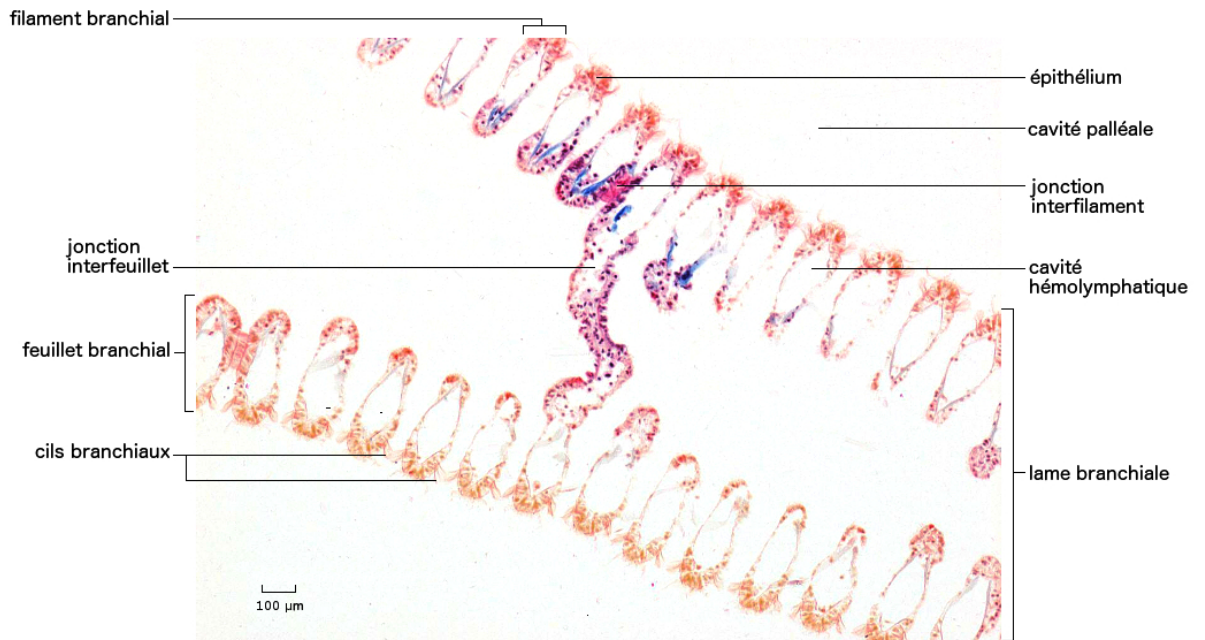
Chaque branchie possède un feuillet direct interne soudé à la masse viscérale et un feuillet réfléchi externe libre ou soudé, au manteau pour la branchie externe et à la masse viscérale pour la branchie interne.

Les Bivalves peuvent être classés selon les caractéristiques de leurs branchies. Sont ainsi distingués quatre groupes dont les Filibranches et les Eulamellibranches.

Les Filibranches ont des branchies dont les filaments sont reliés par des jonctions inter-filaments mais les jonctions inter-feuillets sont rares. Les Moules et les Huîtres possèdent par exemple ce type de branchies.

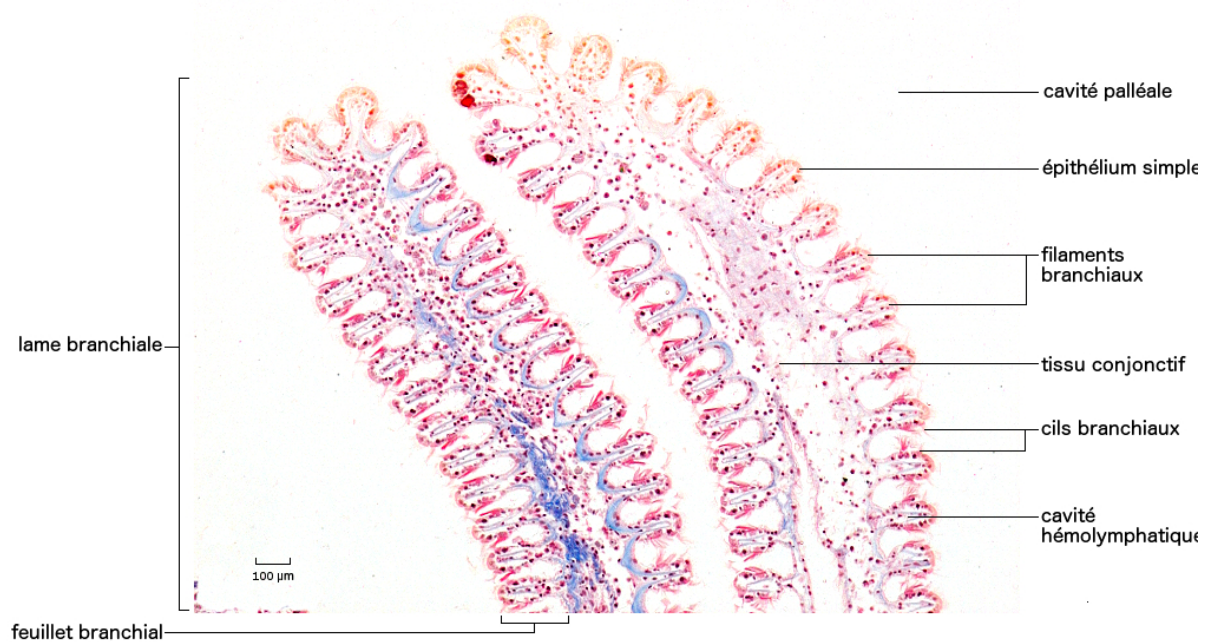
Réaliser échanges gazeux et prise alimentaire avec le même organe, à partir de l'exemple des Bivalves

Figure 2. Lame branchiale de Moule en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les Eulamellibranches, littéralement "Lamellibranches vrais", possèdent des branchies dont les filaments et les feuillets sont réunis par des jonctions vasculaires. C'est par exemple le type de branchies de la Coque (*Cerastoderma edule*) ou de la Palourde.

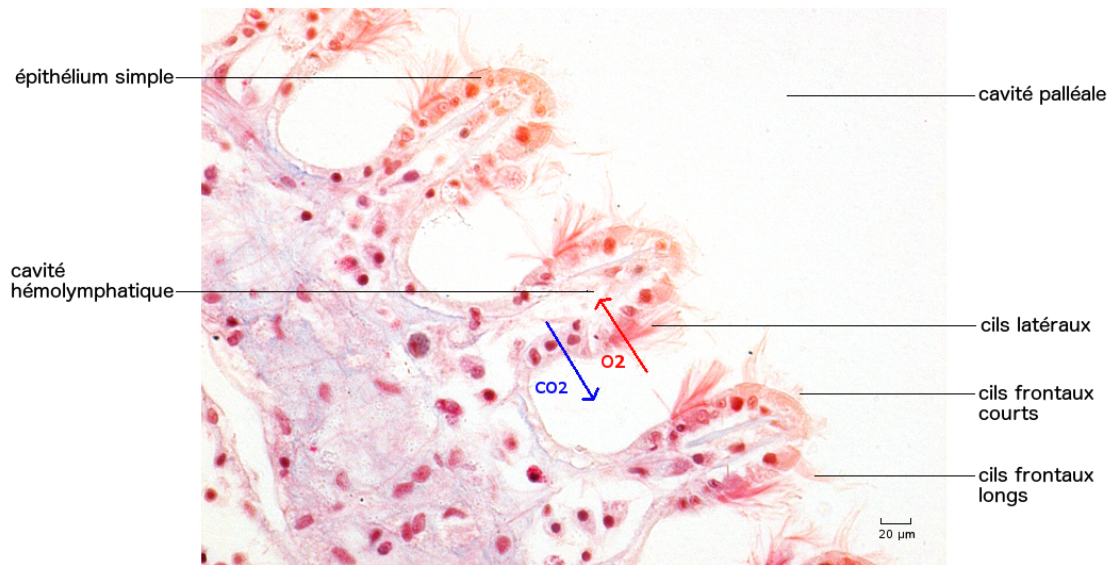
Figure 3. Lame branchiale de Coque en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Malgré leur diversité, les branchies sont toutes impliquées dans les échanges gazeux respiratoires, correspondant à une absorption de dioxygène et un rejet de dioxyde de carbone.

Réaliser échanges gazeux et prise alimentaire avec le même organe, à partir de l'exemple des Bivalves

Figure 4. Filaments branchiaux de Coque en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les échanges ont lieu entre les milieux extérieur et intérieur, à travers les cellules constituant la surface des filaments branchiaux, correspondant à un épithélium simple. Ils sont réalisés entre l'eau de la cavité palléale (milieu extérieur) et l'hémolymphe (milieu intérieur), c'est à dire le liquide circulant des Mollusques contenant un transporteur de dioxygène, l'hémocyanine.

Les échanges de gaz respiratoires se font par diffusion à travers l'épithélium simple des filaments. La loi de Fick en rend compte. Pour les gaz, son expression est

$$J_{\text{gaz}} = K_{\text{gaz}} \times \Delta P_{\text{gaz}} \times S / E \text{ avec}$$

- K_{gaz} , constante de diffusion du gaz en $\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$;
- ΔP_{gaz} , différence de pression partielle entre milieu extérieur et milieu intérieur en Pa ;
- S, surface de l'interface en m^2 ;
- E, épaisseur de l'interface en m.

Cette loi indique que le flux d'un gaz entre deux compartiments est proportionnel au gradient de pression partielle, à la surface de l'interface ainsi qu'à l'inverse de l'épaisseur de l'interface.

Chez les Bivalves l'épithélium est peu épais, environ 10 à 20 μm , et présente une grande surface en relation avec l'organisation en nombreux filaments. Cela augmente le flux de diffusion des gaz et ainsi les échanges gazeux respiratoires.

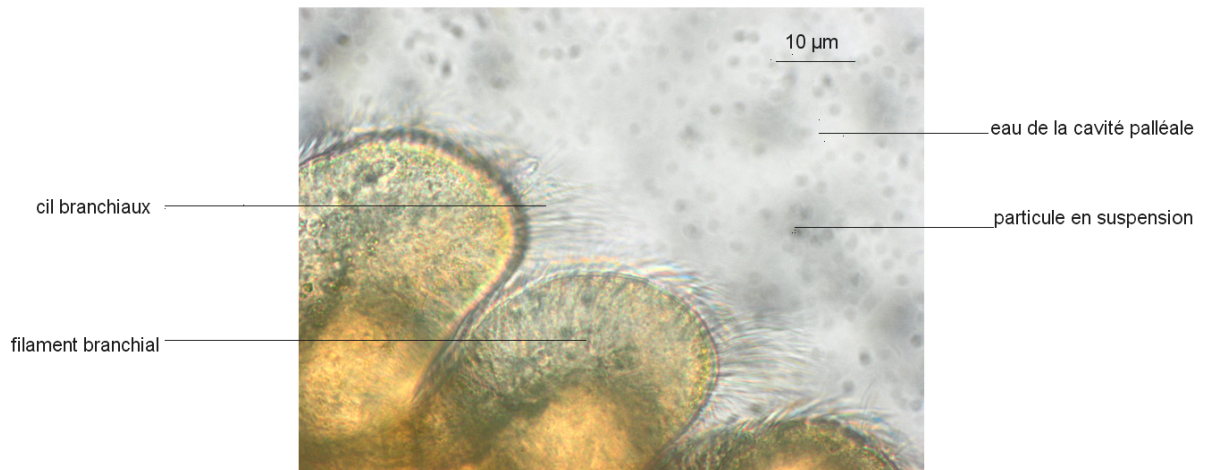
L'hémolymphe chargée en dioxyde de carbone est acheminée vers les branchies par un vaisseau afférent situé dans le feuillet réfléchi. Elle se charge petit à petit de dioxygène puis remonte le long du feuillet direct jusqu'au vaisseau efférent qui la distribue vers les organes.

Les branchies, organes de la prise alimentaire par filtration

Les branchies des Bivalves forment une grille qui intercepte les particules en suspension dans l'eau dont ces animaux se nourrissent, c'est de la microphagie suspensivore. Ces particules correspondent chez la Moule à des organismes planctoniques et à des débris flottants végétaux ou animaux.

Réaliser échanges gazeux et prise alimentaire avec le même organe, à partir de l'exemple des Bivalves

Figure 5. Bord libre de branchie de Moule en montage extemporané

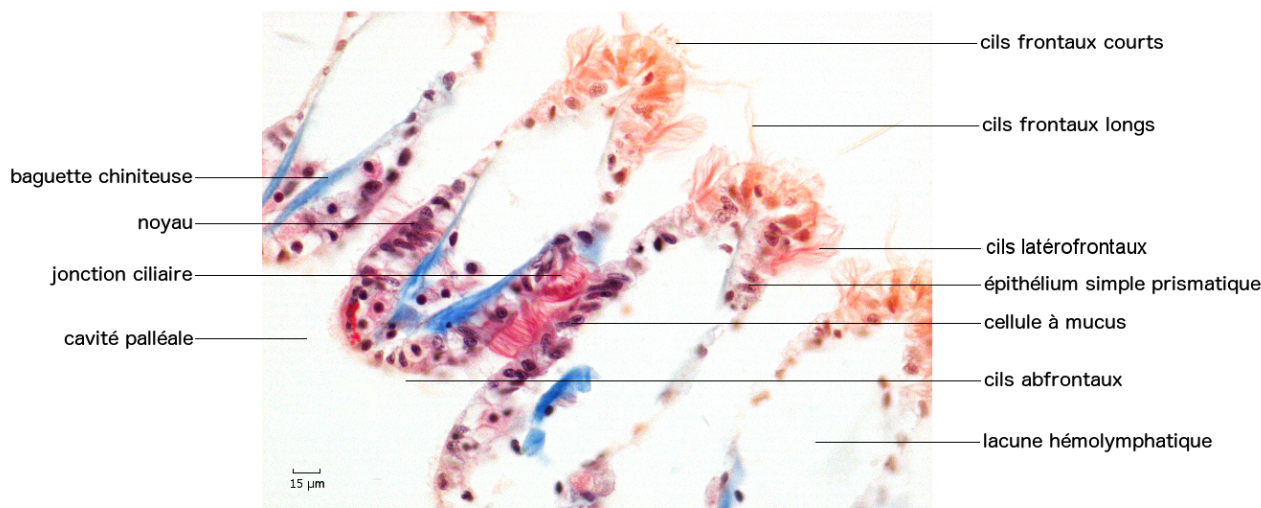


Les filaments des branchies sont recouverts de cils, il en existe divers types dont les localisations sont différentes, et qui jouent des rôles spécifiques dans le renouvellement de l'eau de la cavité palléale ou dans la prise alimentaire. Les cils qui permettent la prise alimentaire se distinguent par leur taille et la fréquence de leurs battements.

La mise en mouvements des cils consomme de l'énergie, fournie par les nombreuses mitochondries que contiennent les cellules de l'épithélium.

Des cellules à mucus sont également présentes dans l'épithélium. Elles produisent un mucus qui est réparti à la surface des filaments branchiaux.

Figure 6. Filaments branchiaux de Moule en coupe transversale, au microscope optique (Collection de l'ENS de Lyon)



Les cils frontaux courts, localisés sur le bord externe des feuillettes, battent très fréquemment et génèrent des mouvements locaux, qui permettent le déplacement des particules qui entrent à leur contact et se trouvent emprisonnées dans le mucus. Il en va de même des cils abfrontaux.

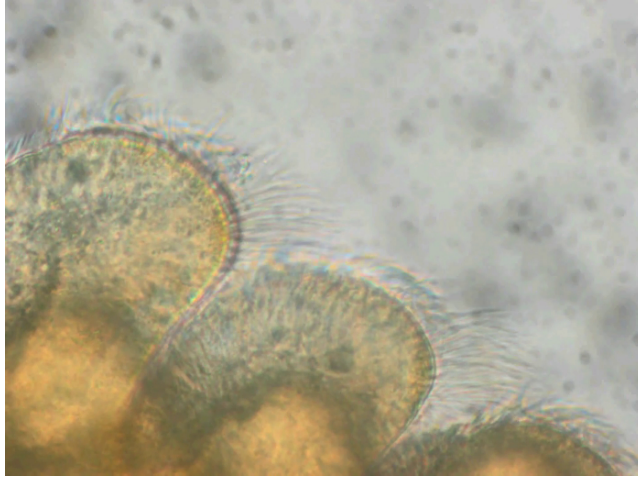
Les particules forment des files s'étendant le long des filaments branchiaux et se déplaçant grâce aux battements ciliaires, en direction du sillon marginal situé sur le bord libre des branchies. Une fois dans le sillon, elles sont acheminées en direction de la bouche.

Les cils frontaux longs ont des battements moins fréquents. Ils ont pour fonction l'élimination des particules volumineuses dont la Moule ne peut se nourrir. Leurs mouvements permettent d'expulser

Réaliser échanges gazeux et prise alimentaire avec le même organe, à partir de l'exemple des Bivalves

ces particules avant qu'elles ne pénètrent dans le sillon marginal. Ces grosses particules sont rejetées dans l'eau de la cavité palléale puis évacuées.

Figure 7. Voir la vidéo "Mouvements des cils branchiaux de Moule"



Écouter/Voir la vidéo au format .mp4 [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/12_video_01.mp4] au format .webm [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/12_video_01.webm]

Les battements des cils frontaux courts et des cils abfrontaux sont responsables du déplacement des particules alimentaires enrobées de mucus le long des filaments branchiaux vers les sillons marginaux. Leur orientation est longitudinale par rapport aux filaments branchiaux. Au niveau des sillons marginaux, les battements ciliaires changent d'orientation et deviennent perpendiculaires à l'axe longitudinal des filaments, ce qui permet de mettre en mouvement les particules piégées dans le mucus en direction de l'orifice buccal.

L'épithélium des filaments branchiaux est simple et prismatique. Chez la Moule, la dimension des cellules, et notamment leur hauteur comprise entre 10 et 20 μm , permet la présence de nombreux organites dans le cytoplasme en particulier des mitochondries. Elle est également favorable à une pinocytose contribuant à l'alimentation. L'épaisseur de l'épithélium assure en outre une protection vis-à-vis de l'abrasion par les particules en suspension. Les caractéristiques de l'épithélium branchial résultent d'un compromis entre les fonctions d'échangeur de gaz respiratoires et de dispositif de prise alimentaire par filtration.

L'épithélium est accolé à des baquettes chitineuses. La chitine est une molécule entrant dans la constitution de structures flexibles mais solides. Les baquettes chitineuses permettent aux branchies des Bivalves de résister aux mouvements d'eau auxquels elles sont soumises.

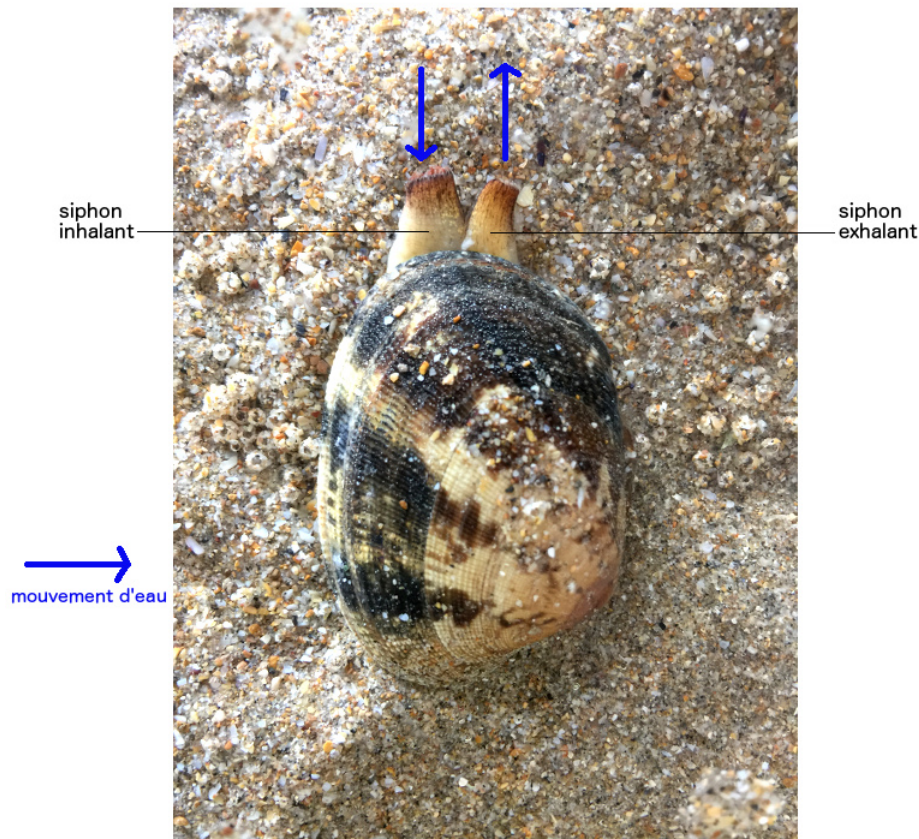
Les branchies, organes traversés par un courant d'eau ventilatoire et alimentaire

Les Bivalves réalisent un renouvellement de l'eau se trouvant dans leur cavité palléale de diverses manières.

Chez les espèces vivant fixées comme la Moule l'eau entre ventralement par l'ouverture ménagée entre les valves, lorsque l'animal est immergé. Elle sort dans la région dorsale après avoir baigné les branchies.

Réaliser échanges gazeux et prise alimentaire avec le même organe, à partir de l'exemple des Bivalves

Figure 8. Palourde immergée en vue latérale



Les espèces vivant enfouies dans le sable possèdent des siphons, inhalant ventral et exhalant dorsal, respectivement. L'eau entre dans la cavité palléale par le premier et sort par le second après avoir été filtrée.

Le claquement des valves des espèces mobiles assurant leur propulsion permet également l'entrée et la sortie d'eau au niveau de la cavité palléale.

Le courant d'eau est généré par les battements ciliaires permanents des cils latérofrontaux. Il est unidirectionnel, ce qui minimise le coût énergétique lié à la forte viscosité de l'eau. Il assure deux fonctions, une fonction ventilatoire et une fonction alimentaire.

Le courant d'eau ventilatoire permet le renouvellement du milieu extérieur au contact de la surface d'échanges des gaz respiratoires. À ce niveau, les sens de circulation de l'eau et de l'hémolymphe sont opposés. Cette circulation à contre-courant a pour conséquence le maintien du gradient de pression partielle des gaz respiratoires sur toute la longueur de l'échangeur.

L'eau de la cavité palléale saturée en dioxygène cède progressivement du dioxygène aux lacunes hémolympatiques des filaments, mais la pression partielle de ce gaz dans l'eau est toujours supérieure à celle de l'hémolymphe, le gradient demeure à peu près constant. Cela permet une diffusion importante sur toute la longueur de l'échangeur. Le même phénomène est constaté pour le dioxyde de carbone.

Le courant d'eau est aussi le vecteur qui achemine les particules alimentaires en suspension aux branchies. L'eau traverse les feuillettes branchiales, passe entre les filaments et entraîne avec elle les particules en suspension qui peuvent ainsi être retenues par le filtre branchial.

Le renouvellement de l'eau permet de garder un milieu potentiellement riche en zooplancton ou phytoplancton qui sont les principaux aliments.

Conclusion

La réalisation des échanges gazeux et de la prise alimentaire chez les Bivalves s'effectue par les branchies. Ces organes sont fréquents en milieu aquatique. Dans ce groupe de Mollusques, leurs caractéristiques résultent d'une évolution leur conférant une double fonction, respiratoire et alimentaire. Constituées d'évaginations corporelles soutenues par le milieu porteur qu'est l'eau, elles possèdent un épithélium relativement fin et une vaste surface facilitant les échanges gazeux par diffusion. Ces échanges sont également favorisés par la circulation unidirectionnelle de l'eau dans la cavité palléale, qui permet de renouveler le dioxygène du milieu et d'en évacuer le dioxyde de carbone. Ce mouvement d'eau est produit par l'action des innombrables cils qui battent régulièrement à la surface des filaments. Ces cils ont aussi pour fonction de capturer, d'acheminer et de trier les particules qui ont été apportées par l'eau, jusqu'aux palpes labiaux et à la cavité buccale de l'animal.

À la différence des Bivalves, de nombreux Mollusques, des groupes des Gastéropodes et des Céphalopodes notamment, présentent une prise alimentaire relevant de la macrophagie, impliquant des dispositifs associés à l'appareil digestif. L'appareil respiratoire n'a alors aucune fonction alimentaire.

Bibliographie et sitographie

Livres

André Beaumont et Pierre Cassier. *Biologie animale tome 1, des Protozoaires aux Métazoaires épithélioneuriens*. Dunod. 1981. 479 p.. *Sciences sup.*. [2-04-011432-7]

Raymond Gilles. *Physiologie animale*. De Boeck. 2006. 675 p.. [978-2-8041-4893-5 ; 2-8041-4893-9]

Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale*. Dunod. 2015. 219 p.. *Sciences sup.*. [978-2-10-071233-5]

Lauralee Sherwood, Hillar Klandorf, et Paul H. Yancey. *Physiologie animale*. De Boeck. 2016. 816 p.. [978-2-8073-0286-0]

Yves Turquier. *L'organisme dans son milieu tome 1, les fonctions de nutrition*. Doin. 1989. 315p.. [2-7040-0620-2]

Yves Turquier. *L'organisme dans son milieu tome 2, l'organisme en équilibre avec son milieu*. Doin. 1994. 334p.. [2-7040-0695-4]

Sites internet

Neil Bourne et Michael M. Helm. *Écloserie de bivalves : manuel pratique* In *books.google.fr [en ligne]*. Google livres. 2006 [date de consultation : 01 mars 2017]. Disponible sur : <https://books.google.fr/books?isbn=9252052240> .

N. Guth. *Les Bivalves, les avicules* In *Centre de plongée d'Illkirch [en ligne]*. Centre de plongée d'Illkirch. [date de consultation : 01 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.cpi-plongee.com/blog/AVICULES.pdf> .

Édouard His et Christian Cantin. *Biologie et physiologie des coquillages* In *Archimer - Archive institutionnelle de l'Ifremer [en ligne]*. Ifremer. 1995 [date de consultation : 01 mars 2017]. Disponible sur : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00095/20628/18255.pdf> [<http://archimer.ifremer.fr/doc/00095/20628/18255.pdf>] .

Geneviève Termier et Henri Termier. *Bivalves* In *Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 01 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/bivalves/> [<http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/bivalves/>] .

Réaliser échanges gazeux et prise
alimentaire avec le même organe,
à partir de l'exemple des Bivalves

Alimentation In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 20 mars 2017 [date de consultation : 01 mars 2017].
Disponible sur : www.wikipedia.org/wiki/alimentation .

Bivalvia In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 10 mars 2017 [date de consultation : 01 mars 2017].
Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bivalvia> .

Les bivalves In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. [date de consultation : 01 mars 2017]. Disponible
sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bivalvia> .

Respiration In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 12 mars 2017 [date de consultation : mars 2017].
Disponible sur : www.wikipedia.org/wiki/respiration .

L'hépatopancréas des Mollusques et des Arthropodes

Emma Albert <emma.albert@etu.univ-st-etienne.fr>
Anaïs Cattrat <anais.cattrat@etu.univ-st-etienne.fr>
Maxence Decellières
<maxence.decellières@etu.univ-st-etienne.fr>
Eddy Renaud-Goud
<eddy.renaud.goud@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

L'hépatopancréas est un organe majeur présent chez les Mollusques et les Arthropodes. Découvert en 1884, il joue un rôle important dans le fonctionnement de l'appareil digestif auquel il appartient.

Les Mollusques sont un grand groupe d'animaux incluant de nombreuses espèces. Il compte sept sous-groupes dont les plus connus sont les Bivalves (Moules, Huîtres), les Gastéropodes (Escargots, Limaces) et les Céphalopodes (Calmars, Seiches).

Les Arthropodes réunissent deux grands sous-groupes qui sont les Chélicérates (Arachnides) et les Mandibulates (crustacés, Myriapodes).

Certaines espèces de ces groupes sont pourvues d'un hépatopancréas à la différence des Mammifères.

D'un point de vue structural quels sont les constituants de cet organe ?

Quelles sont ses fonctions ?

L'hépatopancréas, un organe de l'appareil digestif

L'hépatopancréas des Mollusques, un organe lobé et impair, relié au tube digestif par des canaux

Figure 1. Appareil digestif de l'Escargot en vue dorsale

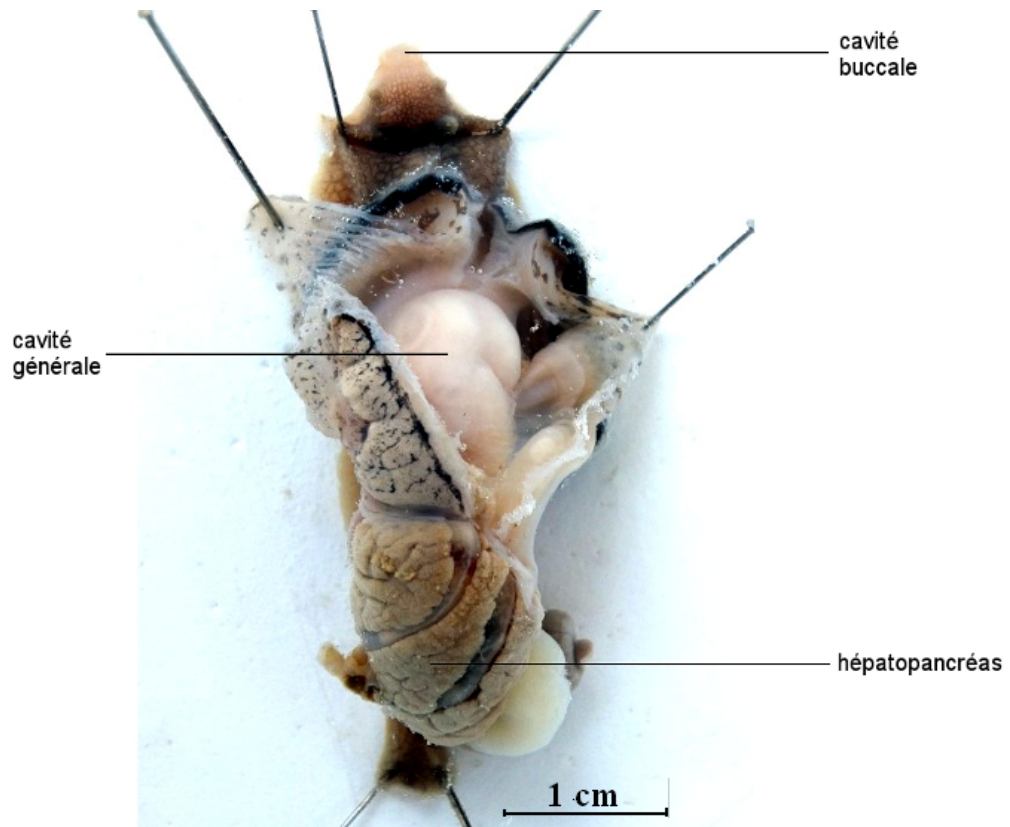
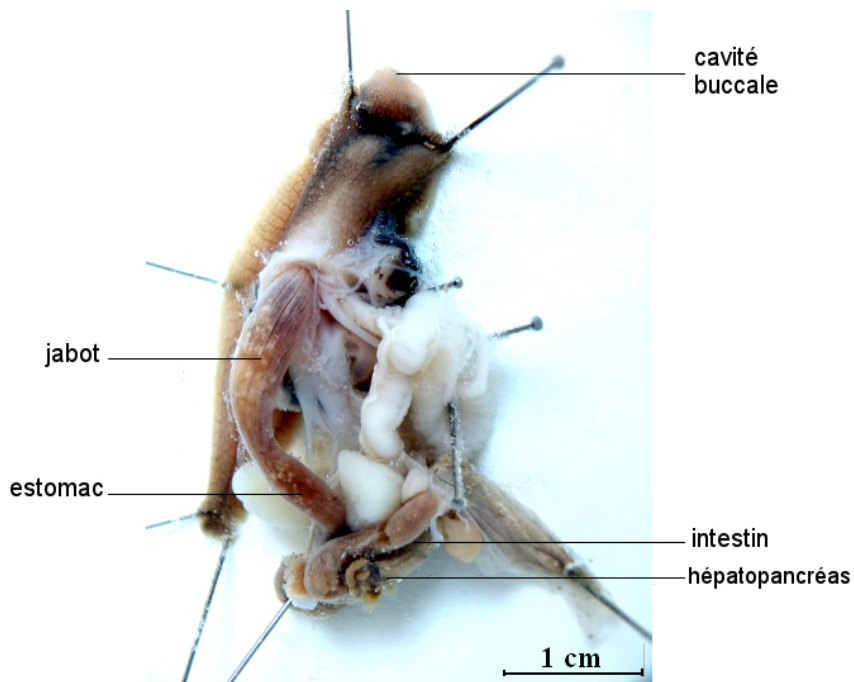
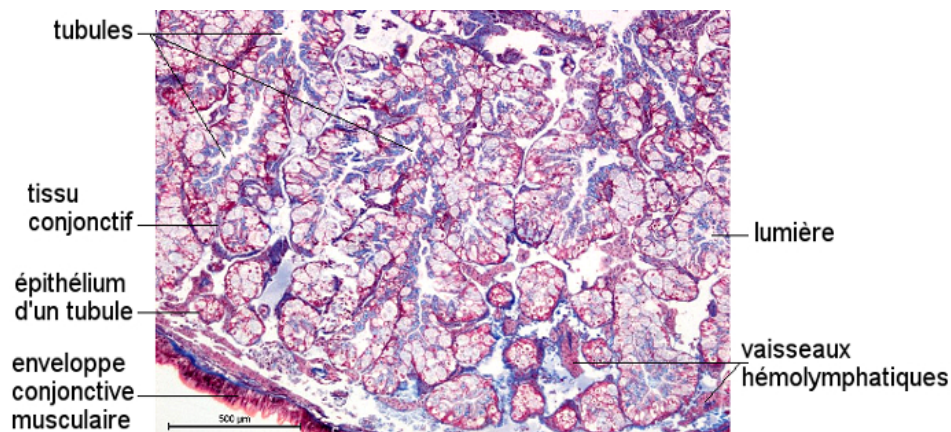


Figure 2. Tube digestif et hépatopancréas de l'Escargot en vue dorsale



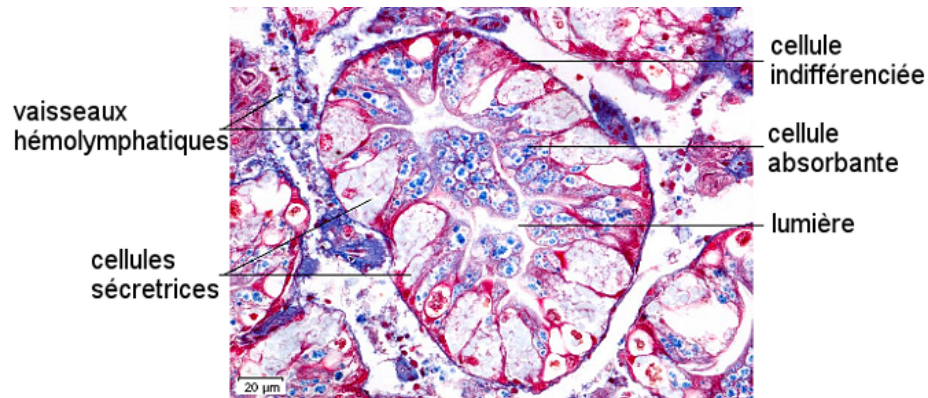
L'appareil digestif est formé de plusieurs organes. Ce sont successivement, de l'avant vers l'arrière, la bouche qui sert à la prise alimentaire grâce à la radula, suivie d'un court œsophage puis du jabot qui donne accès à l'estomac. Ensuite vient l'intestin entouré par l'hépatopancréas. Constitué de deux lobes logés principalement dans le tortillon, l'hépatopancréas est relié au mésentéron (partie moyenne du tube digestif regroupant l'estomac et l'intestin) par le biais d'un canal hépatopancréatique. L'appareil digestif se termine par le rectum et l'anus.

Figure 3. Hépatopancréas d'Escargot en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



L'appareil digestif est protégé par une enveloppe conjonctive et musculaire. L'hépatopancréas est constitué de nombreux tubules creusés d'une lumière, dont la paroi est formée d'un épithélium simple et haut. L'espace présent entre deux tubules peut être comblé par du tissu conjonctif et des vaisseaux hémolymphatiques y courent. Dans l'épithélium de chacun des tubules, trois types cellulaires différents sont observés.

Figure 4. Tubule d'hépatopancréas d'Escargot en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)

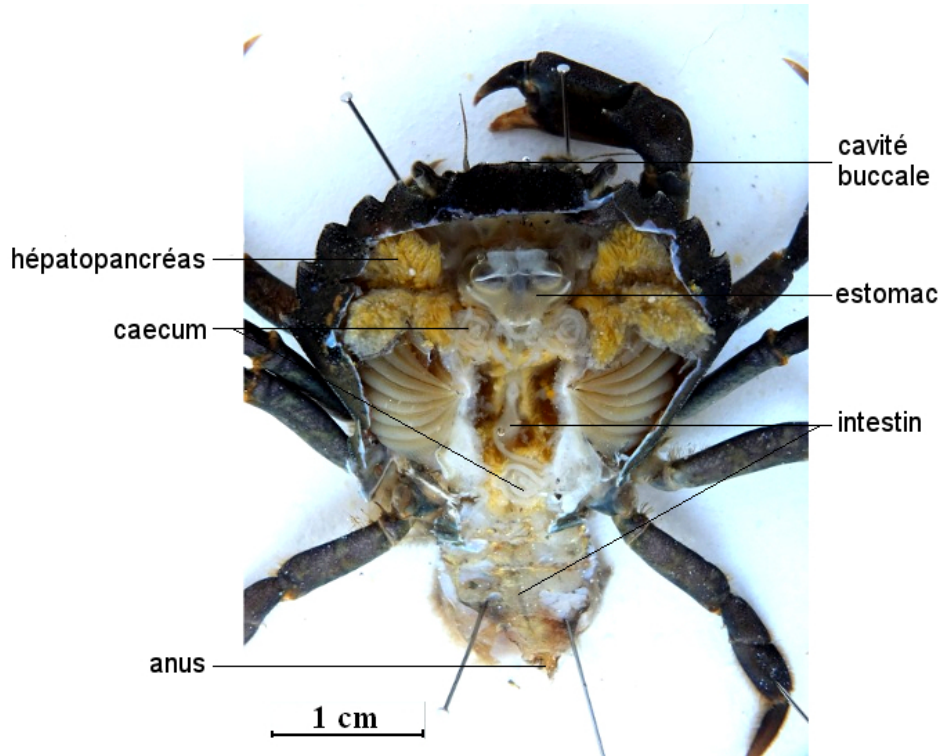


Les trois types de cellules constituant les tubules de l'hépatopancréas sont :

- les cellules indifférenciées ayant un rôle dans le renouvellement de l'épithélium, elles se présentent sous différents aspects, isolées au bord de l'épithélium ou groupées au niveau d'invaginations nommées cryptes de l'épithélium ;
- les cellules absorbantes capables de réaliser la phagocytose de particules présentes dans la lumière des tubules, ce qui a un impact sur leur forme ;
- les cellules sécrétrices produisant les enzymes nécessaires à la digestion, nombreuses et variables selon le régime alimentaire de l'animal.

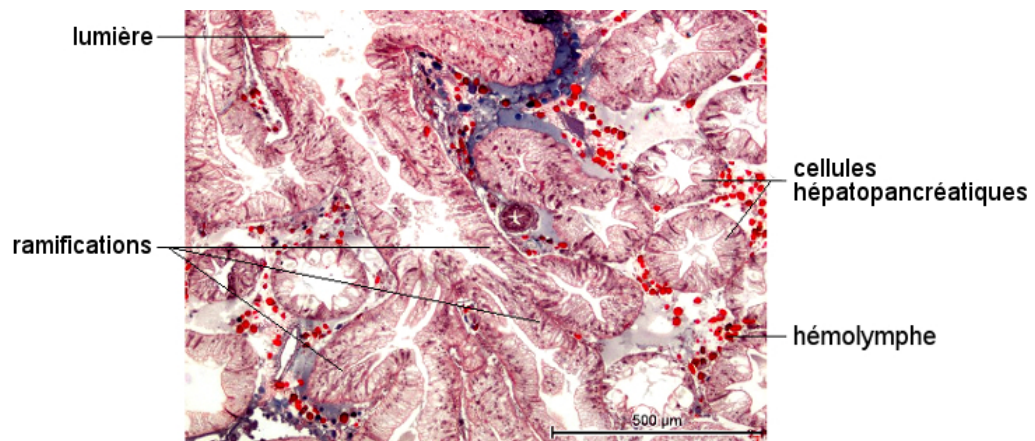
L'hépatopancréas des Arthropodes, un organe filamenteux et pair, relié au tube digestif par des canaux

Figure 5. Appareil digestif du Crabe vert en vue dorsale



Chez les Arthropodes, le trajet des aliments dans le tube digestif commence également par la cavité buccale communiquant avec un court œsophage qui débouche dans l'estomac. Il s'ouvre sur l'intestin qui se termine par le rectum puis l'anus. Il y a présence de plusieurs caecums qui sont des expansions du tube digestif. L'hépatopancréas est relié à l'estomac.

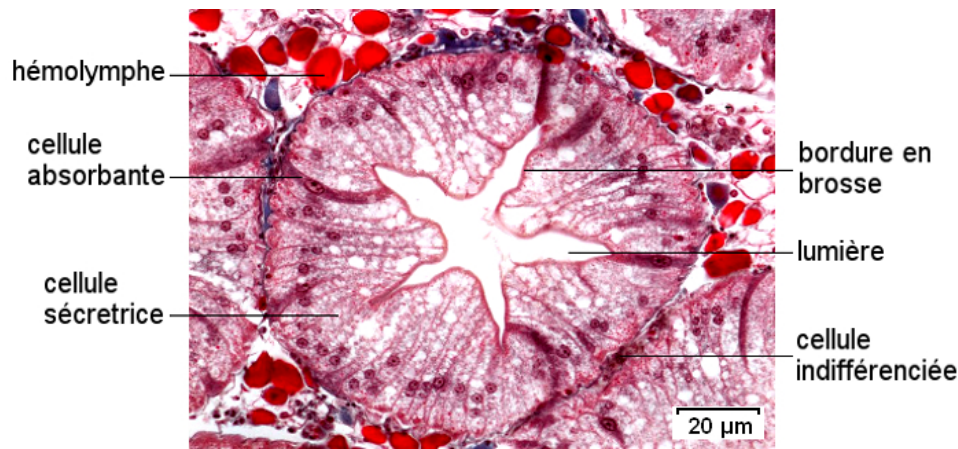
Figure 6. Hépatopancréas de Crabe en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Comme celui de l'Escargot, l'hépatopancréas du Crabe est constitué de tubules dont la lumière est bordée d'un épithélium constitué de cellules indifférenciées, absorbantes et sécrétrices. Les tubules

sont ramifiés, ce qui contribue à augmenter la surface d'échange avec le contenu de la lumière, à volume égal. Les tubules baignent dans l'hémolymphe qui assure leur irrigation.

Figure 7. Tubule d'hépatopancréas de Crabe (Collection de l'ENS de Lyon)



Les cellules épithéliales portent une bordure en brosse au contact de la lumière.

Les hépatopancréas des Mollusques et des Arthropodes, des organes digestifs anatomiquement différents

Le tube digestif est divisé en trois parties, qui sont de l'avant vers l'arrière le stomodeum, le mésentéron et le proctodeum.

Les Mollusques et les Arthropodes possèdent des diverticules intestinaux qui ont différentes formes et structures, mais qui jouent des rôles similaires. Leurs cellules sécrètent des enzymes, en particulier protéolytiques, et absorbent les produits issus de la digestion. Ces diverticules se développent et se ramifient, ce qui conduit à des organes très volumineux, les hépatopancréas.

L'hépatopancréas des Mollusques, étudié à travers l'exemple de l'Escargot, et celui des Arthropodes, examiné chez le Crabe vert, n'ont pas la même organisation anatomique. Chez l'Escargot, cet organe est très volumineux et divisé en deux lobes inégaux, tandis que chez le Crabe il est formé de deux parties symétriques et plus réduites.

Les différences anatomiques observées peuvent être mises en relation avec les régimes alimentaires distincts des espèces et la localisation de la digestion enzymatique. Chez les Gastéropodes végétariens et les Arachnides, la digestion est intracellulaire alors que pour les Gastéropodes carnivores et les Céphalopodes, la digestion se déroule dans la lumière du tube digestif.

L'étude anatomique de l'hépatopancréas laisse à penser qu'il a un rôle majeur dans la digestion et l'absorption.

L'hépatopancréas, une expansion tubuleuse du tube digestif moyen à fonctions digestive, absorbante et métabolique

L'hépatopancréas synthétise de nombreuses enzymes digestives comme les protéases. Les enzymes digestives sont sécrétées par les cellules qualifiées de pancréatiques. Elles présentent une grande diversité notamment liée au régime alimentaire.

L'hépatopancréas, un organe de la digestion

La digestion est une phase de l'alimentation qui succède généralement à l'ingestion, mais peut débiter simultanément. Au sens large du terme, elle correspond à un ensemble de processus qui réduisent la taille des particules alimentaires (digestion physique) et des molécules les composant (digestion chimique).

La simplification moléculaires implique l'action d'enzymes qui sont produites par les cellules de l'épithélium digestif. Elles sont soit sécrétées dans la lumière des tubules de l'hépatopancréas et assurent une digestion extracellulaire (cellules exocrines), soit conservées à l'intérieur des cellules et réalisent une digestion intracellulaire. Les cellules sécrétrices synthétisent du zymogène, un ensemble de proenzymes, et possèdent de nombreuses microvillosités apicales.

Les enzymes sont des protéines complexes capables de catalyser des réactions biochimiques de manière spécifique. Elles jouent un rôle important dans la libération des molécules simples à partir des molécules alimentaires complexes.

Parmi les nombreuses enzymes digestives présentes dans l'hépatopancréas figurent des protéases, des glycosidases et des lipases. Les protéases catalysent la décomposition des protéines. Ce sont par exemple la trypsine et les carboxypeptidases A et B. Leurs activités varient considérablement selon les espèces. L'amylase est une glycosidase qui permet la digestion de l'amidon en dégradant ses polysaccharides. La chitinase dégrade la chitine, présente dans la cuticule des Arthropodes où elle joue un rôle structural. Dans l'hépatopancréas du Crabe, les lipases assurent l'hydrolyse des principaux lipides alimentaires : les triacylglycérols et les phospholipides.

L'hépatopancréas, un organe de l'absorption

L'absorption est la dernière phase de l'alimentation, elle assure le passage des molécules du milieu extérieur au milieu intérieur.

Elle peut concerner des molécules simples issues de la digestion extracellulaire. Divers mécanismes sont impliqués, qui sont la diffusion passive, la diffusion facilitée et le transport actif. Les molécules absorbées deviennent des nutriments qui sont les substances utilisables par les cellules. Les cellules absorbantes possèdent des microvillosités qui augmentent la surface d'absorption. Elles ont une fonction de stockage, notamment de fer et de calcium. Elles contiennent également des lipides, du glycogène et d'autres substances.

Chez certaines espèces, l'absorption est effectuée par phagocytose. Les cellules absorbantes qui la pratiquent réalisent une digestion intracellulaire des molécules d'origine alimentaire et l'élimination des déchets insolubles.

L'hépatopancréas, un organe du métabolisme

L'alimentation est la fonction qui apporte à l'organisme les composants essentiels à son fonctionnement. Ils peuvent être stockés notamment dans l'hépatopancréas.

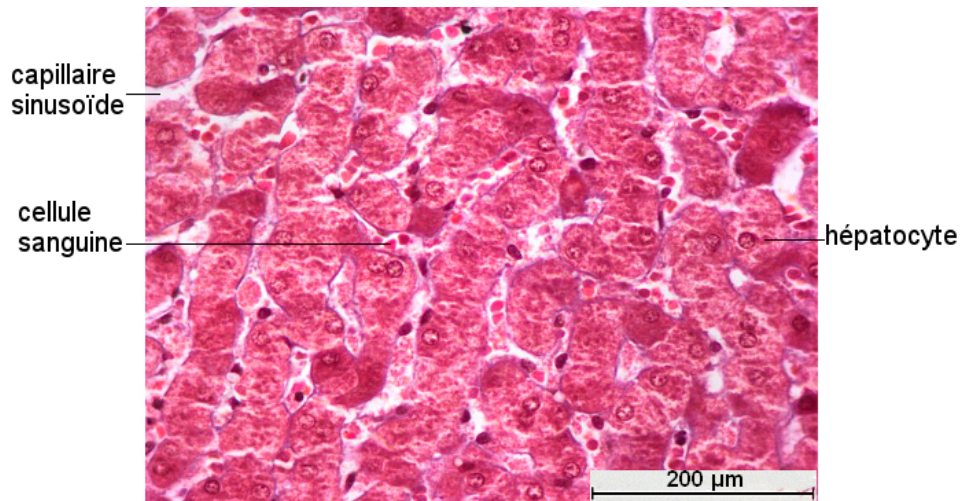
Les molécules alimentaires les plus importantes sont les protéines, les lipides et les glucides. Les protéines jouent un rôle fondamental dans la croissance et la reproduction des animaux. Les glucides, comme les lipides, sont une importante source d'énergie. Les glucides sont présents dans de nombreuses plantes et possèdent une structure basée sur les atomes de carbone, oxygène et hydrogène. Ils sont rencontrés sous forme de polysaccharides, oligosaccharides et monosaccharides. Les lipides sont dégradés par les lipases en diglycérides et monoglycérides qui sont absorbés. Ils sont ensuite convertis en phospholipides et stockés dans l'hépatopancréas.

Chez les Malacostracés comme le Crabe et l'Écrevisse, les réserves contenues dans l'hépatopancréas sont directement utilisées au cours du développement des gonades. Des nutriments sont convertis sous forme de réserves énergétiques dans les cellules absorbantes. Les nutriments stockés dans l'hépatopancréas des Gastéropodes sont utilisés lors de la réparation de la coquille ou dans le cadre de la régulation du pH de l'intestin.

Les cellules basales de l'hépatopancréas ont un rôle de renouvellement de l'épithélium de la paroi des tubules hépatopancréatiques.

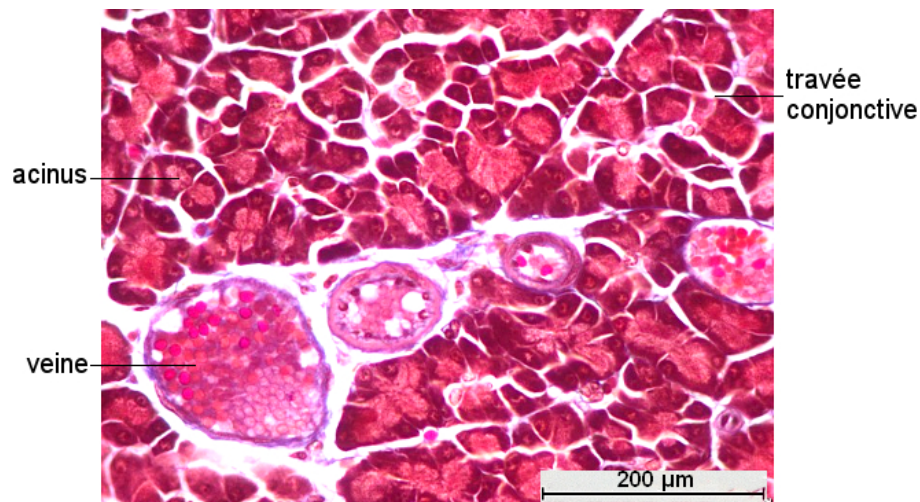
Conclusion

Figure 8. Foie de Porc en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Le foie présente une organisation différente de celle de l'hépatopancréas. Il est possible de voir de nombreuses cellules appelées hépatocytes qui jouent un rôle métabolique important, servant notamment au stockage de glycogène et à la transformation des lipides. L'une des fonctions majeures du foie est la production et la sécrétion de la bile, qui amenée à l'intestin grêle contribue à la digestion des lipides.

Figure 9. Pancréas de Rat en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Le pancréas est constitué de nombreux acinus produisant diverses enzymes digestives, initialement sous forme de zymogène. Protéases, glycosidases, lipases et nucléases sont déversées dans l'intestin grêle par les canaux pancréatiques. Il contient également des îlots de Langerhans qui sont le lieu de production et de libération d'hormones notamment impliquées dans la régulation de la glycémie.

Chez les Mammifères, le foie et le pancréas sont deux glandes digestives exocrines dont les sécrétions permettent la digestion des aliments dans le tube digestif, alors que l'hépatopancréas est un organe formé de diverticules du tube digestif, qui est le site de la digestion et de l'absorption.

Bibliographie et sitographie

Livres

- André Beaumont et Pierre Cassier. *Travaux pratiques de biologie animale*. 3ème édition. Dunod. 1998. 502 p.. *Sciences sup.* [2-10-003649-1]
- Neil Campbell, Jane Reece, Lisa Urry, Mickael Cain, Steven Wasserman, Peter Minorsky, et Ribert Jackson. *Campbell Biologie*. 9ème édition. Pearson Education. 2012. 1458 p.. [978-2-7613-5065]
- Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale tome 1, les grands plans d'organisation*. 3ème édition. Dunod. 2008. 138 p.. *Sciences sup.* [978-2-10-051816-6]
- Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale tome 2, les grandes fonctions*. 2ème édition. Dunod. 2008. 215 p.. *Sciences sup.* [978-2-10-52135-7]
- Michel Rieutort. *Physiologie animale, les cellules de l'organisme*. 2ème édition. Masson. 1998. 330 p.. *Enseignement des sciences de la vie*. [2-225-82993-4]
- Michel Rieutort. *Physiologie animale 2, les grandes fonctions*. 2ème édition. Masson. 1993. 281 p.. *Enseignement des sciences de la vie*. [2-225-80480-X]
- Jean-Marc Ridet, Roland Platel, et François-Jean Meunier. *Des protozoaires aux Échinodermes*. Ellipses. 1992. 224 p.. *Zoologie*. [2-7298-9269-9]
- Yves Turquier. *L'organisme dans son milieu tome 1, les fonctions de nutrition*. Doin. 1989. 315 p.. [2-7040-0620-2]

Articles

- Sandrine Heusser et Henry-Gabriel Dupuy. *De la structure tissulaire à la réalisation des fonctions chez les Gastéropodes Pulmonés (I) Éléments d'histologie et de physiologie des espèces Helix aspersa et Helix pomatia (Synthèse)*. *Folia conchyliologica*. Avril 2011. 10. 3-25. [2107-7010]

Sites internet

- André Frand. *Mollusques In Encyclopaedia Universalis [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 23 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/mollusques/> .
- Max Vachon et Roland Legendre. *Arthropodes In Encyclopaedia Universalis [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 23 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/arthropodes/> .

L'alimentation chez les Cnidaires

Anne-Laure Antoinette

<anne.laure.antoinette@etu.univ-st-etienne.fr>

Laurie Escaich <laurie.escaich@etu.univ-st-etienne.fr>

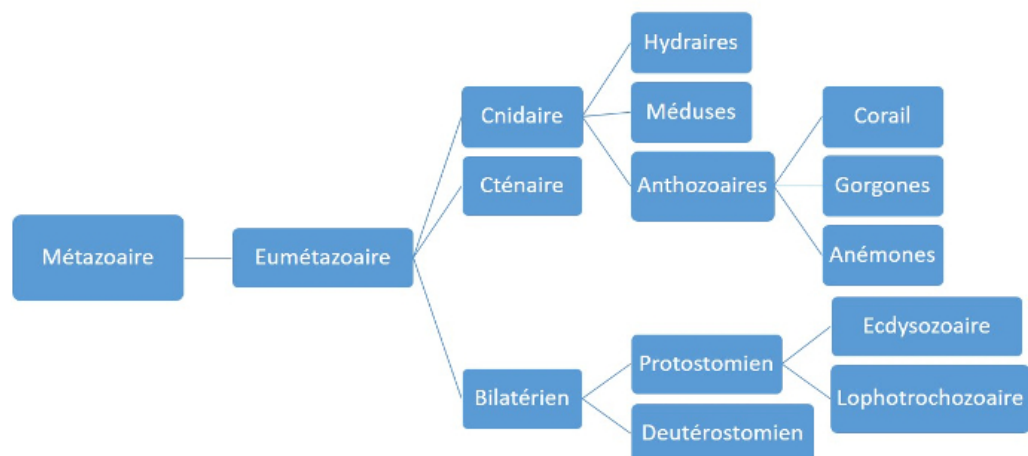
Yesica Gloria <yesica.gloria@etu.univ-st-etienne.fr>

Léa Renou <lea.renou@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

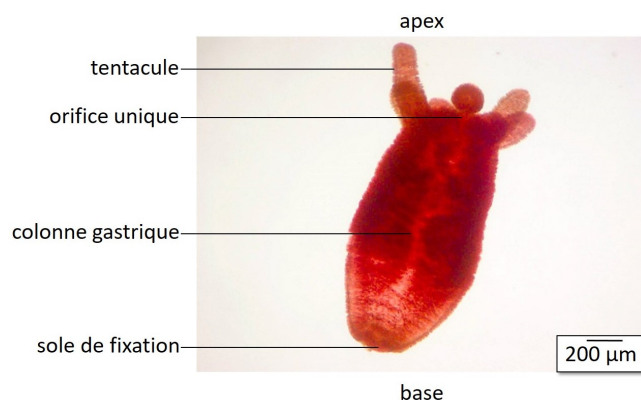
Les Cnidaires font partie du groupe des Eumétazoaires. Animaux aquatiques, ils vivent principalement dans les récifs coralliens, les zones tropicales et subtropicales mais également en milieu tempéré.

Figure 1. Position systématique des Cnidaires



Dans la nature, les Cnidaires sont présents sous deux formes : la forme polype et la forme méduse. Les polypes ont un mode de vie fixé. Les méduses ont un mode de vie libre, elles se déplacent grâce à la contraction de leur ombrelle.

Figure 2. Morphologie de l'Hydre d'eau douce en montage *in toto* (Collection de l'Université Jean Monnet)



La forme polype des Cnidaires est constituée d'une colonne gastrique fixée sur un support et terminée par un orifice apical, entouré de tentacules. La forme méduse est constituée d'une ombrelle, prolongée

par des tentacules entourant un orifice central et orienté vers le bas. Dans les deux cas, l'orifice joue le rôle de bouche et d'anus, les tentacules sont impliqués dans l'alimentation.

Les Cnidaires sont des organismes diploblastiques, c'est-à-dire que leur corps est formé d'un ectoderme et d'un endoderme. L'ectoderme est constitué de cellules myoépithéliales contractiles, de cellules sensorielles, de cellules interstitielles qui sont des cellules indifférenciées et de cnidocytes. L'endoderme est constitué des mêmes types cellulaires que l'ectoderme, à l'exception des cnidocytes. Il possède en plus des cellules gastriques flagellées qui permettent la digestion des aliments grâce à la libération d'enzymes dans la cavité gastrique. Ces deux feuilletts sont séparés par une mésoglye, matériel extracellulaire riche en eau et en collagène.

La fonction d'alimentation comporte plusieurs étapes : la recherche de nourriture, la prise alimentaire, la digestion des aliments, simplification des molécules alimentaires, et l'absorption des molécules simples issues de la digestion.

Les Cnidaires se nourrissent d'animaux de petite taille ou de petites particules en suspension dans l'eau. Ces aliments apportent, lors de la digestion, des molécules organiques et des substances minérales permettant de couvrir les besoins énergétiques et matériels de l'organisme.

Comment les Cnidaires obtiennent-ils leur nourriture ?

De quelle manière les aliments sont-ils digérés et absorbés dans la cavité gastrovasculaire ?

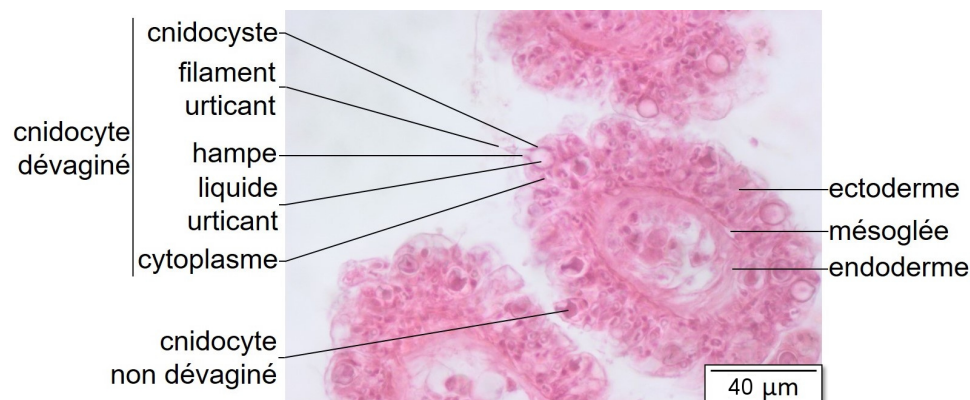
Une prise alimentaire variée, de la phagotrophie à l'osmotrophie

1. La macrophagie, capture de proies par les cnidocytes

La macrophagie est un mode de prise alimentaire dans lequel l'organisme ingère des aliments de grande taille par rapport à sa propre taille.

Les Cnidaires sont essentiellement des prédateurs : ils se nourrissent de proies qu'ils capturent. Ils possèdent des tentacules mobiles autour de l'orifice apical ou central. Ces tentacules sont recouverts de cnidocytes, cellules urticantes à usage unique qui paralysent les proies.

Figure 3. Tentacule d'Hydre d'eau douce en coupe transversale (Collection de l'Université Jean Monnet)



Les cnidocytes sont constitués d'un noyau, d'un cytoplasme, d'une capsule appelée cnidocyste, et d'un cil sensoriel, le cnidocil. Le cnidocyste est une capsule fermée par un opercule apical, contenant un long filament urticant invaginé, qui porte des crochets. Ce filament baigne dans un liquide urticant composé

de plusieurs types de toxines. Ces substances entraînent une paralysie musculaire et respiratoire des proies.

Lorsqu'une proie entre en contact avec un tentacule, elle stimule le cnidocil. L'opercule du cnidocyste s'ouvre, le filament urticant se dévagine, les crochets perforent l'enveloppe corporelle et les toxines sont injectées dans les tissus de la proie. Ce phénomène se déroule en trois millisecondes. La proie est ensuite piégée par les tentacules et amenée à l'orifice qui joue le rôle de bouche ou prise en charge par le courant d'eau généré par les mouvements des tentacules et dirigée vers la bouche.

Ce type de prise alimentaire est qualifié de macrophagie.

Les Siphonophores sont des Cnidaires coloniaux et libres. Ils sont constitués d'une association de plusieurs polypes spécialisés dans la réalisation de fonctions particulières. Parmi eux, les gastrozoïdes jouent le rôle de polypes nourriciers. Ils possèdent une bouche et un tentacule unique, appelé le filament pêcheur. Ce filament, long et ramifié, porte de nombreuses cellules urticantes. Ces gastrozoïdes assurent la prise alimentaire de toute la colonie.

La microphagie par suspensivorie, filtration et piégeage de particules flottantes par un mucus

La microphagie est un mode de prise alimentaire dans lequel l'organisme ingère des aliments de petite taille par rapport à sa propre taille. Lorsque l'ingestion concerne des particules nutritives en suspension dans l'eau, la microphagie est appelée suspensivorie.

Certains Cnidaires, notamment les Coraux formant des colonies, sont des filtreurs passifs. Ce sont des organismes qui utilisent les mouvements de l'eau environnante sans générer eux-mêmes un courant d'eau. Ils sécrètent un mucus formant un réseau couvrant la surface de la colonie. Adhésif, il retient les petites particules en suspension dans l'eau qui traverse le réseau. Le mucus et les particules piégées sont amenés à la bouche par des mouvements ciliaires.

Ce type de prise alimentaire est qualifié de microphagie par suspensivorie. Il vient généralement en complément de la macrophagie.

L'osmotrophie, symbiose et échanges de substances dissoutes

À la différence de la macrophagie et de la microphagie, qui consistent en l'ingestion de particules alimentaires et relèvent de la phagotrophie, l'osmotrophie est une forme de prise alimentaire par absorption directe de substances dissoutes.

La plupart des Cnidaires sont de couleur jaune-brun ou verte. Ces couleurs sont dues à la présence dans leurs cellules d'algues unicellulaires, respectivement des zooxanthelles et des zoochlorelles.

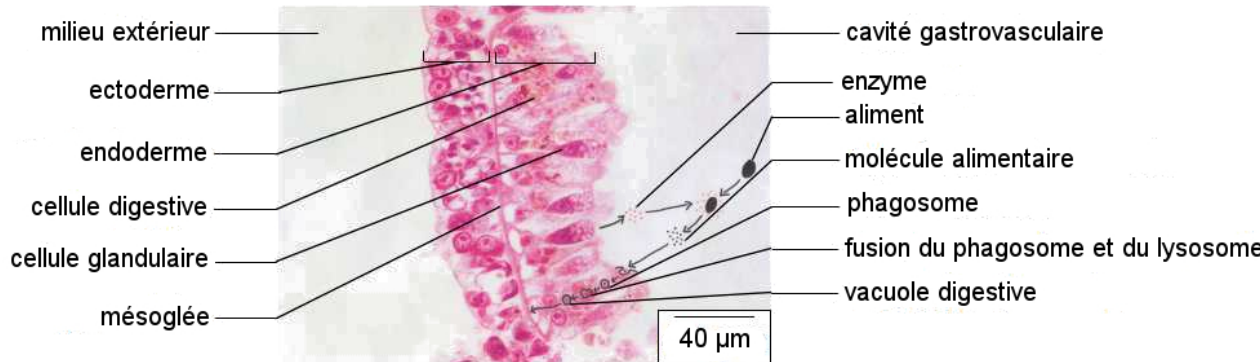
Par la voie métabolique de la photosynthèse, les algues produisent des molécules organiques. Certaines sont sécrétées dans le cytoplasme des cellules de l'hôte, notamment le glycérol, le glucose et quelques acides aminés. Ces molécules sont utilisées dans les propres réactions chimiques du Cnidaire et incorporées dans ses tissus. Parallèlement, l'algue utilise certains déchets du métabolisme de l'hôte par exemple le dioxyde de carbone, les ions ammonium contenant de l'azote et phosphates contenant du phosphore.

Ce type de prise alimentaire est qualifiée d'osmotrophie. L'association algue-Cnidaire est une association symbiotique.

Chez de nombreux Cnidaires, la prise alimentaire est mixte, au moins deux types de prises alimentaires sont pratiqués conjointement. Cette combinaison peut être considérée comme une adaptation liée à la colonisation de milieux pauvres en proies potentielles, comme les eaux douces ou certaines eaux tropicales.

La digestion et l'absorption par l'endoderme de la cavité gastrovasculaire

Figure 4. Paroi de la colonne gastrique de l'Hydre d'eau douce en coupe longitudinale (Collection de l'Université Jean Monnet)



Chez les Cnidaires la digestion se déroule dans deux milieux successivement, extracellulaire et intracellulaire. Une fois la proie capturée, elle est transportée jusqu'à la bouche par les tentacules et entre dans la cavité gastrovasculaire.

Les aliments subissent une digestion extracellulaire. Ils sont décomposés en molécules plus simples par l'action chimique d'enzymes sécrétées par les cellules glandulaires de la cavité gastrovasculaire. Le mélange des aliments, de l'eau et des enzymes dans la cavité gastrovasculaire est assuré par le battement des flagelles des cellules digestives endodermiques.

La digestion intracellulaire commence par la phagocytose des molécules par les cellules digestives. La membrane plasmique des cellules digestives forme des replis qui enveloppent et incorporent les molécules dans une vésicule appelée phagosome. Ensuite, les phagosomes fusionnent avec les lysosomes des cellules digestives contenant des hydrolases, ce qui donne naissance à des vacuoles digestives. L'action chimique des hydrolases continue la décomposition de ces molécules en molécules simples et assimilables.

Les vacuoles digestives traversent le cytoplasme et les molécules digérées sortent de la cellule vers la mésoglée par exocytose. Dans la mésoglée, les cellules amiboïdes absorbent ces molécules et les transportent vers d'autres parties de l'organisme.

Les particules non digérées par les enzymes sont libérées dans la cavité gastrovasculaire par exocytose et évacuées dans le milieu extérieur par l'orifice apical.

Dans le cas des Cnidaires coloniaux, les cavités gastrovasculaires des différents individus sont en continuité. La digestion, l'absorption et la distribution des aliments et des molécules alimentaires sont réalisées à l'échelle de la colonie.

Conclusion

En définitive, les Cnidaires pratiquent différentes formes d'alimentation. Ils peuvent être macrophages, capturant des proies grâce à leurs cnidocytes. Ils peuvent aussi être suspensivores, captant des particules en suspension dans l'eau. Enfin, ils peuvent être osmotrophes en relation avec leur association symbiotique avec des algues unicellulaires. Certains Cnidaires sont dépendants de cette symbiose avec des zooxanthelles et zoochlorelles qui leur fournissent des substances nutritives nécessaires à leur métabolisme.

Cependant, certains phénomènes provoquent un stress chez les Cnidaires : l'augmentation de la température ou de l'intensité lumineuse, l'augmentation de l'acidité du milieu due au dioxyde de

carbone, ou encore la pollution des eaux par le pétrole ou la crème solaire. Lorsque les Cnidaires sont en conditions de stress, ils expulsent les algues de leurs cellules. Ils perdent la pigmentation due aux algues : c'est le phénomène de blanchissement observé chez les Coraux. Si le retour aux conditions normales ne se fait pas suffisamment rapidement, l'absence de zooxanthelles et de zoochlorelles entraîne la mort des Cnidaires. Or, ils constituent un acteur important de l'équilibre biologique des océans. Quels sont les impacts du blanchissement des Coraux et comment le prévenir ?

Bibliographie et sitographie

Livres

- Gary J. Brusca et Richard C. Brusca. *Invertebrates*. 2ème édition. Sinauer Associates, Inc. 2003. 922 p.. [978-0-87893-097-5]
- Claude Chapron. *Principe de zoologie, structure-fonction et évolution*. Dunod. 1999. 203 p.. *Sciences Sup*. [2-10-004008-1]
- Patrick Chevalet, Sylvie Fournel, Nathalie Giraud, et Daniel Richard. *Biologie, tout le cours en fiches*. 2ème édition. Dunod. 2012. 768 p.. [978-2-10-058878-7]
- Hervé Lecointre et Guillaume Le Guyader. *Classification phylogénétique du vivant*. 3ème édition. Belin. 2013. 607 p.. [978-2-7011-3456-7]
- Stephen Miller et John Harley. *Zoologie*. De Boeck. 2015. 621 p.. [978-2-8041-8816-0]
- Pierre Peycru, Bernard Augère, Jean-François Beaux, François Cariou, Pascale Carrère, Cécile Van der Rest, Jean-Michel Dupin, Caroline Hermann-Escuyer, Jean-François Fogelgesang, Stéphane Maury, Éric Queinnec, Élena Salgueiro, Thierry Darribere, Didier Grandperrin, et Christiane Perrier. *Biologie tout-en-un, BCPST 2e année*. 3ème édition. Dunod. 2014. 736 p.. *J'intègre*. [978-2-10-071470-4]
- Peter Hamilton Raven, George Brooks Johnson, Kenneth A. Mason, Jonathan B. Losos, et Susan R. Singer. *Biologie*. De Boeck. 2011. 1406 p.. [978-2-80-416305-1]
- Jean-Marc Ridet, Roland Platel, et François Meunier. *Zoologie 1, des Protozoaires aux Échinodermes*. Ellipses. 1992. 224 p.. [2-7298-9269-9]

Sites internet

- Pierre Clairambault et Yves Turquier. *Anthozoaires In Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopedia Universalis. [date de consultation : 26 février 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/anthozoaires/> .
- Bertrand Miserey. *Les Cnidaires In Commission départementale de biologie sous-marine de l'Oise [en ligne]* . Bertrand Miserey. 2002 [date de consultation : 03 mars 2017]. Disponible sur : http://cdbso.pagesperso-orange.fr/pdf/09_cnidaires.pdf .
- Antoine Morin. *Les Cnidaires In Animaux : structures et fonctions [en ligne]*. Université d'Ottawa. 2003 [date de consultation : 23 mars 2017]. Disponible sur : http://simulium.bio.uottawa.ca/bio2525/Notes/Les_Cnidaires.htm .
- Yves Turquier. *Hydres In Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopedia Universalis. [date de consultation : 26 février 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/hydres/> .
- Cnidaria In Wikipédia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. 2017 [date de consultation : 06 mars 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cnidaria> .

Nématocyste In *Wikipédia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. 2017 [date de consultation : 26 février 2017].
Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Nématocyste> .

La prise alimentaire chez les Annélides

Anouk Charlot <anouk.charlot@etu.univ-st-etienne.fr >

Julie Doulsan <julie.doulsan@etu.univ-st-etienne.fr>

Corentin Poyatos

<corentin.poyatos@etu.univ-st-etienne.fr>

Rémy Souvignet <remy.souvignet@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Les Annélides sont des animaux du groupe des Protostomiens : leur bouche est formée à partir du blastopore, premier orifice du tube digestif embryonnaire, ou à son emplacement. Ils sont notamment caractérisés par une métamérie, segmentation longitudinale du corps en sous-unités successives appelées métamères. Les Annélides sont réparties en trois sous-groupes définis par l'abondance des soies portées par les métamères : les Polychètes possèdent de nombreuses soies, les Oligochètes en possèdent peu, et les Achètes en sont dépourvues.

La prise alimentaire correspond à la capture et l'ingestion des aliments. La prise alimentaire est diversifiée chez les Annélides. Elles peuvent se nourrir d'aliments de grande taille, de petite taille, ou même d'aliments liquides. En relation avec le milieu de vie et le régime alimentaire, les dispositifs anatomiques et les modalités de la prise alimentaire varient. La métamérie contribue à ces variations, avec l'apparition de structures dédiées à la prise alimentaire.

Comment est effectuée la prise alimentaire chez les Annélides ?

Quelle diversité présente-t-elle ?

Comment est-elle adaptée à leur alimentation ?

Se nourrir d'aliments solides de grande taille

Capter une proie à l'aide d'une trompe armée

Figure 1. Région antérieure de Néreïs, trompe dévaginée à gauche et trompe invaginée à droite, en vue dorsale



La Néréis est une Annélide Polychète errante et benthique, c'est-à-dire qu'elle vit sur les fonds marins et s'y déplace. Elle se nourrit principalement d'animaux tels que d'autres vers, des petits crustacés, ou encore des Mollusques, mais elle peut également se nourrir de détritiques organiques.

Son premier segment, le prostomium, porte deux paires d'yeux, une paire d'antennes et une paire de palpes qui sont des organes tactiles et gustatifs. Son premier métamère, le péristomium, porte la bouche. Elle s'ouvre sur un pharynx dont la partie antérieure peut être évaginée par l'orifice buccal et projetée vers l'avant, formant ainsi une trompe. Lorsqu'elle est sortie, elle est qualifiée de dévaginée. Elle se termine par deux mâchoires cornées et présente de petits renflements chitineux appelés paragnathes.

En présence d'une proie, la pression du liquide dans les segments corporels antérieurs et dans la trompe augmente en raison de la contraction des muscles circulaires de la paroi corporelle. Cela provoque la dévagination de la trompe. Les mâchoires permettent de saisir la proie. La contraction des muscles rétracteurs entraîne alors l'invagination de la trompe et ainsi l'ingestion de la proie et son passage dans le pharynx où elle est maintenue par les paragnathes.

La taille des aliments qu'elle ingère étant importante par rapport à sa propre taille, la Néréis peut être qualifiée de macrophage. Se nourrissant d'animaux vivants et morts, elle est prédatrice et nécrophage. Elle saisit et ingère sa nourriture grâce à une trompe armée qu'elle peut invaginer et dévagner.

Capter une proie à l'aide d'une trompe inerme

Les Amphinomidés ou Vers de feu sont des Annélides polychètes errantes pélagiques, c'est-à-dire qui vivent en pleine mer et sont mobiles. Ce sont des prédateurs qui chassent principalement des Anémones de mer, du plancton ou parfois des Ophiures, mais qui peuvent également se nourrir de cadavres.

Les Vers de feu sont des Annélides qui possèdent un pharynx dévaginable équipé de petites arêtes acérées. Les Amphinomidés réalisent leur prise alimentaire en ouvrant la bouche et renversant leur pharynx avant de le placer sur la proie ou sur le cadavre d'un animal. Les arêtes acérées à l'extrémité du pharynx raclent alors la proie et prélèvent des fragments de chair.

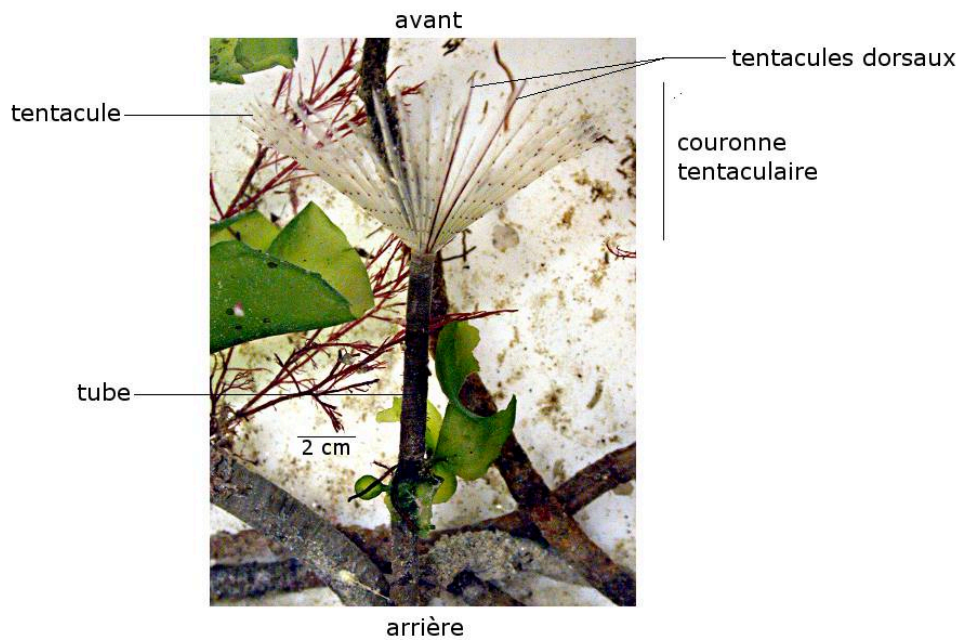
Par rapport à la taille des aliments qu'elles ingèrent, les Amphinomidés peuvent donc être qualifiées de macrophages. Comme elles se nourrissent de proies vivantes qu'elles chassent et tuent, elles sont dites prédatrices, mais également nécrophages car elles s'alimentent parfois de cadavres. Leur prise alimentaire est réalisée grâce à une trompe inerme, dépourvue de mâchoire.

Se nourrir d'aliments solides de petite taille

Capter des particules en suspension à l'aide d'un panache de tentacules

La Sabelle est une Annélide Polychète sédentaire et tubicole. Elle vit dans un tube enfoui dans le sable. Elle se nourrit de particules en suspension dans l'eau, comme le phytoplancton.

Figure 2. Sabelle avec panache de tentacules déployé en vue dorsale



À marée est basse, seul le tube de la Sabelle est visible mais à marée haute, elle déploie dans l'eau un panache de tentacules en forme d'entonnoir. La bouche, organe réalisant l'ingestion des particules alimentaires, est située à la base de l'entonnoir à l'extrémité antérieure du tube.

Les tentacules sont portés le prostomium. Il en existe deux types : les tentacules les plus nombreux, clairs, et les tentacules relativement sombres, expansions des lèvres dorsales au nombre de deux. Tous ont la même fonction : piéger des particules en suspension dans l'eau environnante. L'extension des tentacules est due à une augmentation de la pression dans les compartiments liquidiens qu'ils contiennent.

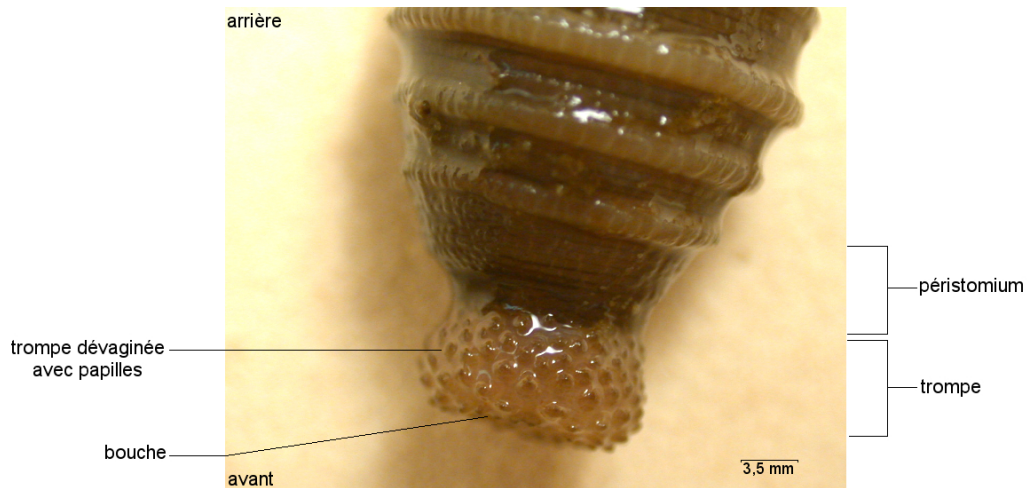
Chaque tentacule est formé d'un axe principal portant des ramifications latérales paires appelées pinnules. Les pinnules sont délimitées par un épithélium dont les cellules sont munies de cils. Leurs battements génèrent un courant d'eau orienté de l'extérieur vers l'intérieur du panache. La prise de nourriture est réalisée par la filtration de l'eau et la rétention des particules en suspension. Les particules apportées par le courant d'eau sont captées et déviées par les cils des pinnules et de l'axe des tentacules. Elles sont déplacées en direction de la bouche de l'animal grâce aux battements des cils. Elles glissent le long des axes principaux des tentacules où elles sont triées selon leur taille. La Sabelle n'ingère que les plus fines.

La Sabelle se nourrit donc de particules bien plus petites que sa taille : elle est qualifiée de microphage. Les particules en suspension dans l'eau sont filtrées grâce au panache de tentacules puis acheminées à la bouche. La prise alimentaire concernant des particules en suspension dans l'eau, elle est également dite filtreur suspensivore.

Ingérer des particules incorporées au sédiment et glaner des particules déposées à l'aide d'une trompe

L'Arénicole est une Annélide Polychète sédentaire vivant dans les sédiments marins sableux. Elle vit dans une galerie en forme de J creusée dans le sable. L'animal est enfoui dans le sédiment son extrémité postérieure étant en relation avec l'ouverture de la galerie.

Figure 3. Région antérieure d'Arénicole en vue dorsale



Elle se nourrit principalement de débris organiques présents dans le sable. La région antérieure de l'animal porte la bouche située sur le premier métamère, le péristomium, par laquelle une trompe peut être dévaginée. La trompe est molle et hérissée de papilles adhésives du fait de la présence d'un mucus. Elle possède de nombreux récepteurs sensoriels.

L'animal effectue des ondulations corporelles qui lui permettent de se déplacer, de renouveler l'eau et de concentrer les particules alimentaires dans le sable qu'il ingère. Sa trompe, interne au repos, est dévaginée lors de l'ingestion de la nourriture. Elle permet la saisie et l'aspiration du sable contenant les particules alimentaires telles que des bactéries ou encore des algues unicellulaires, puis son ingestion. La dévagination de la trompe est provoquée par la contraction de la musculature de la paroi du corps, responsable d'une augmentation de la pression exercée sur le liquide des cavités corporelles antérieures. Sa rétraction résulte de la contraction de muscles rétracteurs.

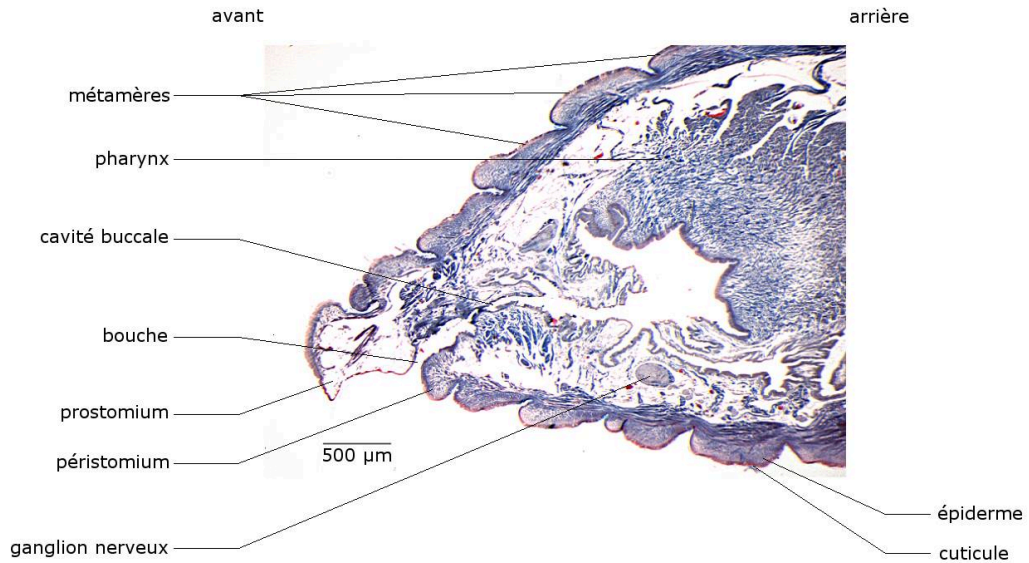
L'Arénicole se nourrit donc de particules de petites dimensions présentes dans le sable : elle est qualifiée de microphage. Ingérant le sable, elle est dite psammivore, qui signifie « qui se nourrit de sable ». Elle aspire le sable dont elle se nourrit à l'aide de sa trompe.

Ingérer des particules incorporées au sédiment et glaner des particules déposées sans trompe

Le Lombric ou Ver de terre est un animal vivant dans le sol. Il peut vivre en populations denses comptant jusqu'à 1000 individus/m² ce qui représente une masse de près de 5 tonnes par hectare. Il fait partie du groupe des Oligochètes et appartient à l'un des rares sous-groupes d'Annélides aériennes.

Le Lombric vit dans des galeries qu'il creuse dans le sol. Il se nourrit de diverses formes de matière organique décomposée qu'il trouve dans la terre ou à sa surface, comme des tontes de jardin, du compost, du marc de café. Le Lombric se nourrit de particules déjà présentes dans la terre, ou recherche en surface de gros fragments qu'il apporte dans ses galeries. Là, les microorganismes du sol comme les bactéries en accélèrent la dégradation en petites particules qu'il peut ingérer.

Figure 4. Région antérieure de *Lombric* en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Le *Lombric* possède un prostomium qui ne présente pas d'yeux mais des cellules sensorielles sensibles à la lumière. Le premier métamère appelé péristomium porte la bouche dépourvue de dents, mais munie de deux lèvres. Elle est ouverte sur un pharynx musculueux. Lorsque le Ver de terre se nourrit, sa bouche et son pharynx se dilatent, ce qui entraîne une dépression dans le pharynx. La terre contenant les particules organiques est aspirée et avalée. Elle est également poussée vers la bouche par les lèvres qui lui sont associées. La terre ingérée contient les particules dont l'animal se nourrit.

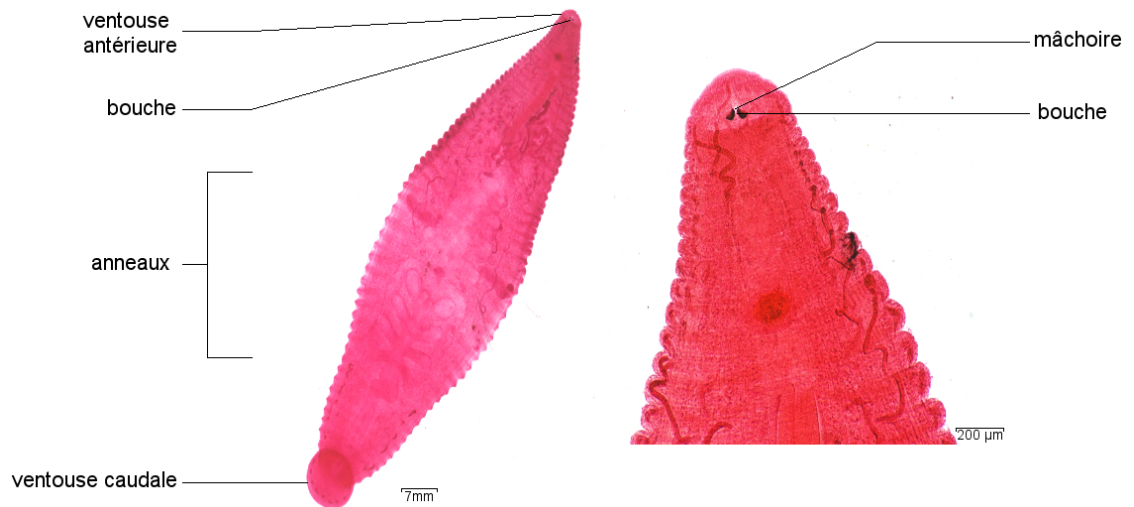
Le *Lombric* ingère donc de petites particules organiques : il est qualifié de microphage. Il les avale en les aspirant grâce à sa bouche et son pharynx. Comme les aliments qu'il consomme se trouvent dans la terre qu'il ingère, il est également dit géophage.

Se nourrir de liquide

Les Achètes appelés également Hirudinées ou Sangsues sont des Annélides avec une longueur variant de 1 à 20 cm. Ce groupe comporte 650 espèces, hermaphrodites. Elles vivent pour la plupart dans le milieu aquatique, particulièrement en eau douce cependant il existe aussi des espèces terrestres.

La Sangsue médicinale, *Hirudo medicinalis*, est un exemple de Sangsue bien connu. Cette espèce fait partie du sous-groupe des Gnathobdelliformes, qui correspond aux Sangsues à mâchoires. Elle vit dans les eaux douces d'Europe et d'Afrique du nord. Comme toutes les autres Achètes, elle se nourrit de sang qu'elle prélève spécifiquement sur les Vertébrés.

Figure 5. Morphologie de la Sangsue en montage *in toto* (Collection de l'ENS de Lyon)



La Sangsue médicinale ingère sa nourriture grâce à une bouche située au fond de la ventouse buccale. Elle est entourée de trois lèvres, deux lèvres dorsales et une lèvre ventrale, qui déterminent une fente en forme d'étoile à trois branches. Le pharynx est musculueux et muni de trois mâchoires de forme demi-lenticulaire et convexe. Chaque mâchoire est située à 120° des autres et porte de 60 à 100 denticules. Composés de calcite, les denticules sont disposés en chevron et ont une forme de V ce leur confère un caractère très tranchant.

Lorsque la Sangsue adhère à son hôte par l'intermédiaire de sa ventouse caudale, elle commence la ponction du sang c'est-à-dire son prélèvement. Dans un premier temps, la ventouse antérieure s'aplatit et se colle à la peau puis le fond de la ventouse se relève entraînant avec elle la peau. Moulée en une forme concave, elle est incisée par les denticules. La Sangsue laisse une blessure typique en forme de Y.

La Sangsue médicinale produit des substances anesthésiantes et une substance anticoagulante, l'hirudine. L'hirudine produite par les glandes salivaires est déversée entre les denticules par l'intermédiaire de canaux. Ces substances sont responsables de l'insensibilisation de l'hôte lors du prélèvement du sang.

Branchellion torpedinis est une autre espèce de Sangsue, appartenant au sous-groupe des Rhynchobdelliformes, regroupant les Sangsues à trompe dévaginable, sans mâchoire. Tous les Rhynchobdelliformes vivent en milieu marin.

Appelée aussi Sangsue des Raies, cette espèce est présente en Méditerranée, en Manche et dans l'océan Atlantique, de l'Angleterre à l'Afrique de l'Ouest. Elle possède une ventouse caudale circulaire assez grosse, et du côté antérieur une expansion longue et fine terminée par une petite ventouse. Comme toutes les Achètes, elle se nourrit de sang cependant elle s'attaque uniquement aux Raies torpilles et aux Requins. Plus généralement les Rhynchobdelliformes ponctionnent le sang des poissons, des Lissamphibiens ou des Mollusques.

L'alimentation de cette Sangsue est réalisée de la façon suivante : dans un premier temps, la ventouse postérieure permet l'adhérence à l'hôte, puis la ventouse antérieure, qui entoure la bouche munie de dents en forme de cornes, se fixe sur l'hôte et le pharynx est dévaginé en une trompe sans mâchoire. La perforation des tissus est due aux mouvements de va-et-vient de la trompe et à l'action des dents, permettant ensuite la ponction du sang.

Les Sangsues se nourrissent donc exclusivement de liquides circulants, sang ou hémolymphe. Elles sont qualifiées d'hématophages. Elles réalisent la ponction du liquide quand elles sont sur un hôte, les Sangsues ont donc un mode de vie appelé parasitisme. La ponction est effectuée grâce à une ventouse antérieure associée à la bouche et à un dispositif de perforation.

Conclusion

À travers les exemples étudiés, la diversité de la prise alimentaire des Annélides est mise en évidence. Les organes impliqués présentent des différences en relation avec la nature des aliments et les modalités de prélèvement. Ainsi, le pharynx peut être simple ou former une trompe, armée de mâchoires ou inerme. Il peut rester invaginé ou être dévaginable. Certaines Annélides comme les Sangsues présentent des adaptations à un mode de vie et une alimentation parasites avec des ventouses permettant leur fixation sur l'hôte et la production de substances anesthésiantes et anticoagulantes. D'autres utilisent leur milieu de vie comme vecteur alimentaire, par exemple la Sabelle qui génère des courants d'eau grâce à ses tentacules. La saisie des aliments et leur acheminement vers la bouche sont également variés : certaines Annélides se déplacent à la recherche de nourriture alors que d'autres sont immobiles.

Il est intéressant de noter que la diversité de prise alimentaire et des organes qui lui sont dédiés existe dans d'autres groupes, comme celui des Oiseaux. Les Oiseaux possèdent des becs très différents en liaison avec la diversité de la prise alimentaire. Par exemple, le Flamant rose possède un bec muni de lamelles qui lui permettent de filtrer l'eau et de retenir les petits organismes dont il se nourrit. Étant donné la taille de ses aliments, c'est un microphage filtreur. À l'inverse, le Vautour possède un bec fort et crochu qui lui permet de déchirer la chair des cadavres d'animaux dont il se nourrit. C'est un macrophage nécrophage.

Bibliographie et sitographie

Livres

Jean-Marc Ridet, Roland Platel, et François Jean Meunier. *Zoologie 1, des Protozoaires aux Échinodermes*. Ellipses. 1993. 216 p.. [2729892699]

Simon Tillier. *Encyclopédie du règne animal de A à Z*. Bordas. 1992. 495 p.. [2040185372]

Sites internet

Frédéric André et Sabine Boulad. *Branchellion torpedinis In Données d'observations pour la reconnaissance et l'identification de la faune et la flore subaquatiques (DORIS) [en ligne]*. Commission nationale environnement et biologie subaquatiques de la Fédération française d'études et de sports sous-marins (FFESSM). 2013 [date de consultation : 22 mars 2017]. Disponible sur : <http://doris.ffessm.fr/Especies/Sangsue-des-raies3> .

Vincent De Schuyteneer. *Les Annélides In Biodis [en ligne]*. Vincent De Schuyteneer. 2016 [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.vdsciences.com/pages/sciences-biologiques/biologie-animale/zoologie-descriptive/biol-animale-14-annelides.html> .

Michel Delarue. *Chaetogaster, un annélide oligochète aquatique In Canal-u [en ligne]*. Michel Wiewiorka - Fondation Maison des sciences de l'homme. 2012 [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : https://www.canal-u.tv/video/tele2sciences/chaetogaster_un_annelide_oligochete_aquatique.10051 .

Sébastien Dugravot. *Annélides polychètes In Université de Rennes 1 [en ligne]*. Sébastien Dugravot. [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : <https://perso.univ-rennes1.fr/sebastien.dugravot/CM1%20J%20Russo.pdf> [<https://perso.univ-rennes1.fr/sebastien.dugravot/CM1%20J%20Russo.pdf>] .

Guillaume. *Licence 3 | Biologie Animale – Chapitre 4-1 : Métazoaires triploblastiques cœlomates – les Annélides In Biodeug [en ligne]*. Biodeug. 2012 [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible

sur : <http://www.biodeug.com/licence-3-biologie-animale-chapitre-4-1-metazoaires-triploblastiques-clomates-les-annelides/> .

Sandrine Heusser. *Au menu de la Sabelle... In Codex virtualis [en ligne]*. Sandrine Heusser. 2014 [date de consultation : 08 mars 2017]. Disponible sur : <http://codexvirtualis.fr/codex/cabinet-de-curiosites-virtuel-des-animaux-et-des-milieus/alimentation-sabelle> .

Serge Jodra. *Les Arénicoles In Imago mundi, encyclopédie gratuite en ligne [en ligne]*. Serge Jodra. [date de consultation : 14 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.cosmovisions.com/arenicoles.htm> .

Serge Jodra. *Les Sangsues In Imago mundi, encyclopédie gratuite en ligne [en ligne]*. Serge Jodra. [date de consultation : 22 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.cosmovisions.com/sangsues.htm> .

Caroline Niederbing. *Les Annélides In Site du cours de zoologie, Diversité et évolution animale : les non Vertébrés [en ligne]*. Université catholique de Louvain, Université de Namur. [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : http://zoology-uclouvain.be/docs/syllabus-interactif/syllabus_annelides_bir.pdf .

Yann Richard. *Embranchement des Annélides, les vers segmentés In Couleur plongée [en ligne]*. Yann Richard. [date de consultation : 22 mars 2017]. Disponible sur : <http://couleurplongee.free.fr/anneli.html> .

Arenicola marina In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 2016 [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Arenicola_marina .

Chaetogaster In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 2016 [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : <https://en.wikipedia.org/wiki/Chaetogaster> .

Hirudinea In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 2016 [date de consultation : 22 mars 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Hirudinea> .

Lumbricina In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 2017 [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Lumbricina> .

Nutrition In Biophiles sur le net [en ligne]. biophile.free.fr. [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : http://biophile.free.fr/Cours/L3_BioA.html .

Polychaeta In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 2016 [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Polychaeta> .

Sabella pavonina In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 2017 [date de consultation : 22 mars 2017]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Sabella_pavonina .

Sabellaria alveolata In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 2016 [date de consultation : 22 mars 2017]. Disponible sur : "https://fr.wikipedia.org/wiki/Sabellaria_alveolata [https://fr.wikipedia.org/wiki/Sabellaria_alveolata] .

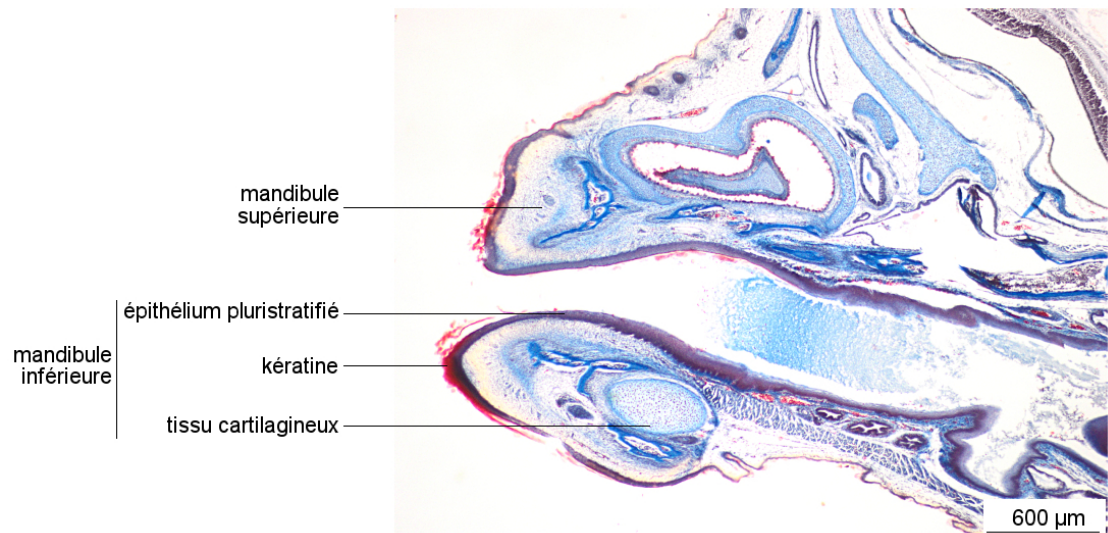
Sangsue médicinale In Collections de l'UF de biologie [en ligne]. Université de Bordeaux. [date de consultation : 22 mars 2017]. Disponible sur : http://collections-biologie.u-bordeaux.fr/Fiches_annelides/Hirudo%20medicinalis.html .

La prise alimentaire et le bec des oiseaux

Axelle Dinard <axelle.dinard@etu.univ-st-etienne.fr>
Marine Garrier <marine.garrier@etu.univ-st-etienne.fr>
Lucie Hermet <lucie.hermet@etu.univ-st-etienne>
Laetitia Socchi <laetitia.socchi@etu.univ-st-etienne>

Introduction

Figure 1. Bec de Moineau à l'éclosion en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les Oiseaux, scientifiquement appelés Aves, sont des Vertébrés tétrapodes, ovipares, à respiration pulmonaire. Ils sont caractérisés par la présence de plumes, de membres antérieurs transformés en ailes et d'un bec. Actuellement, plus de 10000 espèces sont recensées.

Le bec est un phanère, production tégumentaire en relief composée de kératine. Il est formé d'une mandibule supérieure et d'une mandibule inférieure développées sur les os prémaxillaires, maxillaires et dentaires. Il porte des narines et abrite une langue dure et rudimentaire si bien que le sens du goût est presque inexistant.

Sa principale fonction est la prise alimentaire qui consiste en la recherche et la prise de nourriture, parfois associée à la fragmentation et la décomposition des aliments en molécules simples et assimilables. Or celle-ci est variée chez les Oiseaux : certains sont microphages et d'autres macrophages.

La filtration avec un bec muni de lamelles

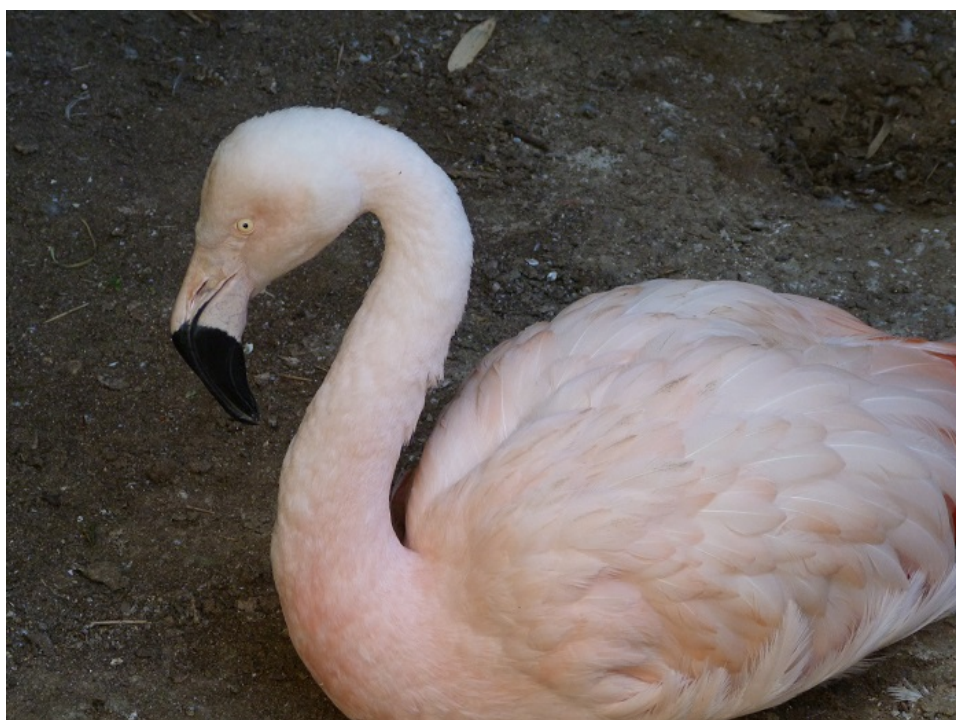
Figure 2. Tête de Cygne tuberculé



Les Oiseaux filtreurs vivent dans des environnements aquatiques. Comment parviennent-ils à prélever leur nourriture sans augmenter l'apport en eau ?

Leur bec peut être illustré par celui du Cygne tuberculé (*Cygnus olor*). Il est principalement microphage : il ingère des particules de matière organique de petite taille par rapport à la sienne. Il possède un bec aplati, de longueur presque équivalente à celle de sa tête. Le bord interne du bec porte des rangées de lamelles cornées lui permettant de retenir les particules alimentaires lorsque l'eau est rejetée. Occasionnellement macrophage, il se nourrit en coupant des racines, des tiges des feuilles ou encore des plantes aquatiques.

Figure 3. Tête de Flamant rose (Jardin aux Oiseaux de Upie)



Le Flamant rose (*Phoenicopterus roseus*) fouille l'eau vaseuse et filtre les particules nutritives. Il se nourrit en particulier de Crevettes comme *Artemia salina*, à l'origine de sa couleur rose. Bien que le bec du Flamant rose, épais et arqué, diffère de celui du Cygne, fin et droit, des structures internes similaires sont présentes.

Figure 4. Tête de Spatule blanche (Collection de l'ENS de Lyon)



La Spatule blanche (*Platalea leucorodia*) est aussi microphage. Elle se nourrit en plongeant son bec dans les eaux peu profondes. Elle effectue des mouvements d'ouverture et de fermeture alternatifs ce

qui permet d'éliminer l'eau et de retenir des Insectes, des crustacés, des Mollusques et des poissons. Son bec long dont l'extrémité est élargie et plate, ne possède pas de lamelles, ce qui explique sa manière de filtrer.

Figure 5. Tête de Pélican blanc (Jardin aux Oiseaux de Upie)



Le Pélican blanc (*Pelecanus onocrotalus*) se nourrit de poissons en ouvrant son bec immergé partiellement dans l'eau tout en avançant. Il possède une poche membraneuse dilatable, extensible au niveau de la mandibule inférieure qui joue le rôle d'épuisette. Lorsqu'il remonte à la surface, il ferme son bec et grâce à la rétractation de la poche, l'eau est expulsée par les deux côtés à peine joints des mandibules alors que les proies sont retenues à l'intérieur.

Ainsi, de nombreux Oiseaux se nourrissent en utilisant leur bec comme appareil filtreur. Le Cygne, le Flamant rose et le Pélican possèdent des adaptations morphologiques comme des lamelles et une poche dilatable. La Spatule, quant à elle, a développé un comportement spécifique de la filtration.

La capture de proies vivantes et mobiles avec un bec long et fin

La principale nourriture de certains Oiseaux étant mobile, comment font-ils pour la saisir ?

Un bec permettant de saisir et de gober

Figure 6. Hirondelle rustique (Collection de l'Université Jean Monnet)



L'Hirondelle rustique (*Hirundo rustica*) attrape au vol de nombreuses espèces d'Insectes appartenant aux groupes des Diptères, des Lépidoptères ou encore des Coléoptères, avant de les gober. Son bec est court, environ deux fois moins long que sa tête, il est pointu et le bout est très légèrement crochu ce qui lui permet de maintenir ses proies.

Le nombre d'espèces d'Oiseaux, dont le bec allongé et pointu permet de chasser des Insectes est considérable. Bien souvent, les variations morphologiques du bec apparaissent au niveau de sa longueur, celle-ci variant en fonction du type d'Insectes capturés.

Un bec permettant de saisir et de maintenir

Figure 7. Tête de Grand cormoran (Collection de l'ENS de Lyon)



Le Grand cormoran (*Phalacrocorax carbo*) se nourrit de poissons, d'Arthropodes et de Lissamphibiens. Il plonge sur sa proie, la maintient du bout de son bec crochu, l'assomme et l'avale à l'aide de son bec pointu, de longueur équivalente à celle de sa tête.

Figure 8. Héron cendré (Metz)



Le Héron cendré (*Ardea cinerea*) se nourrit essentiellement de poissons, d'Insectes et de crustacés. Il étend son cou, les harponne, les secoue d'un côté et de l'autre et finit par les avaler en entier. Son bec a la forme d'un poignard.

Ces Oiseaux présentent des adaptations morphologiques du bec liées à des modalités de capture des proies différentes : le Héron au bec poignard peut harponner sa proie tandis que le Grand Cormoran au bec crochu peut la maintenir facilement.

Un bec permettant de débusquer et de saisir

Figure 9. Tête d'Avocette élégante (Collection de l'ENS de Lyon)



L'Avocette élégante (*Recurvirostra avosetta*) est un Oiseau vivant dans les baies, les estuaires ou encore les marais salants. Elle se nourrit d'Insectes aquatiques, de vers et de petits Arthropodes. Elle remue l'eau peu profonde et en fait sortir les animaux qui s'y trouvent puis les attrape du bout du bec. Ensuite, elle effectue des mouvements d'ouverture et de fermeture faisant remonter les proies jusqu'à leur ingestion. Elle est dotée d'un bec allongé, fin et recourbé vers le haut.

L'extraction de nourriture peu accessible avec un bec puissant

Comment certaines espèces d'Oiseaux accèdent-elles à une nourriture enveloppée ou enfouie ?

Un bec permettant de saisir et rompre une enveloppe

Figure 10. Tête de Chardonneret élégant (Collection de l'ENS de Lyon)



Le Chardonneret élégant (*Carduelis cardulis*) est un Oiseau qui extrait les graines des cônes ou des fruits. Il casse le tégument de la graine et ingère l'intérieur grâce à un bec court, massif et pointu, caractéristique de ce type de prise alimentaire.

Figure 11. Tête de Bec-croisé (Collection de l'ENS de Lyon)



Le Bec-croisé des sapins (*Loxia curvirostra*) se nourrit des graines situées à l'intérieur des pommes de Pin. Il introduit son bec entre les écailles des pommes de Pin, provoquant leur écartement et leur cassure. L'Oiseau prélève alors les graines à l'aide de sa langue. L'extraction des graines est facilitée par un bec épais avec les mandibules supérieures et inférieures se croisant à leurs extrémités. La présence de muscles asymétriques au niveau des mâchoires permet un mouvement tournant permettant de casser les cônes.

Le Gros-bec casse-noyaux (*Coccothraustes coccothraustes*) possède un bec triangulaire, épais pouvant exercer une force de 45 kg. Très puissant, il permet de casser de gros noyaux tels que ceux des cerises. Le maintien du noyau est facilité par la rugosité du bec.

Le problème de l'accessibilité à la nourriture est résolu par la morphologie des becs de ces Oiseaux, leur permettant de rompre des enveloppes coriaces.

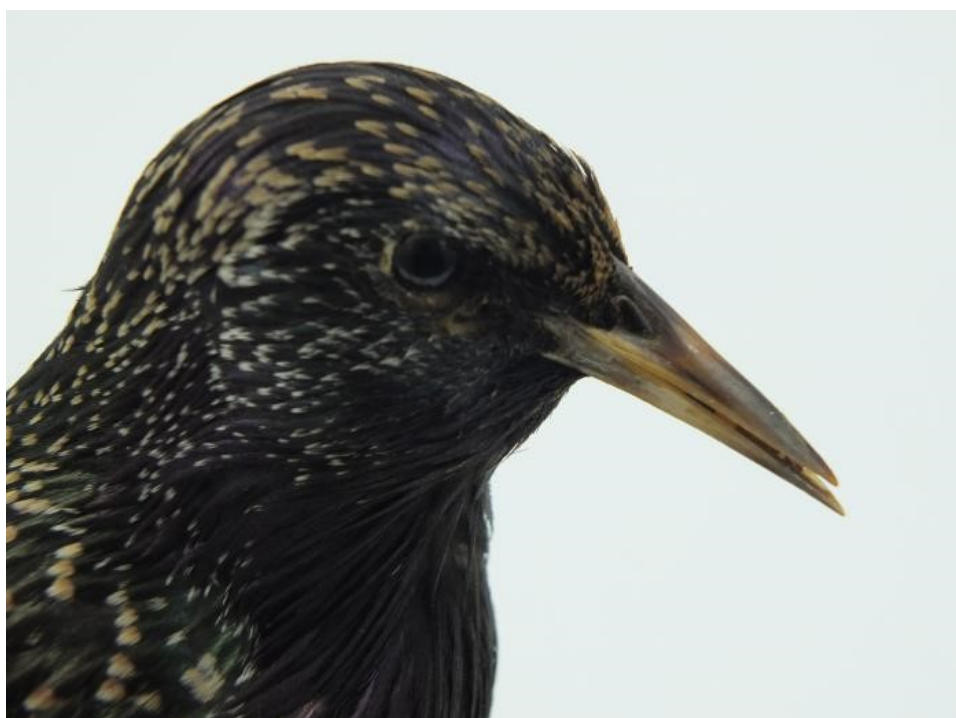
Un bec permettant de creuser et saisir

Figure 12. Tête de Pic vert (Collection de l'Université Jean Monnet)



Le Pic vert (*Picus viridis*) se nourrit majoritairement de Fourmis. Il creuse un trou dans l'écorce ou dans la terre à l'aide de son bec tranchant et fort, puis attrape les proies avec sa langue. Celle-ci est longue, collante et porte des petits crochets qui lui permettent d'attraper facilement ses proies.

Figure 13. Tête d'Étourneau sansonnet (Collection de l'ENS de Lyon)



L'Étourneau sansonnet (*Sturnus vulgaris*) se nourrit principalement de graines, de fruits et de Diptères selon les ressources disponibles. Il cherche sa nourriture en fouillant la surface du sol avec son bec tranchant. Les Étourneaux vivant près de la mer se nourrissent de Mollusques et d'Arthropodes ; ils sont capables d'insérer leur bec à l'intérieur des coquilles et de les ouvrir.

Ces Oiseaux accèdent à leur nourriture en creusant le milieu dans lequel elle est enfouie à l'aide de leur bec tranchant.

La saisie et le déchetage avec un bec crochu

Certains Oiseaux se nourrissent de Vertébrés. Comment parviennent-ils à séparer les parties comestibles (chair) que celles qui ne le sont pas (os) ?

Figure 14. Tête de Faucon crécerelle (Collection de l'ENS de Lyon)



Le Faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) se nourrit de Souris, de Campagnols et d'Insectes. Une fois sa proie repérée, il effectue une attaque en piqué très rapide. Après s'être emparé de sa proie avec ses serres, il la neutralise et la mange. Son bec crochu est muni d'une excroissance appelée "dent" au niveau de la mandibule supérieure qui lui permet de sectionner la moelle épinière et ainsi de paralyser sa proie. La dent contribue aussi au déchiquetage.

Figure 15. Tête d'Aigle des steppes (Jardin aux Oiseaux de Upie)



L'Aigle des steppes (*Aquila nipalensis*) chasse des proies telles que des reptiles, des Insectes et des Mammifères. En cas de pénurie de proies, l'Aigle peut se nourrir de cadavres. Proportionnellement à la taille des proies, le bec de l'aigle est plus long que celui du faucon. Il a également une ouverture plus large lui permettant de manger des bouts de chair plus importants.

Figure 16. Tête de Vautour fauve (Jardin aux Oiseaux de Upie)



Les Vautours sont nécrophages : ils se nourrissent de cadavres. Ils les repèrent grâce aux petits charognards comme les Corbeaux déjà présents. Le bec est très grand par rapport à la taille de la tête de l'animal.

Selon la nature de leur nourriture et le moment où elles interviennent, plusieurs catégories de Vautours sont distinguées. Ensemble, elles permettent l'élimination totale des cadavres. Le premier à venir se nourrir est le Vautour fauve (*Gyps fulvus*) qualifié de tireur fouilleur. Il insère son bec dans les orifices naturels de l'animal mort et extirpe essentiellement les tissus mous, les muscles et les viscères. Il laisse la place aux Vautours déchireurs tels que le Vautour moine (*Aegypius monachus*) qui vient manger la peau, les os et les cartilages. Il possède un bec plus effilé que celui du Vautour fauve. Enfin les Vautours picoreurs, comme le Vautour pecnoptère (*Neophron percnopterus*), arrivent en dernier et mangent ce qui reste. Leur bec est aussi long que celui des autres Vautours, mais plus fin ce qui peut s'expliquer par le fait que les morceaux restants sont petits et que l'espèce n'est pas strictement nécrophage.

Figure 17. Tête de Chouette effraie (Collection de l'Université Jean Monnet)



La Chouette effraie (*Tyto alba*) se nourrit majoritairement de rongeurs et plus rarement de gros Insectes. Elle les repère à l'aide des plumes raides localisées autour de son bec, qualifiées de sétiformes, qui servent à détecter les proies. Son bec, petit et très incurvé, lui permet de les crocheter et de les déchiqueter.

Cette catégorie comprend l'ensemble des Oiseaux qualifiés de rapaces. Grâce à leur bec crochu, ils neutralisent et déchiquettent les proies, certains à l'aide d'une excroissance, d'autres par la puissance du bec due à son épaisseur.

Capture, extraction et ingestion : des becs polyvalents aux becs spécialisés

Comment se procurer des aliments diversifiés ou au contraire très spécifiques ?

Un bec polyvalent pour des prises alimentaires variées

Figure 18. Tête de Corneille noire (Collection de l'Université Jean Monnet)



La Corneille noire (*Corvus corone*) a un régime alimentaire variant selon son habitat et les saisons. Elle se nourrit de graines et de coquillages en les cassant grâce à un bec épais et robuste. En cas de pénurie de nourriture, elle consomme des charognes qu'elle saisit à l'aide de l'extrémité légèrement crochue de son bec. De même, diverses modalités de chasse sont mises en œuvre, comme la capture d'Oiseaux en vol ou la récupération de proies capturées par d'autres espèces.

Figure 19. Tête de Merle noir (Collection de l'Université Jean Monnet)



Le Merle noir (*Turdus merula*) vit dans des régions tempérées. Il se nourrit principalement de Vers de terre quand le sol est humide, au printemps ou en automne par exemple. Lorsqu'arrive l'été et que le sol devient sec, il devient majoritairement frugivore. Le bec court dont l'extrémité supérieure est légèrement crochue, ne présente pas d'adaptation à une prise alimentaire exclusive.

Figure 20. Tête de Mouette rieuse (Collection de l'Université Jean Monnet)



La Mouette rieuse (*Chroicocephalus ridibundus*) fait aussi partie des Oiseaux qui ont un régime alimentaire omnivore : elle se nourrit d'Insectes aquatiques quand elle est en mer. Sur terre, elle peut extirper des Vers de terre avec son bec allongé, casser des graines grâce à la force de ce dernier. Son extrémité légèrement crochue permet aussi d'attraper des petits Mammifères.

Un bec original pour une prise alimentaire spécifique

Figure 21. Tête de Toucan toco (Costa Rica)



Le Toucan toco (*Ramphastos toco*) se nourrit principalement de fruits, de baies et de graines. Il les récupère du bout du bec et les gobe en redressant la tête à la verticale. Il possède un bec large par rapport à celui des espèces étudiées précédemment, long et courbé vers le bas. Ses bords sont en dents de scie, sa langue est étroite et longue, et porte des lamelles sur les côtés. Elle lui permet de manipuler sa nourriture.

Figure 22. Colibri à gorge rubis (Costa Rica)



Le Colibri à gorge rubis (*Archilochus colubris*) possède un bec très fin et allongé avec une langue extensible. Il l'insère dans la corolle des fleurs et en aspire ainsi le nectar. Dans la même famille, le Bec-en-faucille de la Condamine (*Eutoxeres condamini*) se nourrit sur des fleurs dont les pétales sont incurvés. Le bec est courbé ce qui lui permet d'épouser la forme de la fleur et d'en aspirer le nectar.

Les Oiseaux ayant un régime alimentaire varié possèdent un bec polyvalent sans adaptation particulière. À l'inverse, certains Oiseaux dont l'alimentation est spécifique ont un bec adapté comme le Toucan aux fruits et le Colibri au nectar.

Conclusion

Pour certains Oiseaux, la morphologie du bec est en relation avec la prise alimentaire. Toutefois, pour une même prise alimentaire, différentes morphologies peuvent exister. Inversement, des becs semblables peuvent être associés à des prises alimentaires différentes. Ainsi, il n'est pas aisé de déduire comment mange un Oiseau en observant son bec. Celui-ci est également adapté à un régime alimentaire ou à d'autres fonctions comme le chant, la parade nuptiale ou encore la toilette.

Cependant, dans d'autres groupes comme celui des Insectes, la prise alimentaire est toujours en lien avec les pièces buccales. Par exemple, certains Insectes ont des pièces buccales de type broyeur, comportant des mandibules qui coupent et broient ainsi que des maxilles qui mastiquent. Elles leur permettent de traiter une nourriture solide, quelle que soit sa nature.

Bibliographie et Sitographie

Livres

David Alderton. *Encyclopédie des oiseaux*. Parragon. 2012. 384 p.. [978-1-4454-638-9]

Luc Chazel et Muriel Chazel. *Les oiseaux ont-ils du flair ? : 160 clés pour comprendre les oiseaux*. Quae. 2013. 239 p.. [978-2-7592-1881-3]

Collectif. *Le grand atlas : les oiseaux*. Atlas. 2004. 400 p.. *Atlas de la nature*. [2-7234-4893-2]

Pierre Darmangeat. *Oiseaux des étangs et rivières*. Artémis. 2002. 127 p.. [2-84416-119-7]

Alan Harris, Laurel Tucker, et Keith Vinicombe. *Le guide expert de l'ornitho : pour éviter les pièges de l'identification*. Delachaux et Niestlé. 2014. 395 p.. [978-2-603-02085-2]

Jérôme Morin. *Guide des oiseaux des bords de mer*. Belin. 2011. 223 p.. [978-2-7011-5821-1]

Sites internet

Collectif. *Observatoire des rapaces In Centre d'études biologique de Chizé [en ligne]*. Ligue pour la protection des Oiseaux. 2003-2017 [date de consultation : 14 février 2017]. Disponible sur : <http://observatoire-rapaces.lpo.fr> .

Collectif. *Oiseaux.net [en ligne]*. Didier Collin. 2005 [date de consultation : 23 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.oiseaux.net> .

Nicole. *oiseaux-birds.com [en ligne]*. Nicole. [date de consultation : 02 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.oiseaux-birds.com/> [<http://www.oiseaux-birds.com/>] .

Jacques Nicolin. *L'oiseau libre [en ligne]*. Jacques Nicolin. 2000-2012 [date de consultation : 20 février 2017]. Disponible sur : <http://www.oiseau-libre.net/Site/> [<http://www.oiseau-libre.net/Site/>] .

Se nourrir par filtration

Pierre-Yves Besson

< pierre.yves.besson@etu.univ-st-etienne.fr >

Marine Fiorucci < marine.fiorucci@etu.univ-st-etienne.fr >

Alice Sauzedde < alice.sauzedde@etu.univ-st-etienne.fr >

Emeline Turquer

< emeline.turquer@etu.univ-st-etienne.fr >

Introduction

L'alimentation est une action quotidienne fondamentale qui consiste à absorber diverses substances extérieures, apportant à l'organisme la matière et l'énergie nécessaires à sa survie.

Certains animaux aquatiques se nourrissent de particules alimentaires relativement petites par rapport à leur propre taille. Ces particules organiques de petite taille, telles que des débris et du plancton, sont en suspension dans l'eau. La prise alimentaire concernant ce type de particules relève d'un mécanisme de prélèvement nommé microphagie par suspensivorie. Les animaux qui la pratiquent sont aussi qualifiés de filtreurs du fait qu'ils filtrent l'eau grâce à des dispositifs spécialisés dans le tri et l'ingestion des particules.

En quoi la microphagie par suspensivorie est-elle un mode d'alimentation et quels sont les dispositifs permettant la filtration ?

Se nourrir par filtration branchiale avec courant d'eau ciliaire

La Moule est un organisme faisant partie du groupe des Mollusques bivalves et du sous-groupe des Mytilida. Elle vit fixée sur un support grâce à son byssus. Elle se nourrit de petites particules présentes dans l'eau. Sa prise alimentaire implique plusieurs processus : la mise en place d'un courant d'eau, la capture des particules, l'acheminement de la nourriture jusqu'à la bouche. Elle a une grande capacité à pomper l'eau, le volume pompé variant de 50 à 70 litres par jour. Cela lui permet de compenser l'absence de mobilité et de s'approvisionner suffisamment en nourriture.

L'exemple de cette espèce permet de décrire les mécanismes de l'alimentation par filtration.

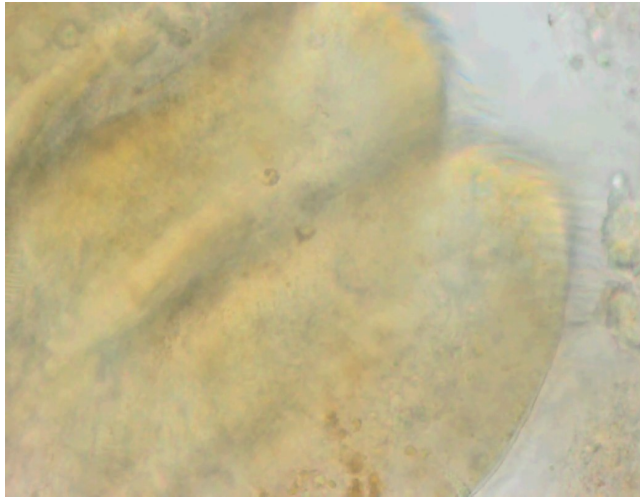
Générer une circulation d'eau par des battements ciliaires

La Moule génère un courant d'eau lui permettant de subvenir à ses besoins alimentaires et respiratoires.

À marée haute, l'eau et les particules en suspension sont dirigées vers l'ouverture ventrale du manteau, donnant accès à la chambre ventrale inhalante de la cavité palléale. Elles traversent le filtre que constitue l'appareil branchial. Cet appareil est composé d'une paire de branchies formées chacune de deux lames constituées de filaments branchiaux portant des cils vibratiles. Les particules alimentaires sont captées par le filtre puis dirigées vers la bouche de l'animal.

Ensuite l'eau sort par la chambre dorsale exhalante du côté de la masse viscérale.

Figure 1. Voir la vidéo "Battements des cils branchiaux de Moule"

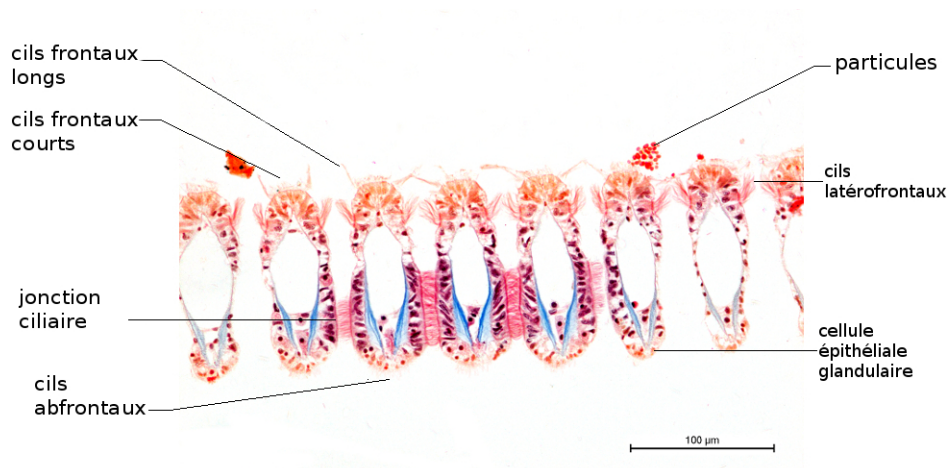


Écouter/Voir la vidéo au format .mp4 [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/19_video_01.mp4] au format .webm [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/19_video_01.webm]

L'acheminement de l'eau et des particules jusqu'à la cavité palléale et leur circulation se font grâce aux battements des cils latéro-frontaux des filaments branchiaux.

Capter des particules alimentaires par un filtre branchial

Figure 2. Filaments branchiaux de Moule en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



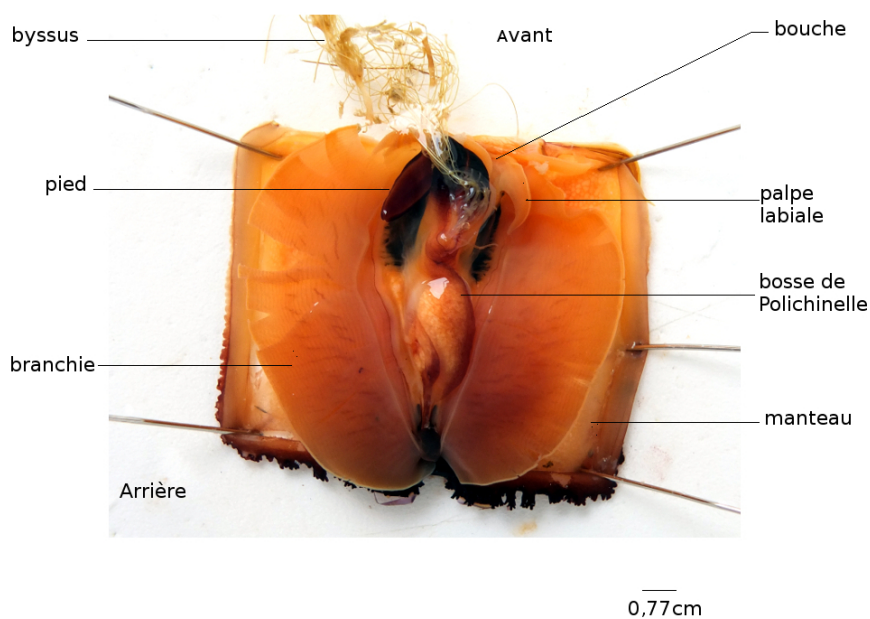
Les filaments branchiaux de la Moule portent des cils latéro-frontaux à l'origine du courant d'eau. Les particules alimentaires en suspension, lorsqu'elles entrent en contact avec les cils frontaux courts et les cils abfrontaux, sont prises en charge et acheminées jusqu'au sillon nourricier situé sur le bord libre des lames branchiales. Ces particules sont parallèlement enduites de mucus, produit par les cellules épithéliales glandulaires branchiales. Au niveau du sillon nourricier, les cils de garde effectuent un premier tri des particules en ne laissant entrer que les plus petites à l'intérieur du sillon nourricier. Les plus grosses sont évacuées par l'orifice exhalant.

Acheminer les particules alimentaires jusqu'à la bouche

Une fois les particules dans le sillon nourricier, elles sont acheminées vers la bouche grâce aux cils vibratiles qui en tapissent l'intérieur. Après un nouveau tri réalisé par les palpes labiaux encadrant la bouche, elles sont ingérées.

La Moule se nourrit de petites particules par rapport à sa propre taille, en suspension dans l'eau. Elle est donc microphage suspensivore. Elle filtre et trie les particules alimentaires grâce à ses branchies et à ses palpes labiaux. Ses aliments sont principalement constitués de particules microscopiques telles que le phytoplancton, le zooplancton et des débris en suspension dans l'eau.

Figure 3. Anatomie de la Moule en vue ventrale



Se nourrir par filtration pariétale avec courant d'eau ciliaire

Le groupe des Éponges, également nommées Porifères ou Spongiaires, comporte environ 10 000 espèces. Les Porifères vivent fixés sur un support et se nourrissent de particules de petite taille en suspension dans l'eau.

Le genre Sycon peut être décrit comme exemple.

Le corps de Sycon est constitué d'une paroi poreuse, relativement rigide, entourant une cavité centrale appelée atrium. Elle est délimitée par des cellules organisées en nappes cellulaires externe et interne entre lesquelles sont localisées des corbeilles vibratiles, structures creuses tapissées de cellules appelées choanocytes. Un mésohyle, constitué de matériel extracellulaire et de cellules isolées, occupe les espaces entre les nappes cellulaires et les corbeilles vibratiles.

Les corbeilles vibratiles sont ouvertes sur l'extérieur par des orifices inhalants et sur l'atrium. Les choanocytes sont des cellules possédant des expansions cellulaires apicales représentées par des microvillosités formant une collerette au cœur de laquelle émerge un flagelle.

Figure 4. Paroi corporelle de Sycon en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)

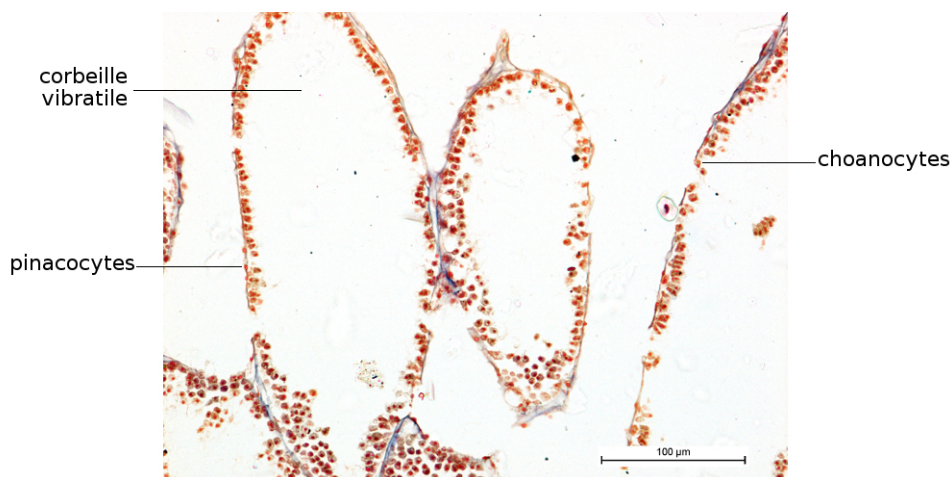


Les Porifères sont en permanence traversés par un courant d'eau entrant par les nombreux pores inhalants de la paroi, qui constitue le filtre. La multiplicité et le diamètre des pores de la paroi permettent aux Porifères d'effectuer une première filtration alimentaire et de ne laisser passer que des particules très petites par rapport à leur propre taille.

Le courant d'eau est généré par les battements des flagelles des choanocytes et orienté de l'extérieur vers l'atrium. Lorsque l'eau et les particules baignent les corbeilles vibratiles, les particules en suspension entrent en contact avec les microvillosités des choanocytes, recouvertes de mucus, et sont ainsi retenues. Une filtration a alors lieu au niveau de la collerette que forment les microvillosités.

Une fois les particules agglomérées sur les microvillosités, un pseudopode se forme et englobe les particules qui sont ensuite phagocytées. Une fois ces étapes effectuées, l'eau ressort par l'oscule qui est l'orifice exhalant de l'atrium.

Figure 5. Corbeilles vibratiles de Sycon en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les Porifères se nourrissent par filtration de l'eau et retiennent les petites particules en suspension. Il s'agit d'organismes microphages suspensivores effectuant une filtration pariétale avec courant d'eau ciliaire se nourrissant de débris organiques, bactéries et algues unicellulaires.

Se nourrir par filtration tentaculaire avec courant d'eau ciliaire

Les Sabelles font partie des Annélides polychètes, ce sont des vers au corps métamérisé. Elles possèdent une couronne de tentacules située au niveau du prostomium qui est le premier segment corporel.

L'axe des tentacules contient une cavité coelomique qui permet, lorsqu'elle est remplie de liquide, leur extension. Ils sont responsables de la prise alimentaire.

Chaque tentacule est creusé d'un sillon trophique et porte deux rangées de pinnules, dont l'épithélium de revêtement est tapissé de cils qui génèrent par leurs battements un courant d'eau de l'extérieur vers l'intérieur du panache. L'eau entraîne avec elle des particules en suspension. Les cils latéro-frontaux et frontaux des pinnules acheminent les particules qui entrent en contact avec eux jusqu'au sillon trophique de l'axe du tentacule. C'est là que s'effectue le tri des particules, seules les plus petites d'entre elles atteignent le fond du sillon et sont consommées, les plus grosses sont évacuées avec le courant d'eau exhalant.

Figure 6. Panache tentaculaire de Sabelle en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)

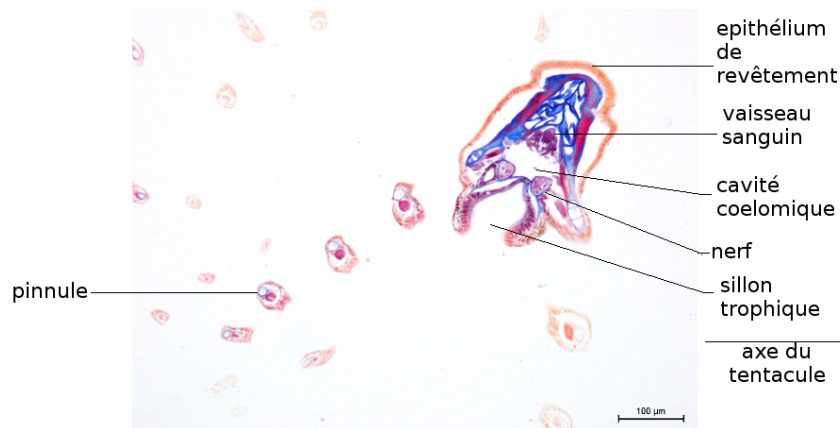
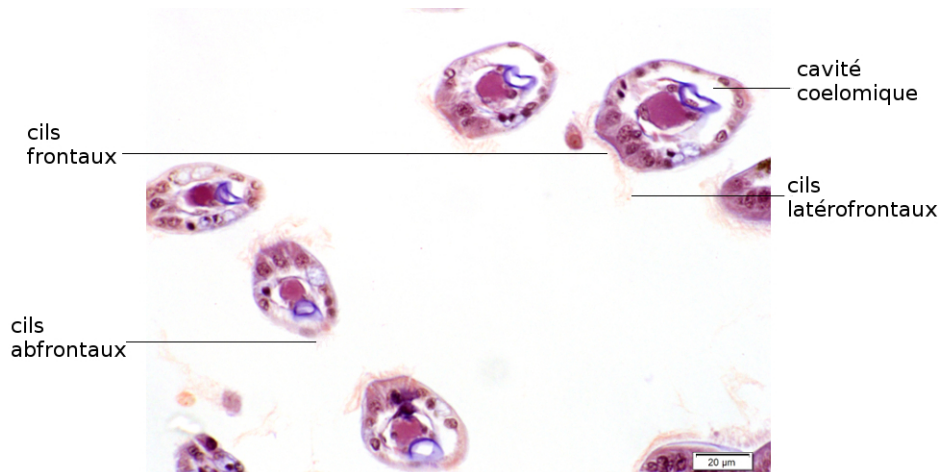


Figure 7. Pinnules de tentacule de Sabelle en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Se nourrir par filtration : diversité des filtres, variété de l'origine des courants d'eau et paramètres

Des courants d'eau traversant des filtres

La microphagie est une modalité de prise alimentaire qui consiste en l'ingestion de particules de petite taille par rapport à la taille de l'organisme qui les ingère. Dans certains cas, ces particules sont en suspension dans l'eau et sont prélevées par filtration de l'eau. La filtration est une modalité de capture nécessitant la mise en place d'un courant d'eau fréquemment d'origine ciliaire ou flagellaire. Il peut également être d'origine musculaire ou externe.

Les cils vibratiles sont des expansions membranaires ayant une longueur de 8 à 10 μm et un diamètre de 0,2 μm . Les flagelles sont aussi des expansions membranaires mais plus longues que les cils. Leurs battements permettent la mise en mouvement de l'eau et le déplacement de particules préalablement enduites de mucus.

Le courant d'eau ciliaire ou flagellaire est caractéristique de certaines espèces. Chez les Annélides, les cils se situent sur les pinnules et les tentacules. Les Porifères possèdent des cellules flagellées appelées choanocytes, tapissant les structures vibratiles de leur paroi. Chez la Moule les cils vibratiles sont localisés sur toute la longueur des filaments branchiaux.

Il existe différents dispositifs anatomiques permettant de retenir les particules en suspension dans l'eau.

La paroi des Porifères possède des choanocytes qui sont des cellules comprenant une collerette de microvillosités traversée par l'eau et où les particules en suspension sont retenues.

Chez les Annélides, la filtration s'effectue grâce aux tentacules et aux pinnules. Le tri est réalisé par le sillon trophique situé au niveau des tentacules qui ne retient que les particules de petite taille en raison de sa largeur.

Chez la Moule ce sont les branchies, organes respiratoires, qui jouent également le rôle d'organe filtreur. Elles filtrent l'eau grâce à leurs cils vibratiles.

Figure 8. Voir la vidéo "Battements des cils branchiaux de Moule"



Écouter/Voir la vidéo au format .mp4 [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/19_video_02.mp4] au format .webm [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/19_video_02.webm]

Une filtration dépendant de multiples facteurs

Trois principaux facteurs influencent le phénomène de filtration : les particules, le liquide, le filtre.

La taille des particules, mobiles ou non, influence la filtration.

L'eau, fluide dans lequel les particules sont en suspension, peut moduler l'efficacité de la microphagie. La turbidité de l'eau intervient au niveau de la filtration : une eau turbulente sature le filtre. Inversement une eau lente ou stagnante n'amène pas assez de particules en un temps donné.

Un courant d'eau modéré permet une efficacité optimale de la filtration même si cette efficacité varie suivant les espèces.

Le filtre est le dernier facteur influençant ce phénomène puisqu'il effectue la rétention et parfois la sélection des particules lors de sa traversée par le liquide. La sélectivité d'un filtre dépend principalement de sa surface et de la taille des pores qu'il comporte.

De par la dimension des pores, plusieurs types de filtrations peuvent être définies. Pour des pores allant de 100 à 10 000 nm et pour des particules en suspension la filtration est dite microfiltration. Lorsque les pores ont une taille de 0,3 à 1 nm il s'agit plutôt de nanofiltration.

Le filtre définit ainsi le type de prise alimentaire des espèces suspensivores.

Conclusion

La filtration permet aux organismes filtreurs de se nourrir c'est-à-dire d'obtenir les aliments nécessaires à leur métabolisme. Elle peut se faire par divers dispositifs collecteurs tels que les branchies, tentacules, parois.

Grâce à leur mode d'alimentation, les filtreurs assurent une épuration naturelle de l'eau. Les Mollusques bivalves, par exemple, filtrent et éliminent certaines toxines de l'eau en les fixant dans leurs coquilles.

Le plancton, aliment principal des filtreurs, est constitué du zooplancton, ensemble d'animaux, et du phytoplancton, ensemble de végétaux, généralement microscopiques. Il joue un rôle dans les changements climatiques et son abondance est contrôlée dépend en partie par les organismes filtreurs.

Ainsi, la filtration est un mode de prise alimentaire qui joue un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes, notamment aquatiques. Elle constitue un sujet d'étude important pour l'écologie, science qui s'intéresse aux relations entre les espèces et leurs environnements.

Bibliographie et sitographie

Livres

Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale tome 2, les grandes fonctions*. 2ème édition. Dunod. 2008. 224 p.. [2-10-0040472]

Yves Turquier. *L'organisme dans son milieu tome 1, les fonctions de nutrition*. Doin . 1980. 344 p.. [2-70-4006202]

Sites internet

Romain Berardozi. *Dissection illustrée d'un Mollusque Lamellibranche : La Moule commune (Mytilus edulis) In Ressources en Sciences de la Vie et Sciences de la Terre [en ligne]*. Romain Berardozi. [date de consultation : 21 mars 2017]. Disponible sur : http://perso.ens-lyon.fr/romain.berardozi/SV/dissection_moule [<http://codexvirtualis.fr>] .

Arlette Desgouille. *Le plancton dans la nutrition des moules In Archimer, Archive institutionnelle de l'Ifremer [en ligne]*. Ifremer. [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : <http://archimer.ifremer.fr/doc/1969/publication-6991.pdf> .

Cours : L3 BioA Nutrition In Biophiles sur le net [en ligne]. biophile.free. [date de consultation : 03 mai 2017]. Disponible sur : http://biophile.free.fr/Cours/L3_BioA.html .

Cours: Les types alimentaires In eBiologie [en ligne]. eBiologie. [date de consultation : 08 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.ebiologie.fr/cours/s/73/les-types-alimentaires> .

Filtration In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. [date de consultation : 26 janvier 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Filtration> .

Filtreur In Dictionnaire [en ligne]. dictionnaire.education. [date de consultation : 06 mars 2017]. Disponible sur : <http://dictionnaire.education/fr/filtreur> .

L'évolution des baleines, de la succion à la filtration In Sciences et avenir [en ligne]. Claude Perdriel - Sciences et avenir. 2016 [date de consultation : 13 mars 2017]. Disponible sur : https://www.sciencesetavenir.fr/animaux/grands-mammiferes/l-evolution-des-baleines-de-la-succion-a-la-filtration_108671 .

Lamniformes In Planète requins [en ligne]. requins.eu. [date de consultation : 15 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.requins.eu/html/es/lam/requinpelerin.html> .

Les bivalves filtreurs, modèles d'étude privilégiés In UMR CNRS 5805 EPOC Environnements et paléoenvironnements océaniques et continentaux [en ligne]. Alain Fuchs, Manuel Tunon de Lara - Université de Bordeaux. [date de consultation : 13 mars 2017]. Disponible sur : http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=eq_ea_flash07 .

Mytilida In Encyclopédie Wikimonde [en ligne]. wikimonde. [date de consultation : 10 mars 2017]. Disponible sur : <https://wikimonde.com/article/Mytiloida> .

Porifera In *Wikipédia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. [date de consultation : 21 mars 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Porifera> .

Requin pèlerin In *Wikipédia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. [date de consultation : 08 mars 2017]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Requin_p%C3%A8lerin#Alimentation .

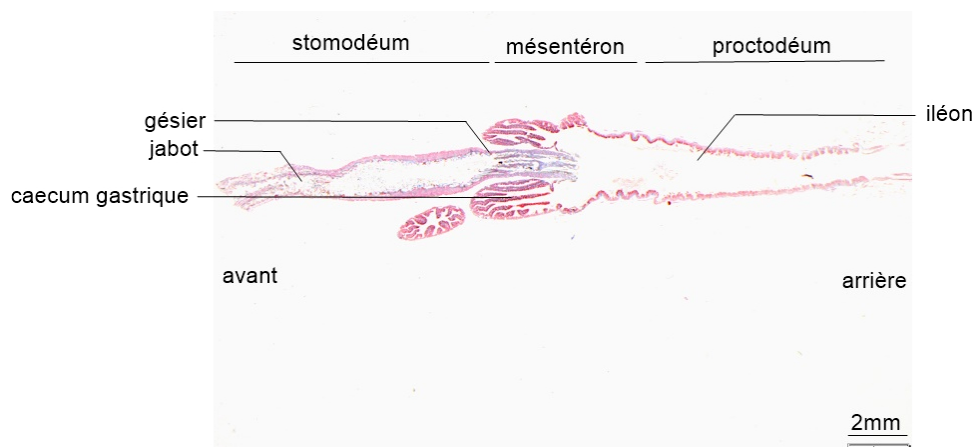
Se nourrir In *L'internaute [en ligne]*. Marc Feuillée - CCM Benchmark Group. [date de consultation : 06 février 2017]. Disponible sur : <http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/se-nourrir/> .

Le traitement de la nourriture par l'appareil digestif chez les Insectes

Mikaïl Ferrandi <mikail.ferrandi@etu.univ-st-etienne.fr>
Ouloni Mendy <ouloni.mendy@etu.univ-st-etienne.fr>
Axel Tyburn <axel.tyburn@etu.univ-st-etienne.fr>
Marlène Vaury <marlene.vaury@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Figure 1. *Appareil digestif de Criquet en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)*



Le Criquet et le Grillon sont des Insectes, ils font partie du groupe des Arthropodes. Leur appareil digestif est divisé en trois parties :

- le stomodéum, débutant par la cavité buccale associée à des pièces buccales, se poursuivant par le pharynx, l'œsophage, le jabot et le gésier ;
- le mésentéron correspondant à l'estomac associé à des cæcums gastriques ;
- le proctodéum représenté par l'iléon, le côlon et le rectum, terminé par l'anus.

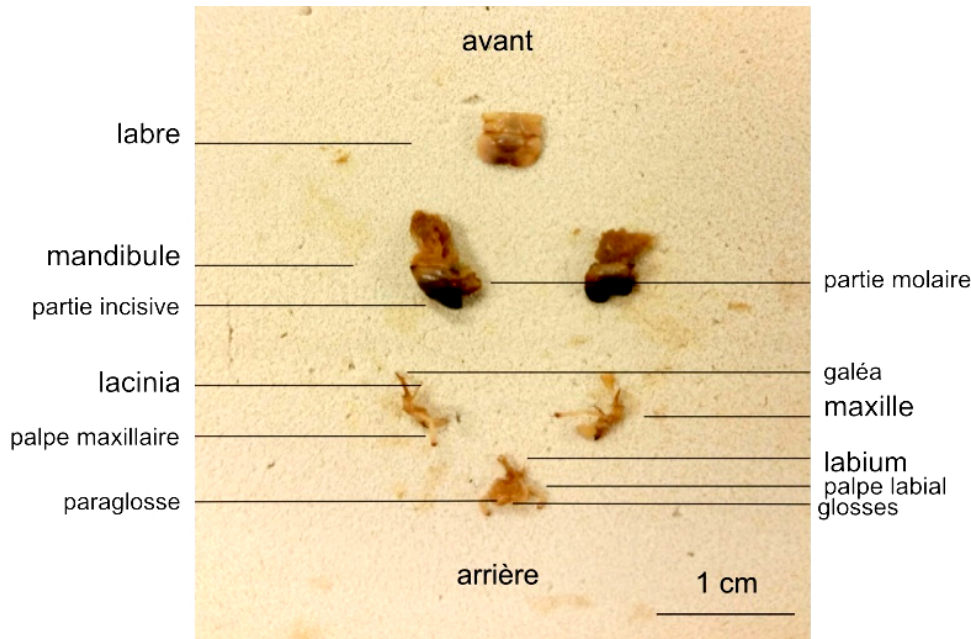
Le Criquet se nourrit de végétaux, c'est un phytophage. Le Grillon se nourrit de végétaux mais aussi d'animaux, il est omnivore.

L'alimentation est la fonction permettant l'apport de matière et d'énergie à l'organisme. Elle implique le prélèvement de molécules organiques et minérales dans le milieu.

Comment sont réalisés la prise alimentaire et le traitement de la nourriture chez les Insectes ?

La prise alimentaire et le traitement mécanique de la nourriture par les pièces buccales

Figure 2. Pièces buccales de Criquet en vue antérieure



Les Insectes possèdent des pièces buccales associées à la bouche, impliquées dans la prise de nourriture. Chez le Criquet, quatre types de pièces buccales sont distinguées, qui sont d'avant en arrière : le labre, une paire de mandibules, une paire de maxilles et le labium.

Le labre correspond à la lèvre supérieure, il couvre la partie antérieure des mandibules. Mobile, il pousse les aliments en direction de la cavité buccale.

Les mandibules sont situées de part et d'autre du plan de symétrie. Leur partie antérieure est noire et dure, en raison de la présence de sclérotine. Les mandibules sont mises en mouvement par des muscles. La partie molaire broie les végétaux et la partie incisive les coupe.

Les maxilles sont également localisées de part et d'autre du plan de symétrie. À leurs extrémités, deux expansions appelées galéa et lacinia forment une pince. Ce sont des appendices tranchants qui découpent et arrachent les végétaux. Les maxilles portent les palpes maxillaires qui sont impliqués dans la sensibilité mécanique et chimique aux aliments.

Le labium est mobile et pousse les aliments en direction de la cavité buccale. Il porte les palpes labiaux qui sont des structures également impliquées dans l'identification des aliments.

La cavité buccale du Criquet comporte en outre un hypopharynx jouant le rôle de langue.

En raison de leur forme et de leur disposition, les pièces buccales du Criquet sont dites de type broyeur.

La prise alimentaire et le premier traitement mécanique des aliments sont assurés par les pièces buccales. La nourriture est arrachée, broyée et découpée puis acheminée vers la cavité buccale. Le traitement de la nourriture par les pièces buccales aboutit à une réduction de la taille des aliments et à la formation du bol alimentaire.

Les traitements chimique et mécanique des aliments par le stomodéum et le mésentéron

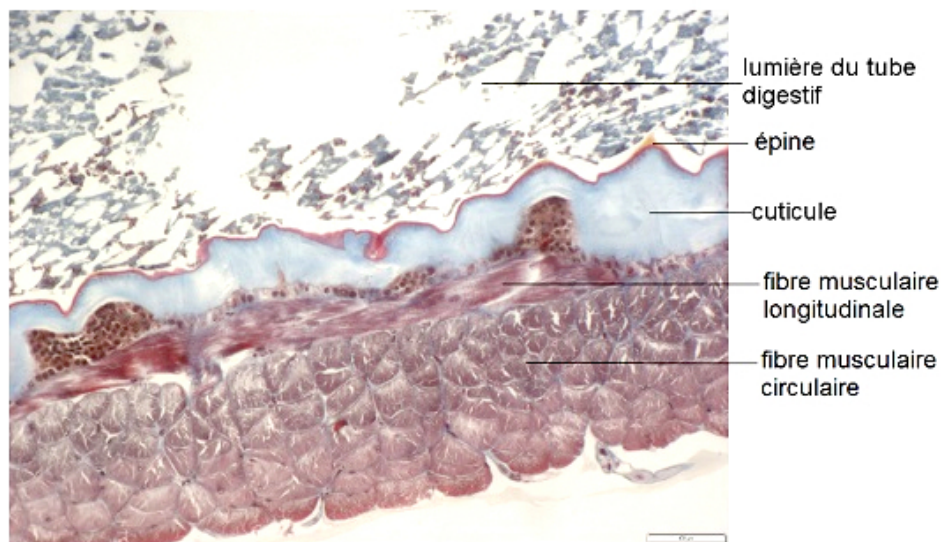
Le stockage du bol alimentaire par le jabot

Le jabot est un renflement sphérique ou allongé de la partie postérieure de l'œsophage. Il assure le stockage du bol alimentaire. Ses parois sont plissées, permettant sa dilatation et l'accumulation de nourriture.

Le jabot est parfois le siège d'une digestion réalisée par des enzymes provenant du mésentéron.

Le malaxage du bol alimentaire par le gésier

Figure 3. Gésier de Criquet en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Le gésier, aussi nommé proventricule, constitue la partie terminale du stomodéum.

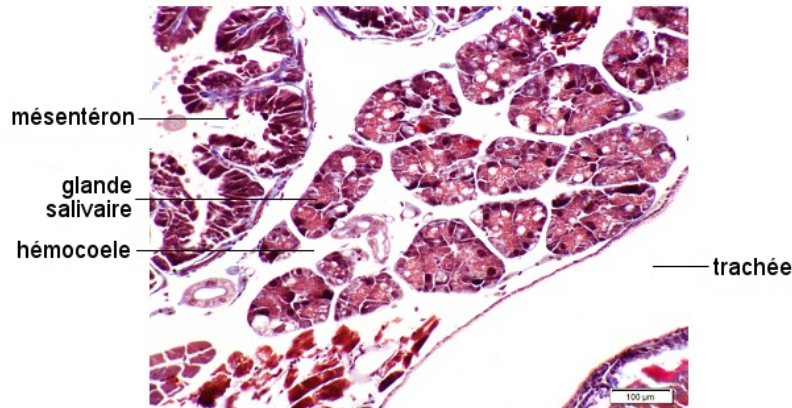
Dans le cas du Criquet, sa paroi est épaisse et formée de fibres musculaires circulaires et longitudinales, surmontées d'un épithélium recouvert d'une cuticule. La cuticule porte de petites dents, ce sont les épines. La musculature très développée permet le malaxage et le broyage de la nourriture de consistance coriace. Les épines cuticulaires jouent le rôle de filtre, contrôlant le passage de la nourriture et des enzymes digestives vers le mésentéron.

Dans le cas d'un Insecte se nourrissant de liquide par succion et piqûre, le gésier est réduit à un simple sphincter.

Le gésier prend fin avec une valvule cardiaque, qui sépare le stomodéum du mésentéron.

La digestion par les enzymes salivaires

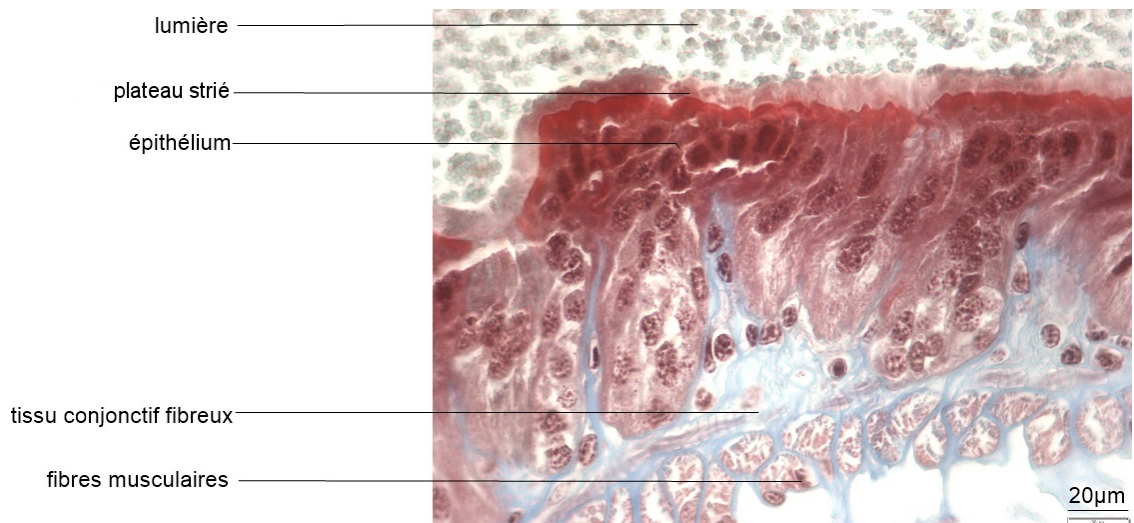
Figure 4. Glandes salivaires de Criquet en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les glandes salivaires (ou labiales) se situent à proximité du labium. Plurilobées, elles sont formées d'unités sécrétrices acineuses. Elles produisent et libèrent des enzymes telles que les amylases responsables de l'hydrolyse de l'amidon et les invertases dégradant le saccharose en glucose et fructose dans la cavité buccale. Certaines enzymes comme les amylases et les protéases peuvent aussi être sécrétées à l'extérieur de l'Insecte ce qui permet une prédigestion de la nourriture avant son ingestion.

La digestion enzymatique et l'absorption par le mésentéron

Figure 5. Mésentéron de Criquet en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Le mésentéron, dérive de l'endoderme embryonnaire. Il se situe entre le stomodéum duquel il est séparé par la valvule cardiaque et le proctodéum, la limite correspondant à la valvule pylorique, zone d'insertion des tubes de Malpighi.

La protection de l'échangeur par une membrane péritrophique

Une membrane péritrophique très fine (épaisse d'environ 1 μm) et fibreuse est présente dans la lumière du mésentéron chez la plupart des Insectes. Elle isole l'épithélium de la lumière et délimite un espace péritrophique. Les Hémiptères en sont dépourvus et les Diptères n'en possèdent qu'après un repas.

Cette membrane est sécrétée par les cellules du gésier et de la valvule cardiaque. Elle aurait plusieurs fonctions. Elle permettrait la protection contre des substances toxiques ingérées par l'animal en jouant un rôle de filtre qui empêche leur passage dans l'espace péritrophique. Elle faciliterait aussi la circulation des molécules d'origine alimentaire grâce à son aspect muqueux.

La digestion par des enzymes déversées dans la lumière

Les enzymes du mésentéron permettent la dégradation des molécules d'origine alimentaire. Ainsi les acides aminés terminaux sont extraits des protéines et les chaînes peptidiques sont fragmentées. Elles participent aussi à la digestion d'autres molécules telles que les glucides et des lipides.

Les enzymes digestives ont des localisations diverses. Des amylases et des protéases comme la trypsine sont présentes dans la lumière, au-delà de la membrane péritrophique. D'autres protéases comme les carboxypeptidases et des glucosidases comme les alpha-glucosidases ne traversent pas la membrane péritrophique.

L'absorption par un échangeur de surface importante

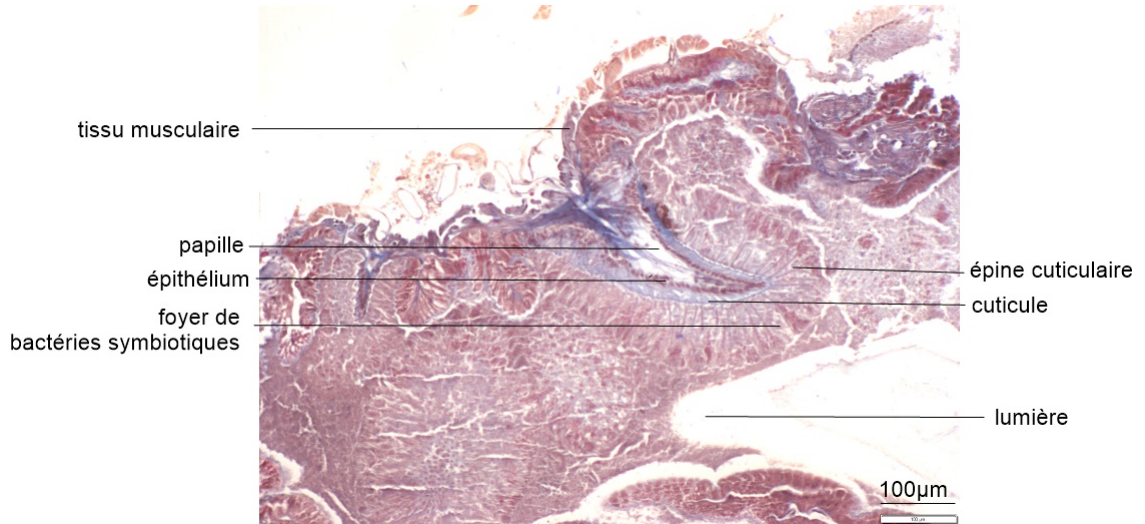
Le mésentéron développe des diverticules appelées cæca gastriques. Ces diverticules sont disposés autour du tube digestif et peuvent loger de nombreuses bactéries qui participent à la digestion des aliments. Ils contribuent également à augmenter la surface de contact entre la lumière et la paroi du mésentéron. Les cellules de l'épithélium du mésentéron et de ses diverticules possèdent des microvillosités apicales permettant un accroissement de la surface de contact entre l'épithélium et les molécules d'origine alimentaire présentes dans la lumière du tube. L'épithélium constitue ainsi un échangeur de surface importante, ce qui favorise l'absorption des molécules issues de la digestion.

L'absorption des molécules issues de la digestion peut être réalisée suivant ou contre le gradient de concentration. L'absorption peut donc être passive ou active. Lorsqu'elle est active, une consommation d'énergie intervient.

Le mésentéron est la partie du tube digestif dans laquelle se déroule l'essentiel de la digestion enzymatique. Il est aussi le lieu de l'absorption c'est-à-dire du passage des molécules issues de la digestion de la lumière de vers le milieu intérieur.

Le traitement chimique des aliments par des hôtes de l'appareil digestif

Figure 6. Iléon de Grillon en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



La symbiose est une association obligatoire entre deux organismes ne pouvant vivre l'un sans l'autre, ils tirent un bénéfice mutuel de cette association. C'est exactement ce qui se passe dans l'intestin postérieur du Grillon où des bactéries assurent une partie de la digestion chimique.

C'est dans l'iléon du Grillon que sont logées les bactéries symbiotiques. La paroi de l'iléon est hérissée d'évaginations en forme de dents nommées papilles qui sont recouvertes d'une cuticule où sont insérées des structures en forme d'épines. Les foyers bactériens se développent sur ces épines.

Le proctodéum est constitué de trois parties : le pylore, l'iléon et le rectum. Le pylore est la jonction entre le mésentéron et le proctodéum. Dans cette région il y a des organes spécifiques des Insectes, les tubes de Malpighi. Ces tubes ont un aspect filiforme et leur nombre varie avec les espèces. L'iléon est un tube étroit menant au rectum qui est un grand sac situé avant l'anus, il est perméable aux acides aminés, aux sels minéraux, aux sucres et à l'eau.

Conclusion

Le traitement de la nourriture par l'appareil digestif chez les Insectes implique des processus physiques (broyage par les pièces buccales, filtration par le gésier) et chimiques (dégradation par les enzymes des glandes salivaires et du mésentéron). Chez certains Insectes, une digestion symbiotique de la nourriture intervient.

Après absorption, les nutriments passent dans le milieu intérieur. Quel est leur devenir ?

Bibliographie et sitographie

Livres

Nicolas Sauvion, Paul-André Calatayud, Denis Thiéry, et Frédéric Marion-Poll. *Interactions Insectes-plantes*. IRD - Quae. 2013. 782 p.. [978-2-7592-2018-2]

Lauralee Sherwood, Hillar Klandorf, et Paul H. Yancey. *Physiologie animale*. De Boeck. 2016. 904 p.. [978-2-8073-0286-0]

Sites internet

- Alain Fraval. *Insectes In Office pour les insectes et leur environnement [en ligne]*. INRA. 2016 [22 mars 2017]. Disponible sur : <http://www7.inra.fr/opie-insectes/> .
- Benoît Gilles. *Appareil buccal et alimentation chez les Insectes : généralités In Passion Entomologie [en ligne]*. Benoît Gilles. 2014 [27 février 2017]. Disponible sur : <http://passion-entomologie.fr/pièces-buccales-et-alimentation-des-insectes/> .
- Félix Plateau. *Recherches sur les phénomènes de la digestion chez les insectes In HathiTrust Digital library[en ligne]*. HathiTrust. 1874 [27 février 2017]. Disponible sur : <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=hvd.32044107287575;view=lup;seq=9> .
- Alain Ramel. *Le monde des Insectes [en ligne]*. Alain Ramel. 2010 [20 mars 2017]. Disponible sur : <http://aramel.free.fr/> .
- Jean-Yves Toullec et René Lafont. *Insectes In Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopaedia universalis. [21 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/insectes/> .
- Max Vachon et Roland Legendre. *Arthropodes In Universalis éducation[en ligne]*. Encyclopaedia universalis. [21 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/arthropodes/> .
- Anatomie des Insectes In Wikipédia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. 2016 [20 mars 2017]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Anatomie_des_insectes .
- Les criquets ravageurs In Cirad web des savoirs [en ligne]*. Michel Eddi - Cirad. 2007 [19 mars 2017]. Disponible sur : <http://locust.cirad.fr/generalites/index.htm> .
- Nutrition des Insectes In Biorny, cours des BO on line [en ligne]*. biorny. 2012 [19 mars 2017]. Disponible sur : http://www.biorny.sitew.com/fs/L3_S5/8rprb-Nutrition_des_insectes.pdf .

L'alimentation et la distribution chez les Porifères

Sarah Chassignol

<sarah.chassignol@etu.univ-st-etienne.fr>

Manon Chavanne

<manon.chavanne@etu.univ-st-etienne.fr>

Juliette Espanet

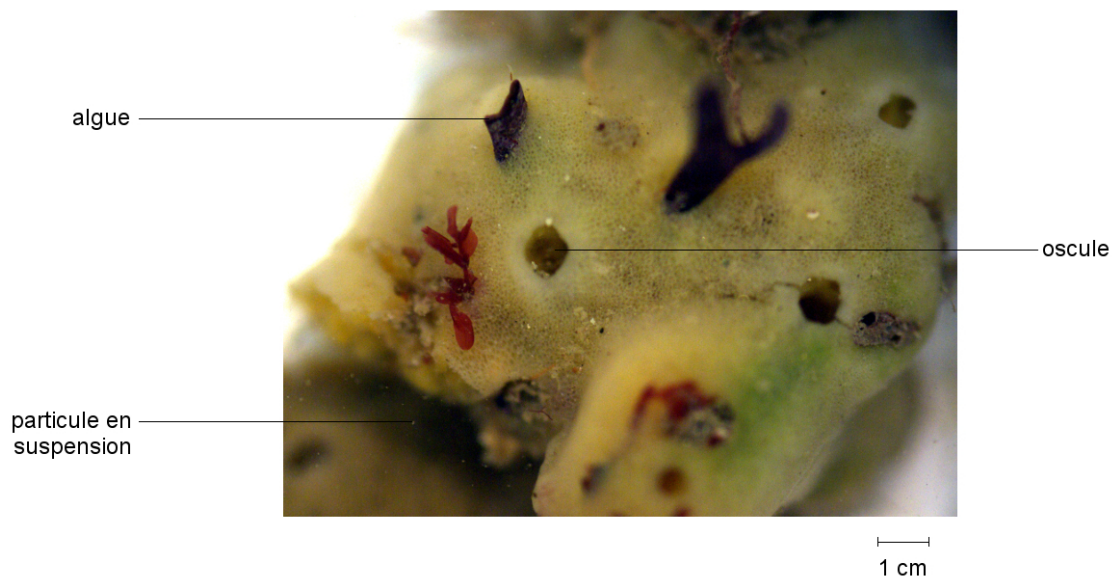
<juliette.espanet@etu.univ-st-etienne.fr>

Lucille Tournier

<lucille.tournier@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Figure 1. Morphologie de l'Éponge tube de fer

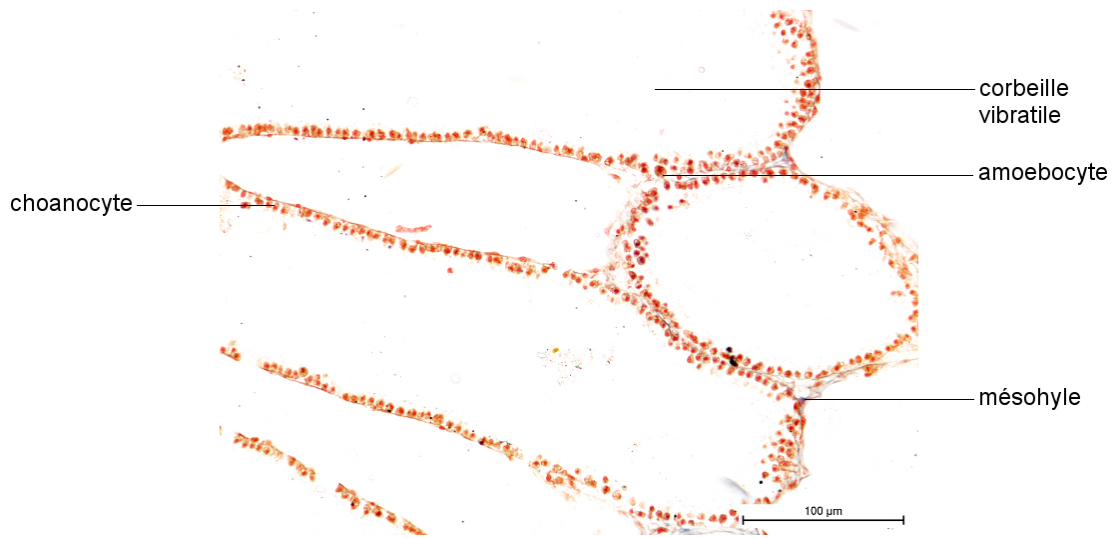


Les Porifères également nommés Éponges sont des animaux aquatiques, le plus souvent marins, au mode de vie fixé. Ils ne possèdent pas de véritables tissus.

Chez les Éponges, l'alimentation est un apport en substances minérales, organiques et énergétiques, lié à un flux d'eau qui les traverse. Ces substances sont distribuées, c'est-à-dire réparties entre les cellules de l'organisme.

Comment l'alimentation et la distribution s'effectuent-elles chez les Porifères en relation avec leurs morphologies et de leurs modes de vie ?

Figure 2. Paroi corporelle de Sycon en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



L'alimentation des Porifères : une filtration de l'eau et une rétention de particules en suspension

La rétention des particules en suspension par les choanocytes

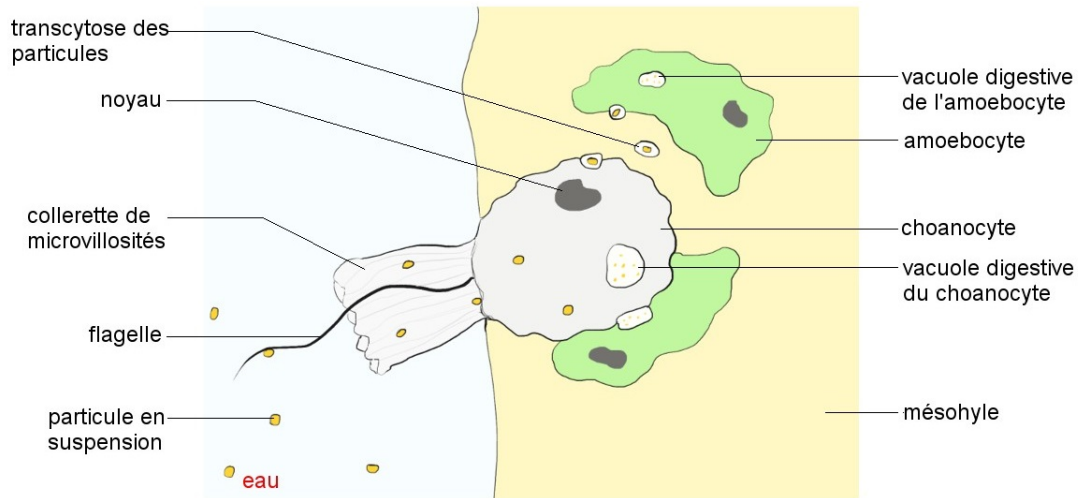
Les Éponges se nourrissent de bactéries, de débris organiques et d'algues unicellulaires présents dans l'eau. L'eau circule à travers la paroi du corps, entrant par des pores inhalants, petits orifices présents en grand nombre à la surface des Porifères, en direction de la cavité centrale, l'atrium, et de son ouverture, l'oscule. Le courant d'eau est généré par les battements des flagelles des choanocytes, couvrant la face interne des Éponges.

Les choanocytes sont des cellules cylindriques qui sont en contact avec l'atrium ou spongiocœle. Ils ont une fonction de filtration et sont munis d'un flagelle entouré d'une collerette de microvillosités solidarisées par des microfibrilles.

Ils sécrètent un mucus se déposant sur leur collerette de microvillosités, piégeant les particules présentes dans le flux d'eau.

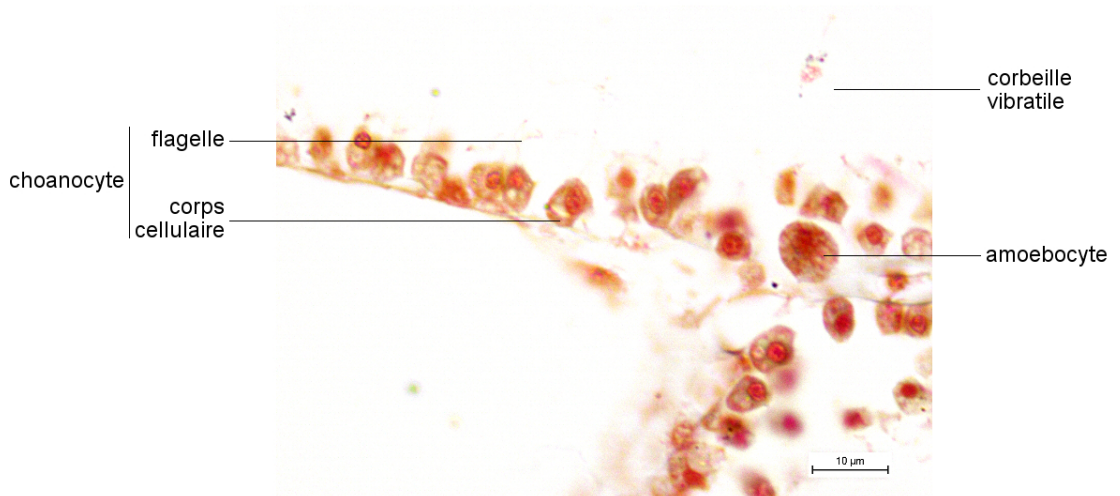
Ces dernières sont distribuées aux différentes cellules en fonction de leurs tailles et leurs propriétés nutritives. Les petites particules, dont le diamètre est inférieur à 1 µm, peuvent être directement phagocytées par les choanocytes. Celles dont la taille est comprise entre 1 et 50 µm sont dirigées vers les amœbocytes par transcytose. Les plus grosses, dont le diamètre est supérieur à 50 µm, n'entrent pas dans les pores inhalants.

Figure 3. Fonction alimentaire d'un choanocyte de Porifère



La phagocytose des particules captées par les choanocytes et leur digestion par les amœbocytes

Figure 4. Paroi corporelle de Sycon en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les particules arrivant par les pores inhalants se collent au mucus de la collerette de microvillosités des choanocytes. Celles dont le diamètre est inférieur à $1\ \mu\text{m}$ sont phagocytées directement par ces derniers.

Les particules sont englobées dans des vacuoles digestives. Leur contenu est transféré à un amœbocyte par contact avec le choanocyte. Les lysosomes présents dans l'amœbocyte digèrent les particules en nutriments et molécules indigestibles.

Les amœbocytes sont des cellules arrondies situées dans le mésohyle. Ils possèdent des pseudopodes qui leur permettent de réaliser des mouvements amiboïdes.

Les particules de plus gros diamètre, compris entre 1 et $50\ \mu\text{m}$, sont acheminées aux amœbocytes par transcytose, car les choanocytes ne possèdent pas les enzymes nécessaires à leur digestion.

La distribution chez les Porifères : une prise en charge par les amœbocytes

Le déplacement des amœbocytes vers les autres cellules

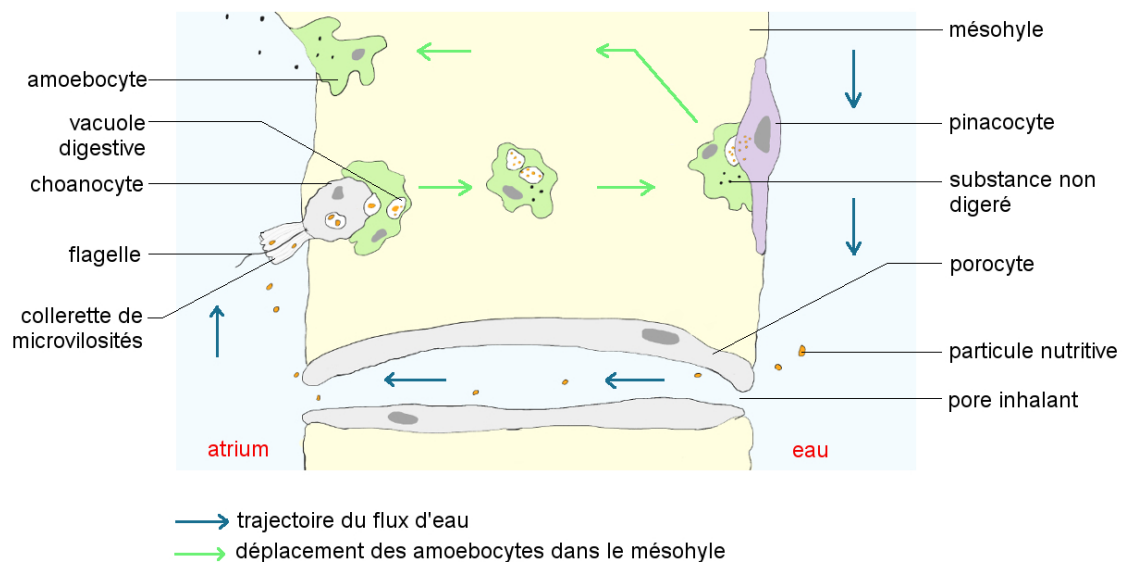
Les amœbocytes sont responsables de la distribution des nutriments aux cellules des Éponges de par leur mobilité. Ils sont capables de se déplacer dans le mésohyle grâce à des pseudopodes, ce qui leur permet d'acheminer les nutriments vers les autres cellules ou les substances non digérées vers l'extérieur de l'organisme.

Les amœbocytes cheminent dans le mésohyle et atteignent les divers types cellulaires, comme les pinacocytes, cellules plates recouvrant la paroi des Porifères du côté externe et au contact de l'atrium. Puis ils réalisent des échanges avec ces dernières et les approvisionnent en nutriments.

L'élimination par les amœbocytes des substances non digérées

Les résidus non organiques (grains de sable) présents dans le courant d'eau sont évacués car ils sont à l'origine d'un risque d'obstruction des pores inhalants de la paroi corporelle. Les amœbocytes assurent ce rejet en piégeant les résidus récupérés dans leur cytoplasme et en les rejetant soit dans l'atrium, soit directement à l'extérieur de l'organisme par le biais de l'oscule.

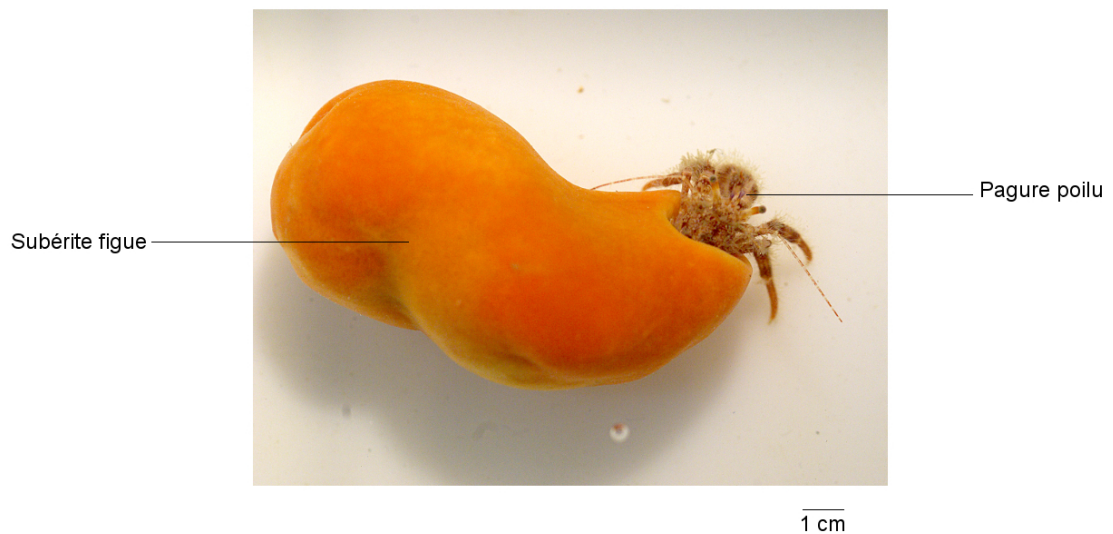
Figure 5. Distribution chez les Porifères



La diversité de l'alimentation et de la distribution chez les Porifères : symbiotes et carnivores

L'alimentation symbiotique : un apport de particules privilégié

Figure 6. Association Subérite figue – Pagure poilu en vue externe



La Subérite figue (*Suberites ficus*) est une Éponge de mer réalisant une symbiose avec le Pagure poilu, un Bernard l'hermite (*Pagurus cuanensis*). L'Éponge se pose sur la coquille occupée par ce dernier et émet des substances dissolvantes qui la dégradent. Il n'y a alors plus de séparation entre le Porifère et le Gastéropode.

Le Bernard l'hermite trouve l'avantage d'être protégé et camouflé car il est entouré de l'Éponge et n'a donc plus besoin de changer de coquille en permanence. La Subérite figue quant à elle se nourrit des déchets du Pagure poilu par filtration et bénéficie d'un approvisionnement continu en nourriture.

L'alimentation carnivore : une adaptation aux milieux extrêmes

Des chercheurs ont découvert il y a peu de temps, l'existence d'Éponges carnivores.

Elles se trouvent dans des milieux peu communs tels que des grottes, des canyons abyssaux ou encore sur les flancs de volcans sous-marins éteints.

Les Éponges carnivores, telles que *Asbestopluma hypogea*, ont vraisemblablement perdu leur système de filtration en relation avec la rareté des particules en suspension dans les profondeurs.

Leur aspect morphologique est très différent de celui des Éponges qui se nourrissent de particules. Dépourvues de choanocytes, ce sont leurs filaments, dont les extrémités portent des spicules siliceux, qui génèrent un courant d'eau leur permettant d'attraper des animaux tels que des Crevettes. Une fois capturées, elles sont enveloppées et digérées.

Les modalités de leur digestion sont encore mal connues. Les coquilles et carapaces sont rejetées. Il n'y a pas de cavité digestive. La distribution des nutriments n'est pas réalisée par les amœbocytes, chaque type cellulaire se nourrit individuellement, par prise directe de nourriture sur la proie englobée.

Conclusion

Les Porifères sont des organismes présentant un mode de vie fixé et une absence de réels tissus. Leur mode de prise alimentaire utilise les déplacements d'eau dans le milieu, ce qui leur permet de nourrir leurs cellules. Des cellules spécialisées réalisent la prise alimentaire et d'autres distribuent les particules nutritives.

Les Porifères sont microphages suspensivores.

Il existe toutefois quelques Éponges ayant des stratégies alimentaires bien différentes, mettant en jeu des mécanismes de symbiose ou des comportements de prédation.

L'espèce *Cladorhiza methanophila* montre que certains modes d'alimentation restent encore aujourd'hui inconnus, car elle semble utiliser la symbiose en complément d'un régime alimentaire carnivore. De nombreuses questions concernant l'alimentation et la distribution chez les Porifères restent à élucider .

Bibliographie et sitographie

Livres

André Beaumont et Pierre Cassier. *Biologie animale tome 1, des protozoaires aux métazoaires épithélioneuriens* . 3ème édition. Dunod. 1998. 459 p.. *Sciences sup.* [2040114327]

Neil A. Campbell, Jane B. Reece, Lisa A. Urry, Michael Cain, Steven A. Wasserman, Peter V. Minorsky, et Robert B. Jackson. *Biologie*. 9ème édition. Pearson. 2012. 1570 p.. [2761350650]

Pierre-Paul Grassé et Dominique Doumenc. *Zoologie : Les invertébrés*. 6ème édition. Dunod. 2000. 296 p.. *Masson Sciences.* [2100053973]

Pierre-Paul Grassé, Raymonda Poisson, et Odette Tuzet. *Zoologie I, invertébrés*. Dunod. 1970. 919 p.. *Précis de sciences biologiques.* [2225611602]

James Maissiat, Jean-Claude Baehr, et Jean-Louis Picaud. *Biologie animale - Invertébrés*. 2ème édition. Dunod. 2005. 256 p.. *Sciences Sup.* [2100490699]

Jean-Marc Ridet, Roland Platel, et François J Meunier. *Zoologie, des protozoaires aux échinodermes*. Ellipses. 1998. 224 p.. [2729892699]

Rüdiger Wehner et Walter Gehring. *Biologie et physiologie animales : bases moléculaires, cellulaires, anatomiques et fonctionnelles*. 23ème édition. De Boeck. 1999. 844 p.. [2744500097]

Sites internet

Serge Jodra. *Les Spongiaires (Porifères ou Éponges) In Imago Mundi, l'encyclopédie gratuite en ligne [en ligne]*. Serge Jodra. 2004 [date de consultation : 27 avril 2017]. Disponible sur : <http://www.cosmovisions.com/spongiaires.htm> .

Martin Koppe. *De redoutables Éponges carnivores découvertes dans l'océan Pacifique In Maxisciences [en ligne]*. Gentside Découverte - Cerise. 2014 [date de consultation : 27 avril 2017]. Disponible sur : http://www.maxisciences.com/%E9ponge/de-redoutables-eponges-carnivores-decouvertes-dans-l-039-ocean-pacifique_art32388.html .

Antoine Morin. *Les Porifères In Animaux : structures et fonctions [en ligne]*. Université d'Ottawa. 2003 [date de consultation : 27 avril 2017]. Disponible sur : http://simulium.bio.uottawa.ca/bio2525/Notes/Les_Poriferes.htm#1005304 .

Christophe Quintin. *Les Éponges In Christophe Quintin [en ligne]*. Christophe Quintin. 2001 [date de consultation : 27 avril 2017]. Disponible sur : <http://christophe.quintin.pagesperso-orange.fr/documents/spongiaires.PDF//> .

Jean Vacelet. *Dossier - Les Éponges carnivores In Futura Planète [en ligne]*. Guillaume Josse - Futura-Sciences. 2007 [date de consultation : 27 avril 2017]. Disponible sur : <http://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/zoologie-eponges-carnivores-745///> .

Jean Vacelet et Christian Petron. *L'Éponge carnivore In Vidéotheque du CNRS [en ligne]*. Alain Fuchs - CNRS. 1998 [date de consultation : 27 avril 2017]. Disponible sur : <http://videotheque.cnrs.fr/doc=302//> .

L'hydrosquelette et le mouvement à partir des exemples des Annélides et des Mollusques

Aurore Mourier

<aurore.mourier2@etu.univ-st-etienne.fr >

Virginie Peyre <virginie.peyre2@etu.univ-st-etienne.fr>

Ophélie Ravel <ophelie.ravel@etu.univ-st-etienne.fr>

Alicia Rivoire <alicia.rivoire@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Le squelette est le dispositif anatomique assurant le soutien du corps. Luttant contre la gravité, il évite son effondrement et détermine sa forme. Il est généralement constitué de pièces articulées entre elles sur lesquelles sont insérés des muscles. Les mouvements du corps sont réalisés par les contractions et les relâchements des muscles qui déplacent les pièces squelettiques les unes par rapport aux autres autour des articulations.

Le mouvement est un changement de position de l'organisme dans son ensemble ou d'une partie d'un organisme. Ainsi, l'organisme se déplace dans son environnement de diverses manières : reptation, nage, saut en sont des exemples. Par ailleurs, dans l'organisme le tube digestif est animé de mouvements qualifiés de péristaltiques, correspondant à des contractions musculaires coordonnées qui assurent la progression du contenu de la lumière.

Les squelettes des animaux présentent une relative diversité en termes de propriétés et de localisations. Ils sont souvent rigides et fortement minéralisés, situés à l'intérieur de l'organisme (endosquelette) ou à l'extérieur (exosquelette). Il existe cependant des squelettes déformables constitués d'une ou plusieurs cavités remplies de liquide, appelés hydrosquelettes. Ils sont notamment présents chez certains Cnidaires, les Plathelminthes, les Mollusques, et les Annélides.

Les Annélides, tels que le Lombric et la Néréis, sont des organismes vermiformes à symétrie bilatérale. Leur corps mou est formé d'une succession de segments répétés le long de l'axe antéro-postérieur et plus ou moins semblables, appelée métamères.

Les Mollusques, tels que la Moule et la Coque, sont des organismes à symétrie bilatérale et non métamérisés. Leur corps mou est protégé par une coquille et un manteau. Il est notamment formé d'une masse viscérale dorsale et d'un pied musculueux ventral.

Les Annélides se déplacent par reptation, l'ensemble de leur corps étant impliqué. Les Mollusques se déplacent pour leur part essentiellement grâce à leur pied.

L'hydrosquelette dans la déformation du corps et le déplacement de l'organisme

Figure 1. Voir la vidéo "Mouvement d'un Lombric"



Écouter/Voir la vidéo au format .mp4 [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/23_video_01.mp4] au format .webm [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/23_video_01.webm]

L'étude du déplacement d'un Lombric montre une déformation des segments corporels se propageant le long du corps de l'avant vers l'arrière, à la manière d'une onde. Les métamères subissent successivement, dans le sens du déplacement, une elongation et un amincissement suivis d'un raccourcissement et d'un épaissement. Ces déformations permettent la reptation, mode de locomotion.

Quelles sont les structures anatomiques impliquées dans la reptation ?

L'hydrosquelette, une structure de soutien constituée de cavités liquidiennes et de muscles

Figure 2. Métamères de Lombric en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)

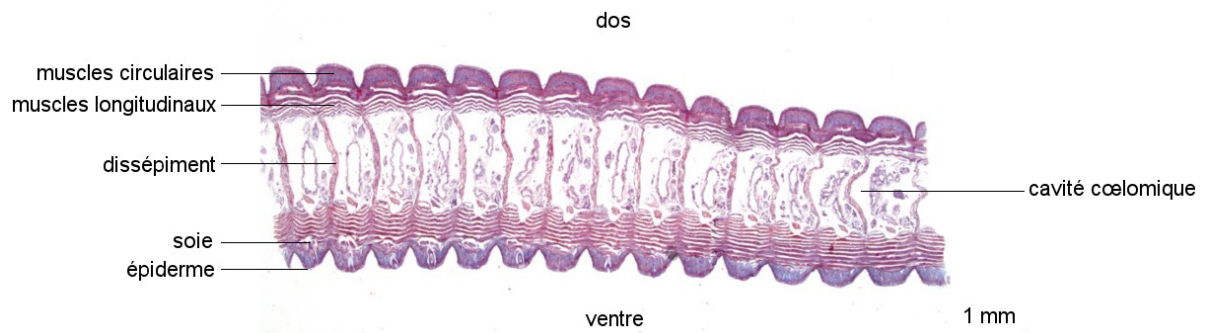
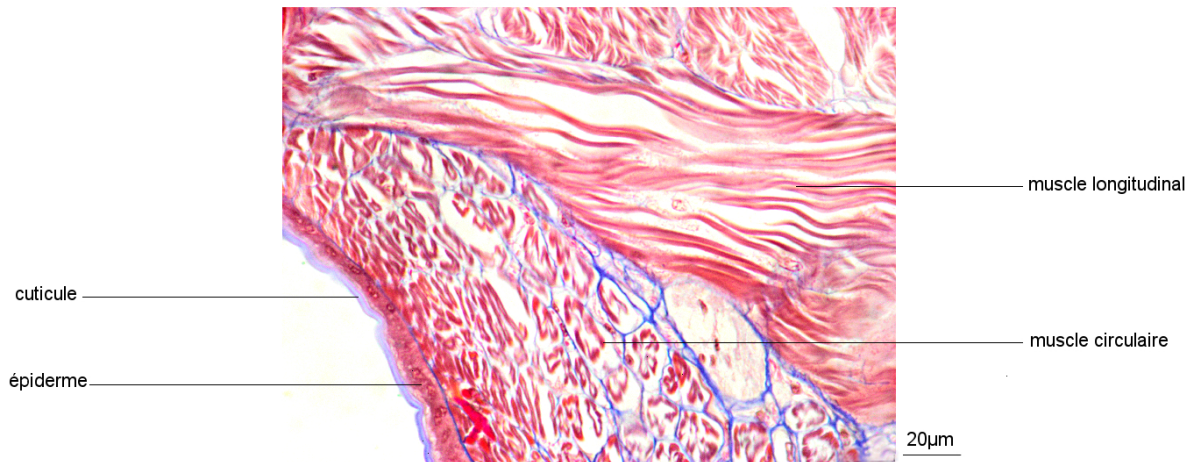
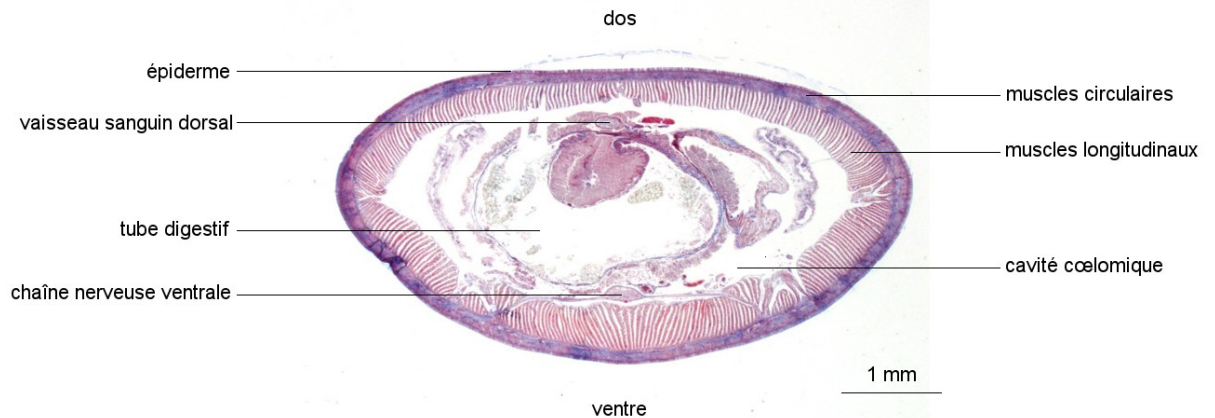


Figure 3. Paroi corporelle du Lombric en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



La paroi corporelle des Annélides est constituée d'un épiderme surmonté d'une cuticule, sous lesquels sont présents des muscles circulaires métamérisés et des muscles longitudinaux continus sur toute la longueur du corps. La contraction des muscles circulaires provoque l'allongement du segment et la diminution de son diamètre. La contraction des muscles longitudinaux provoque le raccourcissement des métamères et l'augmentation de leur diamètre. Les relâchements ont les effets inverses.

Figure 4. Métamère de Lombric en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Dans chaque métamère, les muscles circulaires et longitudinaux entourent une cavité cœlomique remplie de liquide cœlomique. Il est composé de 90% d'eau mais aussi de cellules, de peptides antimicrobiens et de diverses protéines. Le cœlome correspond à l'ensemble des cavités et liquides cœlomiques de l'organisme.

Lorsque les muscles de la paroi corporelle se contractent, ils exercent une force sur la surface des cavités cœlomiques qui se traduit par une pression. Le liquide cœlomique étant incompressible, si la pression appliquée est uniforme, une rigidification du corps intervient justifiant le nom d'hydrosquelette donné au dispositif.

Les cavités cœlomiques étant déformables, si la pression exercée est asymétrique, une déformation des segments se produit. Ainsi, une onde de contractions de la musculature pariétale se propageant de segment en segment provoque les déformations successives des segments, dans le sens de propagation de l'onde et assure le déplacement de l'organisme.

L'hydrosquelette, un liquide incompressible dans compartiment déformable permettant le déplacement

Un métamère de *Lombric* peut être assimilé à un cylindre rempli de liquide. Son volume est exprimé par la formule :

$$V = \pi \times r^2 \times l$$

avec

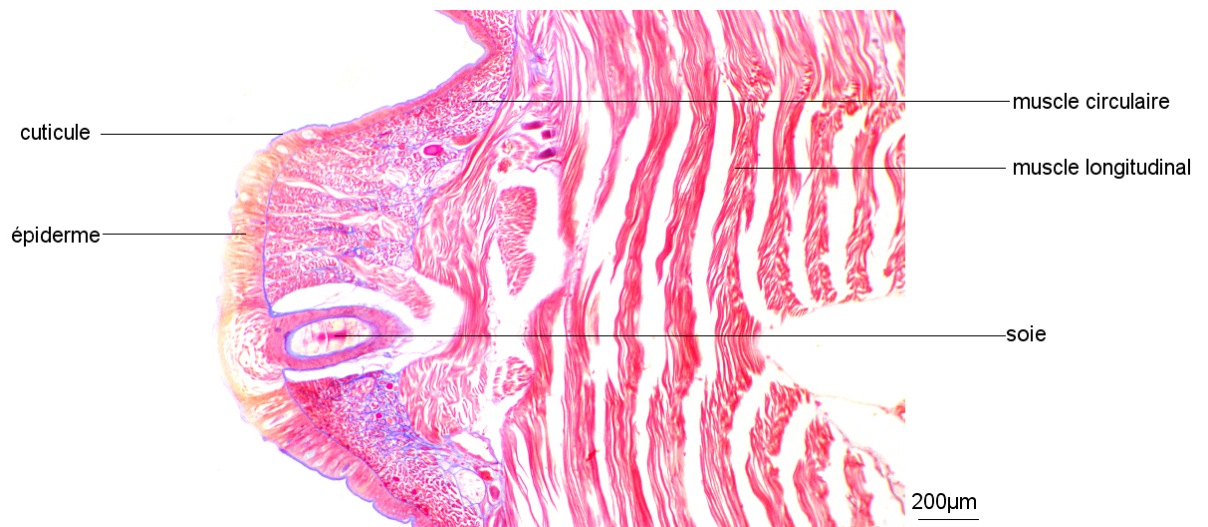
- V, volume de liquide cœlomique en litres ;
- r, rayon du métamère en mètres ;
- l, longueur du métamère en mètres.

Le liquide cœlomique étant incompressible, le volume du métamère est constant. En conséquence, quand le rayon du segment diminue, sa longueur augmente et inversement.

Ainsi, lorsque les muscles circulaires se contractent, le rayon des segments diminue. Simultanément les muscles longitudinaux se relâchent et la longueur des segments augmente. Les phénomènes inverses provoquent une augmentation du rayon des segments et une diminution de leur longueur.

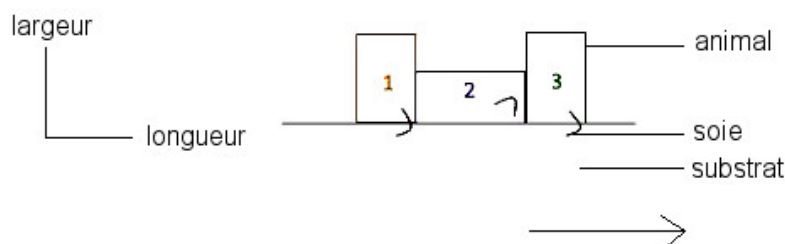
La locomotion implique en outre une interaction avec le substrat.

Figure 5. Soie de *Lombric* en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les soies sont des expansions épidermiques permettant l'ancrage et contribuant ainsi au déplacement de l'organisme.

Figure 6. Mouvements des soies lors du déplacement d'un *Lombric*



L'hydrosquelette et le mouvement
à partir des exemples des
Annélides et des Mollusques

Dans un premier temps, les muscles circulaires sont relâchés et les muscles longitudinaux sont contractés alors que les soies sont ancrées dans le substrat. Dans un deuxième temps, les muscles circulaires sont contractés et les muscles longitudinaux sont relâchés alors que les soies sont libres. Les segments s'allongent vers l'avant. Dans un troisième temps, le relâchement des muscles circulaires, la contraction des muscles longitudinaux et l'ancrage des soies dans le substrat tractent le corps vers l'avant. La coordination des actions des deux types de muscles et des soies permet le déplacement de l'animal.

D'autres Annélides comme les Polychètes et notamment la Néréis sont dotés d'un très grand nombre de soies portées par des expansions latérales des métamères appelées parapodes. Elles permettent une nage impliquant des ondulations corporelles. Les Achètes telles que la Sangsue ont un cœlome réduit, sont dépourvues de parapodes et possèdent des muscles supplémentaires, obliques. Elles développent une locomotion différente de celle des autres Annélides, se déplaçant grâce à des ventouses.

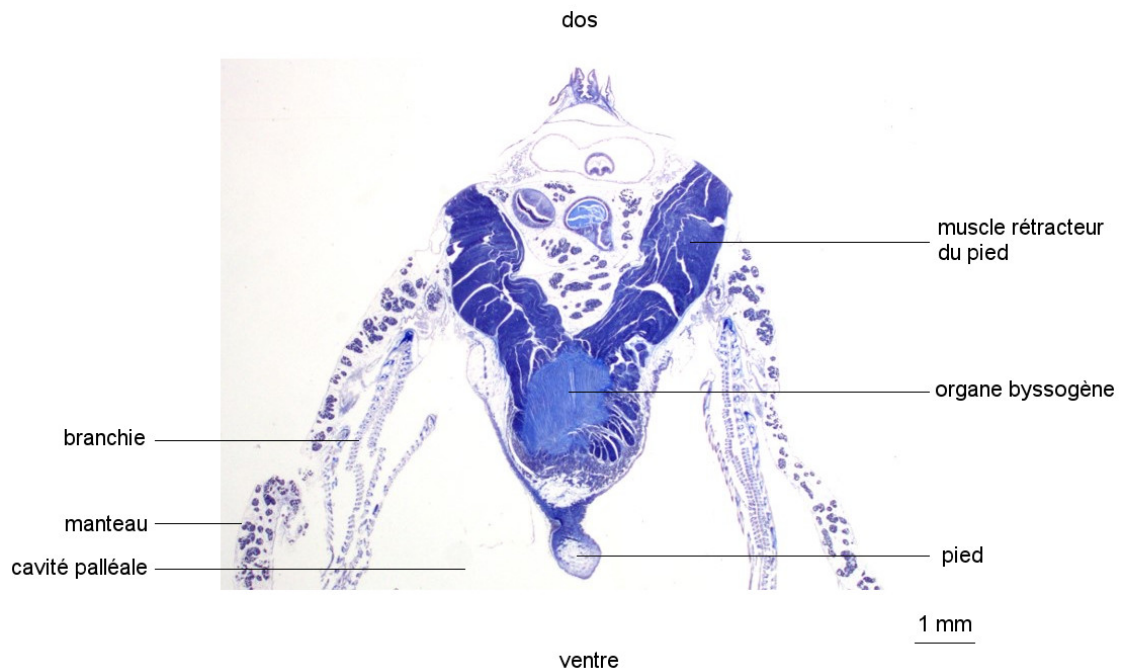
L'hydrosquelette, grâce à ses déformations, est impliqué dans les mouvements du corps entier des Annélides.

D'autres organismes présentent des mouvements concernant une seule partie du corps, comme les Mollusques, dont le pied assure le déplacement.

L'hydrosquelette dans la déformation et le mouvement d'un organe

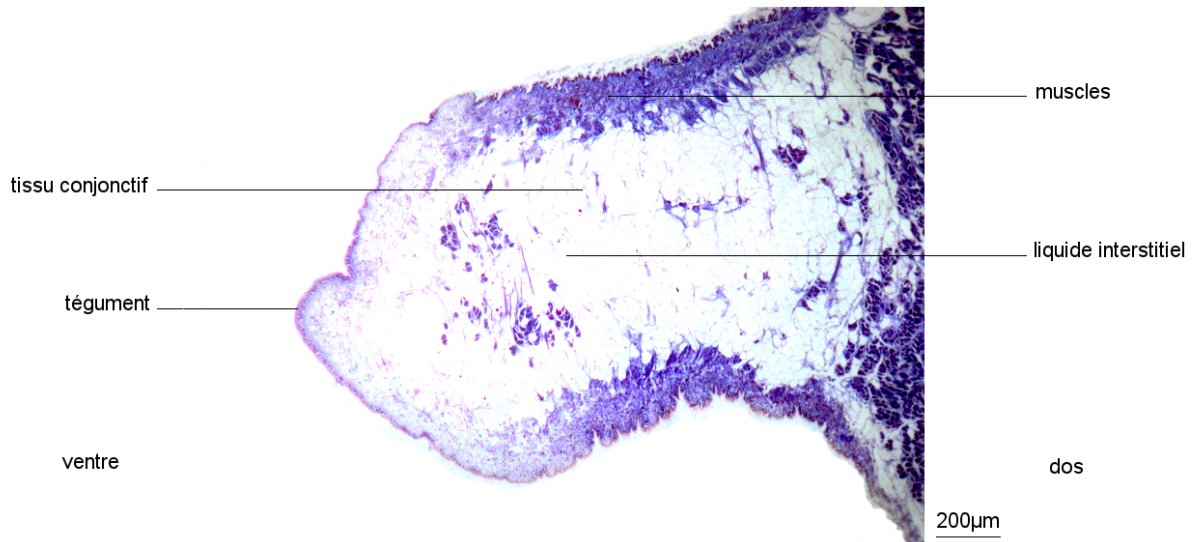
L'hydrosquelette du pied, une structure constituée de liquide interstitiel et de muscles

Figure 7. Moule en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Chez la Moule, le pied est localisé dans la région antérieure et inséré ventralement sur la masse viscérale. Il joue un rôle dans l'ancrage et la locomotion en relation avec sa structure.

Figure 8. Pied de Moule en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Le pied est délimité par le tégument qui entoure une musculature pariétale comportant des muscles circulaires et des muscles transversaux. Il est par ailleurs relié à deux paires de muscles pédieux rétracteurs, antérieure et postérieure. Le cœur du pied est occupé par du tissu conjonctif baigné de liquide interstitiel. Il est en continuité avec la cavité corporelle appelée hémocœle et l'hémolymphe, liquide de l'appareil circulatoire ouvert.

Le pied est un organe musculueux et déformable, impliqué dans les déplacements. Chez la Coque, un Bivalve fouisseur, il contribue à l'enfouissement.

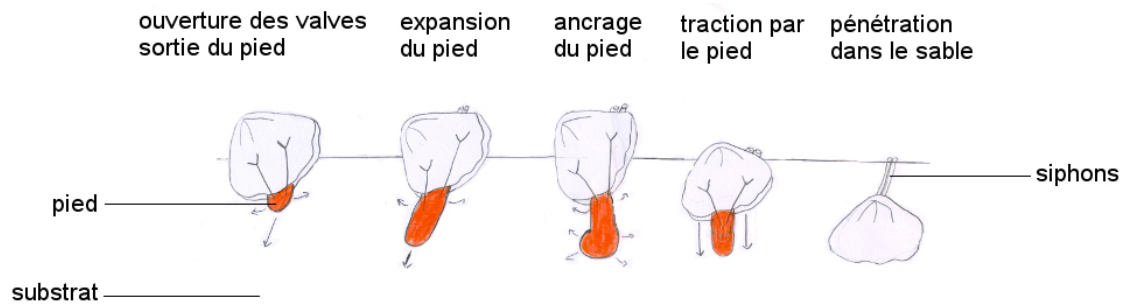
L'hydrosquelette du pied, un liquide incompressible dans compartiment déformable permettant l'enfouissement

L'enfouissement permet aux Bivalves fouisseurs de se protéger des variations du milieu ainsi que des prédateurs.

Figure 9. Morphologie de la Coque



Figure 10. Enfouissement de la Coque dans le sable



L'enfouissement est un processus complexe impliquant la musculature et le squelette hydrostatique du pied. Il débute par le relâchement des muscles adducteurs de la coquille, qui entraîne l'écartement des valves et l'ancrage de la coquille dans le sédiment. Interviennent alors le relâchement des muscles rétracteurs et la contraction des muscles circulaires et transversaux du pied, provoquant la sortie du pied dans le sédiment. Puis l'hémolymphe est propulsée vers l'extrémité du pied, ce qui conduit à son expansion et à son ancrage dans le sable. Les muscles adducteurs de la coquille se contractent entraînant sa fermeture et l'expulsion d'eau entre les valves et autour du pied. Les muscles rétracteurs du pied se contractent alors, tractant l'animal vers le pied, dans le sable. Enfin, le relâchement des muscles adducteurs de la coquille entraîne l'écartement des valves et permet l'ancrage dans le sédiment dans une nouvelle position avec le pied rétracté. Une fois l'animal enfoui, les siphons s'étendent, permettant les échanges avec la surface du sédiment.

Les mouvements du pied décrits chez les Bivalves fouisseurs peuvent être transposés à la plupart des Bivalves, malgré quelques différences fonctionnelles. Ainsi, chez la Moule le pied contribue au déplacement et non à l'enfouissement. Chez les Gastéropodes comme l'Escargot, le pied est parcouru d'ondes de contractions assurant la reptation. La locomotion est accompagnée de production de bave humidifiant le substrat et permettant une bonne adhérence. Dans le cas des Céphalopodes, le pied est divisé en plusieurs tentacules, contenant chacun un hydrosquelette. En cas de danger, aux mouvements des tentacules s'ajoute une propulsion par expulsion brutale d'eau par l'entonnoir. Tous les Mollusques ont un hydrosquelette partiel situé dans le pied.

Conclusion

L'hydrosquelette est impliqué dans le mouvement, qu'il concerne la totalité du corps ou certains organes seulement. Les Annélides et les Mollusques possèdent un hydrosquelette impliqué dans leur locomotion.

Dans le cas des Annélides, la locomotion est une reptation à la surface ou dans des galeries du sol, dont la rapidité et la puissance sont liées à la présence de l'hydrosquelette corporel. Les soies contribuent à la transmission des forces développées.

Chez les Mollusques, le mouvement implique un organe muni d'un hydrosquelette, le pied. La musculature associée est à l'origine d'une forte puissance permettant par exemple l'enfouissement.

La puissance développée par la contraction des muscles locomoteurs est exercée sur le système de soutien représenté par l'hydrosquelette.

Certains taxons, comme celui des Chordés, possèdent un hydrosquelette réduit, au bénéfice d'un squelette rigide. La trompe de l'Éléphant ou la langue dans l'espèce humaine sont mises en mouvement par l'action de muscles sur un compartiment liquidien.

Bibliographie et sitographie

Livres

- Gary J. Brusca et Richard C. Brusca. *Invertebrate*. 2ème édition. Sinauer Associates. 2003. 936 p.. [978 0 87893 097 5]
- Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale*. Dunod. 2015. 130 p.. [978 2 10 071233 5]
- Daniel Richard, Patrick Chevalet, Nathalie Giraud, Fabienne Pradere, et Thierry Soubaya. *Sciences de la vie pour le Capes et l'agrégation*. Dunod. 2008. 400 p.. *Sciences sup*. [9782 10 051624 7]
- Knut Schmidt-Nielsen. *Physiologie animale : adaptation et milieux de vie*. 5ème édition. Dunod. 1998. 611 p.. [2 10 003900 8]

Sites internet

- Christine Balliot. *Cours Bio 7 - Les Mollusques In Découverte marine - Asterina Meaux [en ligne]*. spicule.free. 2007-2008 [date de consultation : 16 février 2017]. Disponible sur : <http://spicule.free.fr/cours/2007/COURS BIO7.pdf> .
- Élisa Bossard, Inès Bourdeau, et Marc Lam. *Le déplacement des Gastéropodes In Les fluides non-newtoniens à toutes les échelles [en ligne]*. Élisa Bossard, Inès Bourdeau, Marc Lam. [date de consultation : 11 mars 2017]. Disponible sur : <http://rolesdesfluidesnonnewtoniens.e-monsite.com/pages/bave-deplacement-escargots.html> .
- Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik. *Avancer comme un Escargot In Pour la science [en ligne]*. Sylvie Marcé - Pour la science. 2009 [date de consultation : 11 mars 2017]. Disponible sur : http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/a/article-avancer-comme-un-escargot-20903.php .
- Laurent Delepine. *Caractéristiques morphologies des animaux In Webiologie [en ligne]*. Laurent Delepine. 2000 [date de consultation : 30 février 2017]. Disponible sur : <http://webiologie.free.fr/animal/presentation/caracteristiques.html> [<http://codexvirtualis.fr>] .
- Vincent De Schuyteneer. *Bio-an-17-Annélides In Biodis [en ligne]*. Vincent De Schuyteneer. 2016 [date de consultation : 27 février 2017]. Disponible sur : <http://www.vdsciences.com/pages/sciences-biologiques/biologie-animale/zoologie-descriptive/biol-animale-14-annelides.html> .
- Serge Jodra. *Mouvement péristaltique in Imago Mundi, l'encyclopédie gratuite en ligne [en ligne]*. Serge Jodra. Année de publication : 2004 [date de consultation : 30 février 2017]. Disponible sur : <http://www.cosmovisions.com/peristaltique.htm> .
- Antoine Morin. *Les Mollusques In Animaux : structures et fonctions [en ligne]*. Université d'Ottawa. 2002 [date de consultation : 16 février 2017]. Disponible sur : http://simulium.bio.uottawa.ca/bio2525/Notes/Les_Mollusques.htm .
- Luc Van Bellingen. *Les Mollusques In Fossiliraptor ransartensis [en ligne]*. Luc Van Bellingen. 2011 [date de consultation : 08 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.fossiliraptor.be/mollusques.htm#Organisation%20g%C3%A9n%C3%A9rale> .
- Embranchement des Mollusques In Mer et littoral [en ligne]*. Wilfried Bay-Nouailhat. 2016 [date de consultation : 08 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.mer-littoral.org/14/mollusques.php> .
- Le système locomoteur In eLombric [en ligne]*. elombric. 2008 [date de consultation : 08 mars 2017]. Disponible sur : <http://verdeterre.fr/index.php/84-le-ver-de-terre/>

L'hydrosquelette et le mouvement
à partir des exemples des
Annélides et des Mollusques

biologie/locomotion/9-locomotion [http://verdeterre.fr/index.php/84-le-ver-de-terre/biologie/locomotion/9-locomotio] .

Mouvement In Larousse [en ligne]. Isabelle Jeuge-Maynard - Larousse. [date de consultation : 25 février 2017]. Disponible sur : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/mouvement/53021> .

Nutrition In Biophiles sur le net [en ligne]. biophile. 2008 [date de consultation : 16 février 2017]. Disponible sur : http://biophile.free.fr/Cours_pdf/L3_BioA.pdf .

Squelette in Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 2010 [date de consultation : 25 février 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Squelette> .

Se déplacer avec un squelette externe à partir de l'exemple des Insectes

Alexandre Legrand

<alexandre.legrand@etu.univ-st-etienne.fr>

Quentin Marliac <quentin.marliac@etu.univ-st-etienne.fr>

Lou Ruelen <lou.ruelen@etu.univ-st-etienne.fr>

Mohamed Yakhou

<mohamed.yakhou@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Les Insectes sont des Arthropodes car leur corps est recouvert d'un exosquelette rigide protégeant leurs organes et porte des appendices articulés. Possédant six pattes insérées par paires sur les trois segments de leur thorax, ce sont plus précisément des Hexapodes. Ils sont présents sur toute la surface du globe et sont apparus il y a 400 millions d'années. Il y aurait entre 5 et 80 millions d'espèces d'Insectes pour un nombre d'individus estimé à 10^{19} .

Les observations scientifiques révèlent une grande diversité de modes de déplacement selon les espèces. Un déplacement consiste en un mouvement contrôlé entre deux points de l'espace avec maintien de l'équilibre. Un mode de déplacement est la façon dont l'individu réalise ce mouvement. De nombreuses contraintes physiques s'appliquent au déplacement, en particulier le poids de l'individu constitue un obstacle.

La marche est un mode de déplacement dans lequel des poussées régulières sont exercées sur le sol avec des appendices, contrecarrant les effets de la pesanteur. Elle consiste en une alternance de levés et de posés d'appendices un peu plus loin devant, assurant le déplacement du corps. Le saut est un autre mode de déplacement qui implique une très forte poussée sur le sol par extension des appendices postérieurs permettant à l'individu de s'arracher du sol pendant un court instant et de parcourir une distance relativement importante. Ces deux modes de déplacements sont effectués grâce à des appendices appelés pattes qui interagissent de manière régulière avec un substrat solide ce qui permet la locomotion. Les Insectes pratiquent un troisième mode de déplacement, le vol. Ils s'affranchissent du substrat solide grâce à des appendices nommés ailes, qui exercent une force sur l'air permettant le maintien en suspension et la propulsion.

L'étude du déplacement des Insectes en relation avec la possession d'un exosquelette peut s'appuyer sur l'exemple du Criquet qui utilise les principaux modes de déplacement (marche, saut, vol).

Le déplacement des Insectes : marche, saut, vol

Le déplacement des Insectes sollicite les systèmes musculaire et squelettique.

Quels sont les mécanismes impliqués ?

Le Criquet pratique trois modes de déplacement : la marche, le saut et le vol.

L'étude morphologique et anatomique des pattes postérieures du Criquet permet de comprendre comment ces animaux se déplacent, notamment dans le cas du saut et de la marche.

La marche : une poussée sur le sol avec alternance de levés et de posés des six appendices

Figure 1. Voir la vidéo "Marche du Criquet en vue dorsale"



Écouter/Voir la vidéo au format .mp4 [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/24_video_01.mp4] au format .webm [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/24_video_01.webm]

Figure 2. Voir la vidéo "Marche du Criquet en vue latérale"



Écouter/Voir la vidéo au format .mp4 [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/24_video_02.mp4] au format .webm [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/24_video_02.webm]

Concernant la marche, le déplacement fait intervenir :

- la mise au sol d'une patte médiane d'un côté du corps et des pattes antérieure et postérieure de l'autre ;
- le déplacement des trois autres pattes vers l'avant puis leur mise au sol.

Cette succession de phases permet à l'Insecte d'avoir un centre de gravité bas, ce qui lui confère une grande stabilité lors de la locomotion.

Figure 3. Patte métathoracique de Criquet en vue latérale



La patte du Criquet, appendice de la marche, est constituée de cinq segments. Il s'agit, de la région proximale vers la région distale, de la coxa, du trochanter, du fémur, du tibia et du tarse. La coxa a souvent la forme d'un cône tronqué, le trochanter est un petit segment qui peut seulement se mouvoir dans le plan vertical. Le fémur est la portion la plus longue et la plus solide de la patte. Chez le Criquet, le fémur de la troisième paire de pattes est très développé et permet le saut. Le tibia est long et possède une tête courbée, il peut ainsi se replier entièrement et se loger derrière le fémur. Le tarse est divisé en tarsomères non articulés. Reliés entre eux par une fine membrane, ils portent des griffes assurant l'adhérence de la patte au sol et limitant les pertes d'énergie lors du déplacement. Dépourvus de structures musculaires, ils réalisent la transmission des forces.

Le saut : une poussée sur le sol par extension des appendices postérieurs

Figure 4. Voir la vidéo "Saut du Criquet"



Écouter/Voir la vidéo au format .mp4 [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/24_video_03.mp4] au format .webm [http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/SandrineHeusser/PetitesQuestionsDePhysiologie2017/videos/24_video_03.webm]

Les trois paires de pattes sont insérées ventralement, de l'avant vers l'arrière, sur le prothorax, le mésothorax et le métathorax. Les pattes prothoraciques et mésothoraciques sont plus courtes et moins larges que les pattes métathoraciques assurant le saut.

Les pattes postérieures sont insérées en direction de l'arrière du corps, avec une orientation inverse de celle des autres paires de pattes. Elles comportent trois segments de longueurs semblables. La détente de ces pattes, à la manière d'un ressort, provoque une impulsion sur le sol qui engendre une propulsion. La configuration spécifique de ces appendices sauteurs confère au Criquet l'aptitude à se déplacer en

se propulsant du sol. Au repos, le Criquet semble être prêt pour le saut : ses pattes postérieures sont fléchies, ainsi le temps nécessaire au déclenchement du saut est réduit.

Le vol : une sustentation et une propulsion par les mouvements des ailes

Le Criquet est un Insecte ailé appartenant au groupe des Ptérygotes.

Figure 5. Articulation aile-thorax chez le Criquet en vue dorsale



Les ailes sont les organes du vol, insérées sur :

- le mésothorax pour les ailes antérieures, également appelées élytres ;
- le métathorax pour les ailes postérieures.

Les élytres sont étroites et rigides. Elles jouent un rôle protecteur et contribuent à l'équilibration pendant le vol, mais interviennent peu dans le déplacement. Les ailes métathoraciques ont une surface plus importante que les ailes antérieures lorsqu'elles sont déployées et sont de forme triangulaire. Elles sont responsables du vol.

Les ailes sont constituées de deux membranes souples et fragiles d'une épaisseur variant de 1,9 à 2,9 μm . Elles sont parcourues d'un réseau de nervures, dont le diamètre est de l'ordre de 100 à 150 μm , plus épaisses que la membrane. La présence de nervures transverses, reliant les nervures longitudinales, augmente la résistance des ailes de 50% environ, permettant de stopper l'apparition de fissures. Les nervures contiennent de l'hémolymphe, rigidifiant les ailes et leur permettant de résister aux différentes forces s'exerçant sur elles lors du vol.

Le vol des Insectes implique la résolution de nombreux problèmes physiques. En relation avec la surface relativement faible des ailes, la force exercée lors d'un battement, appelée portance, est a priori inférieure au poids. Le vol ne devrait pas être possible. Les Insectes effectuent des mouvements tels que les extrémités de leurs ailes décrivent des trajectoires en forme de huit. Lors d'un battement, elles pivotent quand elles sont en position haute et en position basse, ce qui contribue à augmenter la portance. Le rythme des battements est également très rapide, par exemple la fréquence de battement des ailes de la Mouche est de 220 fois par seconde. L'articulation des ailes avec le thorax joue un rôle essentiel en permettant des mouvements de l'aile très rapides.

Le déplacement des Insectes, quel que soit le mode pratiqué, consiste en une interaction avec l'environnement. Une force, produite par l'activité des muscles, est exercée sur le milieu par l'intermédiaire de l'exosquelette.

Le déplacement des Insectes : exercer une force sur le milieu avec un exosquelette

L'exosquelette : une structure de soutien externe et rigide

Le corps des Insectes est recouvert d'une cuticule sécrétée par l'épiderme. Elle joue un rôle protecteur et a une fonction locomotrice.

La cuticule est formée d'une couche externe appelée épicuticule et d'une couche interne nommée procuticule.

L'épicuticule comporte trois couches :

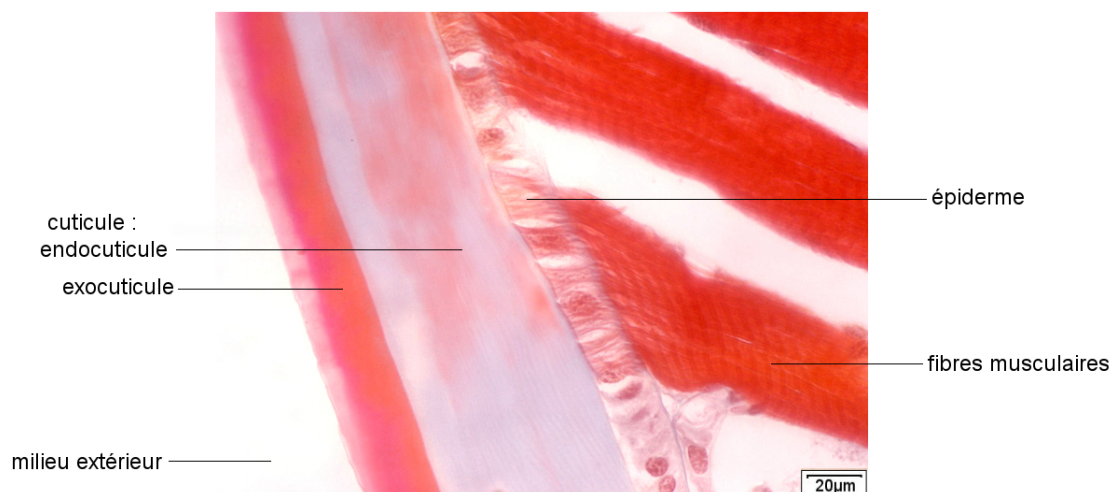
- la plus externe est un ciment, mélange de chromoprotéines et de lipoprotéines, épais d'environ 10 nm ;
- la couche médiane est composée de cire et a une épaisseur de l'ordre de 1 μm ;
- la plus interne est l'épicuticule au sens strict et mesure environ 1 à 2 μm d'épaisseur.

Les deux couches superficielles assurent une protection vis-à-vis de la déshydratation et des substances chimiques de l'environnement. La couche interne intervient dans l'insertion des muscles sur la face interne de la cuticule.

La procuticule est divisée en deux parties : l'exocuticule externe et l'endocuticule interne. L'exocuticule est composée de protéines à hauteur de 75% environ et de chitine pour les 25% restants. Les protéines sont tannées et prennent le nom de sclérotine. Elles sont responsables de la rigidité et contribuent à l'imperméabilité de la cuticule. La chitine est un polysaccharide azoté, polymère de résidus N-acétyl-glucosamine liés par des liaisons osidiques β -1,4. La chitine apporte à la cuticule une relative souplesse. L'endocuticule contient environ 40% de protéines non tannées, appelées arthropodine, et davantage de chitine, environ 60%. En relation avec la richesse en chitine et l'absence de sclérotine, l'endocuticule est plus souple que l'exocuticule.

La solidité de la cuticule est importante dans le cas du Criquet notamment, qui subit un choc lorsqu'il atterrit sur le sol après un saut.

Figure 6. Relation fibre musculaire-cuticule chez le Criquet en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



La cuticule, outre sa fonction de protection, est impliquée dans le déplacement des Insectes : elle transmet les forces à l'environnement.

L'exosquelette : une structure articulée de transmission des forces

Les appendices locomoteurs sont constitués de pièces rigides mobiles les unes par rapport aux autres grâce à des articulations flexibles, au niveau desquelles l'exocuticule est absente. Leurs mouvements permettent la déformation des appendices et les appuis sur le sol ou sur l'air.

Figure 7. Membrane articulaire de thorax de Grillon en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les articulations des Insectes sont formées de membranes articulaires reliant deux pièces de squelette. Fines, elles sont constituées d'épiderme et de d'endocuticule.

Les articulations ne permettent le mouvement que dans un seul plan. Les appendices sont divisés en segments reliés par des articulations d'orientations différentes, ce qui permet la réalisation de mouvements de leurs extrémités dans des plans divers.

L'exosquelette agit dans le déplacement des Insectes en tant que transmetteur de forces résultant de l'action d'une puissante musculature.

Le déplacement des Insectes : produire une force par une musculature

La musculature : une structure contractile développant des forces

Chez les Insectes, des relations complexes existent entre les pièces squelettiques, les articulations et les muscles. Deux pièces squelettiques sont reliées par une membrane articulaire et par un muscle inséré sur leur face interne. La contraction du muscle génère une traction s'exerçant sur les pièces du squelette sur lesquelles il est inséré. L'articulation servant de pivot, la contraction du muscle entraîne un rapprochement des deux pièces squelettiques tandis que son relâchement provoque leur écartement. Des prolongements internes de l'exosquelette sont parfois présents, formant des lames chitineuses appelées apodèmes, sur lesquelles les muscles sont insérés. Elles contribuent à la transmission des forces en absence de tendon.

Les muscles des pattes sont protégés par un squelette externe rigide et articulé. Les pattes comportent deux types de muscles :

- les muscles fléchisseurs dont la contraction aboutit au rapprochement des deux segments sur lesquels ils sont insérés ;
- les muscles extenseurs qui ont une fonction antagoniste.

Dans les pattes postérieures, le muscle extenseur est plus développé que le muscle fléchisseur. Le muscle extenseur est constitué de fibres courtes et est inséré sur la face interne de l'exosquelette du fémur par l'intermédiaire d'un tendon. Il développe une puissance importante permettant l'extension de la patte lors du saut.

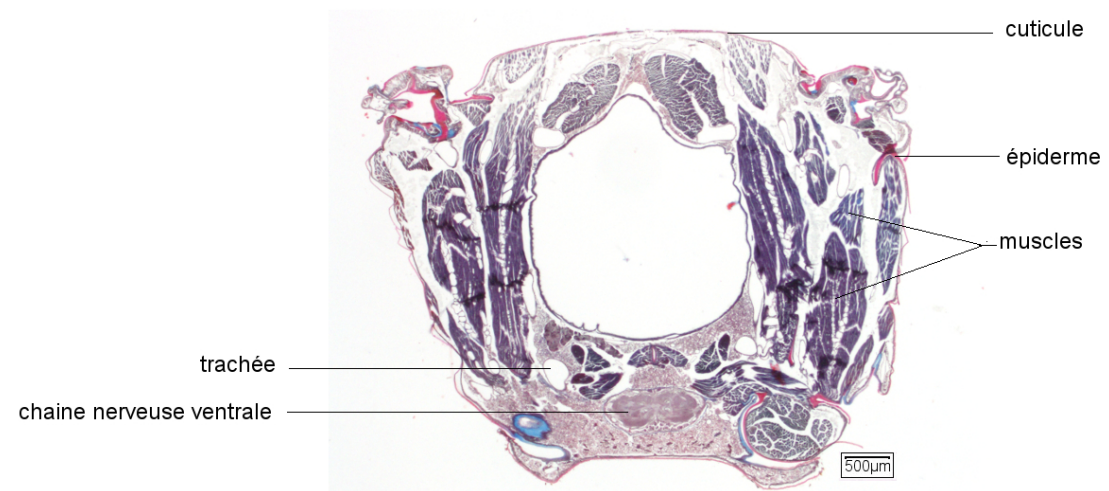
Les muscles des Insectes contiennent une protéine souple pouvant supporter jusqu'à 300% d'étirement, appelée résiline. Elle contient de nombreuses prolines, acide aminé coulé, qui lui confèrent une forme spiralée comparable celle d'un ressort. Cette molécule participe à l'élasticité des muscles.

Les cellules musculaires sont délimitées par une membrane plasmique appelée sarcolemme et contiennent des myofibrilles. Leur contrôle est assuré par des nerfs moteurs.

La musculature : une structure assurant la mobilité de l'exosquelette

Le vol des Insectes et notamment du Criquet implique l'action de divers muscles mettant les ailes en mouvement.

Figure 8. Anatomie du thorax de Grillon en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les muscles responsables du vol sont de deux types chez le Criquet :

- les muscles directs, insérés sur les sclérites alaires de la zone d'insertion des ailes ;
- les muscles indirects, insérés directement sur le ptérothorax.

Les muscles directs sont responsables des mouvements de bas en haut des ailes alors que les muscles indirects provoquent les autres mouvements alaires ainsi que le déploiement et le repliement des ailes.

Conclusion

La réalisation du déplacement des Insectes implique des interactions entre les systèmes musculaire et squelettique. L'exosquelette, structure de soutien et de protection externe composée de chitine et

de protéines, est un acteur fondamental du mouvement. Ses pièces rigides sont mues par des forces produites par les muscles, agissant par paires de muscles antagonistes. Des apodèmes permettent la fixation des muscles sur l'exosquelette et des articulations assurent la mobilité des pièces squelettiques les unes par rapport aux autres.

La réalisation de la marche est assurée grâce à la mobilisation des six pattes de l'Insecte, tandis que le saut est permis grâce aux pattes postérieures comportant des muscles extenseurs très développés. Muscles fléchisseurs et extenseurs jouent des rôles antagonistes. Le vol est permis grâce à l'action combinée des muscles alaires et des ailes postérieures. Elles possèdent des nervures transversales et longitudinales leur apportant une relative solidité en dépit de leur finesse.

L'étude du mouvement des Insectes a inspiré de nombreux spécialistes. C'est le cas d'une équipe néerlandaise qui a développé, en s'inspirant du vol de la Libellule, un micro-drone pouvant effectuer des vols précis et fluides. Ce drone nommé DelFly Explorer est une innovation car il possède deux ailes de chaque côté, qui battent de manière très rapide pour permettre son envol, alors que les drones portent habituellement des hélices. DelFly Explorer est en conséquence plus léger. Ce drone pourra être utilisé pour filmer des foules grâce à une vision binoculaire, par exemple lors de concerts. Il pourra également être employé dans le domaine agricole en repérant les fruits mûrs dans de vastes vergers.

Bibliographie et sitographie

Livres

- Arthur Chapman. *Numbers of living species in Australia and the world*. Australian government - Department of environment and energy. 2006. 60 p.. [978-0-642-56850-2]
- Reginald Frederick Chapman. *The Insects : structure and function*. 4ème édition. Cambridge University Press. 1998. 770 p.. [0-521-57890-6]
- Gérard Delvare et Henri Aberlenc. *Les Insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale : clés pour la reconnaissance des familles*. Laboratoire faunistique de Montpellier. 1989. 302 p.. [2-87614-023-3]
- Penny Gullan et Peter Cranston. *The Insects : an outline of entomology*. 4ème édition. Wiley-Blackwell. 2010. 584 p.. [978-1444330366]
- Norman Mawdsley et Etham Stork. *Species extinction in Insects : ecological and biogeographical consideration. Insects in a changing environment*. Academic Press. 1995. 400 p.. [978-4-325-25041-3]
- Charles Triplehorn et Norman Johnson. *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*. 7ème édition. Brooks-Cole. 2005. 864 p.. [978-0-03-096835-8]

Articles

- Michael Dickinson, Fritz-Olaf Lehmann, et Sanjay Sane. *Wing rotation and the aerodynamic basis of insect flight*. *Science*. 1999. 284. 5422. 1954-1960. [1095-9203]
- Christian Ellington. *The aerodynamics of hovering Insect flight*. *Philosophical Transactions of Royal Society of London : Biological Sciences*. 1984. 305. 1122. [0962-8436]
- Jarmila Kukalova-Peck. *Origin of the insect wing and wing articulation from the arthropodian leg*. *Canadian Journal of Zoology*. 1983. 61. 7. 1618-1669. [0008-4301]
- Hiroaki Matsutani. *Unsteady aerodynamics of flapping wings*. *24th International congress of the aeronautical sciences - International council of the aeronautical sciences*. 2004.
- Sanjay P. Sane. *The aerodynamics of Insect flight*. *The Journal of Experimental Biology*. 2003. 206. 4191-4208. [0022-0949]

Sites internet

- David Louapre. *Comment les Insectes font-ils pour voler ? In Science étonnante [en ligne]*. David Louapre. 2014 [date de consultation : 16 mars 2017]. Disponible sur : <https://sciencetonnante.wordpress.com/2014/05/12/comment-les-insectes-font-ils-pour-voler/> .
- François Panchout. *La cuticule des Insectes In Le Monde des Insectes [en ligne]*. insecte.org. 2007 [date de consultation : 13 mars 2017]. Disponible sur : <https://www.insecte.org/spip.php?article29> .
- Appareil locomoteur In Wikipédia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. 2015 [date de consultation : 15 mars 2017]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Appareil_locomoteur .
- La chitine In AquaPortail [en ligne]*. aquaportail.com. 2002 [date de consultation : 12 mars 2017]. Disponible sur : <https://www.aquaportail.com/definition-1379-chitine.html> .
- La marche des Insectes In Service commun de la documentation - Doc'INSA [en ligne]*. Monique Joly - INSA Lyon. 2004 [date de consultation : 16 mars 2017]. Disponible sur : http://csidoc.insa-lyon.fr/these/2004/zennir/13_chapitre1.pdf .
- La sclérotine In Futura planète [en ligne]*. Guillaume Josse - Futura-Sciences. 2015 [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.futura-sciences.com/planete/definitions/zoologie-sclerotine-8749/> .
- Le saut chez les Insectes In Forum du criquet et de l'homme [en ligne]*. Forumsactifs. 2010 [date de consultation : 14 mars 2017]. Disponible sur : <http://tpesch.forumsactifs.com/t10-1-systeme-locomoteur-responsable-du-saut> .
- Les exosquelettes des Insectes In exosquelette[en ligne]*. Julien, Ilan, Antoine. 2007 [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : <http://exosquelette1.e-monsite.com/pages/les-exosquelettes-des-insectes.html> .
- Les muscles des Insectes In Sirtin [en ligne]*. sirtin.fr. 2012 [date de consultation : 14 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.sirtin.fr/2013/07/03/les-muscles-des-insectes/> [<http://www.sirtin.fr/2013/07/03/les-muscles-des-insectes/>] .
- 2) *Une molécule à la base de tout : la résiline In Forum du criquet et de l'homme [en ligne]*. Forumsactifs. 2010 [date de consultation : 14 mars 2017]. Disponible sur : <http://tpesch.forumsactifs.com/t11-2-une-molecule-a-la-base-de-tout-la-resiline> .

Le maintien de la température corporelle chez les Mammifères

Éloïse André <eloise.andre@etu.univ-st-etienne.fr>

Thibault Durieux

<thibault.durieux@etu.univ-st-etienne.fr>

Nicolas Guignand

<nicolas.guignand@etu.univ-st-etienne.fr>

Kévin Sotier <kevin.sotier@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

La vie des animaux implique de nombreux phénomènes physiques et de nombreuses réactions chimiques influencés par la température.

La température est une grandeur mesurée qui reflète un niveau moyen d'énergie cinétique, correspondant au degré de chaleur d'un organisme. La chaleur est une quantité d'énergie pouvant modifier la température.

Tableau 1. Température corporelle de quelques Mammifères

Espèces	Valeur température moyenne
Chien	38,9°C
Chat	38,6°C
Homme	37,0°C
Baleine	37,0°C
Lapin	39,5°C
Cheval	37,6°C
Vache	39,5°C
Ornithorynque	31°C

Les Mammifères sont un groupe de Vertébré dont la principale caractéristique est l'allaitement, c'est-à-dire l'alimentation des nouveaux-nés par un lait produit par la mère. Ce sont des animaux homéothermes dont la température corporelle interne et centrale est stable. Elle varie de 31°C chez l'Ornithorynque à 40°C.

La stabilité de la température centrale, à une valeur indépendante des fluctuations de la température extérieure, est maintenue par un processus appelé régulation thermique. Les changements de température du milieu de vie ont un impact limité sur les Mammifères, qui conservent leur activité et sont relativement indépendants vis-à-vis des variations climatiques. Ils sont présents partout sur Terre, dans des environnements dont les températures vont de -70°C à 50°C.

Quelle est l'origine de la température corporelle ?

Par quels moyens est-elle maintenue chez les Mammifères ?

Comment les variations de la température interne sont-elles détectées et le contrôle est-il réalisé ?

La température corporelle : conséquence des apports et pertes de chaleur

Les Mammifères conservent une température interne quasi-constante. Cette stabilité résulte de l'équilibre entre pertes et gains de chaleur, processus impliquant de multiples acteurs. Ils agissent de manière coordonnée selon une boucle, dite de régulation.

Comment est déterminée la température corporelle ?

Les températures centrale et périphérique

Chez les Mammifères, la température centrale est définie comme la température du noyau, qui correspond à l'ensemble des organes et artères. Elle a la particularité de ne quasiment pas varier. Son maintien à 37°C dans l'espèce humaine est lié à la présence d'une source de chaleur.

La température périphérique est définie comme la température de l'enveloppe corporelle, représentée par les tissus cutanés et sous-cutanés, épiderme, derme et tissu adipeux. Contrairement à la température du noyau, la température de l'enveloppe varie avec les fluctuations de la température de l'environnement, la peau étant le constituant corporel directement en contact avec le milieu.

Chez les Mammifères, le noyau représente environ 80 % de la masse corporelle contre 20 % pour l'enveloppe. Ces deux ensembles sont connectés par la circulation sanguine qui assure les transferts de chaleur.

La thermogénèse

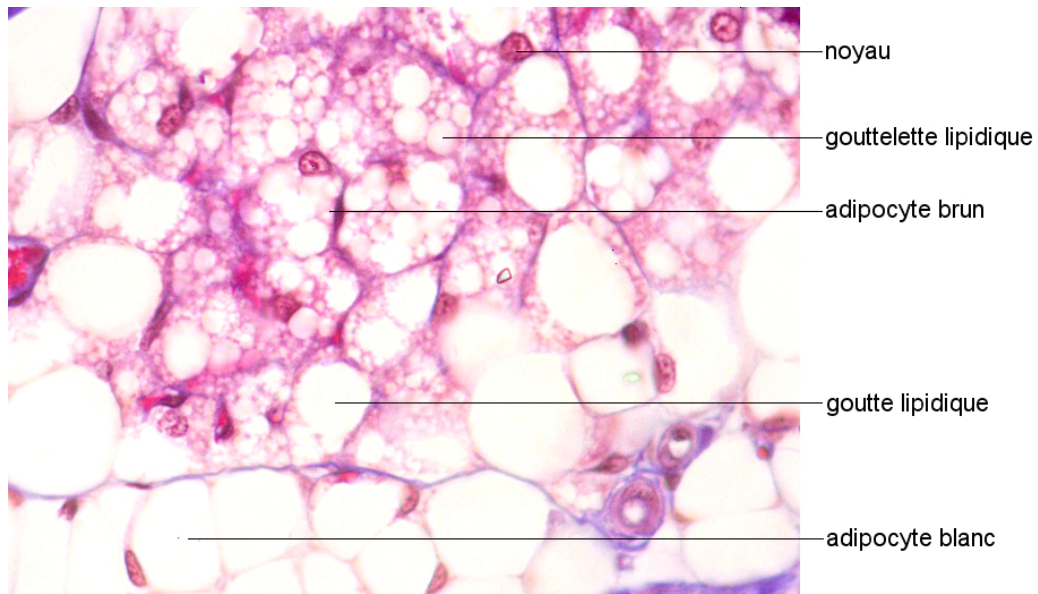
La thermogénèse est la production de chaleur. Les principaux acteurs de la thermogénèse sont le tissu adipeux brun et le tissu musculaire mais la plupart des tissus peuvent la réaliser. La chaleur est produite par divers mécanismes permettant la libération d'énergie calorifique. Il s'agit le plus souvent d'oxydations.

Figure 1. Intensités respiratoires de Rats placés à des températures de 24 et 20°C



La thermogénèse peut être mise en évidence en mesurant la consommation de dioxygène des animaux. Placés dans un environnement dont la température est inférieure de 4°C à la température ambiante, des Rats présentent une intensité respiratoire supérieure de 0,5 l.h⁻¹.kg⁻¹ à l'intensité respiratoire à température ambiante. La consommation supplémentaire de dioxygène est vraisemblablement impliquée dans la production de chaleur.

Figure 2. Tissu adipeux blanc et brun de Souris en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les tissus adipeux brun et blanc sont distincts par leurs fonctions et leur organisation. Le tissu adipeux brun est responsable de la production de chaleur. Le tissu adipeux blanc permet le stockage d'énergie sous forme de triglycérides, joue le rôle de protection mécanique et thermique pour les organes qu'il entoure, et a des fonctions endocrines. Le tissu adipeux brun est formé d'adipocytes bruns dont le noyau est central et dont le cytoplasme contient de nombreuses gouttelettes lipidiques. Le tissu adipeux blanc est constitué d'adipocytes blancs dont le noyau est périphérique et l'essentiel du volume est occupé par une goutte lipidique centrale.

Les adipocytes bruns contiennent des mitochondries assurant la libération de chaleur à partir de la dégradation des acides gras.

Ils possèdent à leur surface des récepteurs β -3 adrénergiques. La noradrénaline, libérée par les terminaisons de neurones sympathiques à proximité des adipocytes bruns, se fixe sur ces récepteurs et provoque l'activation d'une adénylate cyclase intracellulaire par l'intermédiaire d'une protéine G. Cette enzyme catalyse la production d'AMPc (adénosine monophosphate cyclique) à partir d'ATP (adénosine triphosphate). Elle active une protéine kinase A qui phosphoryle alors une lipase hormonosensible. Cette dernière clive les triglycérides en acide gras qui, après être entrés dans les mitochondries, subissent une β -oxydation dans la matrice. Elle permet l'alimentation de la chaîne respiratoire en protons. Les protons s'accumulent dans l'espace intermembranaire et le gradient en résultant est résorbé grâce à une protéine découplante appelée thermogénine. L'énergie électrochimique du gradient de protons est ainsi convertie en chaleur. L'activation de la thermogénine est due aux acides gras résultant du clivage des triglycérides, qui inhibent parallèlement la formation d'ATP par l'ATP synthase.

La production de thermogénine est contrôlée au niveau transcriptionnel par les catécholamines et les hormones thyroïdiennes. Les adipocytes bruns contiennent de la T4-5' déiodase, catalysant la désiodation de la tétraiodothyronine circulante en triiodothyronine active.

La thermogénine est donc responsable du découplage entre résorption du gradient de protons et synthèse d'ATP. La chaleur ainsi produite est répartie dans l'organisme par la circulation sanguine, le tissu adipeux brun étant riche en vaisseaux sanguins.

La libération de la chaleur par le tissu adipeux brun est essentielle chez les Mammifères hibernants ou semi-hibernants mais aussi chez les nouveaux-nés. Ils possèdent un abondant tissu adipeux brun qui leur permet de produire de la chaleur nécessaire au maintien de leur température.

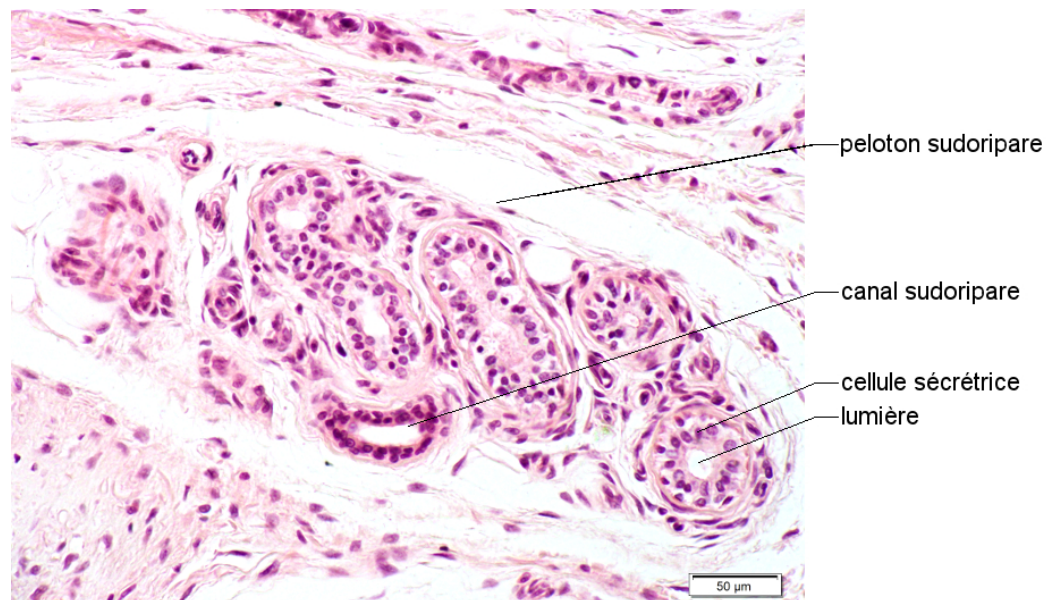
La thermolyse

La thermolyse est une perte de chaleur. Elle permet de lutter contre un surplus de chaleur responsable d'une augmentation de la température. Parmi les mécanismes de thermolyse figure l'évaporation. Il s'agit d'une vaporisation, définie comme une transition entre l'état liquide et l'état gazeux. La vaporisation consommant de l'énergie, elle entraîne une perte de chaleur et est qualifiée d'endothermique. La thermolyse par évaporation est réalisée au niveau de la peau et de certaines muqueuses, et se traduit par divers phénomènes.

La sudation consiste en la production de sueur, composée de 95% à 99% d'eau mais aussi d'acide lactique, d'urée et de substances comme les ions sodium et chlorures. L'évaporation de la sueur est un processus qui permet un refroidissement important de la surface corporelle.

La sueur est produite par les glandes sudoripares sous le contrôle du système nerveux.

Figure 3. Glande sudoripare humaine en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les glandes sudoripares humaines sont des glandes tubuleuses pelotonnées munies de canaux acheminant la sueur jusqu'à la surface de la peau. Leur région sécrétrice, appelée peloton sudoripare, est localisée en profondeur, dans le derme.

La plupart des grands Mammifères produisent peu ou ne produisent pas de sueur, dont l'évaporation serait ralentie par la fourrure. L'évaporation d'eau permettant la perte de chaleur résulte généralement d'un halètement, appelé polypnée thermique. La fréquence respiratoire augmente, l'air en mouvement dans les voies respiratoires se charge d'eau provenant de la muqueuse, dont l'évaporation entraîne une perte thermique. Contrairement à la sudation, le halètement n'est pas accompagné d'une perte de sels. Lors du halètement, la fréquence respiratoire augmente et le volume d'air inspiré diminue proportionnellement, ce qui empêche l'hyperventilation qui pourrait être néfaste.

Le léchage est un troisième mécanisme à l'origine d'une thermolyse par évaporation d'eau. L'animal sécrète de la salive et se lèche les membres. La salive est répartie à la surface du corps et son évaporation est favorisée. Elle a un rôle semblable à ceux de la sueur et de l'eau de la muqueuse respiratoire. Ce phénomène est courant chez les Marsupiaux.

La balance existant entre thermogenèse et thermolyse permet à l'organisme de limiter les variations de la température corporelle centrale.

Les échanges de chaleur : modalités et limitation des transferts de chaleur

La diversité des échanges de chaleur : convection, conduction, radiation

La chaleur est échangée entre deux milieux de températures différentes, du milieu dont la température est la plus élevée vers le milieu dont la température la plus faible, c'est-à-dire selon le gradient thermique. Parmi les mécanismes d'échanges figurent la convection et la conduction.

La convection est un échange de chaleur réalisé par l'intermédiaire d'un fluide. Ce mécanisme intervient dans les cas des échanges entre la surface cutanée et le milieu extérieur, l'appareil respiratoire et l'air ou les organes profonds et le tégument par la circulation sanguine. La mise en mouvement de l'air ou de l'eau au contact du tégument, due à des changements de densité (convection libre ou naturelle) ou à des courants (convection forcée) renouvelle le fluide extérieur. Elle contribue au maintien du gradient thermique et provoque une augmentation des échanges de chaleur par convection. La circulation sanguine dans les vaisseaux cutanés a un effet similaire, le débit sanguin dépendant du diamètre des vaisseaux déterminant son importance.

La conduction est un échange de chaleur n'impliquant pas de transport de matière. Elle est réalisée par contact entre deux milieux, solides et/ou fluides, de températures différentes. Elle concerne notamment le tégument.

Le flux d'énergie dû à la conduction est exprimé par la relation

$$Q = k \times \Delta T \times A \times e^{-1}$$

avec :

- Q, flux d'énergie, en W ;
- k, coefficient de conductivité thermique, en $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- ΔT , gradient thermique, en K^2 ;
- A, surface corporelle, en m^2 ;
- e, épaisseur de l'enveloppe corporelle, en m.

Le coefficient de conductivité thermique dépend du milieu. D'une valeur de $0,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ à 20°C pour l'eau, il est de $0,0262 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ pour l'air. En conséquence, le flux d'énergie est plus important dans l'eau que dans l'air et pour un même gradient de température. Un organisme perd ou gagne davantage de chaleur par conduction en milieu aquatique qu'en milieu aérien.

L'apport de chaleur intervient lorsque la température du milieu extérieur est supérieure que celle du tégument. Il peut être réalisé par convection ou par conduction. La perte de chaleur intervient généralement lorsque la température du milieu extérieur est inférieure à celle du tégument. 15% des pertes de chaleur sont réalisés par convection et 3% par conduction.

Les échanges de chaleur sont également réalisés par radiation, une surface recevant un rayonnement électromagnétique absorbe une partie de son énergie, qui est convertie en chaleur. De tels échanges se produisent entre deux surfaces distantes, de températures différentes, par l'intermédiaire du rayonnement infrarouge. Le réchauffement de la peau par les rayons solaires est réalisé par radiation. Le rayonnement reçu par un objet étant proportionnel à la surface exposée, le gain de chaleur l'est également. Le rapport entre la surface et le volume du corps détermine l'augmentation de la température

corporelle liée au gain de chaleur par radiation. Faible chez les grands animaux, il est élevé chez les petits conduisant à un gain de chaleur relativement plus important. Les petits animaux se cachent fréquemment du soleil ce qui réduit les risques d'hyperthermie.

L'apport de chaleur par radiation se produit lorsque la température de la surface corporelle est plus faible que celle de la surface externe. La perte de chaleur intervient lorsque le gradient thermique est inverse. Le rayonnement infrarouge du corps est alors absorbé par la surface externe, ce qui engendre une diminution de la température de la surface corporelle.

La limitation des échanges de chaleur

Les échanges de chaleur entre l'organisme et son milieu sont réduits par des structures isolantes.

Chez les Mammifères, les principaux isolants sont les poils constituant la fourrure et le tissu adipeux sous-cutané. Les poils assurent une isolation de l'organisme vis-à-vis de l'air, réduisant notamment les effets de la convection forcée due au vent et aux mouvements de l'animal. Elle est facilement modulée par une augmentation ou une diminution de la densité de la fourrure. Le tissu adipeux forme parfois une couche épaisse permettant une isolation importante. La Baleine vivant en milieu aquatique, dont le coefficient de conductivité thermique est élevé, plonge à de très grandes profondeurs où la température est faible. Elle conserve sa chaleur et évite l'hypothermie grâce à un abondant tissu adipeux périphérique.

La réduction des échanges de chaleur entre l'organisme et le milieu implique par ailleurs la vasoconstriction périphérique. Le diamètre des vaisseaux sanguins diminue, réduisant le débit sanguin et les transferts internes de chaleur par convection. Ainsi le gradient de température entre le tégument et le milieu extérieur diminue. À l'inverse la vasodilatation périphérique, augmentation du diamètre des vaisseaux sanguins, permet d'accroître le débit sanguin et le gradient de température entre le milieu extérieur et le tégument.

L'intégration de la thermogenèse, la thermolyse et les échanges de chaleur

Dans un milieu dont la température est faible, les mécanismes mis en jeu chez les Mammifères sont :

- une vasoconstriction périphérique réduisant les pertes de chaleur ;
- un frisson dû à l'activité des muscles sous-cutanés produisant de la chaleur ;
- une pilo-érection augmentant l'épaisseur de la couche isolante de la fourrure.

Par ailleurs, les animaux soumis au froid possèdent souvent de petites oreilles. Leur faible surface contribue à réduire le flux d'énergie par conduction entre l'organisme et le milieu, en l'occurrence la perte de chaleur. La surface de contact avec le milieu est peu importante.

À l'inverse, dans un milieu dont la température est élevée, les processus permettant le maintien de la température corporelle sont :

- une vasodilatation augmentant les pertes de chaleur par convection ;
- une évaporation d'eau permettant d'éliminer le surplus de chaleur, par sudation ou léchage.

Des adaptations comportementales contribuent aussi à réduire les échanges de chaleur, en particulier par une diminution de la surface de contact avec le milieu qui limite la conduction. Ainsi les animaux se tiennent serrés les uns contre les autres lorsque la température est faible.

La thermorégulation : des capteurs sensibles à la température corporelle et un centre de contrôle de la température

Le maintien de la température corporelle à une valeur stable implique la mise en œuvre coordonnée des processus de thermogenèse et de thermolyse en réponse à des variations. Une détection des variations de la température corporelle et de la température du milieu intervient en amont.

La sensibilité thermique résulte de l'activité de thermorécepteurs, récepteurs sensoriels sensibles aux variations de température. Ils sont présents au niveau du tégument et dans les organes profonds.

Recevant les informations thermiques, un centre intégrateur contrôle les activités des acteurs de la thermolyse et de la thermogenèse.

Récepteurs, centre intégrateur et effecteurs constituent la boucle de régulation de la température corporelle.

La réception de la température par les capteurs thermiques périphériques et centraux

Les thermorécepteurs de la peau des Mammifères sont sensibles aux variations de la température extérieure. Au niveau du tégument, des récepteurs sensibles au chaud sont présents, avec une gamme de sensibilité comprise entre 30°C et 46°C. De même existent des récepteurs sensibles au froid avec une gamme de sensibilité comprise entre 10°C et 35°C. Les thermorécepteurs sont des terminaisons nerveuses dont l'activité électrique varie avec la température. Lorsque l'organisme se trouve confronté à des températures hors des gammes de sensibilité des thermorécepteurs, le relais est pris par des nocicepteurs, récepteurs sensoriels de la douleur. Certains sont sensibles aux températures supérieures à 40°C et d'autres aux températures inférieures à 10°C.

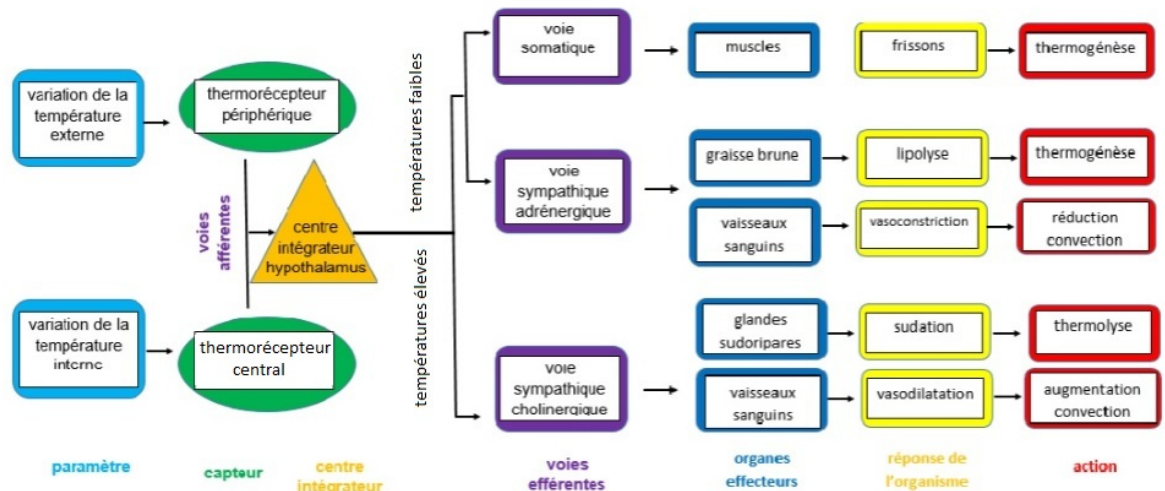
D'autres thermorécepteurs sont situés dans les organes profonds, la moelle épinière et l'hypothalamus. Ce sont des thermorécepteurs profonds ou internes, sensibles à la température centrale de l'organisme.

L'hypothalamus, centre intégrateur de la thermorégulation

L'hypothalamus est un centre nerveux localisé dans la partie ventrale du diencephale. Il intègre les informations reçues des thermorécepteurs. Des expériences de stimulation ont permis d'identifier les régions de l'hypothalamus impliquées dans la thermorégulation et leurs rôles. Leurs résultats conduisent aux hypothèses suivantes : la région postérieure de l'hypothalamus serait responsable de la lutte contre une diminution de température (froid) alors que sa région antérieure contrôlerait la lutte contre une augmentation de température (chaud). Dès que la température centrale s'écarte de la température de consigne de plus ou de moins 1°C, une réponse thermorégulatrice est induite.

De la variation de température aux messages et aux organes effecteurs

Figure 4. Étapes et organes impliqués dans la thermorégulation



Trois voies nerveuses efférentes sont impliquées dans la réponse thermorégulatrice :

- la voie sympathique adrénérique responsable de la lutte contre le froid, stimulant la vasoconstriction, la pilo-érection et l'activité de la graisse brune ;
- la voie des neurones moteurs somatiques permettant également la lutte contre le froid en provoquant le frisson par contraction des muscles squelettiques ;
- la voie sympathique cholinérique intervenant dans la lutte contre le chaud, activant la sudation et la vasodilatation.

Un contrôle hormonal de l'activité des organes effecteurs est également impliqué dans la réponse thermorégulatrice. Le complexe hypothalamus-hypophyse contrôle le fonctionnement des glandes surrénales et thyroïde. Les glandes médullaires produisent de l'adrénaline qui provoque une vasoconstriction et une lipolyse dans les adipocytes. Les hormones thyroïdiennes augmentent la thermogénèse, en stimulant la mobilisation du glycogène hépatique, la néoglucogenèse et les oxydations mitochondriales.

Conclusion

Les Mammifères sont des animaux dont la température interne est stable et capables de produire de la chaleur. Ils sont qualifiés d'homéothermes et d'endothermes. Ils sont sensibles aux variations thermiques de leur milieu de vie grâce à des thermorécepteurs périphériques. Les informations relatives à la température sont transmises à un centre intégrateur qui les compare à une valeur de référence. Si des différences sont constatées, le centre intégrateur élabore des messages efférents. Ils activent les mécanismes de thermogénèse ou de thermolyse en réponse aux contraintes thermique du milieu, qui s'opposent à l'hypothermie ou à l'hyperthermie. Ces mécanismes équilibrent la balance entre thermogénèse et thermolyse, la température corporelle est ainsi indépendante de celle du milieu.

Dans certaines situations, l'équilibre est modifié. Ainsi, la température corporelle augmente en réponse à une infection, c'est la fièvre, et à l'inverse elle diminue lors de l'hibernation, permettant une réduction du métabolisme.

Aujourd'hui, l'espèce humaine contrôle la température de son milieu de vie grâce aux avancées technologiques et porte des couches isolantes selon la température extérieure.

Les animaux homéothermes comme les Mammifères maintiennent leur température stable, mais d'autres comme les Squamates ont une température corporelle qui varie avec celle de leur milieu de vie. Ce sont des animaux poikilothermes dont l'activité est dépendante de la température du milieu. Ils peuvent moduler leur température interne par une exposition au soleil, ou un changement de couleur permettant d'augmenter ou diminuer l'absorption du rayonnement infrarouge, mais ne produisent pas de chaleur intrinsèque.

Bibliographie et sitographie

Sites internet

Daniel Balas et Patrick Philip. *Le tissu adipeux In Histologie [en ligne]*. Daniel Balas, Patrick Philip. 2002 [date de consultation : 14 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.db-gersite.com/HISTOLOGIE/HISTGENE/histgen1/histgen1.html> .

Pierre Clairambault, Robert Manaranche, Pierre-Antoine Saint-André, et Michel Tranier. *Mammifères In Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 15 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/mammiferes/> .

Jean-Philippe Colin. *Pourquoi les bébés doivent-ils se méfier du froid ? In Le Blog de M. Colin [en ligne]*. Jean-Philippe Colin. 2012 [date de consultation : 15 mars 2017]. Disponible sur : <http://svtcolin.blogspot.fr/2012/01/bebe-froid-graisse-brune-ucp.html> .

Collectif. *Dictionnaire de français Larousse [en ligne]*. Isabelle Jeuge-Maynard - Larousse. 2016 [date de consultation : 12 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais> .

Jean-François Deneff. *Les épithéliums glandulaires In UCL Faculté de médecine [en ligne]*. Université catholique de Louvain. 1996 [date de consultation : 30 avril 2017]. Disponible sur : <http://www.isto.ucl.ac.be/safe/epitgld1.htm> .

Louis Dubertret. *Peau In Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 18 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/peau/> .

Ijsbrand Kramer et Gérard Tramu. *5. La mitochondrie - Transport à travers la membrane interne In Unisciel [en ligne]*. Manuel Majada - Unisciel. 2012 [date de consultation : 13 mars 2017]. Disponible sur : http://ressources.unisciel.fr/biocell/chap5/co/module_Chap5_21.html .

René Lafont. *Thermorégulation, biologie In Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 18 mars 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/thermoregulation-biologie/> .

Virginie Levrat. *Squamates In Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 01 mai 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/squamates/> .

Yves Muller. *Chapitre 2-4 Boucle de régulation de la température centrale des animaux endothermes - Homéothermie [vidéo en ligne]*. Youtube. 2015 [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=ZANzJ7nH75Q> .

Maryse Nibbelink, Eric Arnaud, Luc Penicaud, et Louis Casteilla. *La protéine découplante du tissu adipeux brun (UCP1) : la fin des dogmes. In Ipubli Collections numériques [en ligne]*. Yves Lévy - INSERM. 2002 [date de consultation : 15 mars 2017]. Disponible sur : http://ipubli-inserm.inist.fr/bitstream/handle/10608/5008/MS_2002_6-7_780.html .

Agnès Sommet. *La Thermorégulation In Biologie de la peau [en ligne]*. Michel Démarchez. 2013 [date de consultation : 14 mars 2017]. Disponible sur : <http://biologiedelapeau.fr/spip.php?article75> .

Pierre-Louis Toutain. *Thermorégulation chez les animaux domestiques In Physiologie et thérapeutique École nationale vétérinaire de Toulouse [en ligne]*. École nationale vétérinaire de Toulouse. 2013 [date de consultation : 16 mars 2017]. Disponible sur : http://physiologie.envt.fr/spip/IMG/pdf/Poly_-THERMOREGULATION.pdf .

Michel Trambly . *Régulation de la température corporelle [vidéo en ligne]*. Youtube. 2015 [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=mm1DPpCG00E> .

Frisson In Wikipédia [en ligne]. Fondation Wikimedia. 2017 [date de consultation : 01 mai 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Frisson> .

Thermogénine In Wikipédia[en ligne]. Fondation Wikimedia. [date de consultation : 17 mars 2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Thermog%C3%A9nine> .

Le problème de l'eau et des ions chez les Sélaciens marins

Tom Couchoud <tom.couchoud@etu.univ-st-etienne.fr>

Manon Igonin <manon.igonin@etu.univ-st-etienne.fr>

Meryam Kizilkilic

<meryam.kizilkilic@etu.univ-st-etienne.fr>

Ophélie Valade <ophelie.valade@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Les Sélaciens sont des poissons cartilagineux, autrement dit des Chondrichthyens. Ils sont divisés en deux grands groupes : les Eusélaciens pleurotrèmes représentés par les Requins et les Eusélaciens hypotrèmes représentés par les Raies et les Torpilles. S'il existe des espèces d'eau douce, la plupart des Sélaciens vivent en milieu marin.

L'eau de mer a une osmolarité élevée, de 1000 mOsm.l⁻¹ environ, en raison de concentrations en ions très importantes. L'osmolarité du milieu intérieur de la plupart des animaux marins est inférieure à celle de l'eau de mer. Ils sont dits hypoosmotiques. La différence de concentration osmotique induit des flux spontanés d'eau et d'ions à travers les surfaces corporelles perméables comme le tégument. De tels échanges d'eau et d'ions peuvent être néfastes, voire mortels. Les organismes hypoosmotiques à leur milieu de vie tendent ainsi à perdre leur eau interne, ce qui provoque une déshydratation, et à gagner des ions, ce qui provoque une intoxication. La vie en milieu marin implique également la réalisation d'échanges des gaz respiratoires avec l'eau de mer et l'ingestion d'une nourriture salée, qui constituent des voies d'entrée d'ions supplémentaires.

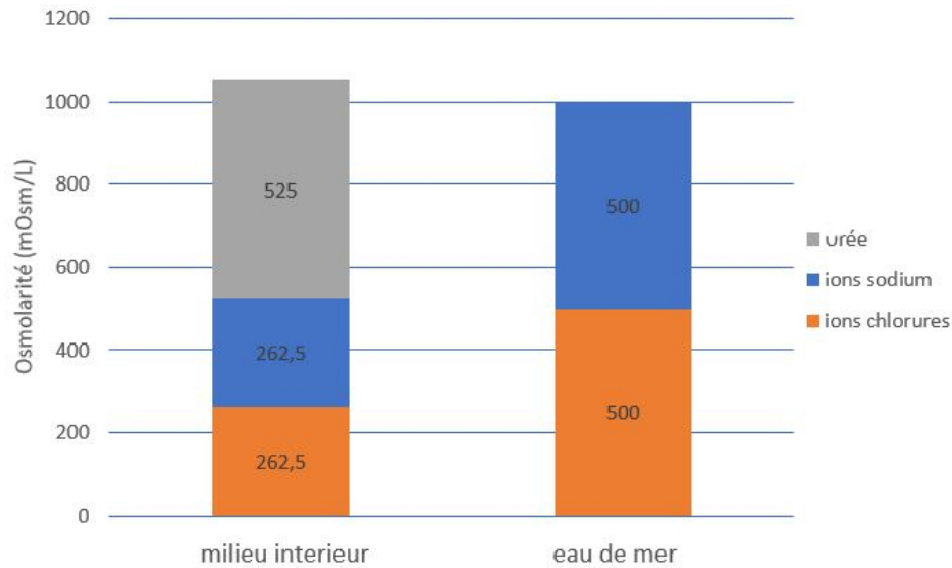
Les Sélaciens sont des organismes adaptés à la vie en milieu marin, notamment grâce à des processus d'osmorégulation et d'ionorégulation. L'osmorégulation est la régulation de la concentration osmotique du milieu intérieur, notamment par le contrôle des flux d'eau entre l'organisme et son environnement. L'ionorégulation est la régulation des concentrations en ions du milieu intérieur, et implique le contrôle des flux d'ions entre le milieu intérieur de l'organisme et le milieu extérieur.

Vivre en milieu marin : évoluer dans un milieu riche en ions et de forte concentration osmotique

Un milieu extérieur et un milieu intérieur de concentrations osmotiques semblables et de concentrations ioniques différentes

Lorsque deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable contiennent des solutions dont les concentrations en solutés sont différentes, l'eau traverse la membrane du compartiment contenant la solution la moins concentrée vers le compartiment contenant la solution la plus concentrée par un processus appelé osmose. Le déplacement de l'eau est dû à la différence de concentration osmotique existant entre les deux solutions, ou gradient osmotique. La concentration osmotique d'une solution est déterminée par les concentrations des solutés, et notamment des ions.

Figure 1. Composition du milieu intérieur et de l'eau de mer en solutés osmotiques



La concentration osmotique du milieu intérieur des Sélaciens marins est de 1050 mOsm.l^{-1} environ, en raison de la présence dans le sang d'urée qui s'ajoute aux ions sodium et chlorures. La concentration osmotique du milieu intérieur a une valeur très proche de celle de la concentration osmotique de l'eau de mer. Les Sélaciens sont isoosmotiques par rapport à leur milieu de vie. En conséquence, les flux d'eau entrant et sortant sont équilibrés et contrairement aux animaux hypoosmotiques, ils ne perdent pas d'eau en milieu marin.

En revanche, les concentrations en ions sodium et chlorures du milieu intérieur sont très inférieures à celles de l'eau de mer.

Des échanges spontanés à travers les surfaces corporelles perméables

Figure 2. Lamelle branchiale de Roussette en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)

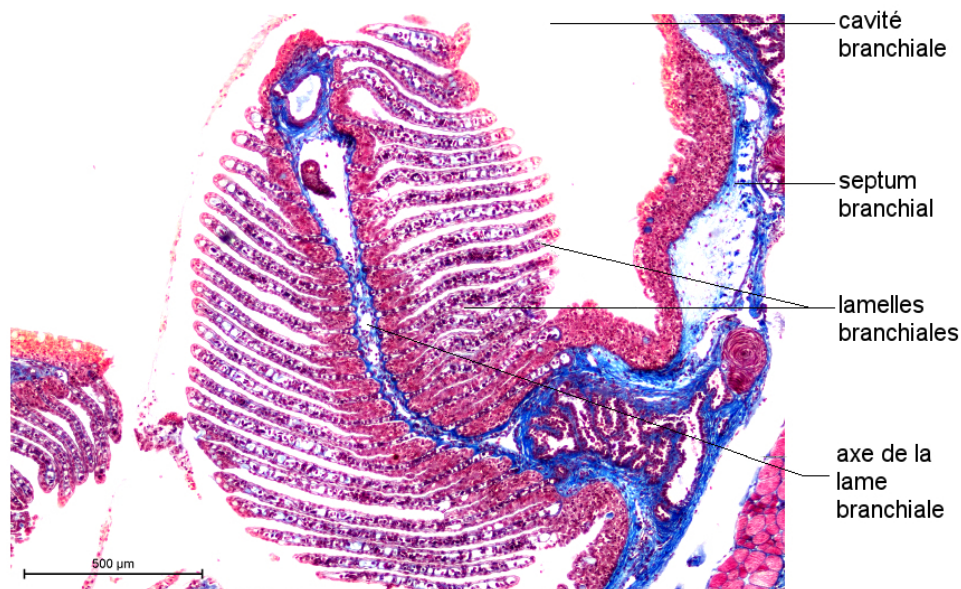
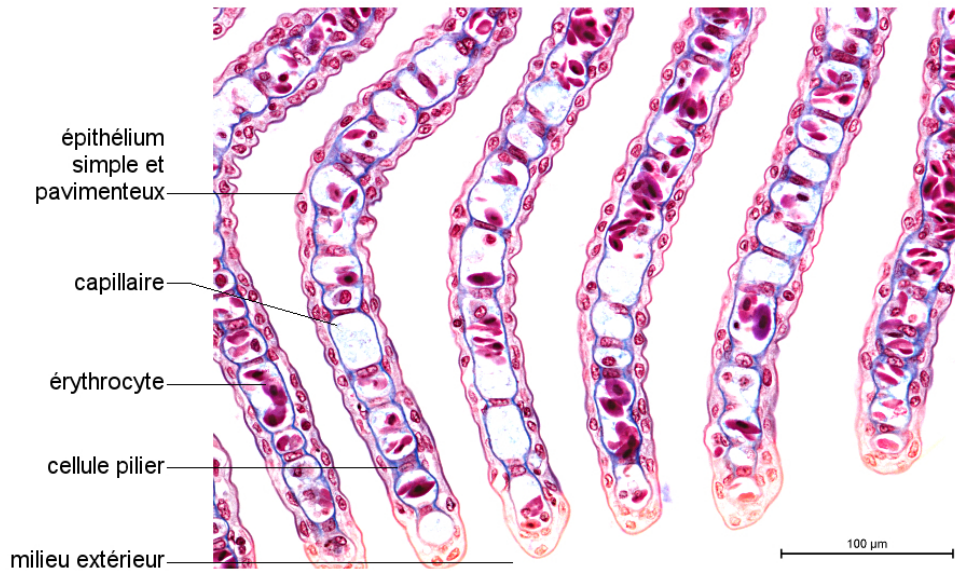
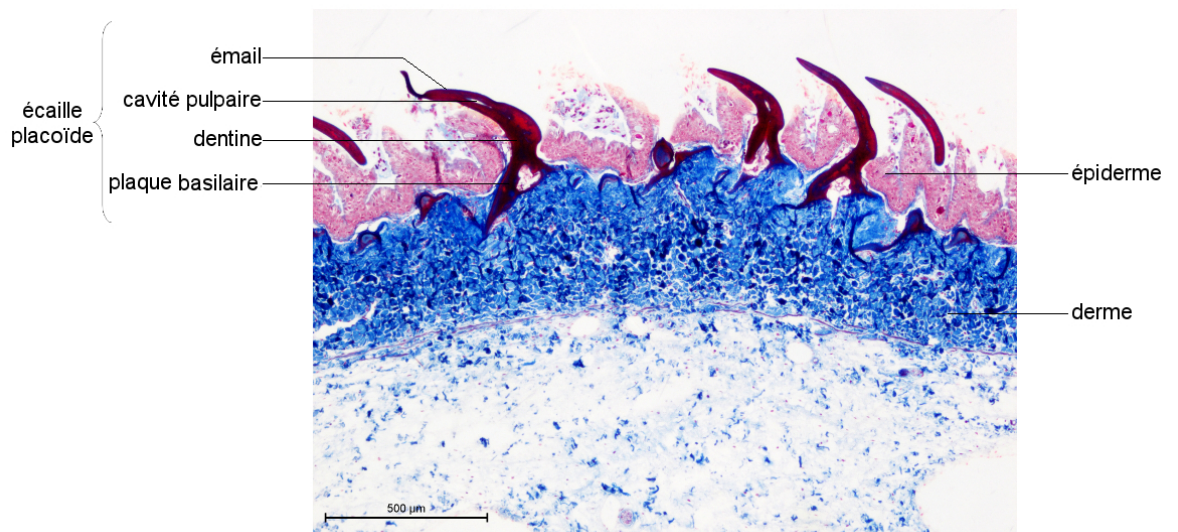


Figure 3. Lamelles branchiales de Roussette en coupe longitudinale (Collection de l'ENS de Lyon)



Les Sélaciens possèdent un appareil respiratoire branchial. Il est formé de lames branchiales insérées sur des arcs branchiaux cartilagineux. Elles portent des lamelles branchiales, replis de l'épithélium. En raison du grand nombre de lamelles branchiales, la surface d'échanges branchiale est très importante. Leur épithélium est simple et pavimenteux. Épais de 10 µm environ, il est très fin et perméable. Les échanges gazeux entre le milieu intérieur et l'eau de mer sont réalisés passivement, par diffusion à travers cet épithélium vaste et peu épais. Un échangeur possédant de telles caractéristiques est généralement perméable à l'eau et aux ions. Les branchies sont ainsi le siège de flux passifs d'eau, d'ions sodium et d'ions chlorures selon leurs gradients de concentration.

Figure 4. Tégument de Roussette en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Le système tégumentaire correspond au revêtement externe des animaux et à ses annexes. Le tégument des Sélaciens est constitué d'un épiderme superficiel, en contact avec le milieu extérieur, et d'un derme profond. Ses annexes sont représentées par des glandes et des écailles placodes. L'épiderme est un épithélium pluristratifié. Le derme est un tissu conjonctif fibreux vascularisé. D'épaisseur relativement

faible, de l'ordre de 500 μm , le tégument est perméable à l'eau. La concentration osmotique du milieu intérieur des Sélaciens étant proche de celle de l'eau de mer, les flux d'eau tégumentaires entrant et sortant sont équilibrés et permettent un renouvellement constant de l'eau du milieu intérieur.

Les échanges ioniques et hydriques peuvent également intervenir dans l'appareil digestif. Les Sélaciens marins se nourrissent généralement d'animaux dont le milieu intérieur est riche en ions sodium et chlorures. L'ingestion des proies provoque l'entrée d'eau et d'ions dans la lumière du tube digestif. Sa paroi est hérissée de replis bordés par un épithélium très fin. Cet échangeur peut être un site d'entrée d'ions dans le milieu intérieur. En relation avec l'équilibre des concentrations osmotiques de leurs milieux intérieur et extérieur, les Sélaciens marins ne boivent pas.

Le maintien des concentrations osmotiques et ioniques du milieu intérieur

Une hypoionorégulation rénale pour les ions divalents

L'organe excréteur des Sélaciens est le rein. Ayant pour fonction l'élimination des solutés et de l'eau, il contribue au maintien des équilibres osmotique et ioniques.

Figure 5. Rein de Roussette en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)

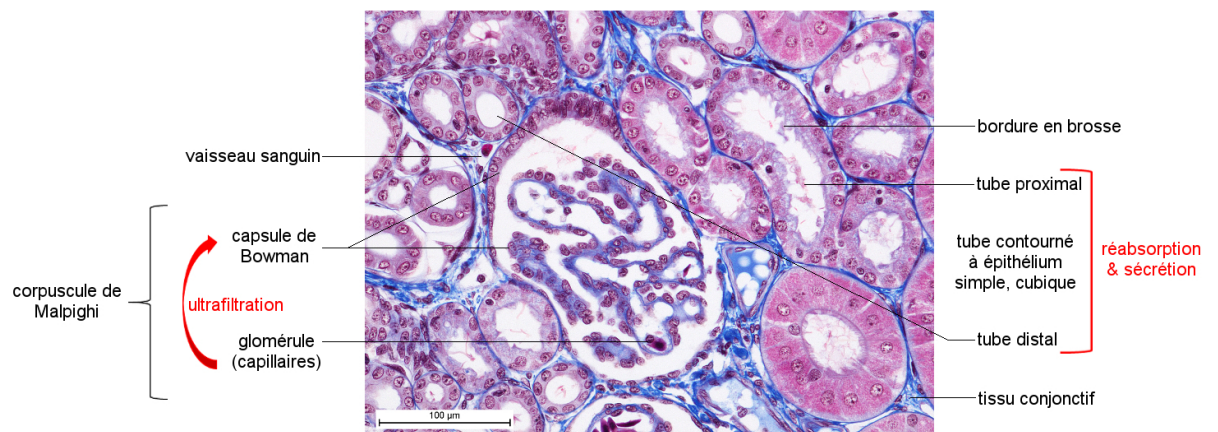
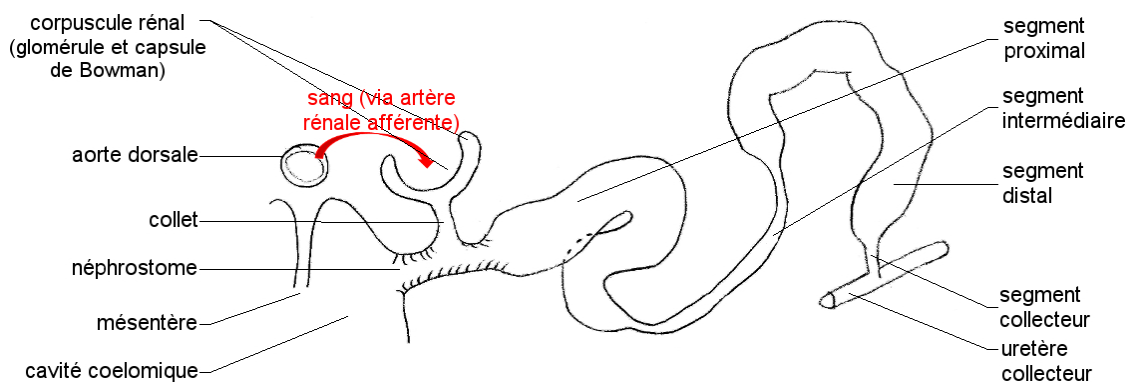


Figure 6. Néphron ouvert à glomérule intranéphronique de mésonéphros de Sélacien marin



L'unité structurale et fonctionnelle du rein des Sélaciens est le néphron. Il est formé d'une région sphérique constituée d'un feuillet pariétal et d'un feuillet viscéral, appelée capsule de Bowman, et d'un tubule urinaire. Le tubule urinaire est divisé en un segment proximal, proche de la capsule, un segment

intermédiaire, représentant un quart de sa longueur totale, un segment distal et un segment connecteur débouchant sur un canal collecteur. Le sang est amené à la capsule de Bowman par une artériole afférente et repris par une artériole efférente. Un bouquet de capillaires sanguins est intercalé entre ces deux artérioles, constituant le glomérule. Le corpuscule rénal est une structure mixte, associant l'appareil excréteur avec la capsule de Bowman et l'appareil circulatoire avec le glomérule.

La première étape de la production de l'urine est l'ultrafiltration glomérulaire : le plasma est filtré à travers l'endothélium des capillaires glomérulaires et le feuillet viscéral de la capsule de Bowman. Les protéines plasmatiques sont retenues dans le compartiment sanguin. L'urine produite est qualifiée de primitive et composée principalement d'eau, d'ions sodium et d'urée. Elle est prise en charge par le collet. La circulation de l'urine dans le tubule urinaire est due aux battements des cils portés par les cellules de la paroi du collet et du segment intermédiaire, ainsi que de certaines cellules du segment proximal.

Le tubule urinaire possède une importante surface de contact avec le contenu de la lumière, ce qui contribue à augmenter la capacité d'échanges. C'est par exemple le cas du segment proximal dont la paroi est bordée de cellules portant une la bordure en brosse apicale. Les transferts de substances de l'urine circulant dans le tubule vers le sang circulant dans les capillaires sanguins sont des réabsorptions. Les échanges réalisés en sens inverse sont des sécrétions. L'essentiel de la réabsorption d'eau ainsi que des ions sodium et chlorures se produit dans le segment proximal, alors que celle de l'urée intervient dans le segment distal grâce à un système à contre-courant. Une sécrétion d'ions sulfates, phosphates et magnésium et d'eau, en cas d'excès, a également lieu dans le segment proximal. La dilution de l'urine se produit dans le canal collecteur. Les processus de réabsorption et de sécrétion tubulaires impliquent fréquemment des transports actifs. L'urine définitive obtenue est évacuée dans le milieu extérieur. Le rein contribue ainsi à maintenir l'équilibre hydroélectrique de l'organisme.

Une isoosmorégulation utilisant l'urée

La principale forme de déchets azotés produite par les Sélaciens est l'urée, ce sont des animaux qualifiés d'uréotéliques. L'urée est synthétisée par les cellules du foie et de la plupart des organes par une voie métabolique appelée cycle de l'urée.

L'urée est filtrée par les reins lors de la formation de l'urine primitive par les corpuscules rénaux. Elle est ensuite réabsorbée de manière passive par le tubule urinaire. Plus de 90% de l'urée filtrée sont concernés par la réabsorption.

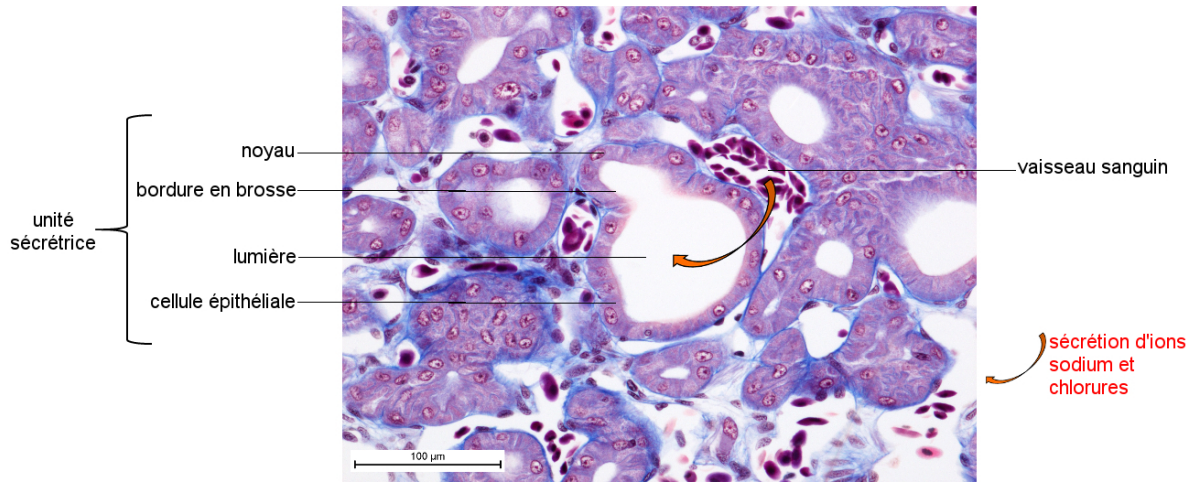
La réabsorption rénale de l'urée permet de maintenir la concentration d'urée sanguine à un niveau élevé. L'isoosmolarité du milieu intérieur par rapport au milieu extérieur est ainsi assurée par la présence de l'urée et des ions sodium et chlorures.

Cependant, l'urée a la propriété de déstabiliser et dénaturer les protéines. Cet effet néfaste pour l'organisme est contrecarré par la production de protéines résistantes à l'urée et par la présence d'oxyde de triméthylamine (TMAO). Cette substance, dont la concentration dans le milieu intérieur est égale à la moitié de celle de l'urée, s'oppose à la dénaturation des protéines par l'urée.

Une hypoionorégulation par la glande rectale pour les ions monovalents

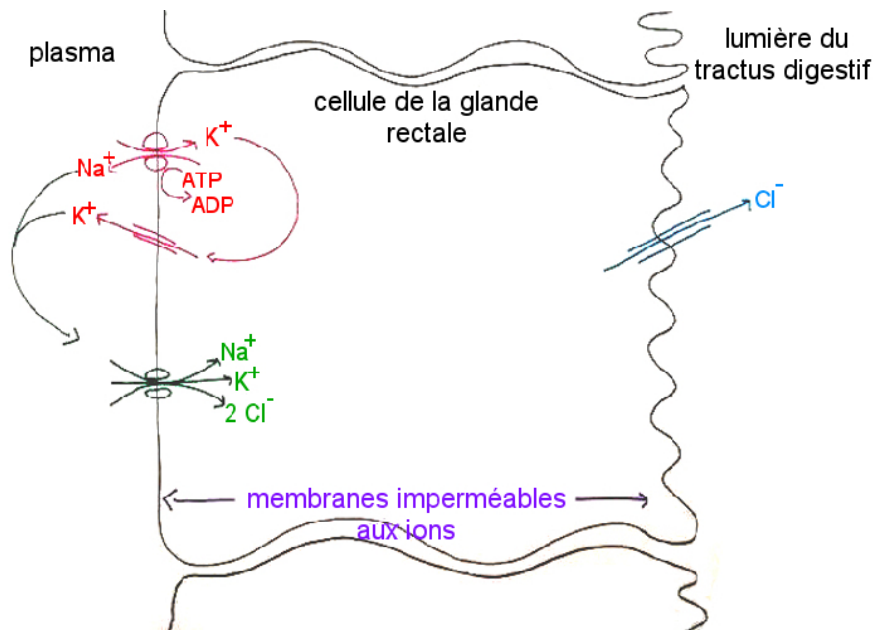
Chez les Sélaciens marins, les reins ne sont pas les seuls organes impliqués dans l'élimination de la grande quantité d'ions présents dans l'organisme. Un organe extra-rénal intervient, il s'agit de la glande rectale. Ce diverticule du rectum produit une solution hyperosmotique au plasma contenant principalement des ions sodium et chlorures, mais également du potassium. Ce liquide est évacué par l'anus.

Figure 7. Glande rectale de Roussette en coupe transversale (Collection ENS de Lyon)



La glande rectale est une glande tubuleuse composée très irriguée. Les unités sécrétrices sont des tubes à épithélium simple cubique avec une bordure en brosse. Cette organisation est caractéristique des structures effectuant des échanges entre le sang et le milieu extérieur.

Figure 8. Sécrétion de liquide hyperosmotique au milieu intérieur des cellules de la glande rectale des Sélaciens



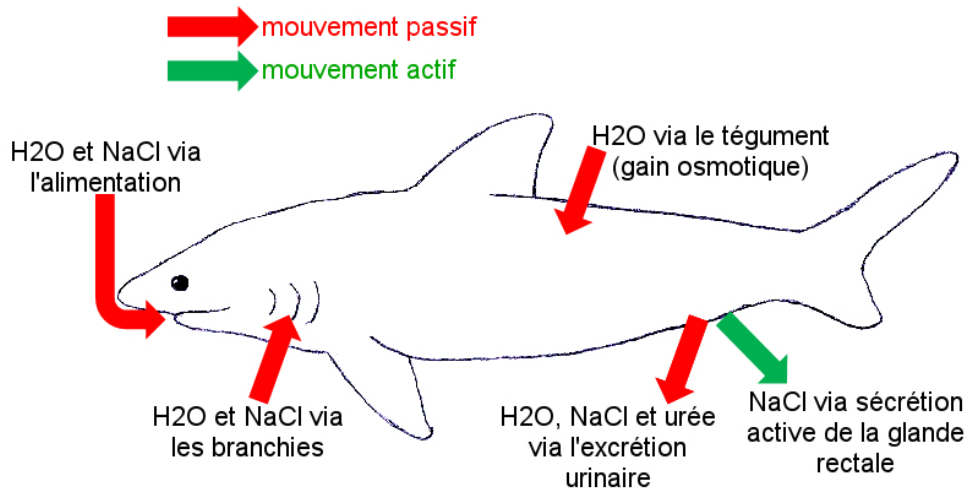
Les cellules de la glande rectale réalisent une expulsion des ions sodium vers le plasma grâce à une pompe ATPase sodium/potassium basale, qui par transport actif fait sortir les ions sodium et entrer les ions potassium. Ce transport génère un gradient d'ions sodium, localement concentrés dans le milieu intérieur. Il active un co-transporteur baso-latéral responsable de l'entrée dans la cellule d'un ion sodium, d'un ion potassium et de deux ions chlorures. Les gradients de concentration résultant de l'accumulation des ions dans la cellule provoquent une sortie d'ions potassium vers le plasma grâce à des canaux potassiques basaux et d'ions chlorures vers la lumière de la glande rectale par l'intermédiaire de canaux à chlorures apicaux. L'accumulation des ions chlorures dans la lumière est à l'origine d'un gradient électrique provoquant la sortie passive des ions sodium de la cellule vers la lumière de la glande rectale. Le liquide ainsi produit présente des concentrations en ions sodium et chlorures supérieures à celles du plasma et de l'eau de mer.

L'élimination des ions sodium et chlorures compense les flux spontanés entrants de ces ions, liés aux différences de concentrations entre le milieu intérieur et le milieu extérieur.

L'activité de la glande rectale, s'ajoutant à celle des organes excréteurs rénaux, permet de contrôler les concentrations des ions du milieu intérieur. La glande rectale est l'acteur principal du maintien des concentrations des ions sodium et chlorures dans le milieu intérieur des Sélaciens.

Conclusion

Figure 9. Osmorégulation et ionorégulation chez le Requin



Les Sélaciens marins évoluent dans un milieu dont la concentration osmotique est élevée, en raison de la présence d'ions à de fortes concentrations. Les différences de concentrations existant entre le milieu de vie et le milieu intérieur sont à l'origine de flux spontanés d'eau et d'ions au niveau des surfaces corporelle perméables comme les branchies, le tégument et le tube digestif.

Le problème de l'eau est en grande partie réglé par l'isoosmolarité du milieu intérieur par rapport au milieu extérieur. La concentration osmotique du milieu intérieur est liée à la présence d'ions sodium et chlorures, mais surtout d'urée. L'urée permet au milieu intérieur des Sélaciens marins d'être en équilibre avec le milieu de vie du point de vue osmotique. Les échanges d'eau à travers le tégument sont bidirectionnels et de même importance, assurant le renouvellement de l'eau du milieu intérieur.

Divers organes et processus, incluant des transports actifs, sont impliqués dans l'osmorégulation et l'ionorégulation, comme la réabsorption à contre-courant de l'urée par le rein, la sécrétion active d'ions chlorures et sodium par la glande rectale. Les concentrations du milieu intérieur en ions sodium, chlorures et en urée sont ainsi stabilisées et l'organisme est adapté au milieu marin.

Qu'en est-il des Sélaciens vivant en eau douce ?

Bibliographie et sitographie

Livres

André Beaumont, Brahim LahlouAHLOU, Nicole Meyer-Gostan, et Patrick Payant. *Osmorégulation et excrétion*. Belin. 2000. 255 p.. [2-7011-2677-0]

Neil A. Campbell, Jane B. Reece, Lisa A. Urry, Michael Cain, Steven A. Wasserman, Peter V. Minorsky, et Robert B. Jackson. *Biologie*. 9ème édition. Pearson. 2012. 1570 p.. [978-2-7613-5065-5]

Raymond Gilles, Michel Antcil, Fernand Baguet, Mireille Charmantier, et Guy Charmantier. *Physiologie animale*. De Boeck. 2006. 675 p.. [978-2-8041-4893-5]

Sandrine Heusser et Henri-Gabriel Dupuy. *Atlas de la biologie animale tome 2, les grandes fonctions*. 2ème édition. Dunod. 2008. 215 p.. [978-2-10-52-135-7]

Knut Schmidt-Nielsen. *Physiologie animale : adaptation et milieux de vie*. Dunod. 1998. 661 p.. [2-10-003900-8]

Sites internet

Yves François et Pierre-Antoine Saint-André. *Poissons In Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 15/02/2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/poissons/> .

Claude Maurin et Marc Bonnet. *Poissons des côtes nord-ouest africaines (Campagne de la "Thalass" a 1952 et 1968) In Archimer - Archive institutionnelle de l'Ifremer[en ligne]*. Marion Le Foll - Ifremer. 1970 [date de consultation : 12/02/2017]. Disponible sur : <http://archimer.ifremer.fr/doc/1970/publication-3135.pdf> .

Le tégument des animaux à partir des exemples des Arthropodes et des Vertébrés

Alice Boyer <alice.boyer@etu.univ-st-etienne.fr>

Mélanie Espinossa

<melanie.espinossa@etu.univ-st-etienne.fr>

Bastien Fayet <bastien.fayet@etu.univ-st-etienne.fr>

Bilal Touati <bilal.touati@etu.univ-st-etienne.fr>

Introduction

Les Arthropodes sont représentés notamment par les Insectes, les Arachnides, les Myriapodes et les Malacostracés. Leur corps est entouré d'une cuticule qui constitue un squelette externe. Il est formé de segments successifs, organisés en trois régions, la tête, le thorax et l'abdomen, portant des appendices articulés. Ils possèdent également un appareil circulatoire ouvert.

Les Vertébrés sont représentés par les Mammifères, les Lissamphibiens, les Sauropsidés, les Chondrichthyens et les Téléostéens. Leur corps est soutenu par un squelette interne, comportant un axe longitudinal, la colonne vertébrale.

Les animaux possèdent une enveloppe corporelle externe, appelée tégument. Située à l'interface avec le milieu de vie, elle délimite l'organisme.

Quelle est l'organisation du tégument des Arthropodes et des Vertébrés ?

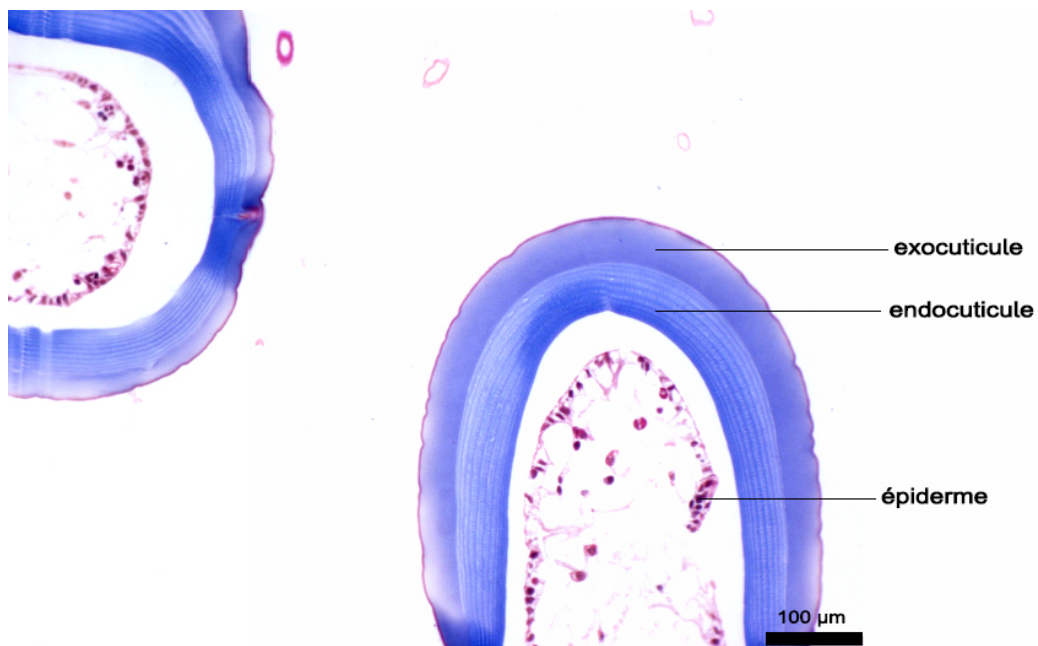
Quelles différences et points communs sont observés en termes de structures et de fonctions ?

Quelles relations existent entre la structure et les fonctions des téguments ?

Le tégument : un revêtement corporel épithélial et conjonctif, et des dérivés spécialisés

Le tégument : un épiderme épithélial parfois associé à une cuticule ou à un derme conjonctif

Figure 1. Tégument d'Écrevisse en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



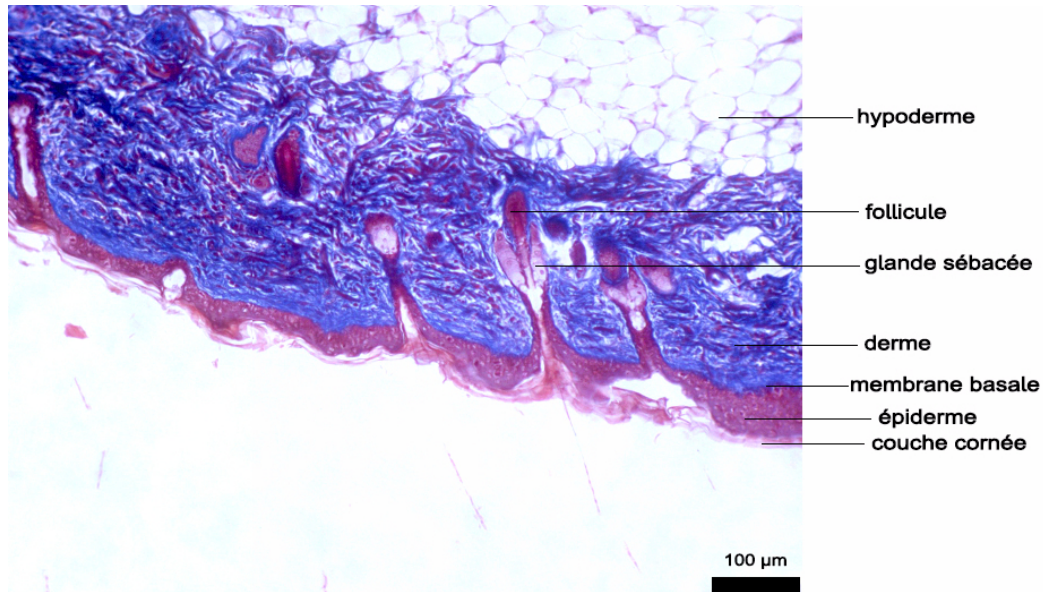
Le tégument de l'Écrevisse et des Arthropodes en général apparaît constitué de plusieurs tuniques, formées ou dépourvues de cellules. Un épiderme, épithélium unistratifié et cubique, forme la couche interne. Il est surmonté d'une cuticule acellulaire, constituée de trois couches superposées. L'endocuticule, interne, est composée d'un polysaccharide, la chitine, associée à des protéines, les arthropodines. Elle est souple et élastique. L'exocuticule située au-dessus est composée de chitine associée à des protéines tannées, les sclérotines. Elles lui confèrent une grande rigidité. L'épicuticule superficielle est épaisse de 0,5 µm. Elle est composée de lipoprotéines tannées, constituant la cuticuline.

Chez les Arthropodes aériens, l'épicuticule est revêtue d'une couche cireuse composée d'acides gras à longue chaîne, de paraffine et d'alcools, produite par les œnocytes. Du ciment, épais de 1 µm, sécrété par des glandes épidermiques et parfois absent, recouvre l'ensemble.

La cuticule est produite par l'épiderme et le recouvre. En conséquence, les cils sont absents, mais des structures sensorielles appelées soies assurent la sensibilité.

De par sa rigidité, la cuticule des Arthropodes constitue un exosquelette. En raison de sa présence, la croissance est réalisée à l'occasion de mues, renouvellements périodiques de la cuticule.

Figure 2. Tégument de Souris en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Dans le cas des Vertébrés et notamment de la Souris, le tégument est constitué de trois régions, l'épiderme, le derme et l'hypoderme.

L'épiderme est un épithélium pluristratifié pavimenteux. Les cellules épithéliales portent le nom de kératinocytes et synthétisent de la kératine. Elles sont associées à des mélanocytes à l'origine de la pigmentation. Des terminaisons nerveuses sont également présentes, ainsi que des cellules de Langerhans, intervenant dans la réponse immunitaire en cas d'infection, et des cellules de Merkel, produisant des neuromédiateurs. L'épiderme n'est pas vascularisé mais est nourri par le liquide interstitiel du derme circulant dans les espaces intercellulaires.

Le derme est un tissu conjonctif fibreux vascularisé, assurant le soutien de l'épiderme, dont il est séparé par une membrane basale. Jusqu'à 40 fois plus épais, il est constitué d'eau à 80%, de fibrocytes, de fibres de collagène et d'élastine. Le derme est divisé en derme papillaire situé sous l'épiderme et derme réticulaire plus profond. Le derme papillaire forme en surface des petits renflements appelés papilles, associées à des terminaisons nerveuses ou vasculaires. Le derme réticulaire, beaucoup plus épais que le précédent, comporte des chromatophores et peu de fibrocytes.

Le derme est en continuité, par l'intermédiaire d'une région appelée derme profond, avec l'hypoderme. Des fibres de collagène et d'élastine relient les deux couches. L'hypoderme est un tissu conjonctif fibreux, riche en adipocytes agencés en lobules, en contact avec les os et les muscles. Il est richement vascularisé et innervé. Il est souple comme le derme.

Le tégument ainsi décrit représente une grande partie du poids sec des Vertébrés, atteignant par exemple 50% chez la Baleine. Il est relié aux muqueuses qui bordent les cavités corporelles en continuité avec le milieu extérieur.

Les organisations et compositions des téguments des Arthropodes et des Vertébrés apparaissent donc très différentes.

Le tégument : un revêtement corporel formant des dérivés spécifiques

Figure 3. Tégument de thorax de Grillon en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)

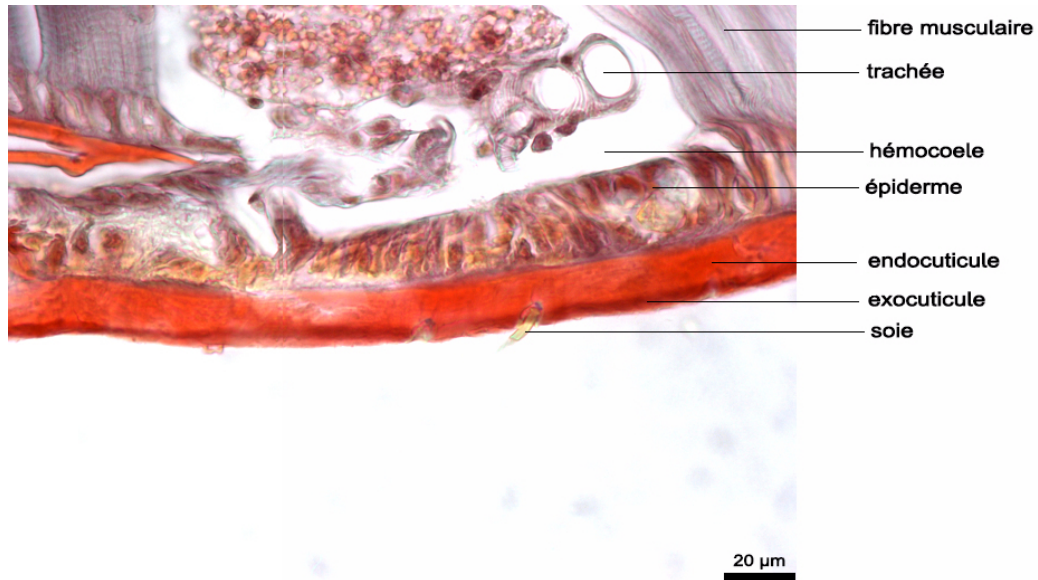


Figure 4. Pelage de Chien

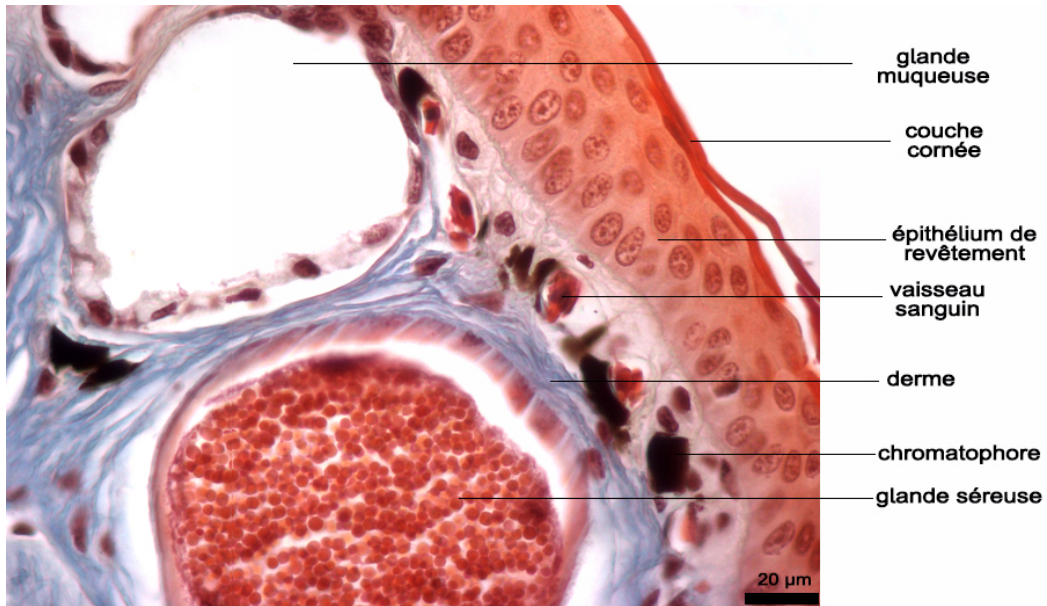


Le tégument est situé à l'interface entre l'organisme et le milieu. Il délimite l'organisme. Outre l'épiderme, éventuellement associé à une cuticule ou à un derme, il comporte fréquemment des expansions comme les soies des Arthropodes ou les poils des Mammifères.

Les soies des Arthropodes sont des expansions chitineuses produites par des cellules épidermiques qualifiées de trichogènes. Associées à des terminaisons nerveuses, elles sont appelées soies sensorielles et sont généralement responsables de la chimiosensibilité. Non reliées à des terminaisons nerveuses, elles forment des structures superficielles spécialisées comme les écailles des Lépidoptères.

Les poils des Mammifères sont des phanères, expansions d'origine épidermique constituées majoritairement de kératine. Les ongles, les sabots, les becs cornés ou les plumes des Oiseaux en sont également.

Figure 5. Tégument de Grenouille en coupe transversale (Collection de l'ENS de Lyon)



Le tégument des Grenouilles comporte des glandes situées dans le derme mais d'origine épidermique. Elles sont de deux types, séreuses productrices de venin et muqueuses sécrétant du mucus. Les substances produites sont déversées à la surface du tégument grâce à des canaux. Le mucus est un liquide permettant la lubrification du corps et favorisant les échanges de gaz respiratoires et d'eau. Présentes chez de nombreux Vertébrés, les glandes épidermiques sont plus ou moins développées selon les groupes. Ainsi les Oiseaux ne possèdent qu'une seule glande, la glande uropygienne, dont les sécrétions permettent d'imperméabiliser les plumes. Dans l'espèce humaine, et chez les Mammifères plus généralement, des glandes sébacées sont présentes, produisant une substance grasse composée de triglycérides lubrifiant la peau et protégeant l'organisme de certaines infections, le sébum. Des glandes sudoripares sont également observées, à l'origine de la sueur.

Le tégument des Vertébrés peut par ailleurs porter des écailles, formées par le derme. Les Chondrichthyens possèdent des écailles dermiques composées d'émail et d'ivoire. Les Téléostéens ont des écailles dermiques osseuses, ainsi que les Tortues et les Crocodiliens.

Les téguments apparaissent diversifiés, notamment en raison des expansions qui leur sont associées.

Quelles sont leurs fonctions ?

Le tégument : un revêtement protecteur, une surface d'échanges et un organe de relation

La diversité des téguments et de leurs expansions suggère une diversité de fonctions.

Le tégument : une protection vis-à-vis d'agents physico-chimiques ou biologiques

Enveloppe corporelle, le tégument a pour fonction essentielle la protection de l'organisme, chez les Arthropodes comme chez les Vertébrés.

Le tégument des Arthropodes comporte une cuticule, à la fois rigide et souple. Chez le Crabe vert par exemple, elle forme une solide carapace et de puissantes pinces. Les propriétés de la cuticule lui permettent d'assurer la protection mécanique des organes internes. De la même manière, parmi

les Vertébrés certains Sauropsidés possèdent un tégument portant des écailles dures et solides qui protègent des agressions physiques. Il s'agit de phanères kératinisés.

Localisé au contact du milieu extérieur et revêtement corporel continu, le tégument est joue un rôle de barrière contre les micro-organismes pathogènes. Cette fonction est amplifiée par la sécrétion de mucus observée chez les Lissamphibiens et certains Vertébrés aquatiques, qui piège des agents infectieux, ou la production de substances anti-bactériennes.

Le tégument est par ailleurs le premier organe repéré et touché par les prédateurs. Son rôle protecteur vis-à-vis des prédateurs réside dans le camouflage, assuré par exemple par les poils chez les Mammifères ou les plumes chez les Oiseaux, la production de substances dissuasives voire toxiques, synthétisées par les glandes séreuses chez les Lissamphibiens par exemple. Ses propriétés mécaniques interviennent également dans la défense contre les prédateurs, avec la solidité de la cuticule des Arthropodes la rendant difficile à broyer ou les cornes des Mammifères herbivores.

Le tégument : un échangeur de matière et d'énergie et une barrière

Interface entre l'organisme et le milieu, le tégument constitue une surface d'échanges potentielle entre milieu intérieur et environnement.

Parmi les Vertébrés, les Lissamphibiens réalisent des échanges gazeux respiratoires tégumentaires représentant 50% des échanges gazeux totaux en période d'activité. Le mucus produit par les glandes épidermiques humidifie la peau, favorisant ces échanges. Parallèlement, des échanges d'eau et d'ions sont effectués par des cellules épidermiques spécialisées lorsqu'ils évoluent en milieu aquatique. Inversement, les Vertébrés aériens comme les Mammifères possèdent un tégument imperméable à l'eau et aux gaz, en relation avec la présence d'une couche de kératine superficielle. Les pertes d'eau sont ainsi minimisées et le risque de déshydratation réduit, le milieu de vie étant pauvre en eau. Il en va de même chez les Arthropodes aériens dont la cuticule est imperméable du fait de la présence de cires et de l'exocuticule.

Outre les échanges de matière, le tégument est une surface d'échanges de chaleur. Un flux de chaleur spontané intervient entre le milieu intérieur et le milieu extérieur dès lors que leurs températures sont différentes. Les échanges de chaleur tégumentaires sont réduits par la présence de couches isolantes constituées des plumes chez les Oiseaux, des poils chez les Mammifères mais également du tissu adipeux sous-cutané. Inversement, ils sont favorisés par la circulation sanguine ou l'évaporation de liquide à la surface du corps. Ainsi, la sueur produite par les glandes sudoripares permet l'évacuation de chaleur par son évaporation. Du fait de son rôle dans les échanges thermiques, le tégument est un effecteur du contrôle de la température corporelle.

Le tégument : un organe des fonctions de relation

En relation directe avec le milieu extérieur, le tégument est impliqué dans la locomotion. Enveloppe corporelle, il contribue à la définition de la forme du corps et des propriétés de sa surface. Les écailles et le mucus des Chondrichthyens et de Téléostéens améliorent leur hydrodynamisme et leur glissement dans l'eau. Les plumes des Oiseaux sont impliquées dans le vol, formant la surface portante.

Parallèlement, le tégument grâce à la présence de terminaisons nerveuses est un organe sensible à divers paramètres du milieu de vie comme la température, les propriétés mécaniques, la composition chimique. Il renseigne l'organisme sur son environnement.

Revêtement corporel, le tégument est par ailleurs un support des relations entre les animaux, en particulier intraspécifiques.

Chez les Vertébrés, la couleur du plumage et du pelage apporte des informations relatives à l'âge ou au sexe des individus. Il en va de même chez les Arthropodes, la pigmentation de la cuticule étant un signe de maturité sexuelle chez le Criquet ravageur par exemple.

Le tégument des animaux
à partir des exemples des
Arthropodes et des Vertébrés

Les Arthropodes échangent des informations par l'intermédiaire de phéromones produites par des cellules glandulaires. Elles sont transférées à la surface de la cuticule grâce à de fins canaux. Le tégument constitue le support de l'émission de ces molécules informatives, dont la réception implique des soies sensorielles tégumentaires.

Le tégument est par ailleurs un instrument de communication sonore chez diverses espèces d'Insectes. Les Grillons produisent une stridulation, grâce au frottement de leurs ailes antérieures rigides, les élytres. Elles portent des dents et une sorte de grattoir, le plectrum. Le son est produit lorsque les dents d'une élytre frappent le plectrum de l'autre. La rigidité de la cuticule est ici mise à profit.

Le tégument contribue aux relations interspécifiques, notamment la prédation. Par ses expansions, il constitue des dispositifs de saisie des proies, comme le bec et les serres des Oiseaux ou les pinces des Crabes.

Les fonctions du tégument sont diverses et apparaissent liées à son organisation, sa composition et ses propriétés.

Conclusion

Les téguments des Arthropodes et des Vertébrés présentent des similitudes en termes de structure et de propriétés : ils forment un revêtement épithélial continu, fréquemment renforcé par des dépôts superficiels résistants et imperméables. Des divergences sont cependant relevées, concernant l'épaisseur de l'épiderme et la nature des molécules déposées par exemple.

Les systèmes tégumentaires des Arthropodes et des Vertébrés, en relation avec leurs organisations et leurs propriétés possèdent des fonctions communes comme la délimitation et la protection de l'organisme, la réalisation d'échanges de matière et d'énergie, la relation avec les autres êtres vivants, à des degrés variables selon les espèces.

Ces fonctions sont partagées par les téguments des autres animaux, dont la structure peut être originale. Le rôle de barrière contre les agents pathogènes est par exemple lié à la production de mucus chez les Mollusques comme chez les Vertébrés.

Ces constats conduisent à de nouvelles interrogations.

Comment le tégument est-il modifié au cours du développement des organismes et de l'évolution ?

Les fonctions qu'il remplit ont-elles évolué ?

Bibliographie et sitographie

Livres

André Beaumont et Pierre Cassier. *Biologie animale tome 2, Des Protozoaires aux Métazoaires épithélioneuriens*. 3ème Edition. Dunod. 1989. 512 p.. *Sciences Sup.* [2100486608]

André Beaumont, Pierre Cassier, et Daniel Richard. *Les Cordés, anatomie comparée des Vertébrés*. 9ème Edition. Dunod. 2009. 688 p.. *Sciences Sup.* [2100516582]

Sandrine Heusser et Henry-Gabriel Dupuy. *Atlas de biologie animale*. Dunod. 2015. 228 p.. *Sciences Sup.* [2100712330]

Articles

Angela E. Ellis. *Innate host defense mechanisms of fish against viruses and bacteria (périodique)*. *Developmental and Comparative Immunology*. 2001. 25. 827-839. [0145-305X]

Sites internet

- Alecks. *Entomologie/Physiologie : les Insectes In Coccinet [en ligne]*. Aleks. [date de consultation : 15 mars 2017]. Disponible sur : <http://biologie.fr.free.fr/insect.htm> .
- Élodie Collomb. *Le tégument des Vertébrés et la spécification de l'épithélium cornéen In TEL, serveur de thèses multidisciplinaires [en ligne]* . Centre pour la communication scientifique directe. 2010 [date de consultation : 09 mars 2017]. Disponible sur : <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00723949/document/> .
- Dindin Horneja. *Integumentary system of vertebrates In SlideShare [en ligne]*. Dindin Horneja. 2011 [date de consultation : 18 mars 2017]. Disponible sur : <http://slideshare.net/dindin04/integumentary-system-vertebrates> .
- Julien Nowak. *Les arthropodes In entomoLOGIC [en ligne]*. Julien Nowak. [date de consultation : 15 mars 2017]. Disponible sur : <http://entomologic.jimdo.com/les-arthropodes/> .
- Pierre-Antoine Saint-André et Yves François. *Poissons In Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 09 mars 2017]. Disponible sur : <http://universalis-edu.com/encyclopedie/poissons/> .
- Max Vachon et Roland Legendre. *Arthropodes In Universalis éducation [en ligne]*. Encyclopaedia Universalis. [date de consultation : 26 avril 2017]. Disponible sur : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/arthropodes> .
- Cutaneous respiration In Wikipédia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. 2016 [date de consultation : 18 mars 2017]. Disponible sur : http://en.m.wikipedia.org/wiki/Cutaneous_respiration .
- Les Arthropodes In Le Bureau des étudiants en sciences de Valrose, Université Nice Sophia-Antipolis [en ligne]*. BDE Sciences. [date de consultation : 12 mars 2017]. Disponible sur : [http://bdesciences.com/nolaj/SVS/L2/Semestre%20III/Organisation%20du%20Vivant%20Animal/Cours/BEH%20\(2009\)/Les%20Arthropodes.pdf](http://bdesciences.com/nolaj/SVS/L2/Semestre%20III/Organisation%20du%20Vivant%20Animal/Cours/BEH%20(2009)/Les%20Arthropodes.pdf) .
- Mammifère In Wikipédia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. 2017 [date de consultation : 18 mars 2017]. Disponible sur : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Mammif%C3%A8re> .
- Mue des Arthropodes In Wikipedia [en ligne]*. Fondation Wikimedia. 2017 [date de consultation : 15 mars 2017]. Disponible sur : http://fr.wikipedia.org/wiki/Mue_des_arthropodes#Les_diff.C3.A9rentes_.C3.A9tapes_de_la_mue .
- Téguments et phanères rapport In The groovy gamer [en ligne]*. The groovy gamer. [date de consultation : 18 mars 2017]. Disponible sur : <http://thegroovygamer.free.fr/Home/TP3BG/PDF/Teguments%20et%20phaneres%20rapport.pdf> .