

BIOL2363
ZOOLOGIE DES VERTÉBRÉS

NOTES DE COURS

Par Stéphan Reeb

Département de biologie
Université de Moncton
Moncton, N.-B.

Première édition : 2022
Dernière révision : 2024

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre 1	Notions et terminologie de base	1
Chapitre 2	Les céphalocordés et les urocordés	9
Chapitre 3	Les poissons	10
Chapitre 4	Les amphibiens	23
Chapitre 5	Les reptiles	31
Chapitre 6	Les oiseaux	38
Chapitre 7	Les mammifères	45
Chapitre 8	Le système tégumentaire des vertébrés	53
Chapitre 9	Le système squelettique des vertébrés	69
Chapitre 10	Les muscles des vertébrés	82
Chapitre 11	Le système nerveux des vertébrés	89
Chapitre 12	Capacités sensorielles : photoréception (vision)	99
Chapitre 13	Capacités sensorielles : mécanoréception I (toucher, proprioception, ligne latérale)	113
Chapitre 14	Capacités sensorielles : mécanoréception II (audition, perception de la gravité et des mouvements rotatoires)	116
Chapitre 15	Capacités sensorielles : chimioréception (olfaction et goût)	123
Chapitre 16	Capacités sensorielles : thermoréception, magnétoréception, et électroperception	128
Chapitre 17	Questions de révision générale	132

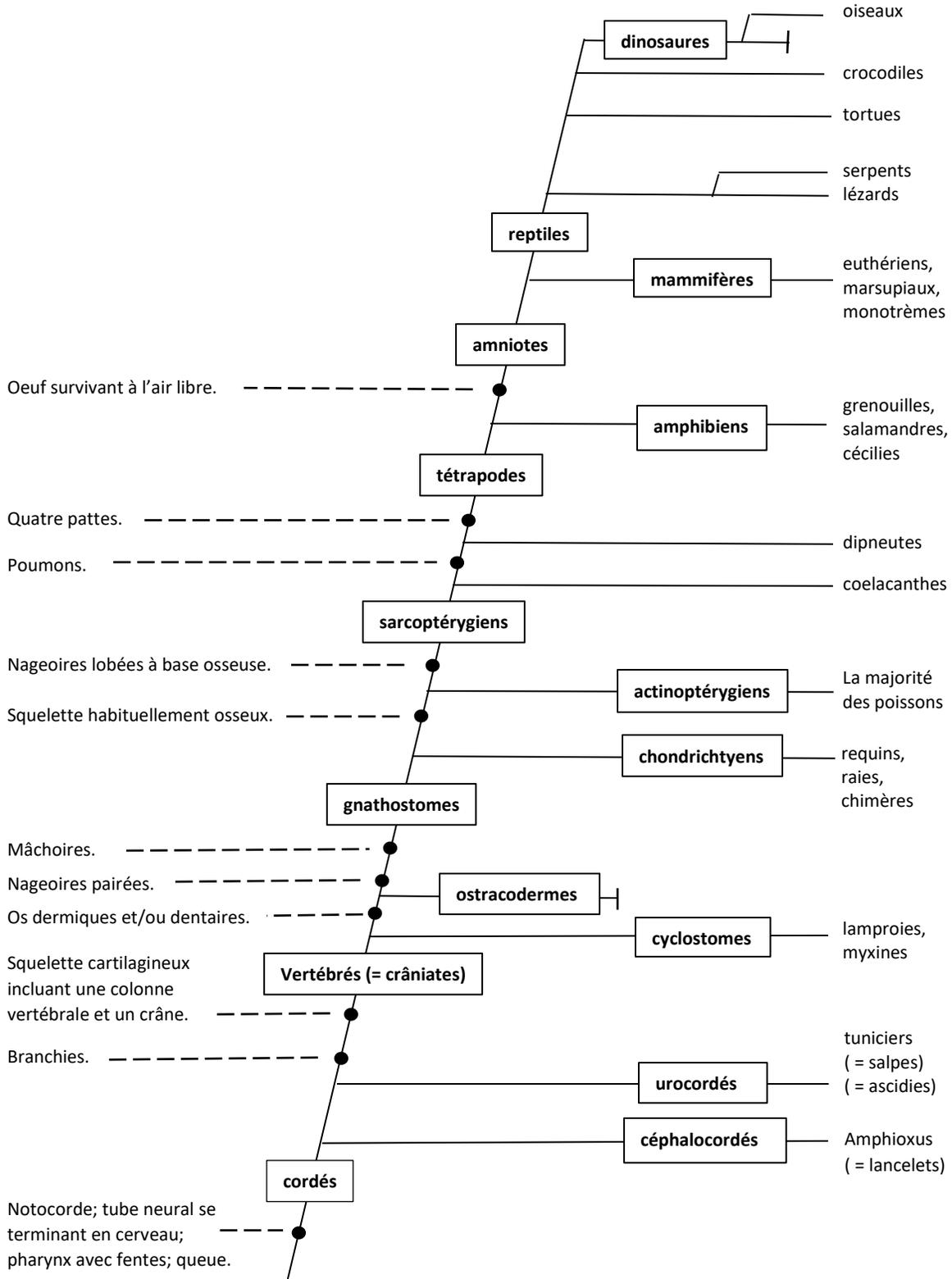
Pages à lire et à étudier en prévision de chaque cours :

Cours # 1 : Aucune (plan de cours)	Cours # 14 : p. 63 – 68
Cours # 2 : p. 1 – 5	Cours # 15 : p. 69 – 71
Cours # 3 : p. 6 – 9	Cours # 16 : p. 72 – 75
Cours # 4 : p. 10 – 16	Cours # 17 : p. 76 – 81
Cours # 5 : p. 17 – 22	Cours # 18 : p. 82 – 88
Cours # 6 : p. 23 – 27	Cours # 19 : p. 53 – 88 (révision)
Cours # 7 : p. 28 – 30	Cours # 20 : p. 53-88 (EXAMEN 2)
Cours # 8 : p. 31 – 35	Cours # 21 : (p. 89– 98) p. 99-107
Cours # 9 : p. 36 – 37	Cours # 22 : p. 108 – 112
Cours # 10 : p. 38 – 44	Cours # 23 : p. 113 – 117
Cours # 11 : p. 45 – 52	Cours # 24 : p. 118 – 122
Cours # 12 : p. 1 – 52 (EXAMEN 1)	Cours # 25 : p. 123 – 131
Cours # 13 : p. 53 – 62	Semaine d'examens : p. 1 – 136 (EXAMEN 3)

CHAPITRE 1

NOTIONS ET TERMINOLOGIE DE BASE

Évolution des vertébrés (= crâniates) :



L'évolution des cordés (= chordés) à partir des invertébrés :

À cause de similarités embryologiques et génomiques, il est clair que les invertébrés qui sont **les plus proches cousins évolutifs des cordés sont les échinodermes** (oursins, étoiles de mer, etc.) **et les hémicordés** (une sorte de ver marin, *acorn worms*).

Par rapport aux échinodermes et hémicordés, les premiers cordés avaient évolué les caractéristiques suivantes :

- **Notocorde**, une tige assez rigide tout le long du corps qui sert de support et de points d'attache pour des muscles natatoires.
- **Muscles segmentés** (chaque segment s'appelle un **myomère**) attachés à la notocorde pour la plier un peu et permettre la nage.
- **Cordon nerveux en position dorsale** (plutôt que ventrale, comme chez les arthropodes et les annélides), se terminant en un cerveau rudimentaire à l'extrémité antérieure, incluant des organes sensoriels (yeux, narines olfactives).
- **Tube digestif en position ventrale** (plutôt que dorsale comme chez les arthropodes et les annélides), commençant par une cavité (**le pharynx**) **avec fentes** qui agit comme un filtre, et se terminant en un anus qui est situé juste avant l'extrémité postérieure du corps, laquelle devient alors une **queue qui aide à la propulsion**.

Notocorde (= notochorde, = corde dorsale) :

La notocorde est une **tige plutôt rigide**, faite d'un matériel qui à proprement parler n'est ni cartilage ni os (mais qui ressemble quand même pas mal au cartilage), et qui s'étend dorsalement le long du corps comme soutien et pour donner des points d'attache solides aux muscles.

Les urocordés et les céphalocordés actuels ont une notocorde. Cette condition représente ce qu'on retrouvait chez les ancêtres évolutifs des vertébrés. En effet, les **embryons des vertébrés développent une notocorde, mais lors du développement embryonnaire cette notocorde se fait éventuellement remplacer par une série de vertèbres faites de cartilage ou d'os, formant la colonne vertébrale, ce qui définit les vertébrés**. En fait, chez les poissons le remplacement n'est que partiel : la notocorde est entourée par les vertèbres et forme le centre de celles-ci. Chez les oiseaux et mammifères adultes, la notocorde ne perdure que sous forme de disques intervertébraux (voir page 73).

Certains vertébrés ont, au cours de leur évolution, perdu la capacité de former une colonne vertébrale et sont revenus à la condition ancestrale d'avoir seulement une notocorde au lieu d'une colonne vertébrale. Ces vertébrés sont :

- les myxines;
- les lamproies;
- les deux espèces de coelacanthes, qui ont une colonne vertébrale très incomplète;
- les larves d'amphibiens (ex. : têtards de grenouille).

La présence d'une notocorde, que ce soit chez l'adulte ou seulement chez l'embryon, définit le grand groupe des **cordés (= chordés)**, comprenant donc les urocordés, céphalocordés, et vertébrés.

Cartilage et os :

La grande catégorie des **tissus conjonctifs** comprend des tissus de **soutien** (tissus = ensemble de cellules remplissant une fonction similaire). Il y a plusieurs types de tissus conjonctifs. Par exemple le **tissu conjonctif proprement dit** est un ensemble de cellules plus ou moins isolées dans un liquide, et les cellules relâchent dans ce liquide un grand nombre de fibres protéiniques (du **collagène** en particulier) et ces fibres font coller le corps ensemble.

Le **cartilage** est un autre type de tissu conjonctif. Ici les cellules relâchent autour d'elles un mélange de fibres de protéines et de glucides qui forment une matrice relativement solide, mais aussi flexible. Le cartilage peut donc former un squelette interne, en tout ou en partie, relativement solide mais quand même encore flexible.

Les vertébrés les plus anciens (ex. : cyclostomes, chondrichthyens) sont caractérisés par des squelettes entièrement cartilagineux.

Pour avoir une idée de la flexibilité/solidité du cartilage, jouez avec le pavillon de votre oreille. C'est un certain type de cartilage recouvert de peau. L'arête de votre nez est aussi faite de cartilage.

Le **tissu osseux** est un autre type de tissu conjonctif. Ici les cellules, en plus de relâcher autour d'elles des fibres de protéines (surtout du **collagène**), relâchent aussi des **sels minéraux** (à base de calcium et de phosphate). La présence de ces minéraux crée une matrice très solide. Un os typique est fait de sels minéraux à environ 70% (en poids). L'intérieur des dents (la dentine) est fait de sels minéraux à 90%, tandis que l'extérieur des dents (l'émail, la substance la plus dure du corps) est fait des sels minéraux à 96%.

Les vertébrés plus modernes ont des squelettes faits à partir de tissus osseux. Cependant, lors du développement embryonnaire, la plupart des os commencent leur vie en tant que cartilage, et ce cartilage se fait progressivement remplacer par du tissu osseux. Notez aussi que les squelettes osseux adultes contiennent encore du cartilage par endroit, comme par exemple à la jonction entre les côtes et le sternum (la flexibilité du cartilage permet la déformation de la cage thoracique lors de l'inspiration afin d'aspirer de l'air dans les poumons) ou au bout des os dans les articulations comme le genou ou le coude (le cartilage est lisse et aide les os à glisser les uns contre les autres – regardez l'extrémité du fémur d'une cuisse de poulet la prochaine fois que vous êtes à la rôtisserie).

Notez que **du tissu osseux peut se former à des endroits autres que le squelette**. Par exemple, du tissu osseux peut se former dans la peau (= **os dermiques**) pour donner des écailles ou des plaques d'armure. Un tissu très minéralisé peut aussi former des **dents**.

En fait, les fossiles nous disent que le tissu minéralisé est apparu pour la première fois lors de l'évolution en tant que minuscules dents dans la bouche d'un genre de « poissons » anciens, sans mâchoires, cartilagineux, et maintenant disparus, les **conodontes**. Le tissu minéralisé est aussi apparu en tant qu'écailles ou de grandes plaques d'armure chez d'autres poissons anciens, sans mâchoires, au squelette cartilagineux : les **ostracodermes**, maintenant éteints. Ce n'est que plus tard dans l'histoire évolutive que le tissu osseux a commencé à remplacer le cartilage dans la composition du squelette lui-même, pour en arriver finalement à la situation avec laquelle nous sommes plus familiers chez les vertébrés modernes, celle d'un squelette presque entièrement osseux.

Interaction entre les systèmes digestif et respiratoire : pharynx, branchies, mâchoires, poumons

Chez les urocordés et céphalocordés, le début du système digestif est un compartiment, appelé **pharynx**, percé de fentes et servant de filtre pour capter des particules alimentaires. L'eau entre par la bouche et sort du pharynx au travers des fentes pharyngiales; du mucus sur les parois du pharynx capte les particules alimentaires contenues dans l'eau; des cellules ciliées acheminent ce mucus rempli de particules alimentaires au tube digestif qui se connecte au fond du pharynx et où se fera la dégradation (digestion) et l'absorption des nutriments. Il s'agit probablement là de la situation ancestrale des premiers vertébrés.

Au fil de l'évolution des cordés, les fentes pharyngiales sont devenues mieux vascularisées (= irriguées par des vaisseaux sanguins) et ont commencé à servir à capter l'oxygène de l'eau (= laisser diffuser l'oxygène de l'eau jusque dans le sang). **Les fentes pharyngiales ont donc commencé à remplir un rôle respiratoire**; chacune est devenue le site de fines lamelles dans lesquelles du sang circule, et entre lesquelles l'eau circule. Ensemble, les lamelles d'une fente forment une « **branchie** ». Les fentes pharyngiales changent alors de nom et sont appelées des fentes « branchiales ».

L'évolution du système squelettique s'est étendue jusqu'aux fentes branchiales, fournissant un support solide (cartilagineux ou osseux) à chaque fente. Au cours de l'évolution, certains de ces supports ont par la suite changé de fonction. Ainsi, le support osseux ou cartilagineux de la première (ou des quelques premières) branchie(s) en position antérieure a changé de place et s'est transformé en **mâchoires**, une adaptation très utile qui a permis la capture et le bris de proies plus grosses (d'autres vertébrés, par exemple), et de là la possibilité de se spécialiser sur différentes proies, menant à une grande diversification des espèces. (Et l'évolution ne s'est pas arrêté là : plus tard, certains des os de la mâchoire sont devenus des osselets de l'oreille moyenne – voir le chapitre 14.)

Chez les vertébrés terrestres les branchies sont disparues. Mais les mâchoires sont encore présentes et délimitent ce qu'on appelle maintenant la cavité buccale. Le terme « pharynx » est encore utilisé : il correspond à la gorge, qui connecte la cavité buccale au reste du canal alimentaire (commençant par l'œsophage).

Les branchies sont disparues chez les vertébrés terrestres parce qu'elles sont devenues inutiles, leurs fines lamelles ne pouvant pas rester « debout » dans l'air : elles s'affaissent et se collent les unes aux autres, diminuant trop la surface d'échange entre air et sang. La respiration en milieu aérien est devenue possible grâce à l'évolution d'une alternative : **des poumons**. À l'origine les poumons étaient **des compartiments qui ont d'abord évolué comme un embranchement du système digestif**. Les poumons ont éventuellement développé leurs propres tuyaux (trachée, bronches) mais ceux-ci font encore intersection avec le système digestif au niveau de la gorge. Cette intersection n'est pas idéale parce que des aliments peuvent obstruer l'entrée de la trachée et étouffer l'animal si la porte de la trachée (l'épiglotte) est mal fermée lors de la déglutition. C'est ici un exemple de « dessein non-intelligent ». C'est une condition contrainte par le passé évolutif.

Chaque narine mène à une petite cavité contenant des récepteurs sensoriels de l'odorat. Chez les poissons, ces cavités se terminent en cul de sac. Chez les amphibiens, reptiles non-crocodyliens, et oiseaux, les petites cavités se prolongent en tubes qui finissent par déboucher directement dans la cavité buccale, formant des narines internes. Chez les mammifères et les crocodiles, les cavités sont larges et séparées de la cavité buccale par une paroi osseuse (le palais secondaire); ces grandes cavités nasales communiquent avec la gorge plutôt qu'avec la cavité orale. (Voir le chapitre 15.)

Tétrapodes :

Les premiers vertébrés à conquérir le milieu terrestre étaient des poissons sarcoptérygiens qui, comme tous les poissons, avaient une paire de nageoires pectorales (à l'avant) et une paire de nageoires pelviennes (à l'arrière). (La base de ces nageoires était constituée d'un seul os comme elle l'est encore chez les « poissons à poumons » comme les dipneutes.) Pour soutenir le corps en milieu terrestre, les deux nageoires pectorales sont devenues deux membres (pattes) antérieurs, et les deux nageoires pelviennes sont devenues deux membres (pattes) postérieurs. Les vertébrés terrestres sont donc typiquement munis de **quatre pattes** (deux antérieures et deux postérieures) et sont appelés, taxonomiquement, des « **tétrapodes** » (tétra = quatre; podes = pieds).

Les vertébrés terrestres qui ont perdu toutes leurs pattes au cours de leur évolution (ex. : serpents, lézards amphisbènes, cécilies) ou perdu une des paires de pattes (ex. : membres postérieurs des cétacés) sont quand même considérés comme faisant partie du groupe taxonomique des tétrapodes (la forme de leurs embryons démontre qu'ils sont les descendants d'animaux à quatre pattes). Il en va de même pour les vertébrés dont la paire de membres antérieurs ne touche plus au sol (ex. : oiseaux ailés, humains, kangourous, dinosaures comme *T. rex*).

Les membres antérieurs sont munis de **doigts** et les postérieurs sont munis d'**orteils**. Les fossiles indiquent que les premiers tétrapodes entièrement terrestres avaient 5 doigts et 5 orteils. De tels animaux sont dits « **pentadactyles** » (penta = cinq, dact = doigt/orteil). Aucun vertébré terrestre normal a plus que 5 doigts/orteils (mais des problèmes de développement peuvent parfois mener à l'apparition de doigts/orteils supplémentaires, une condition anormale appelée **polydactylie** – les chats, par exemple, présentent parfois cette condition). Cependant plusieurs vertébrés terrestres, au cours de leur évolution, ont perdu un certain nombre de leurs doigts et/ou orteils (pensons notamment aux pattes des mammifères coureurs et aux ailes des oiseaux – à revoir).

Les vertébrés qui marchent sur quatre pattes sont dits « **quadrupèdes** » et les vertébrés qui marchent sur deux pattes sont dits « **bipèdes** ». Les animaux qui marchent sur la plante des pieds (= le poignet et la cheville touchent au sol) sont dits **plantigrades** (ex. : ours); ceux qui marchent seulement sur les doigts/orteils sont dits **digitigrades** (ex. : chats); et ceux qui marchent sur le bout des doigts/orteils (modifié en sabot) sont dits **onguligrades** (ex : cheval).

Locomotion :

Les poissons se déplacent en pliant leur corps latéralement. Cela fait osciller la queue de gauche à droite et vice-versa, ce qui pousse sur l'eau.

Les **premiers vertébrés terrestres** se déplaçaient aussi en pliant leur corps latéralement. Leurs **pattes s'étendaient en position latérale plutôt que sous le corps**. Les salamandres et les lézards se déplacent encore de cette façon de nos jours. Cela ne permet pas des déplacements prolongés parce que les poumons ne peuvent pas être bien ventilés. Quand le corps plie à droite, le poumon de droite est comprimé; quand le corps plie à gauche, le poumon gauche est comprimé. Un seul poumon à la fois peut être bien rempli lors de la locomotion, ce qui n'est pas idéal.

Les **crocodiles, les dinosaures, et les mammifères** ont réglé ce problème en évoluant des **pattes situées sous le corps plutôt que latéralement**. Lors des déplacements, le corps se plie longitudinalement (de bas en haut) plutôt que latéralement (de gauche à droite). Quand l'animal qui court projette ses pattes vers l'avant, le corps sous la colonne s'étire et les deux poumons ont de la place pour bien se remplir. Quand l'animal ramène ses pattes antérieures vers l'arrière, le corps se comprime et les deux poumons se vident bien, et en même temps.

Amniotes :

Les amniotes sont des animaux chez qui les femelles produisent des œufs dits amniotiques. L'embryon produit autour de lui une membrane spéciale, l'**amnios** (= sac amniotique), qui **emprisonne un milieu aqueux dans lequel l'embryon baigne et se développe**.

L'embryon est aussi rattaché à d'autres membranes, comme le **sac vitellin** (= le jaune d'œuf, = le vitellus) qui contient une réserve de lipides et de protéines pour l'apport en énergie et la formation du corps, et l'**allantoïs** qui délimite un réservoir pour les déchets métaboliques. La mère rajoute elle-même d'autres membranes par-dessus tout cela, et la plus externe de ces membranes (la **coquille**) est assez solide et imperméable, formant **un œuf pouvant se développer en milieu aérien** (mais quand même pas trop sec).

Exception : les mammifères ont remplacé la production d'une coquille par la production d'un placenta. L'embryon se développe dans la paroi de l'utérus de la mère plutôt que dans un œuf à coquille; mais un amnios est quand même présent autour de l'embryon et les mammifères font donc partie des amniotes (qui est un groupe taxonomique).

Chez les **non-amniotes**, l'embryon est seulement recouvert par des membranes produites par la femelle, membranes qui ne sont pas imperméables, formant ainsi **un œuf qui peut seulement survivre dans l'eau ou dans un milieu aérien saturé en humidité**.

Les vertébrés anciens (poissons, amphibiens) sont non-amniotiques; ils sont dépendants de la présence d'un milieu aquatique, ou aérien saturé en humidité, pour le bon développement de leurs œufs. Les vertébrés plus récents (reptiles – incluant les oiseaux – et mammifères) sont amniotiques et sont devenus indépendants du milieu aquatique; ils ont bien envahi le milieu terrestre en évoluant un œuf amniotique. L'embryon amniotique se développe encore dans l'eau (le liquide amniotique délimité par l'amnios) mais ce milieu aquatique est isolé du milieu externe et assez bien protégé du dessèchement.

Oviparité, ovoviviparité, viviparité :

Les espèces **ovipares** produisent et pondent des œufs. L'embryon se développe dans l'œuf en dehors du corps de la femelle. L'œuf éclot hors du corps de la femelle.

Les espèces **ovovivipares** produisent un œuf mais ne le pondent pas. L'embryon se développe dans l'œuf mais l'œuf reste dans le conduit reproducteur de la femelle. L'œuf éclot dans la femelle. Le jeune qui en sort peut sortir immédiatement du corps de la mère (naissance) ou il peut attendre et rester un certain temps dans le conduit reproducteur de la femelle, où il peut se nourrir de sécrétions produites par la paroi de conduit reproducteur ou peut-être même manger les autres œufs qui ne sont pas encore éclos, avant de naître.

Les espèces **vivipares** produisent des ovules mais pas d'œufs à coquille. Le jeune se développe dans la paroi d'une partie (utérus) du conduit reproducteur de la femelle. À terme, la femelle donne naissance au jeune. On parle ici des mammifères, et de quelques requins.

Certaines personnes préfèrent oublier l'ovoviviparité et ne parler uniquement que des espèces ovipares (pondant un œuf) et vivipares (donnant naissance à des jeunes libres, peu importe que ces jeunes se soient développés ou non dans un œuf à l'intérieur du conduit reproducteur de la femelle). En d'autres mots, ces gens ne font pas de distinction entre ovoviviparité et viviparité, utilisant le mot viviparité pour les deux.

Ectothermie et endothermie :

Les animaux **ectothermes** (aussi appelés poïkilothermes, ou « à sang froid ») laissent la température de leur corps varier (*poikilo* = variable) avec celle de l'environnement externe (*ecto* = externe). On parle ici des poissons, des amphibiens, et des reptiles non-dinosauriens.

Les animaux **endothermes** (aussi appelés homéothermes, ou « à sang chaud ») maintiennent une température corporelle stable (*homéo* = stable) et élevée même dans des environnements plus froids. Cette chaleur est générée à cause d'une plus grande densité de mitochondries dans leurs organes (*endo* = intérieur). Grande densité de mitochondries et chaleur interne permettent aux endothermes d'être actifs à de plus hauts niveaux pour de plus longues périodes de temps, et dans des environnements plus variés, que les ectothermes. Cela leur permet aussi de croître plus vite. Mais il y a un **prix à payer** : alimenter beaucoup de mitochondries exige beaucoup plus de nourriture. L'endothermie n'existe que dans deux groupes de vertébrés : les mammifères et les oiseaux (et probablement les dinosaures aussi : les fossiles indiquent que leurs os avaient une densité de vaisseaux sanguins et un patron de croissance similaires à ceux des mammifères et des oiseaux, et supérieurs à ceux des reptiles ectothermes actuels).

Synapsides et diapsides/sauropsides :

Au cours de l'évolution, les premiers **amniotes** se sont divisés en deux groupes :

Les **synapsides** ont **une seule ouverture** temporale de chaque côté de leur crâne, en arrière de l'orbite pour les yeux. Ils ont donné naissance aux **mammifères**, chez qui l'ouverture s'est maintenant fusionnée avec l'orbite de l'œil.

Les **diapsides** (sauropside est plus ou moins un synonyme) ont **deux ouvertures** temporales de chaque côté de leur crâne, en arrière de l'ouverture pour les yeux. Ils ont donné naissance aux **reptiles (incluant les oiseaux)**, chez qui les ouvertures se sont fusionnées avec l'orbite de l'œil). (Les tortues sont aussi incluses, même si les tortues modernes en fait n'ont plus d'ouverture temporale dans leur crâne – on dit qu'elles sont anapsides – mais on pense qu'elles ont évolué à partir d'ancêtres diapsides.)

Dinosaures :

Pendant environ 135 millions d'années (plus précisément, commençant il y a 200 millions d'années et se terminant il y a 65 millions d'années), les vertébrés terrestres les plus abondants et les plus diversifiés (on estime plus de 1000 espèces, d'après les fossiles) appartenaient à un groupe de reptiles particuliers : les dinosaures. Pendant cette même période il existait aussi des mammifères, des lézards, des tortues, et des crocodiles, mais ils n'étaient ni nombreux ni diversifiés. Il existait aussi d'autres sortes de reptiles, comme les ptérosaures dans les airs, et les ichtyosaures, plésiosaures, et mosasaures dans l'eau, mais tout comme les dinosaures ces reptiles anciens sont maintenant éteints.

Comme tout autre groupe taxonomique, les dinosaures avaient des caractéristiques anatomiques les définissant, que je passe sous silence. Je me contente de mentionner que les dinosaures sont presque tous disparus autour d'un temps (il y a environ 65 millions d'années) où il y avait beaucoup d'éruptions volcaniques et où un gros astéroïde a frappé la terre près du Mexique. Je dis « presque tous » parce qu'un sous-groupe d'entre eux, caractérisé par la présence de plumes sur le corps, a survécu. **De ces survivants ont évolué nos oiseaux modernes.**

Les fossiles :

Quand un animal meurt, sa carcasse est habituellement rapidement détruite par des charognards et par des organismes décomposeurs. Mais si après sa mort l'animal se fait rapidement recouvrir par des **sédiments** ou par des cendres volcaniques, alors la décomposition est grandement ralentie et les parties dures de son corps (ses dents et ses os, habituellement) peuvent avoir la chance de rester intactes assez longtemps pour se faire minéraliser.

La **minéralisation** est un processus par lequel de l'eau riche en sels minéraux envahit les espaces de l'os ou de la dent qui étaient occupés par des cellules, par les canalicules reliant les cellules, et par les fibres de protéines. Au fil du temps les sels minéraux précipitent et remplissent les espaces. Il en résulte alors une structure minérale de constitution légèrement différente de la roche tout autour, qui reproduit fidèlement la forme de l'os original, et qui est inerte et peut demeurer intacte pendant des millions d'années, jusqu'à ce que l'érosion la fasse réapparaître à la surface où elle peut alors être reconnue par des **paléontologues** aguerris.

D'autres structures dures peuvent aussi se minéraliser et donner des fossiles (coquille et exosquelette d'invertébrés, écorce d'arbres, graine et enveloppe de pollen de plantes), mais les fossiles les plus gros et les plus spectaculaires sont invariablement ceux de **vertébrés, dont les squelettes osseux présentent un bon potentiel de fossilisation**. On connaît assez bien l'histoire évolutive des vertébrés à cause des nombreux fossiles d'anciens vertébrés découverts jusqu'à maintenant.

À noter que les fossiles peuvent aussi être sous forme d'**empreintes** lorsque des sédiments mous entourent une carcasse et forment un moule qui se durcit et qui perdure après que la carcasse se soit complètement décomposée. Plusieurs fossiles de petits poissons prennent cette forme. Les fossiles peuvent aussi être sous forme de « **traces comportementales** » : des empreintes de pas ou de glissades laissées sur un substrat mou qui s'est rapidement solidifié. Il existe ainsi des empreintes de pas de dinosaures, figées dans de la boue à l'origine molle mais maintenant durcie en roche, qui nous renseignent sur la position des pattes de dinosaures, sur les vitesses de déplacement qu'ils pouvaient atteindre, et peut-être même sur leurs habitudes sociales (exemple : déplacements en groupe).

Les disciplines d'étude des vertébrés :

Mammalogie : Étude des mammifères.

Ornithologie : Étude des oiseaux.

Herpétologie : Étude des reptiles et des amphibiens.

Ichtyologie : Étude des poissons.

Paléontologie : Étude des fossiles (ceux des invertébrés aussi bien que ceux des vertébrés).

À ne pas confondre avec l'archéologie, qui est l'étude des signes anciens de civilisations ou de présence humaine, comme des outils ou objets très anciens, des momies, des ruines, ou des vieux dépotoirs.

Et à ne pas confondre avec l'anthropologie, qui étudie (entre autres) les anciens squelettes humains, non-fossilisés.

CHAPITRE 2

LES CÉPHALOCORDÉS ET LES UROCORDÉS

Les céphalocordés et les larves d'urocordés sont des animaux qui **ont une notocorde mais pas de colonne vertébrale ni de crâne, un pharynx avec des fentes mais pas de branchies, un corps allongé mais sans nageoires, des muscles segmentés en myomères, et un tube neural**. On considère ces animaux comme étant les descendants, sans trop de modifications (sauf pour les urocordés adultes), des premiers cordés qui existaient il y a plus de 500 millions d'années. Ces animaux nous donnent une idée de ce à quoi ressemblaient probablement les ancêtres évolutifs des vertébrés.

Céphalocordés :

Les céphalocordés regroupent environ 25 espèces de petits (3-7 cm) organismes marins, sans vrais yeux, avec un corps fuselé et un peu latéralement aplati, appelés **lancelets** ou **amphioxus**. (Les termes anglais sont les mêmes : *lancelets*, *amphioxus*.)

Les lancelets/amphioxus s'enfouissent dans des **sédiments marins sableux et peu profonds**, laissant seulement la tête sortir. Ils se nourrissent de zooplancton et de phytoplancton qu'ils filtrent avec leur pharynx transpercé d'un très grand nombre de fentes (jusqu'à 200). Le mucus qui capte les particules alimentaires dans le pharynx est acheminé par des cellules ciliées au tube digestif, lequel est linéaire et se termine au niveau d'un anus antérieur à la queue.

L'eau qui sort du pharynx par les fentes entre dans une cavité (dite péribranchiale) qui entoure le pharynx et qui se termine par une sortie unique, appelée **atriopore**, ou pore abdominal, devant l'anus. Les fentes pharyngiales n'ont pas de rôle respiratoire comme tel; l'oxygène de l'eau est absorbé par les surfaces du corps (leur épiderme n'est fait que d'une seule couche de cellules) et diffuse directement aux organes internes, ce qui est possible car l'organisme est petit.

Urocordés :

Les urocordés regroupent environ 2,150 espèces de petits (quelques centimètres) organismes **marins** habituellement sessiles (= ancrés à un substrat), appelés **tuniciers** (en anglais : *tunicates*), Plusieurs espèces sont appelées **salpes** (*sea squirts*) ou **ascidies**.

Leur larve a une notocorde attachée à des muscles, un tube neural dorsal, et un tube digestif commençant par un pharynx. Elle ressemble à un têtard de grenouille. Cette larve mobile s'attache éventuellement à un substrat et se **métamorphose** en adulte. Sa notocorde et son tube neural se résorbent alors. Son pharynx développe un plus grand nombre de fentes. L'eau entre dans le pharynx par un **siphon inhalant**. L'eau qui sort par les fentes du pharynx se retrouve dans un compartiment qui entoure le pharynx et qui possède une sortie vers l'extérieur, appelée **siphon exhalant**. Le mucus du pharynx capte des particules de zooplancton et phytoplancton. Ce mucus est acheminé au tube digestif qui est connecté au fond du pharynx.

Certaines espèces de tuniciers ont l'habitude néfaste de s'établir en grand nombre sur les moules et les huîtres dans les installations d'aquaculture, nuisant grandement à la croissance de ces mollusques car elles compétitionnent pour la nourriture – tuniciers et bivalves se nourrissent tous par filtration de l'eau.

CHAPITRE 3

LES POISSONS

Les poissons présentent plusieurs grandes caractéristiques. En voici trois :

1) Respiration par des branchies :

Tous les poissons ont des **branchies internes** (des amphibiens et beaucoup d'invertébrés respirent aussi par des branchies, mais externes plutôt qu'internes).

L'eau entre par la bouche ouverte et est expulsée par des ouvertures sur les côtés de la tête. En chemin l'eau doit passer le long d'un grand nombre de fines lamelles disposées sur des filaments, eux-mêmes attachés à des arcs, le tout formant les branchies. Le sang circule dans les branchies en sens opposé au courant d'eau. Cela crée un **système d'échange à contre-courant** qui rend très efficace le transfert de l'oxygène de l'eau au sang, et le transfert du CO₂ du sang à l'eau. Chez les poissons anciens (myxines, lamproies, requins, raies), l'eau sort du corps par des fentes ou ouvertures branchiales séparées (une fente pour chaque arc branchial – sauf certaines myxines, qui ont une seule petite sortie commune pour toutes les branchies). Chez les poissons plus modernes (les poissons osseux), l'eau quitte les branchies en allant dans une chambre latérale (= cavité operculaire) recouverte d'un volet dur (= l'**opercule**) qui peut s'ouvrir ou se fermer sur l'extérieur du corps.

2) Présence de nageoires paires :

En position inférieure (ventrale) à l'avant, il y a habituellement une **paire** de nageoires latérales dites **pectorales**. En position inférieure à l'arrière, il y a habituellement une **paire** de nageoires latérales dites **pelviennes**. Ces deux paires de nageoires sont à l'origine évolutive des membres antérieurs et postérieurs des vertébrés terrestres.

En position médiane (= le long de l'axe de symétrie du corps), il y a aussi communément une ou deux (rarement trois) nageoires **dorsales** (une à la suite de l'autre s'il y en a plus qu'une), une nageoire **anale** (postérieure à l'anus et aux nageoires pelviennes), et une nageoire **caudale** (formant la queue). Cette dernière est verticale.

La propulsion vers l'avant vient surtout de la nageoire caudale qui oscille de droite à gauche de concert avec une ondulation du corps. Les autres nageoires contribuent en partie à propulser le poisson (les pectorales en particulier, comme des rames) et encore bien plus aux changements de direction, à la stabilisation, et au freinage.

3) Peau habituellement recouverte d'écailles osseuses et de mucus :

Les écailles d'un poisson sont de petites et minces **plaques d'os** ancrées dans le derme de la peau et recouvertes d'une mince couche d'épithélium. Dans la plupart des cas les écailles peuvent être extirpées de la peau si soumises à une force suffisamment grande (on dira alors que le poisson a « perdu des écailles »). Le mince épithélium contient des cellules productrices de **mucus**, lequel s'étend sur la peau et diminue la friction avec l'eau.

Au cours de l'évolution de quelques espèces les écailles sont devenues microscopiques (ex. : anguilles) ou même complètement absentes (ex. : poissons-chats).

Autrefois les poissons étaient considérés comme une seule classe de vertébrés, appelée Pisces. Avec l'avènement de la classification phylogénétique, les poissons ont été divisés en plusieurs classes séparées. La taxonomie exacte est encore le sujet de débats. Le tableau suivant présente une vue d'ensemble qui se verra peut-être altérée dans le futur.

Super-classe	Noms communs de la super-classe	Classe	Noms communs de la classe
<u>Agnatha</u> (a = sans; gnath = mâchoire)	Les agnathes Les cyclostomes Poissons sans mâchoires	Myxini	Les myxines (<i>hagfish</i>)
		Petromyzontida	Les lamproies (<i>lamprey</i>)
<u>Gnathostomata</u> (gnath = mâchoire; stom = ouverture, bouche)	Les gnathostomes Poissons avec mâchoires	Chondrichthyes	Les chondrichthyens Les poissons cartilagineux Les requins, raies, chimères
		Osteichthyes	Les osteichthyens Les poissons osseux Les poissons « communs »

Les agnates (= cyclostomes) : *myxines (hagfish)* et *lamproies (lampreys)*:

Le groupe des agnathes est constitué d'organismes qui ont conservé plusieurs des caractéristiques rudimentaires des ancêtres évolutifs des vertébrés :

- 1) Absence de mâchoires (mais bouche ronde munie de « dents » de kératine dure).
- 2) Absence d'écailles sur la peau.
- 3) Absence de nageoires paires (il n'y a qu'une nageoire dorsale et caudale continue).
- 4) Absence de vertèbres (mais crâne de cartilage et notocorde présents)
- 5) Squelette entièrement cartilagineux plutôt qu'osseux.

Les **myxines** sont des charognards qui vivent au fond de l'océan. Elles sont bien connues pour leur capacité de produire un **mucus abondant** en réponse à une attaque de prédateur (8 litres en quelques minutes!); ce mucus peut boucher les branchies du prédateur. Elles n'ont pas de vertèbres mais leur génome et leurs embryons suggèrent que leurs ancêtres en avaient, donc on devrait plutôt dire que les myxines ont perdu leurs vertèbres. À la place d'une colonne vertébrale elles ont conservé une **notocorde très flexible** (les myxines sont en fait reconnues pour pouvoir former un nœud avec leur long corps anguilliforme; elles font glisser le nœud le long de leur corps pour enlever du mucus, ou comme levier pour arracher une bouchée de chair).

Les **lamproies** ont une bouche en forme de ventouse qui leur permet de s'attacher au corps d'autres poissons. De nombreuses dents dans la bouche vont ensuite râcler et percer la peau pour laisser s'écouler du sang dont la lamproie se nourrit. Les lamproies restent attachées pour très longtemps et on les désigne comme étant des « **ectoparasites hématophages** » (ecto = externe; hémato = sang; phage = manger). La plupart vivent en eau douce.

Les lamproies ont un stade larvaire, appelée **larve ammocète**, de forme différente des adultes. La larve, aveugle et sans dents, se nourrit de débris et de plancton par filtration, et se métamorphose en adulte ectoparasite au bout de quelques années.

Les chondrichthyens : requins (*sharks*), raies (*rays, skates*) et chimères (*chimaeras, ratfish*) :

Le groupe des **chondrichthyens** tire son nom de son **squelette entièrement cartilagineux** (chondro = cartilage; ichtyo = poisson). Les **requins et les raies** (mais pas les chimères) sont souvent décrits ensemble dans la sous-classe des **élastombranches**.

- Ils sont marins, sauf 38 espèces de raies d'eau douce en Amérique du Sud, et une espèce de requin-boule (*bullshark*) qui est marine mais qui peut tolérer l'eau douce.
- Les **écailles minéralisées** des **élastombranches** sont particulières (dites « **placoïdes** »), solidement insérées dans la peau mais avec une petite projection épineuse qui dépasse à la surface, pointant vers l'arrière et diminuant la turbulence de l'eau qui coule le long de la surface du corps (mais rendant la peau rugueuse dans l'autre sens). L'intérieur de chaque écaille est irrigué par des capillaires, comme une dent.
- Leurs dents, faites de tissu osseux très dur, sont remplacées continuellement, et à une fréquence souvent assez élevée, tout au long de leur vie.
- Contrairement à la majorité des poissons, la **fécondation est interne** chez les chondrichthyens. Chacune des deux nageoires pelviennes du mâle a une partie modifiée pour former un organe d'intromission, le **ptérygopode (*clasper*)**. Le mâle insère un de ses deux ptérygopodes dans le **cloaque de la femelle** pour guider le transfert de son sperme. Dépendamment des espèces, les jeunes se développent dans le système reproducteur de la femelle, ou individuellement dans un gros œuf pondu en mer et protégé par une pochette dure (= **bourse de sirène**, capsule d'œuf, *egg case*).

Les **requins ont des queues hétérocercues**, c'est-à-dire avec un lobe supérieur qui est plus long que le lobe inférieur.

Pratiquement tous les **requins ont aussi 5 fentes branchiales**, bien visibles sur le côté de la tête; les exceptions sont quatre espèces qui en ont 6 et une (le requin plat-nez, *broadnose sevengill shark*) qui en a 7. En plus, tous les requins ont une fente branchiale vestigiale (il n'y a plus de branchie présente à cet endroit) de chaque côté de la tête, près de chaque œil, appelée **spiracle**, qui forme une ouverture en connexion avec le pharynx et par où l'eau peut rentrer quand la bouche n'est pas ouverte. Un requin peut donc respirer même quand sa bouche n'est pas ouverte. Les raies (prochain paragraphe) ont elles-aussi deux spiracles par où l'eau peut entrer pour se rendre au pharynx et aux branchies.

Les **raies** sont essentiellement des requins aplatis. Elles ont cette forme aplatie grâce à un grand élargissement de leurs nageoires pectorales. Elles ont une queue fine et pointue, munie dans le cas de certaines d'entre elles (*stingrays*) d'une épine connectée à une glande à venin. Vivant habituellement sur les fonds marins, elles respirent en faisant entrer de l'eau dans leur pharynx non pas par leur bouche (qui est en position inférieure, souvent collée sur le fond quand l'animal cherche sa nourriture) mais plutôt par les spiracles qui eux sont situés sur le dessus de la tête. Après avoir passé dans les branchies, l'eau sort par deux séries (une à gauche, une à droite) de **5 fentes branchiales** qui sont en position inférieure (ventrale).

Les **chimères** (sous-classe des holocéphales) ont un corps allongé, sans écailles, avec un repli de peau recouvrant leurs 4 fentes branchiales. Elles vivent sur les fonds marins.

Les ostéichtyens (= poissons osseux, même si certains sont en majorité cartilagineux) :

Les poissons osseux sont sous-divisés en deux catégories :

- 1) Les actinoptérygiens ont des nageoires rayonnées, sans muscle dans la nageoire.
- 2) Les sarcoptérygiens ont des nageoires charnues contenant muscles et os.

En cladistique, « sarcoptérygiens » inclut les tétrapodes, qui eux aussi ont des membres (des pattes) charnues. Les poissons sarcoptérygiens bougent leurs nageoires en alternance (gauche-droite), comme les tétrapodes mais contrairement aux autres poissons qui eux bougent droite et gauche en même temps.

Sarcoptérygiens :

Dipneutes (*lungfish*) :

Les **dipneutes** sont anciens. Malgré le fait qu'ils appartiennent au groupe des poissons osseux, la majorité de leur squelette est fait de cartilage. Une petite partie est faite d'os.

Il y a une espèce en Australie, une en Amérique du Sud, et quatre en Afrique, tous en eau douce. Ils ont probablement évolué à partir d'une même espèce qui s'est fragmentée lors de la dérive des continents.

Les dipneutes respirent en surface et font entrer et sortir de l'air dans deux compartiments corporels qui sont connectés à l'œsophage (le début du tube digestif). Ces **deux compartiments fonctionnent donc comme des poumons**. Chez l'espèce australienne, la majorité de l'oxygène vient de l'eau via les branchies et les « poumons » servent seulement d'auxiliaires. Mais chez les cinq autres espèces, presque tout l'oxygène transporté par le sang vient de l'air via leurs poumons plutôt que via leurs branchies.

Pendant la saison sèche, quand les plans d'eau disparaissent, les espèces africaines s'enfouissent dans la boue et produisent du mucus qui se mélange à la boue pour former un cocon autour de leur corps, sauf pour une ouverture près de la bouche. Dans ce cocon le poisson peut survivre, inactif et sans se nourrir, respirant de l'air, pendant des mois, parfois même 2-3 ans, en attendant que les pluies reviennent. Cette grande baisse d'activité métabolique en été (ou en période sèche) s'appelle « **estivation** » (similaire à l'hibernation de mammifères en hiver). Notez que leur respiration est alors entièrement aérienne!

Coelacanthes :

Comme les dipneutes, les **coelacanthes** sont anciens et ont un squelette formé majoritairement de cartilage; une petite partie est faite de tissu osseux. Leur colonne vertébrale est incomplète et remplacée en bonne partie par une simple notocorde.

Ils sont ovovivipares. Ils produisent les plus gros œufs (9 cm de diamètre!) de tous les poissons osseux. Ces œufs éclosent à l'intérieur de la mère.

Ils vivent en mer, près de côtes plongeantes, à des profondeurs de 150 à 700 m. Il y a une espèce autour de l'Archipel des Comores (près de Madagascar), et une autre en Indonésie.

Actinoptérygiens : Poissons osseux à nageoires rayonnées (pas de muscles dans la nageoire; il y a plutôt de longs rayons osseux).

Cladistiens : polyptères.

Chondrostéens : esturgeons, poissons-spatules.

Néoptérygiens : lépisostés, poisson-castor.

Téléostéens : tout le reste! (Environ 96% de toutes les espèces de poissons)

Cladistiens : polyptères (*bichirs*)

Les **polyptères** ont un corps allongé. On ne les retrouve qu'en Afrique.

Chondrostéens : esturgeons (*sturgeons*), poissons-spatules (*paddlefish*) :

Comme les dipneutes et les coelacanthés, les chondrostéens ont un squelette formé majoritairement de cartilage (je répète que « chondro = cartilage), et sont considérés anciens. Comme les requins et les raies ils ont un spiracle de chaque côté de la tête.

Les **esturgeons** ont une queue hétérocerque (donc ce ne sont pas seulement les requins qui ont une queue hétérocerque). Ils se nourrissent de divers invertébrés au fond de l'eau. Plusieurs espèces sont **anadromes** (= vivent normalement en mer mais se reproduisent en eau douce). Les œufs de quelques espèces (pas toutes!) sont considérés délicieux et forment ce qu'on appelle le caviar. Toutes les espèces sont dans l'hémisphère nord, dont deux retrouvées dans la Baie de Fundy : l'Esturgeon atlantique et l'Esturgeon à museau court.

Les **poissons-spatules** ont eux aussi une queue hétérocerque. Leur mâchoire supérieure est allongée, formant un long rostre qui contient des électrorécepteurs détectant le zooplancton (voir le Chapitre 16). Il n'existe que deux espèces, une en Chine (mais éteinte depuis 2003, on pense) et une en Amérique du Nord (dans le bassin du Mississippi).

Néoptérygiens : **lépisostés** (*gars*) et **poisson-castor** (*bowfin*)

Finalement des actinoptérygiens avec un squelette majoritairement ossifié, contrairement au squelette majoritairement cartilagineux des autres poissons « osseux » ci-dessus comme les dipneutes, coelacanthés, et chondrostéens. Les néoptérygiens sont quand même considérés comme des poissons anciens, primitifs, à cause de certaines caractéristiques comme le fait d'avoir un genre de poumon connecté au tube digestif, à la manière des dipneutes, leur permettant de respirer de l'air en plus d'utiliser leurs branchies.

D'eau douce, ils vivent dans l'est de l'Amérique du Nord, mais pas au N.-B.

Téléostéens : la très grande majorité (96%) des espèces de poissons.

Poissons dont le squelette est vraiment formé en grande majorité de tissu osseux. Il y a plusieurs ordres et familles de poissons téléostéens. Voici seulement quelques familles :

Les anguilles d'eau douce (famille des anguillidés) : anguilles (*eels*)

Corps allongé; nageoires pelviennes absentes; nageoires dorsale et caudale et anale continues. Larve transparente, en forme de ruban ou de feuille, dite « **leptocéphale** ». Une seule espèce au N.-B., l'Anguille d'Amérique, fameuse pour sa condition « **catadrome** », c'est-à-dire vivant en eau douce mais migrant en mer pour la reproduction. La ponte des œufs et le développement de la larve leptocéphale a lieu dans la mer des Sargasses. La larve s'approche éventuellement de nos côtes où elle se transforme en une forme post-larvaire appelée **civelle**. Une fois montée en rivière, la civelle se transforme en forme adulte.

Les salmonidés (famille des salmonidés) : saumons, ombles, truites, corégones, touladi

Entre la nageoire dorsale et caudale se trouve une nageoire charnue, appelée « nageoire adipeuse » (même si en fait elle ne contient pas de graisse). Plusieurs espèces sont **anadromes** (le contraire de la condition catadrome des anguilles ci-haut) : elles vivent en mer mais se reproduisent en eau douce. C'est le cas du Saumon atlantique (*Atlantic salmon*) au N.-B. Exclusivement en eau douce au N.-B. on retrouve aussi l'Ombre de fontaine (*brook trout*), le Touladi (*lake trout*), et le Grand corégone (*lake whitefish*).

Les harengs (famille des clupéidés) : harengs, aloses, gaspareau

Poissons en général argentés, très grégaires, très pêchés commercialement. En général marins, comme le Hareng atlantique (*Atlantic herring*) dans notre Baie de Fundy, ou anadromes, comme le Gaspareau (*alewife*) qui remonte nos rivières. Des populations de gaspareaux sont devenues « landlockés » en eau douce dans les Grands Lacs : ils vivent dans le lac comme si c'était une mer et remontent les rivières tributaires pour y frayer.

Les éperlans (famille des osméridés) : éperlans

Nageoire adipeuse comme chez les saumons (à qui ils sont d'ailleurs apparentés, appartenant au même ordre des salmoniformes). Comme le Gaspareau, notre Éperlan arc-en-ciel (*rainbow smelt*) est anadrome. Il y a aussi des populations landlockées dans les Grands Lacs. Très pêchés, incluant en hiver.

Les menés (famille des cyprinidés) : menés (*minnows*), carpes, poisson rouge (*goldfish*), etc.

En nombre d'espèces, la plus grande famille de poissons du monde. Mâchoires sans dents, mais il y a des dents « pharyngiennes » au fond de la bouche. Strictement d'eau douce, sauf quelques exceptions partielles. Au N.-B. on retrouve le Ventre rouge du nord (*northern redbelly dace*), le Mené de lac (*lake chub*), la Chatte de l'est (*golden shiner*), le Mené à nageoires rouges (*common shiner*), le Museau noir (*blacknose shiner*), le Naseux noir (*Blacknose dace*), le Mulet à cornes (*creek chub*), et le Mulet perlé (*pearl dace*).

Les meuniers et suceurs (famille des catostomidés) : meuniers, suceurs

Comme chez les menés (avec qui ils sont apparentés, appartenant au même ordre des cypriniformes), les catostomidés n'ont pas de dents sur les mâchoires, mais ils ont des dents pharyngiennes. Ils ont des lèvres épaisses et une bouche pointant vers le bas. Ils vivent au fond des rivières et des lacs. Au N.-B. on a le Meunier rouge (*longnose sucker*) et le Meunier noir (*white sucker* – c'est drôle : noir en français, mais blanc en anglais!).

Les barbottes (famille des ictaluridés) : barbottes, barbues, poissons-chats

Appartenant à l'ordre très diversifié des poissons-chats (siluriformes), nos barbottes ont des barbillons qui ressemblent à des moustaches (comme les vibrisses d'un chat – mais ce ne sont pas des poils) et sur lesquels se trouvent de nombreux récepteurs du goût. Elles sont en eau douce et nocturnes. Les épines de leurs nageoires sont associées à des glandes à venin, pas mortel mais quand même irritant. Une seule espèce au N.-B. : la Barbotte brune (*brown bullhead*).

Les fondules (famille des cyprinodontidés) : fondules, choquemort, killis

Petits poissons d'eau douce et d'eau saumâtre. Bouche pointant vers le haut, pour une prise de nourriture en surface. Dans notre province nous avons le Fondule barré (*banded killifish*) et le Choquemort (*mummichog*). Ce dernier est très robuste : il résiste bien à de grands changements de température, de niveau d'oxygène, et de salinité. Il peut survivre hors de l'eau, dans un environnement humide, pendant plusieurs jours. Cette espèce est en fait le premier poisson à avoir visité l'espace, amené sur Skylab par des astronautes américains en 1973.

Les morues (famille des gadidés) : morue, lotte, poulamon

Barbillon médian présent au menton. Savoureux poissons très pêchés. Ils préfèrent les eaux froides; d'ailleurs, en eau douce au N.-B., la Lotte (*burbot*) et le Poulamon (*tomcod*) fraient (= pondent leurs œufs) sous la glace en hiver. En mer, la surpêche de la Morue de l'Atlantique (*Atlantic cod*) a fait couler beaucoup d'encre.

Les épinoches (famille des gastérostéidés) : épinoches

Leur nageoire dorsale est précédée d'un certain nombre d'épines dures, et leurs nageoires pelviennes comprennent aussi une épine dure. Ces épines sont barrées en position érigée lors de la capture par un prédateur. Poissons d'eau douce ou d'eau saumâtre, ils sont facilement gardables en aquarium, où on peut observer leurs comportements très sophistiqués de construction de nid (avec des morceaux de plantes), cour de la femelle par le mâle, et ventilation des œufs dans le nid par le mâle. Au N.-B. se trouvent les Épinoches (*sticklebacks*) suivantes : tachetée, et à 3, 4, 5, ou 9 épines.

Autres caractéristiques des poissons :

Muscles natatoires :

L'eau est un milieu dense et visqueux. Ce n'est pas facile de s'y déplacer. Pour compenser, les poissons ont un corps de forme hydrodynamique pour bien fendre l'eau, une peau recouverte de mucus pour diminuer la friction avec l'eau, et de gros muscles sur les côtés de leur corps pour faire onduler le corps et faire osciller la queue (le principal organe de propulsion). Ces muscles sont organisés en bandes appelées **myomères**, faciles à distinguer quand on mange un poisson.

Les muscles de la nage sont si importants qu'ils représentent 40-65% du poids total d'un poisson moyen. En tant que proies, les poissons sont donc une excellente source de protéines (les muscles sont surtout faits de protéines) et c'est pourquoi la pêche est une activité si répandue.

Cloaque :

Le cloaque est une cavité dans laquelle débouchent les conduits terminaux des systèmes digestif, urinaire, et reproducteur. Le cloaque s'ouvre à l'extérieur par une ouverture unique, l'anus. **Les requins et les raies ont un cloaque. Les autres poissons n'en ont pas** : pour ces derniers, chaque système a son ouverture séparée sur l'extérieur, près les uns des autres, normalement devant la nageoire anale. On verra plus loin que les cloaques sont présents chez tous les amphibiens, tous les reptiles, tous les oiseaux, et quelques mammifères.

Vessie natatoire :

Les actinoptérygiens (poissons à nageoires rayonnées, donc la majorité des espèces) ont, en position dorsale dans leur cavité corporelle, **un sac qui peut se remplir de gaz** (le gaz diffuse à partir du sang). C'est la vessie natatoire. Dépendamment si le gaz est produit ou réabsorbé, la vessie devient plus ou moins grosse, ce qui **affecte la flottaison**. Le poisson ajuste la quantité de gaz dans sa vessie en fonction de la profondeur à laquelle il se trouve, de façon à maintenir sa position dans la colonne d'eau sans avoir à toujours nager.

Chez les actinoptérygiens plus anciens (les holostéens, par exemple), la vessie natatoire est connectée au début du tube digestif et le poisson peut la remplir avec de l'air qu'il avale et dont il peut alors extraire l'oxygène. On pense que la vessie natatoire **a d'abord évolué il y a longtemps comme organe respiratoire aérien supplémentaire aux branchies** (et elle est devenu le double poumon des dipneutes), et par la suite son rôle a changé au cours de l'évolution et pour la plupart des espèces elle est devenue un organe de flottaison ayant perdu sa connexion avec le tube digestif et ayant perdu son rôle respiratoire.

Chez plusieurs espèces, la vessie natatoire sert non seulement d'organe de flottaison, mais aussi d'organe **détecteur de sons**. Les sons se déplacent dans l'eau et dans les tissus du corps sous forme de vagues de pression, et ces vagues de pression peuvent faire vibrer la vessie natatoire, cette dernière étant remplie de gaz compressibles. Ces vibrations amplifiées peuvent être retransmises aux oreilles internes du poisson par les tissus du corps, incluant dans certains cas (comme les menés et les poissons-chats) de petits os spéciaux (les « osselets de Weber » – voir le Chapitre 14).

Plusieurs espèces se servent aussi de leur vessie natatoire pour **produire des sons**. Des muscles peuvent faire vibrer la vessie remplie de gaz, ce qui produit des sons qui se propagent dans l'eau.

Ligne latérale :

La ligne latérale est une série de pores de chaque côté du corps, allant de la tête jusqu'à la queue. Tous les pores d'un côté du corps sont reliés à un même canal dans la peau. Le canal étant connecté à l'extérieur par la série de pores, il est rempli d'eau. Dans le canal il y a des cellules ciliées, et les cils de ces cellules peuvent se faire plier par les mouvements et vibrations de l'eau. Les cils envoient différents messages au cerveau dépendamment de la direction dans laquelle ils se font plier. De cette façon le poisson peut **percevoir la direction, la vitesse, et la pression des mouvements d'eau à la surface de son corps**. Cela permet au poisson de détecter, même dans l'obscurité, l'approche d'un objet vers lequel il nage, et aussi détecter les vibrations générées par les mouvements natatoires d'une proie qui est tout près, ou de poissons voisins dans un banc.

Il peut aussi y avoir des pores individuels, non reliés à un canal, sur la tête. Au fond de ces puits il y a des cellules ciliées qui donnent au cerveau le même genre d'information que la ligne latérale. Avec la ligne latérale elle-même, ces puits individuels forment ce qu'on appelle le **système de la ligne latérale**. Le Chapitre 13 donnera plus de détails.

Métabolisme :

Les poissons sont des organismes **ectothermes** (= « à sang froid »). Leur métabolisme (l'ensemble des réactions chimiques dans leur corps) n'est pas assez élevé pour maintenir leur température corporelle plus haute que celle de leur environnement immédiat. De plus, l'étroit contact entre le sang et l'eau au niveau des branchies fait en sorte que la température du sang (et donc du corps) a tendance à s'équilibrer avec celle de l'eau. Il y a des cas particuliers de gros poissons qui nagent beaucoup – et donc leurs muscles génèrent beaucoup de chaleur – et qui ont certaines particularités anatomiques les aidant à conserver cette chaleur dans leur corps. Je vous invite à prendre le cours de Concepts en Physiologie Animale Comparée I pour en apprendre plus.

Reproduction (= fraie; frayère = site de reproduction) et croissance :

Chez la très **grande majorité des téléostéens, la fécondation est externe** : la femelle relâche ses œufs dans l'eau, le mâle relâche son sperme tout près, et la fécondation a lieu dans l'eau. Les œufs fécondés sont souvent laissés à eux-mêmes, mais **certaines espèces donnent des soins parentaux** : les œufs sont déposés dans un nid ou collés à une roche, et au moins un des parents les protège contre les prédateurs et les ventile (= fait circuler de l'eau autour des œufs avec ses nageoires, pour que les œufs soient toujours en contact avec de l'eau bien oxygénée).

Chez tous les **requins**, le coelacanthe, et quelques téléostéens, la **fécondation est interne** : à l'aide de nageoires modifiées, le mâle insère son sperme dans le système reproducteur de la femelle, où la fécondation s'effectue (mais les femelles de certaines espèces peuvent retarder la fécondation en entreposant le sperme reçu). Les œufs fécondés se développent à l'intérieur de la femelle, et dans certains peuvent même y éclore (= ovoviviparité, *livebearer*).

Chez tous les poissons, les œufs qui éclosent libèrent une forme larvaire. « **Alevin** » est le nom donné à une larve de poisson (ou « **fretin** » quand on parle d'un groupe de larves). Les alevins ont une forme souvent différente de la forme adulte. La transformation de phase larvaire à forme adulte est graduelle. Par la suite, les adultes continuent de grandir toute leur vie (quoique plus lentement avec l'âge). C'est ce qu'on appelle la **croissance indéterminée**.

Venin (injecté) et poison (ingéré) :

Plusieurs centaines d'espèces, réparties dans une grande variété de classes et d'ordres, ont des glandes à venin à la base de certains rayons de nageoires. Les rayons sont durs, aigus, et présentent un sillon qui peut transporter le venin. Tout prédateur qui se fait piquer par un tel rayon reçoit une méchante dose de venin. Les plus dangereux pour l'humain sont les **poissons-pierres** (*stonefish*) le long des côtes australiennes et indonésiennes. Bien camouflés sur le fond marin, ils peuvent facilement se faire piétiner par des baigneurs, et leur venin – **le plus puissant de tous les poissons venimeux** – peut causer la mort.

Les organes viscéraux de certains **poissons-globes** (famille tétraodontidae, *pufferfish*) contiennent un poison, la **tétrodotoxine**, qui peut causer la mort chez les organismes qui les mangent, incluant l'humain, en bloquant les canaux à sodium des neurones. La tétrodotoxine provient de bactéries incluses dans la nourriture du poisson. Les poissons-globes eux-mêmes (et autres animaux contenant de la tétrodotoxine, comme certains amphibiens) ne meurent pas de leur propre poison parce que les protéines formant leurs canaux à sodium ont une mutation qui empêche la tétrodotoxine de s'y fixer.

Par curiosité, regardez « fugu » sur Wikipédia.

La **ciguatera** est une forme d'empoisonnement alimentaire chez l'humain, suite à la consommation de poissons, dû à l'accumulation dans la chair de ces poissons d'une toxine (la ciguatoxine) produite par une microalgue corallienne. La bio-accumulation de la toxine est particulièrement prononcée chez les poissons prédateurs qui ont mangé des poissons herbivores qui eux se sont nourris de la microalgue.

Diversité :

L'immensité des océans et la diversité des habitats marins et d'eau douce a constitué un très grand terrain de jeu pour l'évolution des espèces de poissons. En fait, avec **plus de 30,000 espèces**, les poissons représentent **le groupe de vertébrés le plus diversifié** en termes de nombre d'espèces (amphibiens: environ 7,000; reptiles: environ 10,000; oiseaux: environ 10,000; mammifères: environ 5,000).

Juste pour vous impressionner : Le plus gros poisson (Requin-baleine) pèse jusqu'à 34,000 kg (l'équivalent de 6 éléphants) alors qu'un des plus petits (*Schindleria brevipinguis*) pèse 2 mg (similaire à une grosse fourmi). Le Requin de Groenland vit plus de 300 ans (le record de longévité pour tous les vertébrés), alors que le Gobie nain décoré (*Eviota sigillata*) ne vit que 2 mois. Il y a des donzelles (*cusk eels*) dans la Fosse des Mariannes à 8370 m de profondeur, et une espèce de balitoridé (*river loach*) dans une source thermale tibétaine à 5200 m d'altitude. Parlant de sources thermales, le cyprinodontidé *Cyprinodon diabolis* vit dans des sources thermales à 34 °C et peut survivre jusqu'à 43 °C, tandis que les trématomes (*icefish*) de l'Antarctique meurent de chaleur à 6 °C. En une seule période de reproduction, le coelacanthé produit 5-26 gros œufs (qui se développent et éclosent dans le conduit reproducteur de la femelle) tandis que le poisson-lune (*Mola mola*) pond 300 millions d'œufs.

Questions de révision et questions à réflexion :

- 1) À quel groupe de poissons associe-t-on les choses suivantes?
 - a) Larve ammocète
 - b) Queue hétérocerque
 - c) Énorme production de mucus
 - d) Survie sans eau lors de la saison sèche
 - e) Agnathes
 - f) Les élastomobranches
 - g) Le seul animal avec un crâne mais pas de vertèbres
 - h) Les chondrichthyens
 - i) Les chimères
 - j) Poumons
 - k) Ptérygopode
 - l) Sarcoptérygiens
 - m) Larve leptocéphale

- 2) Les dents de requins représentent l'un des fossiles les plus couramment retrouvés. Il s'en vend beaucoup dans les magasins d'histoire naturelle. Pourquoi sont-elles si abondantes? Et pourquoi retrouve-t-on peu de fossiles de requins autres que leurs dents?

- 3) Certaines espèces de poissons vivent normalement à de grandes profondeurs. Lorsque des individus de ces espèces se font capturer et ramener en surface, ils explosent (ou plus précisément, leur corps éclate). Qu'est-ce qui se passe?

- 4) Quelle est la différence entre les chondrostéens et les chondrichthyens?

- 5) Quelle expérience pourriez-vous faire pour démontrer que la vessie natatoire est impliquée dans la perception des sons?

- 6) Utilisez la vessie natatoire pour expliquer et illustrer comment un organe peut évoluer pour une certaine raison, et peut par la suite prendre des tournants évolutifs pour remplir de nouvelles fonctions (un phénomène appelé « exaptation »).

- 7) Que veulent dire les phrases suivantes :
- a. Je vais ramasser du fretin de truites.
 - b. On voit bien les myomères de ce poisson.
 - c. On a installé une trappe à civelle à l'entrée de ce lac.
 - d. Cette espèce de poisson est catadrome.
 - e. C'est plutôt bizarre de dire que les esturgeons sont des ostéichthyens.
 - f. Les menés dorés ont une ligne latérale très infléchie.
 - g. Les dipneutes estivent.
- 8) Discutez les énoncés suivants :
- a. Il est possible de noyer un dipneute.
 - b. Si vous voyez un poisson avec une queue hétérocerque, alors c'est un requin.
 - c. Les poissons osseux ont un squelette fait de tissu osseux.
 - d. Les poissons n'ont pas de cloaque.
 - e. Tous les poissons ont des branchies, des nageoires, et des écailles.
 - f. Les requins ont une vessie natatoire, mais pas les chimères.
 - g. Les poissons grandissent toute leur vie.
 - h. Nous sommes plus apparentés aux requins-baleines qu'aux coelacanthes.
 - i. Il existe plus d'espèces de poissons que de mammifères et oiseaux réunis.
 - j. La nageoire adipeuse des saumons est une réserve de graisse pour la migration.
- 9) Quelle est la différence entre espèce anadrome et espèce catadrome? Nommez aussi des exemples.

10) Les requins ont-ils les choses suivantes?

- a. Une vessie natatoire
- b. Un opercule
- c. Une queue hétérocerque
- d. Du tissu osseux
- e. Des nageoires paires
- f. Un cloaque

11) Les lamproies exhibent sept fentes branchiales sur le côté de leur tête. Chaque fente est associée à une branchie. Sachant que les lamproies s'accrochent à leur proie avec leur bouche qui fait fonction de ventouse, pouvez-vous imaginer comment elles parviennent à ventiler leurs branchies (= faire circuler de l'eau au travers des lamelles de leurs branchies), sachant que l'eau ne peut entrer ni par la bouche (qui est collée à la proie) et ni par les narines (qui se terminent en cul-de-sac)?

12) Complétez les phrases suivantes :

Les petits poissons allongés qui sont très abondants autour des carcasses de baleine sur les fonds marins sont probablement des _____.

On appelle nageoires _____ la paire de nageoires la plus antérieure d'un poisson.

Le terme français pour *lungfish* est _____.

Le poison des poissons-globes est la _____.

Le terme qui désigne un groupe de larves est _____.

Les _____ sont des bandes de muscles dans le flanc des poissons.

Les poissons grandissent toute leur vie, un phénomène appelé croissance

_____. Les coelacanthes se retrouvent (où dans le monde?)

_____.

13) Vrai ou faux?

- a) Les gnathostomes ont des nageoires paires.
- b) La majorité des poissons sont des holostéens.
- c) Les civelles sont des larves de lamproie.
- d) Les lamproies sont des endoparasites hématophages.
- e) Les esturgeons sont anadromes.
- f) Les téléostéens sont des actinoptérygiens.

CHAPITRE 4

LES AMPHIBIENS

Les amphibiens présentent les deux grandes caractéristiques suivantes :

1) Deux stades de vie lors de la croissance : larve qui vit dans l'eau et adulte qui vit dans l'air.

La fécondation est **externe** chez les grenouilles et les crapauds.

Le mâle agrippe la femelle par en arrière –une position appelée **amplexus**– et relâche son sperme aussitôt que la femelle relâche ses œufs.

La fécondation est **interne** chez la plupart des salamandres et tritons.

Le mâle dépose au sol un **spermatophore** (un paquet de gélatine recouvert de sperme) que la femelle ramasse avec son cloaque. Les spermatozoïdes fécondent les œufs de la femelle dans son système reproducteur.

Les œufs, non-amniotiques, sont déposés dans l'eau (ou, plus rarement, dans un milieu aérien mais quand même très humide). Au contact de l'eau, une **masse gélatineuse** se forme autour de chaque œuf pour le protéger et pour garder les œufs regroupés.

L'embryon se développe dans l'œuf déposé dans l'eau. L'œuf éclot pour donner une larve **aquatique** libre qui va plus tard se transformer (= **métamorphose**) en un adulte **terrestre**.

Chez certaines espèces, la larve aquatique vit entièrement dans l'œuf (elle se métamorphose dans l'œuf et c'est un adulte miniature qui va éclore) ou même dans le système reproducteur de la mère (c'est la forme adulte qui va naître).

2) Peau mince, sans écaille, perméable, limitant la plupart des espèces aux milieux humides.

La peau mince et nue laisse relativement facilement passer l'eau.

L'eau peut **entrer** dans le corps à travers la peau. Aucun amphibien ne boit de l'eau. Ils n'ont qu'à se mettre dans l'eau ou sur une terre humide pour absorber l'eau à travers leur peau. Ils obtiennent aussi l'eau contenue dans leurs proies.

L'eau peut aussi **sortir**, surtout par évaporation. En milieu aérien, il y a grand risque de déshydratation. Cela **limite la plupart des espèces d'amphibiens à des milieux humides** où l'air chargé en humidité minimise l'évaporation.

Exceptions : peau plus épaisse des crapauds, ou glandes productrices de cire imperméable que des grenouilles arboréales étalent sur leur peau avec leurs pattes.

La peau mince laisse facilement entrer l'oxygène.

La peau des amphibiens est richement vascularisée (= irriguée par beaucoup de vaisseaux sanguins). L'oxygène de l'air diffuse au travers de la peau pour entrer dans le sang et se fixer à l'hémoglobine des globules rouges, pour être éventuellement amené aux cellules du corps. **La peau est donc un organe respiratoire** chez les amphibiens, au même titre que leurs poumons.

La classe des amphibiens (= batraciens, anciennement) est divisée en trois ordres :

Ordre		Nom commun général	Noms communs d'espèces
Anura	Les anoures	Grenouilles	Grenouilles (<i>frogs</i>) Rainettes (<i>tree frogs</i>) Crapauds (<i>toads</i>) Ouaouaron (<i>bull frog</i>)
Caudata (= Urodela)	Les urodèles	Salamandres	Salamandres (<i>salamanders</i>) Tritons (<i>newts</i>) Nectures (<i>mudpuppies</i>) Sirènes (<i>sirens</i>)
Gymnophiona	Les gymnophiones (= les céciliens)	Cécilies	Cécilies (<i>caecilians</i>)

Les anoures (= le terme général « grenouilles ») :

Larve : Appelée têtard.

Queue musculaire, avec nageoires supérieure et inférieure, pour nager.

Respire par des branchies protégées par un opercule (comme un poisson).

Herbivore (algues, détritus). Parfois: petites proies animales, cannibalisme.

Adulte : Absence de queue (anoure : le grec « an » = sans; « oura » = queue).

Membres postérieurs spécialisés pour le saut.

Respire par des poumons, par la bouche, et par la peau humide.

Insectivore; longue langue gluante pour attraper des insectes.

Les mâles vocalisent à la saison de reproduction pour attirer les femelles.

« **Crapaud** » est un nom donné à des espèces adaptées aux milieux moins humides, en particulier (mais pas uniquement) des espèces de la famille Bufonidae. Leur peau est relativement épaisse et recouverte de petites bosses (*warts*). Ils ont une grosse glande dite « parotide » (= près de l'oreille) formant une bosse au-dessus de chaque tympan et produisant des substances toxiques ou répulsives. Ils préfèrent marcher plutôt que sauter. Leurs pattes sont relativement courtes et leurs doigts/orteils sont peu palmés.

Les anoures du N.-B. sont le Ouaouaron, le Crapaud d'Amérique, la Rainette crucifère, et les Grenouilles des bois, des marais, léopard, verte, et du nord.

Les urodèles (= le terme général « salamandres ») :

Larve : Comme les têtards de grenouilles, sauf :

- les branchies externes ne sont pas protégées par un opercule;
- plutôt carnivore (se nourrit de petits invertébrés);
- lors de la transformation en adulte, les pattes antérieures apparaissent avant les postérieures.

Adulte : Ressemble à un lézard, mais peau sans écaille.
 Rainures verticales souvent visibles sur le côté du corps.
 Queue présente (Caudata : « caudatus » veut dire « avec queue »)
 (Urodela : « oura » = queue, et « delos » = visible).
 Nocturne. Nourriture : divers invertébrés.
 Pas de vraies vocalisations comme chez les anoures; la cour nuptiale comporte plutôt des mouvements particuliers par le mâle.

Une seule espèce de **necture** (*mudpuppy*, famille Proteidae) existe au Canada, dans le sud de l'Ontario. Les nectures vivent en permanence dans l'eau, même au stade adulte. Le stade adulte conserve les branchies externes de la phase larvaire.

Les **tritons** (*newts*) sont les membres de la famille Salamandridae. Les adultes sont habituellement terrestres lorsque jeunes mais préfèrent vivre dans l'eau plus tard. Leur cycle de vie est : larve aquatique, jeune adulte terrestre, adulte mature (reproducteur) aquatique.

Les **salamandres** comme tels appartiennent aux familles Ambystomatidae et Plethodontidae. Les adultes sont terrestres, mais toujours dans des milieux humides comme sous la litière de feuilles mortes, sous les roches ou les vieux troncs morts, dans les terriers abandonnés d'autres animaux, ou même dans les caves de maisons de campagne.

Les membres de la grande famille **Plethodontidae n'ont pas de poumons**. Ils respirent entièrement par leur peau et leur muqueuse buccale. Ils sont assez répandus et considérés comme les salamandres les plus terrestres.

Les urodèles du N.-B. sont le Triton vert, et les Salamandres à points bleus, maculée, sombre, à deux lignes, et rayée. Ces trois dernières sont des pléthodontidés.

Les cécilies :

Amphibiens au corps allongé, dépourvus de pattes (ils ont perdu leurs pattes lors de leur évolution) et dont les yeux sont dégénérés. Ils vivent sous terre, dans la boue ou les sols humides, se nourrissant de vers de terre. Retrouvés uniquement dans les tropiques.

Autres caractéristiques des amphibiens :

Glandes cutanées :

La peau des amphibiens contient des glandes à **mucus** qui (1) empêche la peau de se dessécher; (2) rend le corps glissant pour les prédateurs, et (3) lubrifie le corps pour la nage.

La peau des amphibiens contient aussi des glandes productrices d'**antibiotiques**, de **poisons**, et de **substances nocives**. Les espèces particulièrement toxiques affichent souvent des couleurs vives pour avertir les prédateurs de leur statut toxique (on appelle « **aposématisme** » l'utilisation de couleurs d'avertissement) et ainsi éviter de se faire mordre. L'évitement de couleurs vives peut être appris ou inné chez le prédateur.

Migration lors de la reproduction :

Les étangs dans lesquels les œufs peuvent être déposés sont parfois éparpillés dans l'habitat. À la saison de **reproduction au printemps, surtout lors de nuits pluvieuses**, beaucoup de grenouilles et de salamandres terrestres voyagent sur de grandes distances pour atteindre un étang. Les activités de reproduction y prennent place, et par la suite les adultes quittent l'étang et retournent dans leur domaine vital éloigné.

Autotomie : Capacité de **détacher une partie du corps** (patte, queue) lorsque celle-ci est prise par un prédateur, permettant au reste de l'animal de s'échapper.

Cette capacité est mieux connue chez les lézards (on s'en reparlera), mais quelques salamandres peuvent laisser tomber leur queue, laquelle se régénère en partie. L'**axolotl**, une salamandre aquatique du Mexique, peut même régénérer des pattes entières.

Hétérochronie : Changement dans la vitesse de développement d'une partie du corps, mais pas dans le reste du corps.

Néoténie : Rétention de caractéristiques larvaires dans la phase adulte,
(= pedomorphose) comme des branchies, une ligne latérale, et l'absence de paupières.

Chez certaines espèces de salamandres, il arrive que certains individus gardent leurs branchies larvaires lors du passage à la phase adulte, laquelle demeure aquatique. La rétention de branchies chez toutes les **nectures** est un exemple de néoténie.

Les **sirènes** (urodèles présentes aux États-Unis mais pas au Canada) sont aussi néoténiques (= pedomorphes) : leur corps adulte est allongé comme une anguille, ne possède pas de pattes postérieures, et possède des branchies externes.

L'exemple extrême de néoténie est l'**axolotl**, une salamandre mexicaine aquatique, chez qui tous les membres de l'espèce gardent systématiquement toutes leurs caractéristiques larvaires, sauf qu'elles développent des pattes. Essentiellement, la larve ne se transforme presque pas en adulte, mais elle peut se reproduire quand même.

Croissance :

Les œufs d'amphibiens sont souvent utilisés dans des études d'embryologie (étude du développement embryonnaire) des vertébrés parce qu'ils sont (1) suffisamment gros pour permettre diverses manipulations, (2) transparents (permettant ainsi des examens visuels de l'embryon), et (3) relativement résistants aux infections en laboratoire.

Les espèces de grenouilles du genre *Xenopus*, originaires de l'Afrique, sont particulièrement populaires dans de telles études.

On retrouve parfois en nature des grenouilles qui ont des pattes déformées ou surnuméraires (ex. : une grenouille qui a deux pattes postérieures gauches plutôt qu'une seule). Les facteurs identifiés jusqu'à maintenant comme responsables de telles croissances anormales sont des infections parasitaires et l'exposition à des pesticides.

Métabolisme :

Comme les poissons, tous les amphibiens sont des **ectothermes** (ils réchauffent leur corps à partir de leur environnement externe plutôt qu'à partir de leurs réactions biochimiques internes). Leur métabolisme (la totalité des réactions chimiques qui prennent place dans leur corps) est bas. Les amphibiens peuvent survivre assez longtemps sans nourriture car leurs besoins en énergie sont relativement faibles. Mais le désavantage d'un bas métabolisme est que l'animal ne peut pas être très actif pour très longtemps, particulièrement dans un environnement froid.

Eau douce versus eau salée :

Les amphibiens ne peuvent **pas survivre dans l'eau de mer ou l'eau saumâtre**. (Comme d'habitude, il y a une exception : la grenouille asiatique *Fejervarya cancrivora* vit dans des mangroves et peut tolérer de courtes immersions dans l'eau de mer ou des immersions prolongées dans l'eau saumâtre. Elle réussit ceci en accumulant de l'urée dans son corps, à la manière d'un requin – prenez le cours de Concepts en Physiologie Animale Comparée I)

Captivité :

Les **larves** d'amphibiens peuvent être gardées dans des contenants d'eau propre et aérée, à raison d'un maximum de 6 larves par 4.5 L d'eau. Attention : à mesure qu'elles grossissent elles peuvent devenir **cannibales**. On les nourrit d'un peu de laitue romaine supplémentée de nourriture commerciale pour poissons tropicaux.

Les **adultes** peuvent être gardés dans des aquariums/terrariums qui comprennent un grand bassin d'eau et une zone de sable avec des abris faits de roches ou morceaux de bois. Le couvercle doit être à moitié solide (pour garder l'humidité) et à moitié en grillage (pour permettre la ventilation). Comme nourriture, **les amphibiens adultes n'acceptent que des proies vivantes et mobiles**, ce qui rend difficile leurs soins en captivité. Mouches, criquets, vers de farine (*mealworms*) ou vers de terre (parfois saupoudrés de suppléments minéraux ou vitaminiques) doivent être relâchés régulièrement dans le terrarium.

Questions à réflexion :

- 1) « Amphi » veut dire « deux ». « Bio » veut dire « vie ». Pourquoi a-t-on donné le nom « amphibien » à cette classe d'animaux?
- 2) Pourquoi les mâles de grenouilles ont-ils un sac de peau extensible connecté à leur cavité buccale?
- 3) Pourquoi les mâles de certaines espèces de grenouilles développent-ils des excroissances rugueuses sur leurs doigts lors de la saison de reproduction?
- 4) Au printemps, dans les marais juste au nord du campus, on entend très bien les coassements des mâles de la Rainette crucifère (*spring peeper*, *Hyla crucifer*) mais seulement le soir ou la nuit. Pourquoi les mâles ne coassent-ils pas le jour?
- 5) Plusieurs espèces de grenouilles sont en déclin à travers le monde entier à cause d'une infection par un champignon parasite (*Batrachochytrium dendrobatidis*). Ce champignon pousse sur la peau de la grenouille, éventuellement menant à la mort (le nom de la maladie est chytridiomycose). De quelle façon est-ce que la présence d'une croissance fongique sur la peau d'une grenouille peut tuer la grenouille, pensez-vous?
- 6) Au Parc National Kouchibouguac, des tunnels souterrains ont été installés sous les routes pour permettre le passage de grenouilles et salamandres sans qu'elles risquent de se faire écraser par des voitures. À quel genre d'endroits précis ces tunnels ont-ils été installés, pensez-vous?
- 7) Au Parc National Kouchibouguac, pour estimer les populations de salamandres, les biologistes déposent des plaques de bois de 30 x 30 cm sur la sphaigne ou la litière de feuilles mortes des forêts, et à chaque jour ils ou elles comptent les salamandres retrouvées en dessous. Pourquoi les salamandres aiment-elles s'installer sous ces plaques de bois, pensez-vous?
- 8) Différentes espèces de grenouilles peuvent vivre dans les mêmes marais, et leurs saisons de reproduction peuvent se dérouler en même temps. Comment les mâles peuvent-ils s'y prendre pour attirer les femelles de leur espèce seulement, et comment les femelles peuvent-elles éviter d'être attirées par des mâles d'autres espèces? Imaginez des expériences pour tester vos idées.
- 9) Les tritons vivent dans des ruisseaux ou petites rivières. Imaginez une expérience pour démontrer que les mâles sont attirés par des substances chimiques émanant des femelles lors de la saison de reproduction.

- 10) Vous avez accès à un habitat forestier qui comprend des étangs éparpillés. Des salamandres migrent jusqu'à ces étangs au printemps pour se reproduire. Quelles expériences pourriez-vous faire pour démontrer que (1) les salamandres individuelles restent fidèles au même étang année après année; et (2) les salamandres ont un bon sens de l'orientation pour retrouver le bon étang.
- 11) Pourquoi est-ce qu'on ne retrouve pas souvent des grenouilles sur les îles en plein milieu de l'océan? Que dire d'intelligent dans les quelques cas où il y a des grenouilles sur ces îles?
- 12) Les amphibiens sont souvent utilisés comme bio-indicateurs pour la présence de toxines et de polluants dans l'environnement. Quand les toxicologues veulent savoir s'il y a des contaminants dans l'environnement, ils vont essayer de voir si les populations d'amphibiens sont en déclin. Quelles sont les caractéristiques des amphibiens qui en font de bons bio-indicateurs de pollution?
- 13) Le Crapaud buffle (*cane toad*), originaire d'Amérique centrale et Amérique du sud, a été introduit dans plusieurs régions du monde productrices de sucre dans le but de contrôler les insectes nuisibles de la canne à sucre. Presque partout où il a été introduit, sa présence a mené au déclin de populations de serpents et de grands lézards (la situation est particulièrement grave en Australie). Pourquoi, pensez-vous? (Indice : peau du crapaud.)
- 14) Après avoir attrapé un insecte, une grenouille va souvent fermer ses yeux, lesquels s'enfoncent alors brièvement dans la tête. Pourquoi? Et pourquoi est-ce qu'en temps normal les yeux d'une grenouille ressortent-ils tant de la tête?
- 15) Quel est l'avantage d'avoir un stade larvaire aquatique herbivore suivi d'un stade adulte terrestre insectivore, plutôt que simplement un seul stade terrestre insectivore?
- 16) À quel groupe d'amphibiens les choses suivantes s'appliquent-elles?

Spermatophore :

Autotomie :

Amplexus :

Néoténie complète :

Pattes complètement absentes chez les adultes :

Grosse glande parotide :

Pas de poumons :

Larve carnivore :

Métamorphose :

Boire de l'eau :

Necture :

Phase larvaire suivie de phase terrestre suivie de phase aquatique :

N'acceptent que des proies vivantes :

Batraciens :

Rainures verticales sur les flancs :

Anoures :

Couleurs aposématiques :

Survie en eau de mer :

17) Vrai ou faux?

- a) Tous les amphibiens sont carnivores ou insectivores.
- b) Certaines salamandres sont pédomorphiques.
- c) Toutes les salamandres respirent par la peau et les poumons.
- d) Aucun amphibien ne peut survivre dans l'eau de mer.
- e) Tous les amphibiens ont une phase larvaire libre.
- f) Tous les urodèles font de la fécondation externe.

18) Quelle est la différence entre ces trois organismes dont les noms contiennent un X :

- a) Axolotl
- b) Xenopus
- c) Amphioxus

19) À quels défis les premiers amphibiens terrestres ont-ils dû faire face lorsqu'ils ont évolué à partir de poissons, en termes de :

- a) température :
- b) gravité :
- c) évaporation :
- d) vision :

CHAPITRE 5

LES REPTILES

Les reptiles présentent les deux grandes innovations évolutives suivantes :

1) Oeuf amniotique se développant hors de l'eau, dans un milieu terrestre

L'embryon est entouré par des membranes remplies de liquide, le tout délimité par une mince coquille ± flexible de calcaire suffisamment imperméable pour éviter la déshydratation mais laissant quand même entrer l'oxygène, dont l'embryon a besoin pour son métabolisme.

Les œufs sont déposés en milieu terrestre mais quand même assez humide: enfouis dans le sol dans les cas des tortues et crocodiles, ou dans des terriers, sous des roches, ou sous des amas de végétation dans le cas des lézards et des serpents. Les jeunes qui en sortent ont la forme normale (pas de stade larvaire comme dans le cas des amphibiens).

Certains serpents et lézards sont ovovivipares : les oeufs se développent et éclosent dans le système reproducteur de la mère, laquelle donne donc naissance à des jeunes libres.

La **fécondation est interne**. L'organe copulateur du mâle est un pénis dans le cas des crocodiles et des tortues, et une paire d'hémipénis dans le cas des lézards et serpents. Ces **organes copulateurs** sont des invaginations à sillon de la paroi du cloaque. Lors de la copulation, ils s'évaginent par action musculaire et par pression sanguine. Les spermatozoïdes vont des testicules du mâle à son cloaque par le conduit déférant, passent au cloaque de la femelle le long du sillon de l'organe copulateur, et doivent ensuite remonter le système reproducteur de la femelle pour féconder chaque ovule avant que ces derniers se fassent recouvrir par leurs membranes et écaille d'œuf. Les spermatozoïdes peuvent aussi être **entreposés** dans des tubules dans le système reproducteur de la femelle.

Chaque hémipénis (droit et gauche) est associé à son propre testicule. Un seul hémipénis est utilisé pour copuler, mais le mâle alterne entre hémipénis d'une copulation à l'autre.

2) Peau relativement imperméable (résistant bien à la déshydratation), recouverte d'écailles

Les **écailles sont des plaques de kératine** (la même protéine qui forme nos ongles). Certaines écailles peuvent être assez épaisses pour former des tubercules ou épines.

Des os, dits « dermiques », peuvent se développer dans la peau pour la renforcer. Ils sont habituellement petits, sauf dans le cas des tortues où ils forment une carapace.

Chez les lézards et serpents, l'épiderme de la peau est renouvelé par zones, ou tout entier (mue). Les tortues et crocodiles ne font qu'épaissir continuellement leurs écailles.

Contrairement aux amphibiens, la peau relativement imperméable des reptiles ne participe pas à la respiration. Seuls les poumons contribuent à la respiration.

Contrairement aux amphibiens qui poussent l'air dans les poumons à partir de leur bouche, les reptiles aspirent l'air dans leurs poumons en faisant bouger leurs côtes vers l'extérieur, ce qui augmente le volume des poumons.

La **classe des reptiles** est traditionnellement divisée en quatre ordres (si on oublie les oiseaux) :

Ordre		Nom commun général	Noms communs d'espèces	
Testudina	Les testudinés (= les chéloniens)	Tortues	Tortues (<i>turtles, tortoises</i>) Chélydres (<i>snapping turtles</i>)	
Squamata	Les squamates (= les saurophidiens)	Lézards et serpents	Lézards Lézard-alligators Scinques (<i>skinks</i>) Iguanes	Couleuvres Crotales Massasauga (et autres)
Crocodylia	Les crocodyliens	Crocodyles	Crocodyles Alligators Caïmans Gavials	
Rhynchocephalia	Les rhynchocéphales	Sphénodons	Sphénodons (<i>Tuataras</i>) (2 espèces primitives, ressemblant à des lézards, en Nouvelle-Zélande)	

Les tortues :

La **carapace** des tortues est faite de matière osseuse (des os dermiques) recouverte de grandes écailles de kératine (exceptions : une membrane de cuir remplace les écailles de kératine et même certains os de la carapace chez les tortues-molles; et la carapace des tortues-luths est faite de cuir uniquement plutôt que de grands os dermiques). La carapace comprend une partie dorsale appelée « dossière » et une partie ventrale appelée « plastron », les deux étant unies ensemble par de la matière osseuse ou cartilagineuse sur les côtés. La carapace a deux ouvertures : une à l'avant d'où sortent la tête et les pattes antérieures, et une à l'arrière d'où sortent la queue et les pattes postérieures. Les vertèbres et les côtes du squelette sont soudées à la dossière.

Les côtes étant soudées à la dossière, elles sont immobiles et ne peuvent pas bouger pour augmenter le volume thoracique et aspirer l'air dans les poumons. Ce rôle est plutôt rempli par les pattes antérieures qui ressortent légèrement à chaque inspiration.

Les espèces de tortues peuvent être désignées comme étant **terrestres** (leurs doigts sont peu distincts et la patte se termine en boule), **aquatiques** (elles passent beaucoup de temps dans l'eau douce; leurs doigts sont distincts et palmés), ou **marines** (elles vivent exclusivement en mer; leurs doigts sont fusionnés pour former une large palette natatoire).

Les tortues n'ont **pas de dents**. Elles ont plutôt un bec de kératine (comme les oiseaux) recouvrant les mâchoires inférieure et supérieure. Elles sont omnivores.

Les espèces du N.-B. sont la Chélydre serpentine; la Tortue peinte; la Tortue des bois; et, au large (c'est une tortue marine), la Tortue luth (*leatherback*, dont la carapace, répétons-le, est faite de peau très ferme –cuir– et ne contient pas de grands os dermiques).

Les lézards :

Habituellement petits, mais la famille des varanidés en possède des gros, comme le fameux varan de Komodo en Indonésie (= *Komodo dragon*) qui peut mesurer 3 m de long.

Les **scinques** sont des lézards qui ont une forme corporelle similaire aux salamandres et qui se retrouvent souvent dans des habitats humides comme les salamandres. Leurs écailles sont petites et bien polies, ce qui les fait aussi ressembler de loin à des salamandres, mais la présence de ces écailles demeure quand même la meilleure façon de distinguer les scinques des salamandres qui eux, vous vous rappellerez, ont une peau lisse sans écaille.

Les **geckos**, **caméléons**, et **iguanes** sont des sortes de lézards. Les **amphisbènes** (*worm lizards*) et les **dibamidés** (*blind lizards*) sont des lézards fousseurs (vivant sous la terre) qui ressemblent à des serpents car ils n'ont plus de pattes.

On ne retrouve pas de lézards au N.-B. Les lézards préfèrent les habitats chauds et ce n'est que dans le sud de l'Ontario ou de la C.-B. qu'on retrouve de rares lézards au Canada.

Les serpents :

Toutes les espèces sont sans pattes. Malheureusement certains lézards sont aussi sans pattes (les amphisbènes et dibamidés mentionnés ci-haut), ce qui porte à confusion. Ces lézards présentent certaines caractéristiques internes typiques des lézards mais pas des serpents.

Tous carnivores. Articulation très flexible des mâchoires avec le crâne pour avaler les proies tout rond.

Leur langue fourchue peut sortir par une échancrure dans la mâchoire supérieure sans que le serpent ait besoin d'ouvrir la bouche. Ramenées à l'intérieur de la bouche, les deux pointes de la fourche se posent près des deux ouvertures de l'**organe de Jacobson** (= **organe voméronasal**), situé au plafond de la cavité buccale, pour y livrer les molécules volatiles prises dans l'environnement. L'organe de Jacobson renferme des cellules sensorielles pouvant détecter les odeurs (voir page 124).

Beaucoup d'espèces (pas toutes, et aucune au N.-B.) peuvent injecter du venin hémotoxique ou neurotoxique (voir page 35) lorsqu'elles mordent une proie avec leurs crocs creux ou sillonnés, connectés à des glandes à venin qui ont évolué à partir de glandes salivaires à l'origine.

Les espèces du N.-B. sont les Couleuvres rayée, verte, à ventre rouge, et à collier.

Les crocodiles :

Reptiles semi-aquatiques; queue puissante pour la nage. Tous carnivores.

Oeufs déposés en milieu terrestre. Niveaux de **soins parentaux** (protection du nid et des jeunes) remarquablement élevés pour un reptile. En ceci les crocodiles ressemblent aux oiseaux et fort possiblement aux dinosaures, de qui ils sont d'ailleurs proches cousins.

Quelques traits anatomiques analogues aux mammifères : cœur à 4 compartiments, palais dur séparant cavités nasale et buccale, genre de cloison musculaire entre thorax et abdomen.

Il n'y a pas de crocodiles au N.-B. Les crocodiles modernes sont tous tropicaux.

Autres caractéristiques des reptiles :

Détermination thermodépendante du sexe chez certaines espèces :

Chez tous les crocodiles et beaucoup de tortues et lézards, les embryons ont des gonades pouvant devenir aussi bien mâle que femelle, et c'est la **température d'incubation des œufs qui va déterminer le sexe**, pas les gènes. Deux patrons :

Chez les tortues, des températures plus froides donnent des mâles, alors que les températures plus chaudes donnent des femelles.

Chez les crocodiles et certains lézards, des températures froides donnent des femelles, alors que les chaudes donnent des mâles (mais les très chaudes peuvent parfois redonner des femelles – c'est mélangeant!).

À noter cependant que des températures trop froides ($< 24\text{ °C}$) ou trop chaudes ($> 35\text{ °C}$) vont tuer les embryons ou arrêter leur développement.

Métabolisme :

Tout comme les amphibiens, les reptiles sont **ectothermes**. Mais contrairement aux amphibiens, les reptiles ont la chance de pouvoir prendre des **bains de soleil** pour se réchauffer car leur peau résiste bien à la déshydratation. Dans des endroits ensoleillés, les reptiles peuvent donc afficher des températures corporelles relativement élevées et être très actifs pendant le jour. La nuit, leur température corporelle descend et leurs besoins en énergie sont ainsi réduits, ce qui réduit leurs besoins en nourriture. De fait, les reptiles sont prédominants dans les habitats semi-désertiques, qui sont des endroits habituellement ensoleillés mais plutôt pauvres en nourriture.

En hiver, les espèces canadiennes se trouvent un abri sous-terrain qui ne gèle pas, mais où la température est froide. Cette froide température ralentit tellement le métabolisme de ces animaux ectothermes que leurs faibles besoins en énergie sont entièrement satisfaits par le catabolisme de la graisse qu'ils ont accumulée avant l'hiver.

Autotomie :

Plusieurs espèces de lézards sont capables de **laisser tomber leur queue** si celle-ci est prise par un prédateur (on a déjà vu que quelques salamandres peuvent faire la même chose). Le bris est assisté par des contractions musculaires (donc il y a un signal en provenance du cerveau) et par des lignes de faiblesse tissulaire entre ou même dans les vertèbres. La queue **repousse mais seulement sous forme de barre de cartilage**.

Écailles :

Les **écailles de kératine des reptiles** sont des épaississements durcis et localisés de la partie superficielle (= épiderme) de leur peau. Les écailles de reptiles font donc partie intégrale de leur peau et ne peuvent pas être détachées individuellement comme dans le cas des **écailles osseuses des poissons** (ou comme dans le cas des plumes d'oiseaux ou poils de mammifères). L'étroite jonction entre écailles est flexible (c'est de la peau non durcie) et peut être étirée, comme dans le cas d'un serpent ayant mangé une grosse proie. La jonction peut aussi être repliée de façon à ce que les écailles se superposent partiellement en temps normal.

Serpents venimeux:

Le venin des serpents de la famille des élapidés (cobras, mambas, taïpans, serpents-corails) est **neurotoxique**: il interfère avec la transmission nerveuse synaptique (= entre les neurones) et cause la mort de la proie en arrêtant sa respiration.

Le venin des serpents de la famille des vipéridés (vipères, crotales) est **hémotoxique** : il contient des enzymes qui interfèrent avec la coagulation ou qui dégradent les tissus, en particulier la paroi des vaisseaux sanguins, causant la mort par hémorragies internes.

Le Taïpan du désert, un serpent australien, est probablement le vertébré qui a le venin le plus puissant, à volume égal. Mais le danger représenté par une espèce de serpent venimeux dépend plus d'autres facteurs : (1) son abondance; (2) son camouflage (le rendant plus difficile à éviter); (3) son niveau d'agressivité (est-ce qu'il mord à la moindre provocation?), et (4) le volume de venin injecté, pas seulement sa puissance.

Le **meilleur traitement** pour une morsure de serpent venimeux est de serrer uniformément le membre touché pour diminuer la circulation de lymphe (qui pourrait aider à répandre le venin) et laisser le venin se dégrader. Dans les cas dangereux, un immunosérum antivenin¹ peut être administré par un personnel qualifié. La prévention est aussi très efficace : portez des bottes hautes et épaisses si vous travaillez ou marchez dans un habitat qui contient des serpents venimeux!

Tous les serpents ont une paire de glandes à la base de leur queue qui émettent des substances malodorantes (mais pas toxiques) lors d'interactions avec des prédateurs.

Eau douce versus eau de mer :

Plusieurs espèces de **serpents aquatiques** (vivant presque toujours dans l'eau, mais respirant quand même en surface avec des poumons) existent, que ce soit en milieu **d'eau douce ou en milieu marin**; ils se nourrissent de poissons et d'amphibiens. Certaines espèces doivent revenir sur terre pour déposer leurs œufs, alors que d'autres sont ovovivipares et donnent naissance à des jeunes libres dans l'eau.

Il existe **beaucoup de tortues aquatiques**, mais seulement sept espèces de **tortues marines**. Ces dernières vivent entièrement en mer, sauf brièvement pour les femelles lorsqu'elles pondent leurs œufs sur des plages.

Le crocodile de mer est le **seul crocodilien retrouvé en mer**. Malgré son nom, il passe la plupart de son temps en eau douce. On le retrouve autour de l'Indonésie.

Il existe **un seul lézard marin**, l'iguane de mer, limité aux Iles Galapagos. Il vit sur terre mais cherche sa nourriture (des algues) en mer.

¹ Un sérum est du sang duquel on a retiré les cellules sanguines et les substances qui pourraient causer de la coagulation. Un immunosérum est du sérum auquel on a ajouté des anticorps spécifiques à quelque chose, dans ce cas-ci à un venin particulier. Ces anticorps sont souvent obtenus à partir d'animaux – des chevaux, par exemple – à qui on a injecté des quantités petites mais graduellement plus grandes de venin. Certaines personnes peuvent présenter des réactions immunitaires dangereusement exagérées (allergiques) à du sérum de cheval c'est pourquoi l'injection d'immunosérum est réservée aux cas graves. Le problème peut être évité par des techniques modernes qui peuvent complètement isoler les anticorps du sérum animal.

Questions à réflexion :

- 1) Les serpents et les crocodiles ont tendance à manger de grosses proies. Dans les jours qui suivent un repas, la queue des serpents et des crocodiles augmente en volume. Que se passe-t-il?
- 2) Sautez sur l'internet et trouvez la façon de distinguer un crocodile d'un alligator (les deux appartiennent au groupe général des crocodiles). Quel truc mnémotechnique pourriez-vous utiliser pour vous rappeler de la différence? (Indice : regardez le début du mot « crocodile ».)
- 3) Quelle est la différence la plus évidente entre les jeunes crocodiles qui éclosent d'œufs déposés tôt dans la saison de reproduction versus plus tard dans la saison?
- 4) Quand les jeunes crocodiles sont prêts à sortir de l'œuf, ils commencent à émettre des vocalisations dans l'œuf. À quoi cela peut-il bien servir?
- 5) Dans le sud-est des États-Unis, il n'est pas rare de voir la tortue *Pseudemys nelsoni* enterrer ses œufs dans un nid d'alligator contenant les œufs de ce dernier. Quel est l'avantage de faire cela?
- 6) Certaines espèces de serpents et de lézards sont ovipares et d'autres sont ovovivipares. Quels sont les avantages et désavantages de l'ovoviviparité par rapport à l'oviparité? (Voici un indice pour un des avantages : les espèces ovovivipares sont plus communes à des latitudes tempérées plutôt que tropicales.)
- 7) Vous voyez brièvement un long vertébré sans patte et sans nageoire et vous vous demandez de quelle sorte d'animal il s'agit. Quelles sont les possibilités?
- 8) Vous voyez un lézard dont la queue semble peu flexible. Que dites-vous?
- 9) Chez les serpents, la queue est légèrement plus longue et épaisse chez le mâle que chez la femelle. Comment expliquer cela?
- 10) Imaginez une expérience pour démontrer que les serpents distinguent proies de non-proies grâce aux différentes odeurs de chacune d'entre elles.

- 11) Les varans ont la langue fourchue. Quelle sorte d'animal est un varan? Que pouvez-vous dire sur le fait que leur langue est fourchue?
- 12) Pouvez-vous deviner l'utilité pour les serpents d'avoir une langue fourchue correspondant à une double ouverture (droite et gauche) de l'organe de Jacobson plutôt qu'une langue non-fourchue correspondant à une ouverture unique?
- 13) Les serpents-corails (*coral snakes*) sont très venimeux et ils portent des couleurs voyantes (des anneaux rouges, jaunes et noirs). Vous rappelez-vous du nom technique de ce type de coloration? Et les couleuvres faux-coraïl (*milk snakes*) ont des patrons de couleur très similaires, mais ils ne sont pas venimeux. Vous rappelez-vous (cours de biologie générale?) de quel type de mimétisme il s'agit?
- 14) Vrai ou faux? (Et vous remarquerez un certain retour en arrière, vers les amphibiens.)
- a. Les geckos sont des lézards.
 - b. Les urodèles peuvent faire de l'autotomie.
 - c. Les scinques sont des squamates.
 - d. Les chéloniens ont des crocs à venin.
 - e. Les anoures sont amniotiques.
 - f. L'amplexus favorise l'insertion d'un hémipénis.
 - g. L'axolotl est reconnu pour sa néoténie.
 - h. Il y a plus de lézards marins que d'amphibiens marins.
 - i. Les serpents ont des organes de Jacobson.
 - j. Les tortues pratiquent la fécondation interne à l'aide de spermatophores.
 - k. La peau à écailles des reptiles fait d'eux des ectothermes.
 - l. Les serpents mangent des tritons.
 - m. Il y a une ouverture séparée pour chaque patte dans la carapace des tortues.
 - n. Les queues de lézards sont faites de cartilage.
 - o. Les batraciens ne boivent pas.
 - p. Les serpents sont sourds.
 - q. Les écailles de reptiles sont comme les écailles de poissons.
 - r. Les grenouilles peuvent se réchauffer en prenant des bains de soleil.

CHAPITRE 6

LES OISEAUX

Les oiseaux présentent les grandes caractéristiques suivantes :

1) Plumes :

Tous les oiseaux ont des plumes, et seulement les oiseaux ont des plumes (de nos jours). Les plumes sont faites de **cellules mortes remplies de kératine** et empilées les unes sur les autres. Ces cellules sont formées par mitose dans un follicule (racine) qui est en fait une partie de l'épiderme de la peau s'enfonçant dans le derme (voir le Chapitre 8).

Les plumes servent à :

- 1) Conserver la chaleur à l'intérieur du corps, en emprisonnant une couche d'air isolante (= conduisant mal la chaleur) autour du corps.
- 2) Afficher des couleurs qui peuvent camoufler l'oiseau aux yeux des prédateurs, ou au contraire rendre l'oiseau plus attrayant aux yeux du sexe opposé.
- 3) Former un panneau au niveau des membres antérieurs (= ailes), permettant le vol.

2) Vol :

Les oiseaux sont des spécialistes du vol (sauf quelques espèces exceptionnelles ayant perdu cette capacité). Voici quelques-unes de leurs adaptations au vol :

- 1) Absence de dents, ce qui **allège**. Un bec léger de kératine remplace les dents.
- 2) Plusieurs os creux, dits « pneumatiques », remplis d'air, ce qui allège.
- 3) Plusieurs os absents ou fusionnés (page 77), ce qui allège.
- 4) Sternum surdéveloppé (bréchet), pour attacher les gros muscles pectoraux du vol.
- 5) Plumes rigides pour pousser sur l'air avec les ailes, et manœuvrer avec la queue.

3) Un bec de kératine remplace les dents :

Aucun oiseau n'a de dents. **Tous les oiseaux ont plutôt un bec**. Le bec est une structure cornée faite de cellules mortes remplies de kératine et empilées les unes sur les autres (comme nos ongles) recouvrant les mâchoires osseuses inférieure et supérieure. Puisque les membres antérieurs sont transformés en ailes et ne sont plus disponibles pour manipuler proies et nourriture, les becs d'oiseaux sont devenus spécialisés dans la prise de nourriture et présentent une grande diversité de forme selon l'alimentation.

4) Œuf amniotique et hauts niveaux de soins parentaux :

Les œufs des oiseaux ont des membranes et une coquille de calcaire comme ceux des reptiles, sauf que la coquille est plus épaisse et donc plus solide. Une coquille solide permet au(x) parent(s) d'**incuber** les œufs (les garder chaud en s'asseyant sur eux) sans les briser. Malgré son épaisseur, la coquille est assez poreuse pour laisser passer l'oxygène pour soutenir le métabolisme aérobie de l'embryon en développement. Après l'éclosion, les parents donnent des **soins parentaux** additionnels en apportant de la nourriture aux jeunes, ou en les dirigeant vers les sources de nourriture, et en détournant les prédateurs.

La classe des oiseaux (Aves) est divisée en au moins 24 ordres.

Je dis « au moins 24 ordres » parce que les taxonomistes font souvent des révisions et créent de nouveaux ordres. Je ne vais pas tous les couvrir ici, me contentant plutôt de vous glisser quelques mots sur seulement quelques-uns des ordres :

Les ratites :

Presque tous les oiseaux ont un sternum surdéveloppé, avec la présence d'une grande plaque médiane, le bréchet (*keel*), qui sert de point d'attache pour les gros muscles pectoraux qui doivent abaisser l'aile (pousser sur l'air) en vol. Les **ratites** sont des oiseaux qui n'ont **pas de bréchet** (leur sternum est plat comme le nôtre et comme un radeau – le latin *ratis* veut dire « radeau ») parce qu'ils ont perdu la capacité de voler. Les ratites sont :

- l'autruche (*ostrich*) en Afrique;
- l'émeu (*emu*) en Australie;
- les casoars (*cassowary*) en Nouvelle-Guinée;
- les kiwis (*kiwi*) en Nouvelle-Zélande;
- les nandous (*rhea*) en Amérique du Sud.

Auparavant les ratites étaient regroupés dans un même ordre, les struthioniformes, mais la classification actuelle place chacun des 5 groupes ci-haut dans leurs propres ordres séparés.

Ces espèces sont anciennes : elles ont perdu la capacité de voler il y a très longtemps et n'ont pas beaucoup changé depuis.

Les manchots (ordre des sphéniciformes) :

En anglais on dit « *penguins* », mais en français on devrait dire « manchots », pas « pingouins ». En français le mot « pingouin » ne s'applique qu'à deux espèces de la famille des alcidés, le Petit pingouin (*razorbill*, au large de nos côtes) et le Grand pingouin (*great auk*, maintenant éteint). Les alcidés ne font pas partie des sphéniciformes.

Les manchots sont **anciens**. Ils ont perdu la capacité de voler et l'ont remplacé par une excellente capacité de **nager**. Les plumes des manchots sont très denses et protègent très bien contre le froid, que ce soit dans l'air ou dans l'eau. Ils se nourrissent de poissons.

Les 17 espèces de manchots ne se retrouvent **que dans l'hémisphère sud**.

Les perroquets (ordre des psittaciformes) :

Ce groupe inclut les perroquets (*parrots*), perruches (*parakeets*, *budgies*), cacatoès (*cockatoos*), aras (*macaws*) et loriquets (*lorikeets*). Absents du Canada (ils sont tropicaux), ils sont quand même bien connus du public grâce à leur popularité comme animaux de compagnie. Avec les membres de la famille des corvidés (corneilles, corbeaux, geais), les psittaciformes sont reconnus comme les plus **intelligents** des oiseaux.

Les passereaux (ordre des passériformes) :

Ce grand ordre comprend plus de 6000 espèces (environ la moitié de toutes les espèces d'oiseaux du monde) réparties entre 50-74 familles (dépendamment des opinions des taxonomistes). Ces oiseaux sont caractérisés par de bonnes adaptations pour se percher dans les arbres (comme par exemple, trois doigts vers l'avant et un doigt vers l'arrière), et donc ils sont aussi connus sous le nom d'**oiseaux percheurs**.

La majorité des espèces appartiennent au **sous-ordre des oscines** (= Passeri), caractérisé par un organe vocal (le syrinx) très bien développé, leur permettant de bien chanter. Ces oiseaux sont souvent désignés par le terme général « **oiseaux chanteurs** » (*songbirds*). Ce terme est parfois utilisé à tort pour désigner tout l'ordre des passereaux.

Les canards et les oies (ordre des ansériformes) :

Toutes ces espèces sont associées à un **milieu aquatique**, se nourrissant d'invertébrés ou de poissons (les canards) ou uniquement de plantes (les oies).

Le terme « **sauvagine** », souvent utilisé dans un contexte de chasse, fait habituellement référence à ce groupe d'oiseaux. En anglais on dit aussi « *waterfowl* ».

Le Canard colvert (*mallard*) est l'espèce de laquelle sont issus nos canards domestiques. L'Oie cendrée, d'Europe, est l'espèce de laquelle sont issues nos oies domestiques.

Les gallinacés (ordre des galliniformes) :

Ce groupe comprend les perdrix, faisans, cailles, gélinottes, dindons, téttras, et lagopèdes. Ce sont habituellement de **gros granivores** qui passent beaucoup de temps au sol.

Le terme anglais « *gamebirds* » correspond à ce groupe et reflète le fait que ces espèces sont très prisées des chasseurs.

Le Coq bankiva (*junglefowl*), d'Asie, est l'espèce sauvage de laquelle sont issus nos poules et poulets domestiques. Le Dindon sauvage, d'Amérique du Nord et Centrale, est l'espèce de laquelle sont issus nos dindes et dindons domestiques.

Les rapaces (ordre des falconiformes) :

Ce groupe, aussi appelés « **oiseaux de proie** », inclut aigles, faucons, buses, autours, balbusards, urubus, vautours, et condors. Ces oiseaux se nourrissent de viande et sont caractérisés par des becs crochus pour dépecer les carcasses animales, et par de grosses griffes acérées appelées « **serres** » (*talons*).

Dotées d'une excellente vision, la plupart des espèces volent ou planent majestueusement dans le ciel pour repérer leurs proies.

Les oiseaux de rivage (ordre des charadriiformes) :

Ce groupe, dit « **limicole** », comprend bécasseaux, pluviers, goélands, et marmettes. Ils sont spécialisés pour se nourrir sur le bord de l'eau. Certains d'entre eux (famille des alcidés), sont plutôt devenus des oiseaux de mer qui ne viennent sur terre que pour la nidification.

Autres caractéristiques des oiseaux :

Membres :

Les membres antérieurs sont devenus des ailes pour le vol. Pour alléger, les **doigts** sont réduits au nombre de 3, et ne comportent que 1-2 os (à comparer aux trois os – appelés phalanges– des cinq doigts de la plupart des mammifères).

Les membres postérieurs (pattes) servent à marcher ou à se percher. Tous les oiseaux sont **bipèdes** : ils marchent sur deux pattes. Ils sont aussi **digitigrades** : ce sont seulement leurs orteils qui touchent au sol. La cheville est surélevée. Le genou est près du corps et peu visible en temps normal. Le **nombre d'orteils** est habituellement 4, parfois 3, rarement 2 (autruche seulement), mais jamais 5. **Aucun oiseau n'est pentadactyle.**

Les pattes ont une peau recouverte d'écailles, comme la peau des reptiles (souvenez-vous que **les oiseaux sont en fait des reptiles, des descendants des dinosaures plus précisément**). Chez certaines espèces qui vivent en milieu très froid, toute la patte (ex. : gélinottes) incluant parfois même les orteils (ex. : lagopèdes) peut être recouverte de plumes plutôt que d'écailles.

Poumons :

Les poumons des oiseaux sont associés à des **sacs aériens**, c'est-à-dire à des compartiments qui entreposent l'air avant et après qu'elle passe dans les poumons. Il y a 4-5 sacs en position postérieure qui entreposent l'air avant qu'elle entre dans les poumons, et un autre 4-5 qui l'entreposent en position antérieure après que l'air soit sorti des poumons. Cet arrangement particulier fait en sorte que **l'air passe au travers des poumons** plutôt que d'y entrer et sortir par le même chemin comme dans le cas des autres vertébrés terrestres. Cela permet au sang de toujours circuler dans la direction inverse de l'air au niveau des parois du poumon, formant un système d'échange à contre-courant pour une meilleure extraction de l'oxygène de l'air. Plus de détails là-dessus dans le cours de Concepts en Physiologie Animale Comparée I.

Les sacs aériens se prolongent à l'intérieur de certains os, ce qui rend ces os creux et plus légers. On parle alors d'**os pneumatiques**.

Migration :

Les oiseaux sont bien connus pour leurs longues migrations (facilitées par le vol). Les espèces migratrices viennent aux latitudes plus élevées en été pour se reproduire, bénéficiant de la **nourriture** abondante résultant des journées plus longues. En hiver, elles retournent dans le sud à cause du manque de **nourriture** lors de notre hiver (pas vraiment pour éviter le froid, car la plupart des oiseaux sont en fait bien équipés avec leur plumage pour résister au froid).

Les espèces qui réussissent à se nourrir en hiver ne migrent pas et sont dites « **sédentaires** » (*residents*). Quelques espèces sédentaires peuvent quand même se déplacer sur de grandes distances, mais pas nécessairement à des latitudes différentes, pour trouver leur nourriture; elles sont dites « **nomades** » (*vagrants*).

Mue :

Une ou deux fois par année, dépendamment des espèces, les plumes tombent et se font remplacer par de nouvelles. C'est la mue. **La mue procède par vagues**, d'avant en arrière, et s'étale sur plusieurs semaines. Habituellement les plumes du vol (= de l'aile) sont remplacées une à une, et donc l'oiseau peut encore voler.

Les plumes constituent habituellement 5-10 % du poids total de l'oiseau (le record : 17-20 % chez le pygargue à tête blanche; le record en nombre : environ 25,000 plumes sur un cygne). La production de nouvelles plumes pendant la mue constitue donc une **dépense d'énergie considérable**. En moyenne, un oiseau mange 25 % plus pendant la mue, à comparer au reste de l'année.

Métabolisme :

Pareillement aux mammifères, mais contrairement aux autres vertébrés, les oiseaux ont un métabolisme élevé (beaucoup de réactions chimiques prennent place dans leur corps, surtout dans leurs mitochondries, libérant de la chaleur). Cela garde leur température corporelle relativement élevée (environ 40 °C). On dit qu'ils sont **endothermes**. Cela leur permet d'être actifs en tout temps, mais cela exige aussi qu'ils consomment relativement beaucoup de nourriture pour maintenir ce métabolisme élevé.

Fécondation interne :

La fécondation est interne, comme chez les reptiles. Aussi comme chez les reptiles, les spermatozoïdes sont transférés du cloaque du mâle au cloaque de la femelle lors de la copulation, par simple contact des cloaques ouverts ou, dans le cas de quelques espèces, par intromission d'une évagination à sillon (pénis) du cloaque du mâle. Et encore comme les reptiles, la femelle peut entreposer les spermatozoïdes dans des tubules connectés à son oviducte. Pour la fécondation, les spermatozoïdes doivent remonter l'oviducte de la femelle et rencontrer les ovules (qui incluent chacune un jaune d'œuf) près des ovaires. Les ovules ainsi fécondés vont descendre l'oviducte où ils se feront recouvrir par le blanc d'œuf et par la coquille dure faite de sels de calcium, avant d'être pondus dans le nid. Le jaune d'œuf et le blanc d'œuf fournissent à l'embryon toute l'eau, toutes les protéines, tous les lipides, tous les nutriments et toute l'énergie dont il a besoin pour se développer complètement en oisillon. Tout ce qu'il lui faut de l'extérieur est l'oxygène (qui diffuse par les minuscules pores de la coquille) et de la chaleur (fournie par le parent incubateur).

Chants :

Les mâles de certains poissons, grenouilles, crocodiles, et certains mammifères émettent des sons (appels) pour attirer les femelles lors de la saison de reproduction, mais c'est chez les oiseaux qu'un tel comportement a atteint son niveau le plus sophistiqué. Chez beaucoup d'espèces (pas toutes! mais quand même près de 4,500 espèces), le mâle, grâce à une boîte vocale appelée **syrix** (que les femelles ont aussi), émet une série de notes dans un ordre précis et musical. C'est le chant. **Habituellement (il y a des exceptions) c'est seulement le mâle qui chante**, surtout en période de reproduction, surtout le matin, seulement dans son territoire, pour attirer l'attention des femelles et décourager l'intrusion des autres mâles.

Éthologie ou science du comportement animal :

L'éthologie est la science qui étudie le comportement animal. De nos jours le mot « éthologie » a tendance à devenir moins populaire et à se faire remplacer par « biologie du comportement » ou « écologie comportementale ». J'ai assisté à beaucoup de congrès scientifiques sur le comportement animal au cours de ma carrière, et à la fin de chaque congrès je m'amusais à faire un décompte des divers groupes animaux qui avaient fait l'objet des études présentées au congrès. À chaque fois le résultat était le même : c'était toujours les oiseaux qui étaient les mieux représentés. Les oiseaux sont très populaires dans les études de comportement animal parce qu'ils sont :

- diurnes, tout comme nous;
- colorés, relativement gros, donc faciles à voir;
- souvent bruyants (incluant de beaux chants), donc faciles à trouver;
- pas particulièrement dangereux;
- abondants et diversifiés;
- souvent gardables en captivité.

Les oiseaux présentent souvent des comportements sophistiqués qui les rendent intéressants, comme par exemple :

- vie en groupe, avec ses avantages et désavantages;
- territorialité;
- comportements de cour élaborés de la part du mâle;
- habileté de construction de nids;
- parasitisme des nids;
- soins parentaux intenses;
- orientation remarquable lors de la migration;
- intelligence (plus communément appelée « cognition » en zoologie).

Hobby et science citoyenne (= science participative) :

Les caractéristiques des oiseaux énoncées ci-haut les rendent populaires non seulement auprès des biologistes, mais aussi auprès du public en général. Beaucoup de personnes « font de l'ornithologie », c'est-à-dire qu'elles s'amusent à observer ou photographier les oiseaux. Il y a des regroupements qui ont leur propre page Facebook (ex. : Birding NB Oiseau NB).

L'ornithologie est aussi un des rares exemples de « science citoyenne » ou « science participative », c'est-à-dire une discipline scientifique à laquelle peuvent contribuer des gens du public, non-professionnels. (Un autre exemple auquel je peux penser est l'astronomie.) En effet, les observations faites par les amateurs peuvent être cataloguées et plus tard utilisées pour documenter des baisses d'effectifs de population au fil des ans, ou des changements dans l'aire de répartition géographique de certaines espèces. Par exemple, le site web **eBird** est un endroit où les ornithologues amateurs peuvent enregistrer leurs observations, et ces données deviennent disponibles pour étude par tout le monde. Amusez-vous aussi à lire la page « **Recensement des oiseaux de Noël** » (*Christmas Bird Count*) sur Wikipedia.

Questions à réflexion :

- 1) Les perroquets, des oiseaux très intelligents, sont parfois gardés dans de petites cages. Est-ce que cela vous laisse indifférents?
- 2) On dit que les oiseaux n'ont pas de dents. Mais si vous regardez la tête d'un harle (*merganser*, ou « bec-scie », un oiseau qui attrape des poissons sous l'eau), vous pouvez voir des dents le long de son bec. Alors, les oiseaux ont-ils des dents ou non?
- 3) Est-ce que couper les plumes d'un oiseau (comme par exemple, couper certaines des plumes de l'aile pour l'empêcher de voler) fait mal à l'oiseau?
- 4) Pourquoi est-ce que les mâles d'oiseaux peuvent se permettre d'avoir des couleurs vives pour attirer les femelles, alors que les mâles de mammifères, eux, ne le font pas?
- 5) Je suis capable de dire qu'un os est un os d'oiseau juste en le tenant dans ma main. Comment cela est-il possible?
- 6) Tout comme les mammifères, les oiseaux ont un métabolisme élevé. Mammifères et oiseaux sont tous des endothermes. Mais en fait, pour un même poids corporel, les oiseaux ont un métabolisme légèrement plus élevé que les mammifères, tel que l'indique leur plus haute température corporelle : 39-41 °C pour les oiseaux; 36-38 °C pour les mammifères euthériens (= placentaires). Pourquoi cette différence?
- 7) Pendant la mue, les canards ne sont pas capables de voler. Pourquoi?
- 8) Plusieurs espèces d'oiseaux vivent en groupe. Un des avantages d'un groupe est qu'il y a plus de chances que l'approche d'un prédateur soit détectée de loin. Imaginez une expérience pour tester cette idée.
- 9) Vrai ou faux?
 - Il y a des ratites en Amérique du Sud.
 - Il y a des pingouins dans l'hémisphère nord.
 - Les « parcs de la sauvagine » ont habituellement des étendues d'eau.
 - Les passeriformes ont un bréchet.
 - Les chasseurs aiment les gallinacés.
 - Les oiseaux sont habituellement bipèdes, digitigrades, et pentadactyles.
 - Les oiseaux respirent comme nous.
 - Les oiseaux chanteurs sont de bons percheurs.
 - Pour bien tenir les branches, les oiseaux percheurs ont deux orteils vers l'avant et deux vers l'arrière.
 - Les oies vivent proche de l'eau et sont des charadriiformes.

CHAPITRE 7

LES MAMMIFÈRES

Les mammifères présentent les grandes caractéristiques suivantes :

1) Poils :

Tous les mammifères ont des poils (mais il faut bien dire que chez les dauphins et baleines les poils ne sont présents que chez l'embryon; et chez les éléphants les poils sont si courts et si fins qu'on peine à les voir).

Comme les plumes d'oiseaux, les poils sont faits de **cellules mortes remplies de kératine**, empilées les unes sur les autres, et formées par mitose dans un follicule (racine) qui est en fait une partie de l'épiderme de la peau s'enfonçant dans le derme.

Comme les plumes des oiseaux, les poils (= le pelage) servent principalement à
(1) garder le corps chaud en emprisonnant une couche d'air isolante autour du corps, et
(2) à camoufler l'animal. Contrairement aux plumes d'oiseaux, les poils ne servent pas à donner des couleurs impressionnantes aux yeux du sexe opposé, ni au vol.

2) Glandes mammaires :

Tous les mammifères (femelles) et seulement les mammifères peuvent allaiter leurs jeunes. Plutôt que d'apporter de la nourriture aux jeunes comme le font les oiseaux, la mère mammifère accumule des réserves énergétiques sous forme de graisse avant la période de reproduction, et elle utilise ces réserves pour la manufacture de lait avec ses glandes mammaires (des glandes cutanées modifiées). Le jeune peut se développer uniquement à partir des nutriments contenus dans le lait, et cette source de nourriture est disponible peu importe la météo (tant que la mère est présente).

3) Un seul os constitue chaque côté de la mâchoire inférieure :

Les mammifères sont les seuls animaux chez qui la mâchoire inférieure est faite **d'un seul os, le dentaire**, plutôt que plusieurs os fusionnés.

Les dents sont ancrées dans des puits dans le dentaire. Elles sont remplacées une seule fois (pas plusieurs fois comme dans le cas des poissons ou des reptiles). Elles sont différenciées pour diverses fonctions (incisives pour couper, canines pour attraper ou déchirer, prémolaires et molaires pour mousser) et le nombre de ces différentes sortes de dents sur les mâchoires supérieure et inférieure varie d'une espèce à l'autre (= **la formule dentaire**) et aide donc à identifier les espèces (à revoir en classe).

4) Trois osselets dans l'oreille moyenne :

Au cours de l'évolution des mammifères (et on peut le voir lors de l'embryogénèse), les os de la mâchoire autres que le dentaire ont migré vers l'oreille. Les mammifères sont les seuls animaux chez qui la vibration du tympan de l'oreille est retransmise aux organes sensoriels de l'oreille interne par une succession de trois osselets (**marteau, enclume, étrier**) plutôt que par un seul os (**columelle**) comme chez les oiseaux et les reptiles.

5) Les deux cavités nasales sont séparées de la cavité buccale par une cloison (le palais) :

Une cloison osseuse (= le **palais osseux**) accompagné du côté postérieur par une cloison musculaire (= le **palais mou**) isole complètement la cavité buccale (en dessous du palais) des deux cavités nasales (droite et gauche) au-dessus. La seule connexion entre ces cavités est au niveau de la gorge en position postérieure. Le palais unit les deux côtés de la mâchoire supérieure et les renforce. Il permet aussi au jeune de téter tout en continuant à respirer. De façon similaire, il permet à l'adulte de mâcher tout en continuant à respirer. Finalement, il permet aux cavités nasales de bien réchauffer et humidifier l'air inspiré qui va entrer dans les poumons (les mammifères étant endothermes, ils ont besoin de beaucoup d'énergie et ils aspirent beaucoup d'air) pour ne pas endommager les poumons.

6) Diaphragme :

Une **cloison musculaire** appelé « diaphragme » sépare l'intérieur du corps en une **cavité thoracique** d'une part, contenant les poumons et le cœur, et une **cavité abdominale** d'autre part, contenant les organes dits « viscéraux » (estomac, intestin, foie, pancréas, reins, vessie, gonades).

Le diaphragme est, avec le mouvement des côtes, **impliqué dans la respiration**. En se contractant il augmente le volume de la cavité thoracique, ce qui augmente le volume des poumons, ce qui aspire l'air dans les poumons. Lorsque le diaphragme se détend, l'élasticité naturelle des poumons expulse l'air, comme une balloune qui se dégonfle.

Les crocodiles ont, indépendamment des mammifères, évolué une structure un peu similaire. Sauf cette exception, seuls les mammifères ont un diaphragme.

7) Viviparité :

L'œuf (= ovule fécondé) des mammifères est **amniotique**, mais chez les mammifères euthériens (= placentaires) il n'est pas entouré par une coquille, et l'embryon qui en résulte se développe entièrement dans le système reproducteur de la mère, plus précisément dans la paroi de l'utérus. À cet endroit l'embryon est maintenu par le **placenta**, un organe dans lequel la circulation sanguine de la mère vient tout près de celle de l'embryon – mais les deux sangs ne se mélangent pas – et peut échanger avec elle des nutriments, gaz respiratoires, et déchets métaboliques. La mère donne naissance à un jeune relativement bien formé. Les mammifères placentaires sont donc vivipares et représentent en fait l'apothéose évolutive de la viviparité.

La **fécondation est interne**. Le mâle a un organe copulateur, le pénis, dont l'érection est assurée soit par un engorgement sanguin, soit par un os appelé « os pénien » ou « baculum ». Les mammifères placentaires n'ont pas de cloaque; le système reproducteur a sa propre ouverture directement à l'extérieur : le méat urétral chez le mâle et le vagin chez la femelle. Les spermatozoïdes sont déposés dans le vagin par le pénis, remontent le système reproducteur femelle jusqu'à proximité des ovaires où ils fécondent les ovules. Les zygotes qui en résultent descendent jusque dans l'utérus, dans la paroi duquel ils s'implantent (c'est-à-dire, développent leur placenta).

Les exceptions (page suivante) sont des mammifères plus « primitifs », plus anciens : les monotrèmes, qui ont un cloaque et qui pondent des œufs avec une coquille flexible, et les marsupiaux, chez qui les femelles ont un cloaque mais qui donnent quand même naissance à des jeunes, bien que peu développés.

La **classe des mammifères (Mammalia)** est divisée en 26 ordres.

Tout comme pour les oiseaux, je ne vais pas couvrir tous les ordres de mammifères ici. Je me contente de dire quelques mots sur quelques groupes seulement.

On peut diviser la classe des mammifères en trois sous-classes :

1) **Les monotrèmes** : Échidnés et ornithorynque.

4 espèces d'échidnés et 1 espèce d'ornithorynque, vivant en Australie ou en Nouvelle-Guinée.

Mammifères primitifs qui **pondent des oeufs** comme les reptiles et les oiseaux mais qui, comme tous les mammifères, **allaitent les petits qui en sortent**.

Les oeufs sont incubés pendant environ 10 jours dans un nid (ornithorynque) ou dans un repli de peau abdominale (échidnés). Les jeunes qui éclosent lèchent le lait produit sur les poils par des glandes mammaires plus ou moins diffuses au niveau de l'abdomen de la mère.

Comme les reptiles et les oiseaux, mais contrairement aux autres mammifères, ils ont un **cloaque**, et un os additionnel (le procoracoïde) au niveau de leur ceinture scapulaire.

Comme les oiseaux ils n'ont pas de dents. Leur museau est recouvert d'un étui de kératine. Dans le cas de l'ornithorynque, cet étui ressemble à un bec de canard.

2) **Les marsupiaux** : Kangourous, wallabys, koalas, opossums, diable de Tasmanie, souris marsupiales, taupes marsupiales, etc.

Environ 260 espèces, presque toutes en Australie et en Nouvelle-Guinée. (Huit espèces sont présentes en Amérique du Sud, et une seule espèce, l'opossum de Virginie, est présente en Amérique du Nord – mais pas au N.-B.)

Vivipares. **Gestation très courte** (2-5 semaines) assisté par un placenta (connexion entre fœtus et mère) très rudimentaire. Le jeune qui naît est peu développé mais peut quand même ramper jusque dans la poche marsupiale de la mère (un repli de peau sur l'abdomen), où se trouvent des mamelons connectés à des glandes mammaires. Se nourrissant de lait, le jeune termine son développement dans cette poche, appelée « **marsupium** ».

Seules les femelles ont un marsupium.

3) **Les euthériens** : Tous les autres mammifères.

Synonyme : les placentaires (placenta plus développé que chez les marsupiaux).

Vivipares. La **gestation dure longtemps**, assisté par un **placenta bien développé**. Le placenta est un organe d'échange de nutriments, gaz respiratoires, et déchets métaboliques entre l'embryon/fœtus et la mère. Le jeune qui vient au monde (= parturition, accouchement) est assez bien développé. Les glandes mammaires sont bien développées chez les femelles, et plus actives/grosses chez les mères.

Voici **quelques-uns** des **ordres** de mammifères euthériens/placentaires :

Les chiroptères : Chauve-souris.

Petits mammifères capables de voler, grâce à une peau qui s'étend entre leurs doigts allongés. Nocturnes, ils peuvent faire de l'écholocation. Se nourrissent surtout d'insectes, mais quelques espèces sont spécialisées pour attraper de petits vertébrés, ou manger des fruits, ou sucer du sang (3 espèces de vampires en Amérique du Sud).

Les cétacés : Baleines, rorquals, cachalot, dauphins, marsouins, épaulards.

Gros mammifères passant toute leur vie dans la mer. Leur queue est horizontale alors que celle des poissons est verticale. Et les cétacés n'ont pas de nageoires pelviennes.

Les primates : Loris, lémurs, tarsiers, singes, grands singes (les grands singes sont sans queue : il s'agit de l'orang-outan, gorille, chimpanzé, bonobo, et humain).

Mammifères surtout arboricoles, avec une excellente vision, et intelligents.

Les carnivores : Félics (lions, tigres, chats, etc.), hyène, mangoustes, canidés (coyotes, loups, renards, chiens), belettes, moufettes, ratons-laveurs, ours, phoques et otaries.

Spécialisés à chasser d'autres vertébrés, incluant d'autres mammifères.

Les rongeurs : Souris, rats, campagnols, écureuils, castors, porc-épic, hamsters.

Petits mammifères avec des incisives bien développées qui poussent sans cesse, pour gruger de la nourriture végétale. 40% de toutes les espèces de mammifères!

Les lagomorphes : Lapins, lièvres, pika.

Ressemblent à des rongeurs, mais généralement plus gros, avec de grandes oreilles, et des pattes postérieures allongées pour bien courir en milieu ouvert.

Les périssodactyles : Chevaux, zèbres, rhinocéros, tapirs.

Un des deux ordres **d'ongulés**, c'est-à-dire des animaux qui marchent sur leurs ongles transformés en sabots, une adaptation pour la course rapide. Les périssodactyles ont un **nombre impair de doigts**; un seul d'entre eux, le médian, forme un sabot. Herbivores.

Les artiodactyles : Chevreuils, orignaux, antilopes, cochons, hippopotames, chameaux, girafes, chèvres, mouflons et moutons, vaches.

L'autre ordre **d'ongulés**. Ils ont un **nombre pair de doigts**. Seulement deux de ces doigts sont transformés en sabots et touchent au sol (*cloven-hoofed mammal*). Herbivores.

Autres caractéristiques et considérations des mammifères :

Testicules hors de la cavité abdominale :

Les mammifères sont les seuls vertébrés terrestres chez qui les testicules des mâles ne demeurent pas dans la cavité abdominale, mais migrent plutôt, lors de l'embryogénèse, jusque dans un sac de peau, appelé le **scrotum**, situé en dehors de la cavité abdominale près de la base du pénis (habituellement en position postérieure au pénis comme chez l'humain, mais parfois en position antérieure comme chez les marsupiaux et les lapins). On appelle cette migration embryonnaire la « **descente des testicules** ».

Cette situation se retrouve chez la majorité des mammifères. Parmi les exceptions, il y a des espèces où les testicules ne migrent pas du tout; elles demeurent près des reins (comme pour les autres vertébrés) : ornithorynque, échidnés, éléphants, oryctérope (*aardvark*), lamantins (*manatees*), damans (*hyraxes*), paresseux (*sloths*), fourmiliers (*anteaters*), et tatous (*armadillos*). Il y a aussi des espèces où les testicules migrent loin des reins, mais demeurent quand même à l'intérieur de la cavité abdominale : hérissons, taupes, rhinocéros, hippopotame, dauphins et baleines, certains phoques, et les pangolins. Finalement, il y a des espèces où les testicules descendent dans le scrotum pendant la saison de reproduction, mais reviennent dans la cavité abdominale le reste du temps : plusieurs rongeurs et chauve-souris.

Chez les espèces où la descente des testicules dans un scrotum a évolué, la spermatogénèse se fait mieux à des températures 2-3 °C inférieures à celle de l'abdomen. Est-ce que la descente des testicules a évolué suite à cet effet de température, ou est-ce qu'à l'inverse c'est l'effet de température qui aurait évolué suite à la descente des testicules qui, elle, aurait évolué pour d'autres raisons encore méconnues? La question est encore mystérieuse.

Écholocation :

L'écholocation est la capacité de détecter la position d'un objet en émettant un ultrason et en écoutant l'écho qui rebondit de l'objet. Deux groupes de mammifères ont indépendamment évolué cette capacité : **les chauves-souris, et les baleines à dents (ex. : dauphins, orques, cachalots)**. La véritable (= basée sur des sons très aigus) écholocation ne se retrouve que chez les mammifères, peut-être à cause du fait que leurs trois osselets de l'oreille moyenne (plutôt qu'un seul comme chez les oiseaux et les reptiles) leur permettent de mieux entendre les sons très aigus. (Le guacharo des cavernes –*oilbird*–, un oiseau nocturne, peut faire quelque chose un peu similaire à l'écholocation : il peut détecter les réverbérations de ses sons normaux – pas des ultrasons – dans une caverne et ainsi éviter d'entrer en collision avec les murs de la caverne en pleine noirceur.)

Mammifères venimeux :

Très peu de mammifères sont venimeux. Quelques espèces de musaraignes et de solénodontes (une sorte de musaraigne primitive) ont une salive empoisonnée qui les aide à tuer leurs proies. Le seul autre cas est l'**ornithorynque**. Tous les monotrèmes ont un éperon corné à l'arrière de leur cheville postérieure, connecté à une glande à venin. Chez les femelles, ce système se dégénère pendant la première année de la vie. Chez les échidnés mâles, le système persiste mais ne semble pas être utilisé. Mais les ornithorynques mâles, eux, sont connus pour injecter un venin inflammatoire avec cet éperon. La fonction de ce système est quelque peu mystérieuse : la défense contre les prédateurs semble évidente, mais alors pourquoi les femelles perdent-elles leur système?

Métabolisme :

Tout comme les oiseaux, les mammifères sont des **endothermes**. Ils ont un haut métabolisme, et la chaleur dégagée par leur grande densité de mitochondries garde la température de leur corps relativement élevée, ce qui leur permet de demeurer actifs dans une grande diversité de conditions, au prix d'avoir à manger plus. À noter qu'il y a quand même des différences de métabolisme et de température corporelle entre les grands groupes de mammifères:

Mammifères monotrèmes:	30-31 °C
Mammifères marsupiaux:	34-36 °C
Mammifères placentaires:	36-38 °C

Absence de cloaque :

Chez les amphibiens, reptiles, et oiseaux, les conduits des systèmes digestif, urinaire, et reproducteur débouchent tous les trois dans une cavité terminale appelé cloaque, qui s'ouvre à l'extérieur par **une seule ouverture, l'anus**. **Cette situation persiste chez les monotrèmes**. Un cloaque est aussi présent chez le jeune embryon des mammifères placentaires, mais des changements surviennent plus tard dans l'embryogénèse pour mener à une condition finale différente à la naissance :

Le mammifère **placentaire mâle a deux ouvertures** : le système digestif débouche directement à l'extérieur par l'anus, tandis que les conduits du système urinaire et du système reproducteur finissent par s'unir au niveau d'un seul tuyau, l'urètre, dont l'ouverture vers l'extérieur, le méat urétral, est au bout du pénis. Les mammifères mâles sont les seuls animaux qui utilisent un organe copulateur pour uriner.

Le mammifère **placentaire femelle a soit deux, soit trois ouvertures**. Chez certains rongeurs et primates (incluant l'humain), il y a trois ouvertures séparées : anus (digestif), vagin (reproducteur) et méat urétral (urinaire). Chez tous les autres mammifères placentaires femelles, il y a deux ouvertures : l'anus (digestif) et le sinus urogénital, un genre de semi-cloaque où débouchent les conduits du système reproducteur et du système urinaire.

Diversité :

Les mammifères sont remarquables par la grande diversité d'habitats qu'ils ont conquis. Il y a des mammifères en milieu terrestre bien sûr, mais aussi dans les airs (chauve-souris), dans la mer (cétacés, phoques), dans l'eau douce (castors, rats musqués, etc.), sous terre (taupes, rats-taupes), ou dans les arbres (écureuils, singes, etc.). Il y a des mammifères dans les montagnes (bouquetins, etc.), dans les milieux semi-désertiques très chauds (fennec, rats kangourous) ou dans les habitats polaires très froids (ours polaire, renard arctique). Il y a des mammifères qui sont gigantesques (baleine bleue de 136,000 kg = 2000 fois votre poids) et d'autres minuscules (musaraigne étrusque et chauve-souris bourdon de 2 g = un peu moins que le poids d'un 10 cents).

Domestication :

Une espèce animale peut être dite domestique si elle vit en captivité et que l'humain contrôle sa reproduction et son accès à la nourriture.

La grande majorité des espèces domestiquées par l'humain sont des mammifères. Plusieurs mammifères sont gros, ce qui veut dire qu'ils peuvent représenter une bonne source de nourriture (viande, lait) ou de produits (ex. : laine) pour l'humain, ou qu'ils sont assez forts pour servir de moyen de transport ou pour tirer des charrues.

Mais **ce ne sont pas tous les mammifères qui sont domesticables**. Ce ne sont pas toutes les espèces qui acceptent de se reproduire en captivité, qui sont assez calmes pour tolérer la proximité d'un humain, et qui sont assez flexibles en termes de leurs besoins en nourriture.

Voici les principales espèces de mammifères domestiques :

Animal	Ancêtre sauvage	Domestiqué depuis	Principale utilité
Chien	Loup <i>Canis lupus</i>	15,000 ans min.	Compagnie Avertissement Assistant de chasse
Chèvre	Chèvre sauvage <i>Capra aegagrus</i>	10,000 – 11,000 ans	Nourriture Laine
Mouton	Mouflon <i>Ovis orientalis</i>	10,000 – 11,000 ans	Nourriture Laine
Vache / Boeuf	Auroch <i>Bos primigenius</i>	10,000 ans	Nourriture Transport et trait
Chat	Chat sauvage <i>Felis sylvestris</i>	9,000 – 10,000 ans	Compagnie Contrôle des rongeurs
Cochon	Sanglier <i>Sus scrofa</i>	9,000 ans	Nourriture
Lama	Guanaco <i>Lama guanicoe</i>	7,000 ans	Transport Laine
Chameau	Chameau sauvage <i>Camelus ferus</i>	5,000 ans	Transport
Cheval	Cheval sauvage <i>Equus ferus</i>	5,000 ans	Transport et trait
Cochon d'Inde	Cobaye sauvage <i>Cavia aperea</i>	2,000 ans	Nourriture Compagnie
Lapin	Lapin commun <i>Oryctolagus cuniculus</i>	1,000 ans	Nourriture Laine
Souris de labo	Souris grise <i>Mus musculus</i>	100 – 200 ans	Recherche scientif.

L'importance des mammifères en tant qu'espèces domestiques implique que la très grande majorité des **vétérinaires** sont des spécialistes des maladies de mammifères.

Le fait que les mammifères soient des endothermes implique qu'ils sont actifs. Beaucoup sont aussi intelligents. Cela a des implications sur les dimensions et l'enrichissement des **conditions de captivité** auxquelles les mammifères captifs devraient être exposés.

Questions à réflexion :

- 1) « Monos » veut dire « un seul », « trema » veut dire « orifice ». Pourquoi a-t-on donné le nom « monotrèmes » aux échidnés et à l'ornithorynque?
- 2) Il existe une espèce de dauphins (exceptionnellement, elle vit en eau douce, en Amazonie) qui est aveugle (l'eau est très peu claire). Comment se débrouille-t-elle?
- 3) À quel ordre de mammifères appartiennent la plupart des animaux domestiques?
- 4) Les os des vertébrés sont faits de sels de calcium (l'hydroxyapatite, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). Il y a un moment dans la vie d'un mammifère où l'animal perd un assez bon pourcentage du calcium de ses os (ça peut aller jusqu'à 50%). Quel est ce moment?
- 5) Pourquoi est-ce que les manteaux de fourrure sont particulièrement chauds? Y en a-t-il qui sont meilleurs que d'autres à cet égard? (On se reparle de ceci au prochain chapitre, mais on peut quand même commencer à y penser maintenant...)
- 6) Quelles sont les caractéristiques reptiliennes conservées chez les échidnés?
- 7) Vrai ou faux?
 - 1) Les monotrèmes ont un scrotum.
 - 2) Les lagomorphes sont de bons coureurs.
 - 3) Tous les marsupiaux ont un marsupium.
 - 4) Les euthériens sont vivipares.
 - 5) Les cétacés n'ont pas de poils.
 - 6) Les chiroptères mangent des insectes.
 - 7) Le placenta est caractéristique des mammifères.
 - 8) Les ongulés sont digitigrades.
 - 9) Les marsupiaux sont seulement en Australie.
 - 10) Seuls les mammifères ont un marteau, une enclume, et un destrier.
 - 11) Les ornithorynques n'ont pas de glandes mammaires.
 - 12) Un mammifère de 15 g a besoin de plus de nourriture qu'un reptile de 15 g.
 - 13) Seuls les mammifères ont un diaphragme.
- 8) Combien de prémolaires au total possède le mammifère dont la formule dentaire est $\frac{2}{0} \frac{1}{1} \frac{2}{3} \frac{3}{3}$?

CHAPITRE 8

LE SYSTÈME TÉGUMENTAIRE DES VERTÉBRÉS

Téguments = Peau (le plus gros organe du corps), ongles, poils, écailles, cornes, bec, griffes, sabots.

Bref, le système tégumentaire est tout ce qui constitue l'**enveloppe corporelle**.

RÔLES DU SYSTÈME TÉGUMENTAIRE :

- 1) Protection contre la déshydratation, contre la perte d'eau par le corps.
- 2) Protection contre les rayons ultra-violets (UV) du soleil.
- 3) Protection contre les attaques bactériennes et virales.
- 4) Protection contre les prédateurs, par la production de substances toxiques, ou par la présence de mucus, écailles, épines, cornes, armure; ou par des couleurs de camouflage.
- 5) Protection contre le froid et les pertes de chaleur (ex. : poils et plumes).
- 6) Protection contre la chaleur excessive (ex. : production de sueur, vasodilatation périphérique).
- 7) Transmission de signaux visuels, par l'intermédiaire de couleurs particulières.
- 8) Détection de divers paramètres environnementaux par des récepteurs sensoriels.
- 9) Développement de structures utiles dans l'obtention de nourriture, comme les becs et les griffes.
- 10) Développement de structures utiles pour la locomotion, comme les sabots, les plumes des ailes, ou le mucus des poissons et des amphibiens diminuant la friction avec l'eau.

KÉRATINE : Tous les téguments de vertébrés sont, de façon générale, formés de kératine.

La kératine est une **longue protéine** qui a tendance à s'enrouler autour d'autres molécules de kératine pour former des filaments durs. Il peut y avoir des variations dans la séquence exacte d'acides aminés dans la molécule de kératine, donnant naissance à des structures plus dures que d'autres. Les structures kératinisées les plus dures (e.g. ongle, griffe, bec, corne, callosité) sont souvent dites « cornées ».

La kératine est insoluble, une bonne qualité pour former des téguments.

La kératine est produite par des cellules appelées **kératinocytes**. Les structures « cornées » sont des amas de kératinocytes bien remplis de kératine et devenus morts.

Nous allons commencer par nous familiariser avec le système tégumentaire humain, et ensuite regarder comment celui des autres mammifères et des autres vertébrés s'y compare.

COUCHES DE LA PEAU:

- 3 couches:
- épiderme (épi = par dessus), la couche la plus superficielle;
 - derme (derm = peau), la couche intermédiaire;
 - hypoderme (hypo = en dessous), la couche la plus profonde.

Épiderme:

Structure: L'épiderme est fait de plusieurs couches de cellules remplies de **kératine**.

Processus de formation: Les **kératinocytes** les plus profonds font beaucoup de mitose, continuellement. Les nouvelles cellules poussent les plus anciennes vers la surface. À mesure que les cellules migrent vers la surface, elles se remplissent de lipides et de beaucoup de kératine et finissent par mourir. Rendues à la surface, ces cellules mortes éventuellement se détachent (et forment de la poussière dans nos maisons!)

Derme:

Le derme est fait d'un tissu conjonctif (= cellules ± isolées dans un liquide rempli de fibres).

Le derme donne à la fois flexibilité et fermeté à la peau, grâce à la présence, entre les cellules, de **fibres de collagène** (une protéine « collante ») et **d'élastine** (une protéine élastique).

Le cuir est une peau (de vache, par exemple) déshydratée et traitée pour garder presque seulement le collagène du derme et le renforcer. Quand vous portez un manteau de cuir, essentiellement vous portez du collagène de peau de vache.

Les rides sont un affaiblissement localisé des fibres du derme. La peau devient moins ferme à cet endroit et forme alors un repli.

Sont aussi présents dans le derme (mais pas dans l'épiderme) **vaisseaux sanguins, récepteurs sensoriels, et nerfs**. La racine des poils et diverses glandes cutanées sont situées au niveau du derme, mais sont en fait formées d'une partie du tissu épidermique qui s'enfonce dans le derme.

Hypoderme:

L'hypoderme est fait de cellules spécialisées dans l'**entreposage de lipides**. On parle alors de « tissu adipeux » et de « graisse sous-cutanée ».

Cette graisse sert à :

- entreposer de l'énergie à long terme;
- absorber les chocs;
- isoler contre les pertes de chaleur.

L'hypoderme a tendance à être plus épais à certains endroits (abdomen, fesses, bras). Partout autour du corps, il a aussi tendance à être plus épais chez les femmes que chez les hommes (probablement pour permettre aux femmes d'entreposer de l'énergie en prévision des grossesses et lactations qu'elles auront – ça prend de l'énergie pour développer un enfant en soi!).

COULEUR DE LA PEAU:

Pigment: Molécule qui absorbe certaines longueurs d'onde de la lumière et qui en reflète d'autres. Par exemple, un pigment bleu est une molécule qui absorbe toutes les longueurs d'onde visibles sauf le bleu (le bleu est reflété, et donc on peut le voir). La lumière absorbée est transformée en chaleur.

Noir: Absence de lumière. Un pigment noir absorbe toutes les longueurs d'onde de la lumière visible, et donc n'en reflète aucune.

Blanc: Somme de toutes les longueurs d'onde. Un pigment blanc reflète toutes les longueurs d'onde de la lumière visible.

Carotène: Pigment jaunâtre ou orangé de la peau.

Il contribue relativement peu à la couleur de la peau, sauf chez les gens qui mangent trop de carottes (leur peau devient alors anormalement orangée).

Mélanine: Pigment en général **noirâtre ou brun foncé (eumélanine)**, bien que certaines formes soient aussi **rougeâtres ou dorées (phéomélanine)**.

La mélanine est produite par des cellules, appelées mélanocytes, situées juste au-dessus de l'interface entre le derme et l'épiderme. Des projections permettent aux mélanocytes de transférer leur mélanine aux kératinocytes qui forment l'épiderme et les poils.

Le rôle principal de la mélanine est **l'absorption des rayons ultra-violet** (UV) du soleil, empêchant ces derniers de causer des dommages dans l'ADN des cellules de la peau. La mélanine est donc un écran solaire naturel.

Les **différentes couleurs de peau** chez les groupes humains sont presque toujours causées par différentes quantités de mélanine. La quantité de mélanine dans la peau est un **compromis** entre la protection contre les rayons UV et la production bénéfique d'un précurseur de la **vitamine D** dans la peau par les rayons UV. Plus le soleil est fort, plus la protection devient nécessaire, et plus la peau est foncée. Si le soleil est moins fort, il vaut mieux avoir moins de mélanine pour permettre une bonne production de vitamine D. (La vitamine D, une fois activée, joue un rôle important dans l'absorption intestinale du calcium.)

Le **bronzage** est la stimulation des mélanocytes par les rayons ultra-violet du soleil. Les mélanocytes produisent alors plus de mélanine, ce qui noircit la peau et protège mieux le corps contre ces rayons UV si abondants à cette période de l'année.

Les **taches de rousseur** sont causées par une prolifération localisée de mélanocytes. Les points noirs et les marques de naissance sont aussi dus à une répartition inégale de mélanocytes.

Rougisement

La teinte rosée de la peau est due à la présence de sang (rouge) dans les vaisseaux sanguins du derme. Tout phénomène de rougisement de la peau est relié à une augmentation de la quantité de sang qui circule dans le derme. Cette augmentation est le résultat de la **vasodilatation** (augmentation du diamètre) des vaisseaux sanguins du derme.

Besoins thermorégulateurs :

Quand on a chaud, notre peau devient souvent plus rouge. C'est une réponse du corps pour perdre de la chaleur. Le sang est chaud (il prend la chaleur produite par les organes dans lesquels le sang passe) et plus il y a de sang amené en surface du corps (donc dans la peau), plus il y a de chaleur qui peut diffuser en dehors du corps. Cet apport accru de sang se fait par « **vasodilatation périphérique** » (augmentation du diamètre des vaisseaux sanguins en périphérie du corps, c'est-à-dire dans la peau). Quand on a froid, c'est le contraire qui survient (**vasoconstriction périphérique**) et la peau pâlit parce qu'il y a moins de sang qui y circule.

Coup de soleil:

Les coups de soleil sont un rougisement de la peau causé par une augmentation de l'apport sanguin à la peau, suite à une forte exposition au soleil. Cela permet d'amener les matériaux nécessaires à la **réparation des structures** de la peau endommagées par la forte exposition aux rayons UV du soleil.

Avec votre pouce, pesez sur la peau rouge d'un coup de soleil. Retirez soudainement votre pouce. Pendant une fraction de seconde, votre peau apparaît de couleur normale et puis redevient rouge. En pesant avec votre pouce vous avez écrasé les vaisseaux sanguins, enlevant le sang, et donc enlevant la contribution sanguine à la couleur de votre peau. Après avoir enlevé le pouce, il y a une fraction de seconde où il n'y a toujours pas de sang dans la peau, et donc votre peau n'apparaît pas rouge.

Faites le même exercice avec une peau bronzée. Tout de suite après avoir enlevé le pouce, la peau apparaît quand même bronzée. Le bronzage vient de la présence de mélanine dans les mélanocytes et les kératinocytes, et peser sur la peau avec le pouce ne réussit pas à chasser cette mélanine.

Lèvres rouges:

Les lèvres apparaissent plus rouges que la peau avoisinante. C'est parce que **l'épiderme est très mince au niveau des lèvres**, tellement mince qu'il est plus transparent et on voit mieux le sang rouge qui circule dans le derme sous-jacent.

Pâleur de peur :

Diminution de l'apport sanguin à la peau face à un danger, probablement pour minimiser la perte de sang si ce danger (prédateur, compétiteur, monstre) nous blesse de façon superficielle.

Jaunisse

La **bilirubine** est un pigment jaunâtre qui est un des produits de dégradation de la vieille hémoglobine du sang. (L'hémoglobine est la molécule, de couleur rouge, elle, qui sert à transporter l'oxygène dans le sang.)

Normalement le foie élimine la bilirubine du sang en la mettant dans la bile, une substance qui se fait déverser dans l'intestin. Chez les gens dont le foie fonctionne mal, cette élimination se fait mal, la bilirubine reste dans le sang, et ce dernier prend alors une couleur un peu jaunâtre. Le sang qui circule dans le derme donne alors à la peau une teinte un peu jaunâtre (= jaunisse).

Les grands alcooliques ont souvent la peau jaunâtre parce que l'alcool endommage le foie à tel point que ce dernier ne parvient plus à bien éliminer la bilirubine.

Ecchymose (ce qu'on appelle souvent un « bleu »)

Zone rougeâtre, bleuâtre, jaunâtre, et/ou verdâtre de la peau causée par une accumulation de sang coagulé dans le derme.

La couleur jaune vient de la **bilirubine** suite au bris de l'hémoglobine.

La couleur verte vient de la **biliverdine**, un pigment verdâtre qui est un autre produit de dégradation de l'hémoglobine.

La couleur bleue vient de l'**hémoglobine** qui, dans la masse coagulée, prend une couleur rouge foncée. Le derme, où se trouve la masse de sang coagulé, a alors tendance à absorber les longueurs d'onde plus longues comme le rouge (foncé veut dire pas beaucoup de lumière réfléctée) tandis que l'épiderme superficiel continue à refléter préférentiellement les longueurs d'onde courtes, comme le bleu. (Le même principe explique le bleuissement d'une peau mal oxygénée, car le sang mal oxygéné prend une teinte rouge foncée.)

Couleurs structurales

Les couleurs causées par des molécules (pigments) qui absorbent ou reflètent seulement certaines longueurs d'onde sont appelées des **couleurs pigmentaires**.

Il existe aussi des **couleurs structurales** qui viennent de l'absorption ou la réflexion de certaines longueurs d'onde par des structures plutôt que par des molécules individuelles.

La couleur bleue des yeux est une couleur structurale. Elle vient de la diffusion (« diffusion de Rayleigh ») de courtes longueurs d'onde (= bleu) par une couche transparente reposant sur une couche de mélanine (qui, elle, absorbe les autres longueurs d'onde) dans l'iris de l'oeil. Puisqu'on parle de couches plutôt que de molécules individuelles, on considère le bleu des yeux comme étant une couleur structurale. (Si la première couche, au lieu d'être transparente, contient de la mélanine brune, on a alors des yeux bruns. Les yeux verts, eux, sont un mélange de diffusion structurale du bleu et de réflexion pigmentaire du brun.)

GLANDES CUTANÉES:

Glande: ensemble de cellules pouvant sécréter une substance.

Cutané: relatif à la peau.

Glandes sudoripares

Responsables de la production de **sueur**, déversée à la surface de la peau. La sueur est essentiellement de l'eau. Lorsque cette eau s'évapore à la surface de la peau, elle « absorbe » beaucoup de chaleur, ce qui refroidit notre corps.

Il y a un peu de NaCl dans la sueur (un peu, mais quand même, si on transpire vraiment beaucoup, la perte de NaCl peut finir par devenir importante; les boissons sportives sont souvent salées pour compenser cette perte).

La sueur contient aussi un peu d'acide lactique, qui peut se volatiliser (passer sous forme gazeuse dans l'air) et être détecté par les moustiques. C'est une des façons pour les moustiques de trouver notre peau nue. (À distance, ils détectent notre CO₂ expiré.)

À noter qu'on transpire toujours un peu, même quand on n'a pas particulièrement chaud. Donc les maudits moustiques peuvent toujours trouver notre peau nue.

Transpiration émotionnelle: la nervosité ou le stress augmente l'activité des glandes sudoripares, surtout au niveau des aisselles et de la paume des mains. On ne sait pas très bien pourquoi. Cependant on sait que chez les singes arboricoles (donc probablement chez nos ancêtres évolutifs aussi), avoir les mains moites face à un prédateur permet une meilleure poigne des branches, pour mieux s'enfuir.

Glandes sébacées:

Production d'une huile (le « **sébum** », à base de lipides) à la base des poils. Le sébum se répand sur la peau, empêche le dessèchement (les lipides sont insolubles), et rend la vie dure à certaines bactéries (mais pas à toutes les bactéries; certaines se sont même spécialisées pour se nourrir spécifiquement de sébum!).

L'**acné** est une inflammation d'une glande sébacée qui s'est fait envahir par des bactéries. À la puberté, il y a une grande production d'hormones sexuelles, ce qui stimule l'activité des glandes sébacées, ce qui stimule soudainement la croissance des bactéries se nourrissant de sébum. Ces bactéries prolifèrent trop à l'intérieur de certaines glandes; notre système immunitaire réagit en envoyant plus de sang à ces glandes pour y apporter plus d'agents de combat (les globules blancs). Le plus grand apport de sang cause l'enflure et la couleur rouge du bouton d'acné.

Nos lèvres sont souvent sèches car leur derme ne contient pas de glandes sébacées. Il faut s'humecter les lèvres avec notre langue, ou se mettre du baume pour les lèvres.

Le sébum est un ensemble de lipides, et donc il se mélange mal à l'eau (les lipides sont insolubles dans l'eau). Les poussières et saletés qui se mélangent au sébum à la surface de notre peau sont donc difficiles à laver avec de l'eau. Il faut utiliser du savon pour que l'eau puisse se mélanger au sébum et ainsi enlever le sébum sale quand on se lave.

POILS:

Les poils (et cheveux) sont faits de **cellules kératinisées** et mortes, empilées et collées ensemble. Le processus de croissance des poils est le même que le processus de croissance (de renouvellement) de l'épiderme : des mitoses accélérées. En fait, bien que située dans le derme en termes de profondeur, la racine des poils est vraiment une continuation de l'épiderme qui s'enfonce jusqu'au niveau du derme.

Les poils et cheveux contiennent différentes sortes de mélanine à différents degrés. La couleur des cheveux dépend de la quantité et de la sorte de mélanine dans les cheveux.

- Cheveux roux : La sorte de mélanine est la phéomélanine et il y en a beaucoup.
- Cheveux noirs : La sorte de mélanine est l'eumélanine et il y en a beaucoup.
- Cheveux bruns : Mélange de phéomélanine et eumélanine.
- Cheveux blonds : Peu de mélanine, peu importe la sorte.
- Cheveux blancs : Pas de mélanine.

Croissance : Les poils et cheveux sont en croissance continue mais ils se détachent à intervalles réguliers (quelques semaines ou mois ou années, dépendamment des personnes et du type de poils) avant de repousser à nouveau.

Muscle arrecteur du poil (= muscle pilo-érecteur) et **chair de poule**:

Un petit muscle relie la base de la racine à l'épiderme avoisinant. Il se contracte pour redresser le poil quand on a froid. Il s'agit d'une réaction vestigiale qu'on a héritée de nos ancêtres évolutifs poilus. Chez ces ancêtres, tout comme chez les autres mammifères actuels, redresser les poils de la fourrure épaississait la couche d'air isolante emprisonnée par la fourrure, ce qui protégeait mieux du froid. Chez nous, ça ne sert plus à rien parce que nos poils sont devenus trop courts et minces pour emprisonner une couche d'air isolante autour de notre corps. Mais la contraction de chaque muscle pilo-érecteur se fait encore (c'est un vestige évolutif) et elle déforme la surface de la peau, créant les petites bosses qui donnent à notre peau l'apparence d'une peau de poulet déplumé.

Rôle des poils: Le rôle de nos poils minces et courts n'est pas très évident. Les cheveux servent probablement à protéger notre cerveau contre les rayons UV et calorifiques du soleil. Les petits poils sur notre corps servent peut-être à nous avertir de la présence d'insectes nuisibles, comme les moustiques par exemple, car il y a des détecteurs de pression dans la racine des poils qui sont stimulés quand le poil change de position.

ONGLES:

Tout comme l'épiderme et les poils, les ongles sont faits de cellules mortes kératinisées, en croissance par mitose à partir de la base de l'ongle (zone blanchâtre appelée « lunule »).

La lunule est blanchâtre tandis que le corps de l'ongle est rosâtre. La différence vient du fait que l'épiderme est plus épais vis-à-vis la lunule et donc cache mieux les capillaires sous-jacents et le sang rouge qu'ils contiennent.

QUELQUES FAITS DIVERS:

Callosité: Épaississement de l'épiderme à un endroit de frottement fréquent. Les callosités sont communément retrouvées à la base des doigts des travailleurs manuels, ou sur la surface inférieure des pieds (= la plante des pieds).

Odeurs corporelles : Les odeurs corporelles proviennent des **produits d'excrétion de bactéries** qui vivent sur la peau en se nourrissant de sébum ou, dans le cas des aisselles, en se nourrissant de la sueur visqueuse de certaines glandes sudoripares spéciales (dites « apocrines »).

Différentes personnes ont différentes odeurs corporelles parce qu'elles ont différentes sortes de bactéries qui vivent sur leur peau.

Les **déodorants** sont des substances parfumées qui masquent les odeurs corporelles (mais il y en a quelques-uns qui ont aussi des effets antibactériens).

Les **antisudorifiques** inhibent la production de sueur, ce qui donne moins de nourriture aux bactéries, donc moins de produits d'excrétion par ces bactéries. Cependant ils contiennent des métaux lourds (comme par exemple l'aluminium) qui ont la réputation d'être cancérigènes.

Empreintes digitales:

La surface antérieure de la peau des doigts présente un réseau de petites crêtes séparées par des vallées étroites, formant ce qu'on appelle les empreintes digitales. Ces crêtes rendent la peau plus rugueuse et donne une meilleure poigne aux doigts. Il n'y a pas de glandes sébacées sur la paume des mains et des doigts, mais il y a des glandes sudoripares, et elles sont situées sur les crêtes seulement. Toucher à un objet dépose donc un **film de sueur** qui reproduit la forme du réseau de crêtes. C'est ce film de sueur qui est détecté par les détectives dans les enquêtes policières.

La forme du réseau est influencée par les gènes et par les conditions environnementales dans l'utérus lors du développement embryonnaire. Cela veut dire que tout le monde a des empreintes digitales différentes, même les vrais jumeaux (qui ont les mêmes gènes, mais qui ne se sont pas développés au même endroit de l'utérus de leur mère).

Lotion pour les mains: On se met de la lotion pour les mains pour éviter la déshydratation de la peau (les mains ayant moins de glandes sébacées, les paumes en particulier). Ne soyez donc pas surpris (ni dégoûté) d'apprendre que ces lotions sont souvent faites avec du sébum de mouton (= lanoline). Après tout, vous savez déjà que le sébum prévient la déshydratation. Essentiellement vous rajoutez du sébum de mouton à votre peau.

Verrues: Croissance anormale et localisée de la peau causée par un virus. Attention : les « verrues » de crapaud ne sont pas la même chose; ce sont des épaississements normaux de l'épiderme.

Pellicules: Cellules mortes de l'épiderme du cuir chevelu qui se détachent en paquets (ce qui les rend visibles) plutôt qu'individuellement comme elles le font d'habitude. Les cellules sont tenues ensemble par des **champignons microscopiques** présents en plus grand nombre que normal. C'est pour cela que les shampoings anti-pellicules contiennent des substances antifongiques.

Vergetures ("stretch marks"): Lignes blanches dans le derme de la peau, visibles au travers de l'épiderme. Il s'agit en fait de lignes de **tissu cicatriciel** (= conjonctif non-fonctionnel) blanchâtre qui se sont formées après que le derme se soit fait trop étirer et qu'un trop grand nombre de fibres se soient fait briser. On les voit souvent sur le ventre des femmes qui ont déjà été enceintes, ou autres endroits où la peau a été très étirée.

Récepteurs sensoriels: Présents dans le derme, il y en a différentes sortes pour détecter la pression, la chaleur, le froid, ou la douleur (= la présence de substances suite au bris de cellules).

Quelques maladies de la peau :

Impétigo, acné : Infections bactériennes.

Pied d'athlète : Infection fongique.

Le champignon se nourrit de peau mais a besoin d'humidité pour survivre. C'est pourquoi on le trouve habituellement entre les orteils, un endroit qui a tendance à demeurer humide. Le nom de la maladie vient du fait que le champignon peut facilement se propager des pieds d'une personne aux pieds d'une autre personne dans les douches de gymnase, où le plancher demeure humide.

Herpès simple, rougeole (*measles*), rubéole (*rubella*), varicelle (*chicken pox*): Infections virales.

Herbe à puce: Réaction à une substance toxique libérée par une plante appelée herbe à puce.

Ceci est un bon temps pour vous dire que l'épiderme ne présente pas une barrière absolue. Certaines substances liposolubles peuvent, lentement, passer au travers de l'épiderme. Dans le cas de l'herbe à puce, la substance irritante de la plante réussit à passer au travers de l'épiderme et est détectée par notre système immunitaire au niveau du derme, qui provoque alors une réaction d'inflammation (= plus grand apport de sang pour combattre).

Les médicaments administrés par une « *patch* » (= timbre) collée sur la peau sont basés sur le fait que la « *patch* » libère un médicament qui est lentement absorbé au travers de l'épiderme, passant dans le sang au niveau du derme.

Cancer de la peau: Tumeur (= nombreuses mitoses incontrôlées) se développant à la base de l'épiderme à partir des mélanocytes (le type de cancer de la peau le plus dangereux), ou des kératinocytes, ou d'autres cellules basales, de l'épiderme profond.

QUESTIONS À RÉFLEXION :

- 1) Pour qu'une blessure à la peau saigne et fasse mal, quelle couche de la peau la blessure doit-elle atteindre?
- 2) Un tatouage classique est l'injection d'encre dans la peau. Il est permanent parce que les molécules d'encre sont indestructibles, et trop grosses pour entrer dans les capillaires et être emportées par le sang. Mais les tatouages au henné, eux, ne sont pas permanents. Quelle est la différence entre un tatouage classique et un tatouage au henné qui explique que l'un est permanent et l'autre ne l'est pas? (Indice : se faire donner un tatouage au henné ne fait pas mal, contrairement aux tatouages classiques.)
- 3) Pourquoi est-ce que les coups de soleil ne durent que quelques jours?
- 4) Pourquoi est-ce que les coups de soleil apparaissent tout de suite après une forte exposition au soleil, alors que le bronzage prend plusieurs jours à se développer?
- 5) Quelle sorte de lumière est utilisée dans les salons de bronzage?
- 6) Pourquoi est-ce qu'on a parfois la chair de poule quand on a froid?
- 7) Pourquoi est-ce que les gens maigres sont souvent plus frileux que les autres?
- 8) À laquelle des trois couches de la peau est associée chacune des choses suivantes :

a) Isolation thermique	l) Bronzage
b) Rides	m) Douleur
c) Récepteurs sensoriels de la chaleur	n) Taches de rousseur
d) Grand potentiel de mitose	o) Absorption des chocs
e) Tatouage permanent	p) Cuir
f) Couleur rouge de la peau	q) Eumélanine
g) Couleur foncé de la peau	r) Glande sébacée
h) Ecchymose	s) Pellicules
i) Vergetures	t) Coup de soleil
j) Callosités	u) Kératine
k) Collagène	v) Jaunisse
- 9) Les gens blessés qui perdent beaucoup de sang rapportent souvent qu'ils ont froid. Qu'est-ce qui se passe? (Indice : quand il y a moins de sang dans le corps, des mécanismes entrent en action pour envoyer moins de sang aux organes qui peuvent s'en passer et ainsi conserver l'apport de sang aux organes –cerveau, cœur – qui en ont absolument besoin.)
- 10) Nos paumes des mains et nos plantes des pieds n'ont ni poils ni glandes sébacées. Pourquoi?

TÉGUMENTS DES AUTRES MAMMIFÈRES :

Le système tégumentaire des autres mammifères est le même que le nôtre, avec les petites différences ou considérations suivantes :

Densité de la fourrure:

Le principal rôle de la fourrure chez les mammifères est **d'emprisonner une couche d'air** isolante autour du corps pour minimiser les pertes de chaleur. Il n'est donc pas surprenant d'apprendre que les espèces qui sont plus souvent exposées au froid (ex. : espèces de l'Arctique, mammifères plongeurs comme le castor ou le vison) ont des densités de fourrure (nombre de poils par cm²) plus élevées, et des poils plus longs, car cela emprisonne mieux la couche d'air isolante. De plus, contrairement à l'humain, un même follicule peut produire plusieurs poils en même temps : un long (= **poils de jarre**, *guard hair*) et des courts (= **poils de bourre**, *down hair*).

Les cétacés ont, au cours de leur évolution, perdu leurs poils à l'état adulte (seuls leurs embryons en ont encore). Leur conservation de chaleur est plutôt assurée par une épaisse couche de graisse dans l'hypoderme. La graisse est un bon isolant thermique.

Nous, les humains, avons une densité de poils normale pour un singe de notre grandeur corporelle. Cependant, nos poils sont devenus trop courts et trop fins pour emprisonner une couche d'air (mais pourquoi ce raccourcissement? – minimiser les ectoparasites, qui sont transmissibles quand on dort ensemble?). On se sert maintenant des poils d'autres mammifères (manteaux de fourrure, laine) ou de vêtements faits de fibres végétales (coton, lin) pour emprisonner une couche d'air isolante autour de notre corps. Notre couche de graisse sous-cutanée nous aide aussi à minimiser les pertes de chaleur.

Renouvellement de l'épiderme :

Tout comme nous, les mammifères perdent régulièrement les cellules épidermiques de la surface de leur peau. C'est d'ailleurs souvent à ces cellules détachées (et plus précisément au sébum que ces cellules portent) que les gens allergiques aux chats réagissent.

Tout comme pour nous, les poils de mammifères se détachent régulièrement et repoussent. C'est une adaptation pour remplacer les poils endommagés par la friction avec l'environnement. Chez plusieurs espèces (pas toutes), le remplacement des poils est assez synchronisé à un même temps de l'année. C'est la **mue**. Dépendamment des espèces il peut y avoir seulement une seule mue par année (souvent à l'automne pour s'assurer d'avoir un pelage isolant en bon état pendant l'hiver) ou deux fois par année (ex. : hermine qui prend un pelage blanc à l'automne et reprend un pelage brun au printemps).

Couleurs :

Le pelage des mammifères a les mêmes couleurs que nos cheveux, car leurs poils contiennent les mêmes pigments : eumélanine (noir ou brun foncé) et phéomélanine (roux ou doré).

Les poils blancs, tout comme chez l'humain, indiquent une absence de mélanine. En absence de pigments, toutes les longueurs d'onde sont réfléchies. La présence de petites bulles d'air dans les poils blancs contribue aussi à réfléchir toutes les longueurs d'onde.

Les paresseux (*sloths*) ont parfois un pelage verdâtre. Cela vient de la présence d'algues vertes qui poussent sur leurs poils. Il n'existe pas de pigments verts chez les mammifères.

Glandes cutanées :

Seuls les mammifères ont des glandes **sudoripares**, mais pas toutes les espèces. Par exemple, les cochons et les éléphants n'en ont pas du tout, tandis que les vaches, moutons, chats et chiens n'en ont que près des lèvres et à l'extrémité des pattes. Ces animaux ont recours à d'autres mécanismes pour se refroidir, comme haleter (*panting*) ou se licher les poils pour que la salive s'évapore (prenez le cours de Concepts de physiologie animale comparée I !).

Plusieurs mammifères ont des glandes **cutanées modifiées** pour produire des substances **odoriférantes** qui agissent en tant que signaux. Les **glandes anales** en sont un exemple. Ces signaux peuvent servir à identifier les sexes, indiquer le statut reproducteur, marquer un territoire, ou même (dans le cas des mouffettes) repousser des prédateurs.

Les glandes **mammaires** sont des glandes cutanées modifiées. Leur nombre est variable d'une espèce à l'autre. Leur position exacte est aussi variable mais toujours ventrale. Elles peuvent être enfouies dans du tissu adipeux (graisse) comme chez l'humain, ou non. Elles sont atrophiées (= volume réduit) en dehors de la saison de reproduction, et deviennent hypertrophiées (= volume exagéré) pendant la période de lactation.

Griffes et sabots :

Tout comme les ongles (qu'on ne retrouve que chez les primates), les griffes et les sabots sont des structures cornées (= faits de cellules mortes remplies de **kératine** dure) au bout des doigts (membres antérieurs) et des orteils (membres postérieurs).

Les griffes sont présentes chez la plupart des mammifères (et chez les oiseaux et reptiles aussi). Dépendamment des espèces, elles peuvent être rétractables (ex. : chats) ou non (ex. : chiens). Si vous entendez les pattes de votre animal de compagnie cliquer sur le plancher dur de votre maison, c'est votre chien, pas votre chat.

Les sabots se retrouvent chez cette catégorie de mammifères coureurs qu'on appelle les ongulés (« ongul » fait penser à « ongle »; ces animaux courent sur le bout des doigts, sur leurs ongles modifiés). On dit aussi que ces animaux sont des « **onguligrades** ». C'est le bon temps de vous répéter qu'il y a aussi des animaux, incluant des mammifères, qui sont **digitigrades** (seuls les doigts et orteils font contact avec le sol, mais ils le font au complet, pas seulement les extrémités comme dans le cas des onguligrades; ex. : chat, chien) et d'autres qui sont **plantigrades** (toute la main et tout le pied font contact avec le sol; ex. : humain, ours).

Cornes et bois :

Les **cornes** sur le haut du front des bovidés (comme les vaches et les antilopes) sont des structures de kératine qui poussent sans cesse, comme les ongles. L'intérieur d'une corne est un os dermique, mais l'extérieur et la pointe sont faits de kératine dure.

La **corne des rhinocéros** est faite d'un genre de poils tellement bien agglutinés ensemble qu'ils forment une masse de kératine dure.

Les **bois** des cerfs (chevreuils, orignaux, wapitis, etc.) sont des structures faites d'un os dermique ramifié recouvert de peau. Seuls les mâles en portent (sauf les caribous et les rennes, où les deux sexes en ont). À l'automne la peau tombe. Ensuite au début de l'hiver c'est tout le bois qui tombe. Les bois sont renouvelés à tous les ans, contrairement aux cornes qui sont permanentes.

Autres structures particulières chez certains mammifères :

Chez les **tatous** (*armadillos*), des plaques d'os se développent dans le derme (on parle encore ici d'**os dermiques**) pour former une armure recouverte d'un mince épiderme kératinisé. Dépendamment des espèces l'armure peut être discontinue; la jonction entre les parties blindées est alors constituée de peau « ordinaire » poilue.

Chez les **pangolins**, des **régions localisées de l'épiderme** s'épaississent et se durcissent (kératine, encore) pour former des **écailles** qui se chevauchent les unes les autres, à la manière des reptiles. Quelques poils épars sont présents dans les replis de peau entre les écailles; ces replis sont normalement invisibles.

Il n'y a pas que ces mammifères plutôt « primitifs » qui ont des écailles kératinisées. Chez bon nombre de mammifères, et en particulier les rongeurs, la queue est recouverte d'**écailles kératinisées**.

Le bec de l'**ornithorynque** et le museau des **échidnés** sont des structures kératinisées.

TÉGUMENTS DES OISEAUX :

Épiderme et derme sont présents, mais plutôt minces (pensez à la peau d'un poulet BBQ). Pour compenser : grande présence de plumes. Comme les poils, les plumes sont formées de cellules mortes remplies de kératine, à partir de mitoses successives dans une racine qui est un prolongement de l'épiderme dans le derme, et servent à emprisonner une couche d'air.

Pas de glandes sudoripares (seuls les mammifères en ont). Pas de glandes sébacées (seuls les mammifères en ont). Les cellules épidermiques produisent individuellement leur propre huile imperméabilisante. Les oiseaux (sauf quelques exceptions) ont aussi une glande sur le croupion, appelée **glande uropygienne**, qui produit une huile que l'oiseau répand sur ses plumes avec son bec, pour aider à imperméabiliser le plumage.

Autres structures kératinisées : griffes, écailles sur les pattes, et bec (tous les oiseaux ont un bec de kératine recouvrant leurs mâchoires osseuses, mais pas seulement eux : l'ornithorynque a aussi un bec, de même que les tortues).

Couleurs : les plumes peuvent contenir de la **mélanine**, mais aussi des **carotènes** (pigments jaunes ou oranges) ou des **porphyrines** (pigments rouges ou bruns). Il n'y a pas de pigments bleus : le bleu des oiseaux est une couleur structurale. Et il n'y a presque pas de pigments verts : le vert des oiseaux vient presque toujours d'un mélange de jaune pigmentaire avec un bleu structural.

TÉGUMENTS DES REPTILES :

Épiderme : Chaque **écaille** de reptile est une plaque d'**épiderme** très épaisse, très kératinisée. Les écailles (même celles qui se superposent chez les serpents) sont unies ensemble par un épiderme plus souple, très imperméable. Certaines écailles prennent des formes particulières et deviennent des **épines**. Chez les geckos et les lézards anoles, les écailles au niveau de la plante des pieds présentent de minuscules projections en forme de filaments (= seta, pluriel **setae**) qui résultent en un contact très étroit avec le substrat, établissant des forces de van der Waals qui permettent à l'animal de coller à des surfaces lisses comme des feuilles ou même de la vitre.

Mue : L'épiderme est renouvelé tout d'un coup en même temps chez les serpents; par plaques (*patches*) chez les lézards; et cellules par cellules chez les autres reptiles.

Os dermiques : Les **crocodiles** ont de petits os dermiques formant des plaques dures sur le dos, recouvertes d'un épiderme fortement kératinisé. Les **tortues** ont aussi des os dermiques recouverts de kératine, mais ces os sont gros et forment de grandes plaques qui, ensemble, constituent la carapace. Seulement **quelques lézards** peuvent former de petits os dermiques. **Aucun serpent** ne possède des os dermiques.

Couleurs : Alors que la couleur pigmentaire des mammifères et des oiseaux vient de molécules contenues dans les poils et les plumes, chez les reptiles et autres vertébrés la couleur vient surtout de molécules contenues dans des cellules du derme appelées **chromatophores**. Des changements de couleur, comme chez le caméléon, sont possibles car il existe différents chromatophores avec différents pigments, et l'expression d'une couleur peut être contrôlée en changeant la dispersion des pigments dans leurs chromatophores. Si le pigment est bien dispersé dans tout le chromatophore, la couleur de ce pigment est bien visible; mais si le pigment est concentré au centre seulement de la cellule, la couleur devient moins visible.

TÉGUMENTS DES AMPHIBIENS :

L'**épiderme** est très mince. Chez les larves toutes les cellules sont vivantes, mais chez les adultes les cellules les plus externes sont mortes et bien remplies de kératine. Malgré cela, la minceur de l'épiderme se traduit en une peau qui est relativement perméable. (Les « verrues » des crapauds sont des parties plus épaisses et kératinisées de l'épiderme.)

Le derme des amphibiens contient des **chromatophores**, comme les reptiles, et aussi **beaucoup de glandes**, certaines produisant du mucus, d'autres produisant des substances nocives ou toxiques. Des tubules connectent ces glandes à la surface de la peau.

Le derme est particulièrement bien irrigué par des vaisseaux sanguins. Souvenez-vous que la peau est utilisée comme **organe respiratoire** chez les amphibiens.

Il n'y a ni poils, ni plumes, ni écailles. Il n'y a pas d'os dermiques, sauf chez les cécilies et quelques crapauds qui ont de minuscules écailles osseuses dans leur derme, et les grenouilles du genre *Lepidobatrachus*, *Ceratophrys*, et *Brachycephalus* qui ont des plaques osseuses relativement grandes dans la peau de leurs épaules et de leur cou.

TÉGUMENTS DES POISSONS :

Les **écailles** des poissons téléostéens ne sont pas un épaississement kératinisé de l'épiderme, comme pour les reptiles. Ce sont plutôt des **os dermiques**, de petites plaques d'os qui se forment individuellement dans la partie la plus superficielle du derme. Elles sont recouvertes d'un très mince épiderme, fait de cellules vivantes, et elles se superposent en partie. Les **rayons des nageoires** sont aussi faits d'os dermiques (de petites écailles empilées, en fait).

Comme chez les autres vertébrés, le derme des poissons est riche en fibres de collagène. Chez les requins la peau peut être très épaisse et on peut en faire du cuir.

Comme chez les amphibiens, il y a des **chromatophores** et beaucoup de **glandes à mucus**. Chez certaines espèces, des glandes à mucus ont été transformées en **photophores**, une structure qui produit de la lumière par certaines réactions chimiques ou en abritant des bactéries qui font ces réactions.

QUESTIONS À RÉFLEXION :

- 1) Il arrive de voir des mammifères (incluant l'humain) et des oiseaux qui sont anormalement tout blancs. Ce sont des albinos (leur condition s'appelle l'albinisme). C'est un défaut génétique. Quelle est normalement la fonction du gène défectueux?
- 2) Vous gardez un serpent en captivité dans un terrarium. Un beau jour vous trouvez dans le terrarium la « vieille peau » de votre serpent, car il vient de muer. Est-ce que c'est vraiment toute la peau qui a été renouvelée? De quoi est constituée la « vieille peau »?
- 3) Le derme de presque tous les vertébrés a la capacité de former des os, dits dermiques. Nommez au moins quatre types de vertébrés qui ont des os dermiques.
- 4) Pourquoi est-ce que les oiseaux s'ébouriffent les plumes quand il fait très froid en hiver?
- 5) Pourquoi est-ce que les amphibiens se retrouvent toujours dans des environnements ou des micro-habitats humides?
- 6) Quelle est la couche de la peau qui est particulièrement épaisse dans le cas des pelotes plantaires (*foot pads*, = coussinets calleux) qu'on retrouve sous les pattes de nos chiens et de nos chats, pensez-vous?
- 7) Au cours de l'évolution, quelle adaptation cutanée a permis aux vertébrés de conquérir les habitats terrestres secs?
- 8) Nommez le plus possible de structures animales faites de kératine.
- 9) Si vous coupez le bout d'une corne de vache, pensez-vous que ça va saigner? Est-ce différent ou pareil si vous coupez la base de la corne? Et si vous coupez l'extérieur d'un sabot de cheval, ou plantez dedans les clous qui tiennent un fer à cheval? (Soit dit en passant, à quoi sert un fer à cheval, pensez-vous?)
- 10) Nommez deux fonctions des plumes que les poils n'ont pas.
- 11) Est-il possible d'arracher : (et dites pourquoi ou pourquoi pas)
 - a) Des écailles de poissons?
 - b) Des écailles de serpents?
 - c) Des plumes d'oiseaux?
 - d) Des poils de mammifères?
 - e) Des écailles de la queue d'un rat?
- 12) Vous souvenez-vous des myxines? Quelle sorte de glande est particulièrement abondante dans leur peau, pensez-vous?

- 13) Vrai ou faux? Si faux, dites pourquoi.
- Chez les mammifères on retrouve des pigments noirs (ex. : ours noir), des pigments bruns (ex. : ours brun), des pigments blancs (ex. : ours polaire), et des pigments verts (ex. : paresseux).
 - La principale substance qui donne de la fermeté à la peau de vertébrés est le collagène.
 - Les verrues des crapauds sont des croissances anormales de la peau causées par des virus.
- 14) Les chimères ont une peau très glissante. Qu'est-ce qui est absent de leur peau, mais qu'on retrouve chez les autres chondrichthyens?
- 15) Pourquoi peut-on s'irriter la peau quand on prend un crapaud dans ses mains?
- 16) Qu'est-ce qui arrive à la peau d'un triton quand il passe de sa phase de jeune adulte terrestre à sa phase d'adulte aquatique, pensez-vous?
- 17) Pensez aux amphibiens et rajoutez un onzième rôle à la liste qui a commencé le présent chapitre. Puis sautez sur l'internet et faite une recherche avec « cécilies », « peau », et « jeunes » comme mots-clés, et découvrez ainsi un douzième rôle particulier de la peau chez ces drôles d'amphibiens.
- 18) L'hypoderme est plus épais chez les oiseaux aquatiques, de même que chez les oiseaux qui font de longues migrations d'un seul coup. Pourquoi, d'après vous? (Ce n'est pas la même raison dans les deux cas.)
- 19) Vous pouvez nourrir des caméléons exclusivement avec des criquets pauvres en vitamine D, ou avec ces mêmes criquets mais saupoudrés d'un supplément de vitamine D. Vous pouvez observer le comportement des caméléons à l'intérieur d'un grand enclos ensoleillé qui a des espaces ouverts et aussi des endroits protégés. Quelle expérience pourriez-vous faire pour tester l'hypothèse que les caméléons peuvent détecter qu'ils manquent de vitamine D et qu'ils peuvent alors prendre des mesures pour compenser? (Physiological and Biochemical Zoology 82 (3) : 218-225, 2009)
- 20) Devinez quelle structure détient le record de la croissance osseuse la plus rapide de tous les mammifères (un lien avec le prochain chapitre). Faites le lien entre cette structure et la peau très riche en vaisseaux sanguins qui la recouvre.
- 21) Si vous examinez le ventre d'une femelle de castor, vous pouvez y observer des glandes mammaires, mais aussi, près de l'anus, une paire de bosses bien visibles. Ça ressemble à des testicules, mais bien sûr c'est quelque chose d'autre (c'est une femelle!). Quoi? (Après avoir tenté de répondre, amusez-vous à lire « castoreum » sur Wikipedia – en français ou en anglais.)

CHAPITRE 9

LE SYSTÈME SQUELETTIQUE DES VERTÉBRÉS

Chaque os est un organe vivant, et ensemble la plupart des os du corps forment le système squelettique. Gardez en tête cependant qu'il peut y avoir des os qui ne font pas partie du squelette comme tel (comme les os dermiques, et d'autres exemples exposés plus loin – voir au bas de la page 76).

RÔLES DES OS:

- 1) Former une armature interne (= endosquelette) qui sert de support.
- 2) Fournir des points d'attache pour les muscles.
- 3) Protéger les organes internes (ex. : os du crâne, os de la cage thoracique, os dermiques).
- 4) Servir de sites d'entreposage pour le calcium et le phosphore.
- 5) Synthétiser les cellules sanguines (par la moëlle rouge que les os contiennent).
- 6) Abriter de la graisse (sous forme d'un tissu, appelé « moëlle jaune », dans certains os longs).

CARTILAGE :

Le cartilage est un type de tissu conjonctif. Des cellules (appelées **chondrocytes** – « chondro » = cartilage, « cyte » = cellule) produisent et rejettent autour d'elles un mélange de fibres de collagène, d'autres protéines, et de glucides, le tout formant un matériel intercellulaire relativement solide (mais encore **flexible**), donnant le cartilage.

Pour se faire une idée de la flexibilité d'un type de cartilage, jouez avec votre oreille. Le pavillon externe de l'oreille est fait de cartilage mince recouvert de peau.

La flexibilité du cartilage est utile aux parties du corps qui dépassent et qui se font souvent accrocher (il vaut mieux plier que casser), comme les oreilles et le nez. C'est aussi utile au niveau de la cage thoracique qui doit changer de forme quand on inspire et expire; la connexion entre nos côtes et notre sternum se fait par du cartilage dont la flexibilité permet le changement de forme de la cage thoracique lors de la respiration.

Le cartilage est **lisse**, ce qui est utile dans les endroits où on veut diminuer la friction.

Au niveau des articulations, les extrémités de deux os peuvent venir en contact et doivent alors glisser l'une contre l'autre. Ce n'est donc pas surprenant de voir que l'extrémité de plusieurs os longs est recouverte d'une couche de cartilage lisse. Pour le visionner, examinez l'extrémité d'un os de cuisse de poulet la prochaine fois que vous serez au St-Hubert ou au Swiss Chalet.

Comme vous le savez déjà (revoir le chapitre sur les poissons), certains vertébrés anciens ont des « os » entièrement faits de cartilage. Même chez les vertébrés modernes, les « os » de l'embryon sont des structures cartilagineuses qui se font plus tard envahir et remplacer par du tissu osseux.

TISSU OSSEUX :

Tout comme le cartilage, le tissu osseux est un type de tissu conjonctif. Tout comme le cartilage, des cellules isolées produisent une matrice intercellulaire. Dans ce cas-ci, les cellules s'appellent des **ostéocytes** (ostéo = os, cyte = cellule) et la matrice est plus dure.

Environ **deux-tiers (en poids)** de la matrice est constitué de **sels minéraux** à base de calcium et de phosphore (l'hydroxyapatite, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). C'est ce qui donne de la dureté à un os.

Un-tiers (en poids) de la matrice est constitué de **fibres de protéines, le collagène surtout**. Les protéines étant faites à base de carbone par le corps, on dira que cette partie est « organique ».

Plusieurs personnes ne réalisent pas qu'un os n'est pas entièrement fait de matière inerte et dure. La partie minérale (= inorganique) peut être perçue comme inerte et dure, mais la partie organique, elle, est vivante et collante. (1) On peut prendre un os long, comme un fémur par exemple, le faire tremper dans une solution acide qui va dissoudre la partie inorganique (les sels minéraux), et ce qui va rester (la partie organique seulement) sera un os qui pourra se plier comme s'il était fait en caoutchouc. (2) À l'inverse, faire cuire un os pendant des heures dénature les protéines de la partie organique, et ce qui en résulte est un os cassant et friable.

Plusieurs personnes ne réalisent pas qu'un os est une structure vivante. Il y a des vaisseaux sanguins qui y entrent et qui en sortent, par de petits trous visibles à la surface des os, pour maintenir en vie les cellules du tissu osseux. Ces cellules occupent de minuscules espaces dans la matrice dure et sont reliées entre elles par des canalicules.

Il est possible pour les anthropologues de trouver des os humains vieux de plusieurs milliers d'année et d'extraire de ces os des fragments d'ADN encore intacts. Il peut y avoir de l'ADN même dans un os mort, parce qu'il y avait des cellules dans l'os quand il était vivant (les ostéocytes).

MOËLLE OSSEUSE ROUGE :

Un os peut être **compact** par endroits, ou **spongieux** (= son intérieur présente des cavités) à d'autres endroits. Dans les cavités de l'os spongieux se trouve du tissu conjonctif spécialisé dans la **synthèse des cellules sanguines** (globules rouges, globules blancs, plaquettes). On appelle ce tissu « moëlle rouge ».

MOËLLE OSSEUSE JAUNE :

L'intérieur des **os longs** présente souvent une grande cavité centrale où se trouve un tissu **adipeux** (une réserve de graisse). Ce tissu adipeux dans les os s'appelle la « moëlle jaune »

Les biologistes de la faune qui trouvent une carcasse d'orignal tué et mangé par des loups peuvent prendre le fémur (l'os de la cuisse), le briser, et regarder si la moëlle jaune est abondante. Si elle ne l'est pas, ils concluront que l'animal était faible (il avait peu de réserves énergétiques, la graisse étant une réserve d'énergie à long terme) ce qui explique peut-être que les loups ont réussi à l'attraper.

LIGAMENT : Bande de tissu fibreux (protéines, collagène surtout) attachant **deux os** ensemble.

TENDON : Bande de tissu fibreux (protéines, collagène surtout) attachant **un muscle à un os**.

CROISSANCE ET MAINTIEN DE L'OS :

Dans un os, il y a un « *turn-over* » (**un remaniement, en bon français**) **continu**el de la matière osseuse. Certains ostéocytes (appelés **ostéoblastes**) sont spécialisés pour **déposer** les sels de calcium et les protéines, tandis que d'autres ostéocytes (appelés **ostéoclastes**) font le contraire : ils réabsorbent les sels de calcium et les protéines pour les remettre en circulation dans le sang (= **résorption**).

Chez le jeune en croissance, le dépôt est supérieur à la résorption.

Chez l'adulte, le taux de dépôt est égal au taux de résorption; mais il y a des exceptions:

Chez les femmes (ou toute mammifère femelle) en **lactation**, la résorption est plus grande que d'habitude, ce qui met plus de calcium en circulation dans le sang; les glandes mammaires peuvent prendre ce calcium et s'en servir dans la synthèse du lait. Mais les os, eux, vont s'affaiblir un peu car ils deviennent moins denses.

L'ostéoporose est une maladie qui survient surtout chez les gens âgés et qui est caractérisée par un déséquilibre entre résorption et dépôt, la résorption devenant plus grande que le dépôt de matière osseuse. Les os deviennent alors moins denses (pas moins longs) et ils se fracturent plus facilement.

Le **rachitisme** (*rickets*) est une maladie infantile qui consiste en un affaiblissement des os dû à un dépôt insuffisant de calcium dans les os, dû à son tour à un manque de vitamine D (qui est essentielle pour que l'intestin absorbe le calcium de la nourriture).

C'est principalement pour éviter cette maladie que les laiteries ajoutent de la vitamine D au lait vendu en épicerie. (Le lait est riche en calcium.)

Les **pressions et tensions** et **ondes de choc** exercées sur l'os dans la vie de tous les jours sont nécessaires pour stimuler les ostéoblastes et ainsi maintenir un taux normal de dépôt de la matière osseuse.

Chez les personnes qui sont **alitées** pendant plusieurs semaines à l'hôpital, les os s'affaiblissent (deviennent moins denses). Puisque c'est surtout le lit plutôt que les os qui supportent maintenant le poids du corps, il y a moins de pressions exercées sur les os, donc il en résulte moins de dépôt par les ostéoblastes. Intéressant : les mammifères hibernants n'ont pas ce problème et on étudie comment ils y parviennent.

Chez les **astronautes** qui passent plusieurs semaines en état d'apesanteur dans l'espace, les os s'affaiblissent. En absence de gravité, les os subissent moins de pression car ils n'ont plus besoin de soutenir le corps, et donc il en résulte qu'il se fait moins de dépôt de la matière osseuse. Pour éviter cela, les astronautes font des exercices avec des ressorts.

Sur un os il est possible de voir où les gros muscles étaient attachés, parce que l'os est un peu gonflé à cet endroit. Un gros muscle qui se contracte exerce une tension précisément à l'endroit où il est attaché à l'os, et cela stimule les ostéoblastes précisément à cet endroit, ce qui mène à un plus grand dépôt de matière osseuse à cet endroit, ce qui apparaît comme un petit gonflement. Sachant cela, paléontologues et anthropologues peuvent étudier un ancien squelette et avoir une idée de la grosseur des muscles qui y étaient attachés, et donc parfois (dans le cas de squelettes humains) de l'occupation de la personne (ex. : archers).

LE SQUELETTE:

Tout comme on l'a fait pour le système tégumentaire, commençons par examiner le squelette humain, pour ensuite le comparer à celui d'autres mammifères et d'autres vertébrés.

Le squelette (ou système squelettique) est un ensemble d'os formant une armature. Il y a environ 206 os chez l'humain adulte (il y en a 270 à la naissance, mais certains se fusionnent pendant l'enfance; de plus, je dis « environ » 206 parce que ce ne sont pas tous les os sésamoïdes – des os formés dans des tendons – qui sont inclus dans le décompte officiel de 206 – seule la rotule du genou l'est).

Le squelette **axial** comprend :

- Crâne
- Colonne vertébrale
- Côtes et sternum

Le squelette **appendiculaire** comprend les membres et leur support :

- Ceinture pectorale (= scapulaire)
- Les os des bras et des mains
- Ceinture pelvienne
- Les os des jambes et des pieds

Crâne: Ensemble complexe de plusieurs os plats soudés les uns aux autres. Les lignes de « soudure » entre les os s'appellent des **sutures**. Les os du crâne servent à protéger le cerveau et à articuler la mâchoire inférieure. Certains des os du crâne ont des petites cavités à l'intérieur des os eux-mêmes, appelées **sinus paranasaux**, probablement pour les alléger.

Chez le nouveau-né, les connections entre les os du crâne sont relativement solides mais quand même encore flexibles (elles sont faites de membranes fibreuses plutôt que de tissu osseux). Ces connections flexibles sont appelées des **fontanelles**. Elles vont s'ossifier (le tissu fibreux se fera remplacer par du tissu osseux) et devenir des sutures pendant les 2-5 premières années après la naissance. La flexibilité originale des fontanelles permet la déformation du crâne pour faciliter l'accouchement, et permet une croissance du cerveau pendant la très jeune enfance.

Osselets de l'oreille: Marteau, enclume, étrier (ou malleus, incus, stapes). Seuls les mammifères ont trois osselets (plutôt qu'un seul) dans leur oreille moyenne.

Maxillaire: Os de la mâchoire supérieure; soudé au reste du crâne.

Mandibule: Os de la mâchoire inférieure, articulé librement avec le crâne.

Les os des mâchoires portent les dents, des structures minéralisées à 90% (en poids, à comparer avec le 66-70% des os) recouvertes d'une couche d'**émail** minéralisé à 96% (l'émail est la substance la plus dure du corps). Chaque moitié (gauche ou droite) de chaque mâchoire porte :

- Deux **incisives** (pour mordre et arracher la nourriture);
- Une **canine** (pour déchirer la nourriture);
- Deux **prémolaires** (pour déchirer et broyer la nourriture);
- Trois **molaires** (pour broyer la nourriture).

Os hyoïde : Petit os qui soutient la langue. Il n'est rattaché à aucun autre os.

Colonne vertébrale:

Série de 33 vertèbres, une par-dessus l'autre. Chaque vertèbre est séparée de ses voisines par un **disque intervertébral** formé d'un mélange de fibres et de cartilage (ce qui reste de notre notocorde embryonnaire). Les disques intervertébraux ne sont pas rigides : ils peuvent s'aplatir un peu d'un côté ou de l'autre et donc ils donnent de la flexibilité à la colonne vertébrale.

Les disques intervertébraux sont élastiques (= ils ont beaucoup tendance à revenir à leur forme originale après s'être fait déformer) mais avec l'âge ils ont tendance à s'aplatir de façon permanente, d'où la perte de grandeur chez les personnes âgées.

Allant du haut de la colonne jusqu'en bas, on a des vertèbres dites **cervicales** (cou), **thoraciques** (poitrine), **lombaires** (bas du dos), **sacrées** (fusionnées ensemble et formant le sacrum au niveau des hanches), et **coccydiennes** (fusionnées ensemble et formant le coccyx).

Sacrum: 5 vertèbres (sacrées) fusionnées ensemble, et attachés aux os de la ceinture pelvienne, qui eux-mêmes soutiennent les os des jambes.

Coccyx: 4 vertèbres (coccydiennes) fusionnées ensemble à l'extrémité inférieure de la colonne vertébrale. Il s'agit d'un **vestige évolutif**, un restant de queue du temps où nos ancêtres évolutifs en avaient une. De nos jours, le coccyx ne sert plus à rien (nous faire mal quand on tombe sur le derrière n'est pas vraiment utile!).

Structure d'une vertèbre typique:

Corps vertébral : La partie principale de la vertèbre, solide, vis-à-vis chaque disque intervertébral.

Foramen vertébral : Trou qui laisse passer le cordon nerveux. (**Foramen** est un terme général en anatomie pour désigner un trou qui laisse passer quelque chose, comme ceux qui laissent entrer des vaisseaux sanguins dans l'os.) Comme chez tous les vertébrés, le cordon nerveux est en position dorsale par rapport aux corps vertébraux (même chez amphioxus ou les tuniciers, le tube neural est dorsal par rapport à la notocorde).

Processus : Projections vers l'extérieur, servant de protection pour le cordon nerveux et aussi de points d'attache pour les muscles (tendons) ou pour des ligaments. Aussi appelés « apophyses ».

Atlas: Nom de la 1^{re} vertèbre au haut de la colonne. Permet les mouvements de bas en haut par le crâne (quand on dit « oui » avec la tête, par exemple).

Axis: Nom de la 2^e vertèbre au haut de la colonne. Permet les rotations de gauche à droite du crâne (quand on dit « non » avec la tête, par exemple).

Dans un cas de « *whiplash* » (= coup du lapin, = coup de fouet cervical), la tête bascule violemment vers l'arrière et une partie de l'axis passe au travers de l'atlas et s'enfonce dans le crâne. C'est pour éviter cela lors de collisions que nos automobiles ont des appuie-têtes (ce n'est pas pour notre confort!).

Côtes et sternum :

Les côtes sont des os longs et plats qui forment la cage thoracique, protégeant le cœur et les poumons. Elles s'étendent des vertèbres thoraciques jusqu'au sternum.

L'union côte-vertèbre se fait par des ligaments.

L'union côte-sternum se fait par du cartilage, dont la flexibilité permet à la cage thoracique de changer de forme lors de l'inspiration.

Vraies côtes : Le cartilage à leur extrémité antérieure se rend directement au sternum.

Fausses côtes : Le cartilage à leur extrémité se rend au cartilage d'une côte plus haut.

Côtes flottantes : Elles n'ont pas de cartilage et ne sont pas connectées au sternum.

Sternum : Os plat qui sert de jonction antérieure entre les côtes droites et gauches, complétant ainsi la cage thoracique et protégeant le cœur.

Les **biopsies** (= échantillonnage d'un tissu quelconque dans le corps) de moëlle osseuse rouge se font souvent par « ponction sternale », c'est-à-dire enfoncer une grosse aiguille dans le sternum afin d'y aspirer un peu de moëlle rouge. La moëlle rouge du sternum est particulièrement active dans la synthèse de cellules sanguines. On cherche à voir s'il y a des cellules cancéreuses dans la moëlle.

Les os des membres supérieurs (bras):

Humérus: os du bras, entre l'épaule et le coude.

Ulna (= cubitus): os de l'avant-bras du côté de la pointe du coude.

Radius: os de l'avant-bras du côté du pouce.

Les os carpiens: les nombreux petits os du poignet.

Les os métacarpiens: les os de la main (**méta = après**; métacarpien = après le poignet).

Les phalanges: les os des doigts (3 pour chaque doigt, sauf 2 pour le pouce).

La ceinture scapulaire (= ceinture pectorale):

La ceinture scapulaire (= pectorale) est faite de 4 os: 2 omoplates (= scapula) (une droite et une gauche) et 2 clavicules (une droite et une gauche). Ensemble, l'omoplate et la clavicule forment un genre de « tré » pied (un « bipied », vraiment) qui supporte le bras (l'humérus du bras, plus précisément). Le « trépied » est lui-même supporté par les côtes et le sternum.

Omoplate (= scapula): os plat qui glisse contre les côtes du côté dorsal.

Clavicule: os long allant du sternum jusqu'à l'omoplate.

Les os des membres inférieurs (jambes):

Fémur: os de la cuisse (l'os le plus long et le plus gros du corps).

Tibia: os de la jambe, sous le genou, en position antérieure.

Fibula (= péroné): os de la jambe en position plutôt postérieure par rapport au tibia.

Les os tarsiens: les nombreux petits os de la cheville.

Les os métatarsiens: les os du pied.

Les phalanges (encore! oui, même nom que pour les doigts): les 2-3 os des orteils.

Ceinture pelvienne:

La ceinture pelvienne est faite de deux **os iliaques** (= os coxaux, = os de la hanche), un à droite, l'autre à gauche, unis à l'avant par du cartilage fibreux (= la symphyse pubienne) et attachés au sacrum à l'arrière par des ligaments très solides. Chaque os iliaque s'articule avec un des fémurs et lui transfère le poids du corps. La ceinture pelvienne forme, en son centre, une ouverture appelée « **bassin** ». Le bassin est toujours plus large et plus rond chez la femme que chez l'homme, une adaptation pour le passage du bébé lors de l'accouchement.

Os sésamoïdes :

Les os sésamoïdes sont de petits os qui se forment à l'intérieur de certains tendons dans le corps. Il y en a plusieurs, le plus gros et mieux connu étant la rotule (= patella) du genou.

ARTICULATIONS:

Une articulation **mobile** est un point de contact entre deux os qui peuvent bouger l'un par rapport à l'autre. Entre les deux os il y a une « **capsule articulaire** », c'est-à-dire un sac unissant les deux os et contenant un liquide lubrifiant appelé « **synovie** » (ou liquide synovial). De la solidité est fournie par des **ligaments** qui s'étendent d'un os à l'autre autour de la capsule articulaire. L'intérieur de la capsule articulaire est parfois séparé en deux par un disque articulaire de cartilage; ce disque est appelé **ménisque** (ex.: ménisque du genou).

Entorse (= foulure): Déchirement d'un ligament au niveau d'une articulation.

Bourse: Petit sac rempli de synovie, formant un coussin (en forme de boule qui peut rouler) entre deux structures (ex.: entre un os et un tendon) pour éviter la friction entre ces deux structures lors de mouvements. Elles sont très abondantes près des articulations.

Bursite: inflammation (= enflamment douloureux) d'une bourse.
(**-ite** = **inflammation**; ex. : tendinite = inflammation d'un tendon)

Arthrite: Inflammation d'une articulation. La cause peut être une usure des cartilages au bout des os impliqués dans l'articulation.

LE SYSTÈME SQUELETTIQUE DES AUTRES MAMMIFÈRES :

Le **nombre d'incisives, canines, prémolaires, et molaires** peut changer d'une espèce à l'autre, et peut être différent sur chaque mâchoire. Le nombre de dents de chaque sorte sur chaque demi-mâchoire, propre à chaque espèce, s'appelle la **formule dentaire** de l'espèce. Lorsqu'une dent de mammifère est utilisée à des fins artistiques, on appelle « **ivoire** » la substance dentaire.

Le **nombre de vertèbres** peut varier d'une espèce à l'autre. Antérieur au sacrum, il varie entre 25 et 35. Postérieur au sacrum, on a aussi un nombre variable (3-50) de vertèbres dites « caudales » qui forment une queue flexible. Rappelons que chez l'humain, les vertèbres caudales sont réduites en nombre et en grosseur, sont soudées les unes aux autres, et sont plutôt dites « coccydiennes »; elles sont non-fonctionnelles et représentent un vestige évolutif de queue.

Le **nombre de paires de côtes** peut lui aussi varier, de 9 à 24, mais toutes celles surnuméraires à 10 sont flottantes (= pas connectées au sternum).

Avec ses 5 doigts et 5 orteils, chacun fait de 3 phalanges sauf pour les doigts et orteils les plus médians (pouces et gros orteils) qui en ont seulement 2, l'humain suit le patron des premiers mammifères, qui eux-mêmes suivent le patron des premiers tétrapodes. Mais chez certaines espèces de mammifères, l'adaptation à des modes de locomotion particuliers (course, vol, nage) a souvent **réduit le nombre de doigts et d'orteils, ou réduit le nombre de phalanges** (sauf pour les baleines, où il y a eu augmentation du nombre de phalanges).

Dépendamment des espèces, les os tarsiens et carpiens peuvent être **fusionnés** ou réduits en nombre. Il en va de même pour les os métatarsiens et métacarpiens.

Les cétacés et les mammifères **adaptés à la course ont perdu leurs clavicules**. Seules les deux omoplates forment la ceinture pectorale. Ceci permet des mouvements de plus grande amplitude par les membres antérieurs, ce qui aide à la course. Cela aide aussi les ongulés à pencher la tête jusqu'au sol pour brouter, et aux chats à absorber le choc d'atterrir sur leurs pattes.

Tout comme chez les humains, chaque **os coxal** dans la ceinture pelvienne est en fait la fusion de trois os séparés. Le nom de ces os est utilisé pour désigner les parties de l'os coxal qu'ils ont formé. Ainsi le **pubis** est la partie antérioroventrale de l'os coxal, l'**ischion** (= ischium, = la « pointe des fesses ») est la partie postérioroventrale, et l'**iléon** (= ilium, = la « pointe des hanches ») est la partie dorsale qui est collée au sacrum de la colonne vertébrale.

Les os sont apparus pour la première fois lors de l'évolution dans la peau de certains poissons, surtout pour servir d'armure. Comme on l'a déjà mentionné **ces os sont dits « dermiques »**. La capacité de produire des os dermiques a eu tendance à disparaître chez les vertébrés plus modernes. Les oiseaux, par exemple, n'ont pas d'os dermiques. Les mammifères ont eux aussi perdu la capacité de produire des os dermiques, sauf pour un groupe chez qui cette capacité est revenue : les 21 espèces de **tatous** (*armadillos*) ont une armure faite d'os dermiques.

Un processus d'ossification peut se faire dans des membranes à différents endroits du corps autre que la peau et le squelette comme tel, donnant naissance à des **os particuliers**. Dans le cœur des cerfs et des vaches, il se forme un petit os dans la cloison entre les deux ventricules (= *os cordis*). Dans le pénis d'un très grand nombre de mammifères (ex. : rongeurs, carnivores, chauve-souris), il se forme un os appelé **baculum ou os pénien** (chez le morse, le baculum peut atteindre une longueur de 60 cm!). On peut aussi retrouver un petit os dans le diaphragme (= la cloison musculaire entre les cavités thoracique et abdominale) des chameaux, dans le museau charnu des cochons, et même dans la langue d'au moins une espèce de chauve-souris.

LE SYSTÈME SQUELETTIQUE DES OISEAUX :

Plusieurs (pas tous) des os des oiseaux sont **pneumatiques**. Par exemple, l'humérus des ailes et le sternum sont souvent (dépendamment des espèces) pneumatisés. Dans de tels os, il y a des cavités internes qui ne sont pas remplies de moëlle osseuse rouge productrice de cellules sanguines comme d'habitude, mais plutôt d'air. (Ces cavités d'air sont en connexion avec le système respiratoire par des foramens à la surface de l'os.) L'intérieur de ces cavités est renforcé par des travées. Les os pneumatiques allègent l'oiseau pour le vol et contribuent au volume des sacs aériens.

Tout comme chez les mammifères, le nombre de vertèbres peut varier d'une espèce à l'autre (de 39 à 63 dans le cas des oiseaux). Le nombre de vertèbres cervicales est particulièrement élevé (11-25 plutôt que 7 comme chez presque tous les mammifères), ce qui donne plus de flexibilité au cou, utile puisque les oiseaux se servent beaucoup de leur tête/bec plutôt que de leurs membres antérieurs (qui sont devenus des ailes) pour attraper la nourriture.

Il y a **beaucoup d'os fusionnés** :

- 3-5 des vertèbres thoraciques (= de la poitrine) sont fusionnées et forment un grand **os dorsal** (donnant un support plus solide au niveau des ailes).
- Le **sacrum** inclut la fusion de quelques vertèbres lombaires et caudales en plus des vertèbres sacrés (donnant un support plus fort au niveau des pattes).
- Les 4-6 dernières vertèbres caudales sont fusionnées en un seul os terminal appelé **pygostyle** (qui sert de support pour les plumes de la queue).
- Les os tarsiens (= de la cheville) et métatarsiens (= du pied) sont soudés ensemble pour former un seul os appelé **tarso-métatarse** (rendant les pattes plus solides).

Sauf chez les oiseaux qui ont perdu la capacité de voler, le sternum présente une grande plaque médiane, le **bréchet**, qui sert de point d'attache pour les gros muscles du vol.

La plupart des oiseaux ont 3 doigts (dans les ailes) et 4 orteils (sur les pattes). Quelques espèces ont moins que 4 orteils (minimum 2, chez les autruches). Mais aucun oiseau n'est pentadactyle (= aucun oiseau a 5 doigts/orteils).

La ceinture pectorale comprend trois os plutôt que deux (de chaque côté) : comme chez les mammifères il y a une scapula (= omoplate) et une clavicule, mais en plus il y a aussi un os appelé **procoracoïde** (= **coracoïde**), qui fait le travail des clavicules en s'appuyant sur le sternum. Chaque clavicule, au lieu de contacter le sternum, est plutôt fusionnée à son extrémité ventrale avec l'autre clavicule, **formant un Y appelé furculum** – le *wishbone* des anglophones). Le tout donne un bon support aux ailes.

Dans la ceinture pelvienne, chaque os coxal vient de la fusion d'un pubis, d'un ischion et d'un iléon, comme pour les mammifères. Chaque os coxal est soudé au sacrum, comme il se doit, mais les parties ventrales des deux os coxaux, elles, ne se rejoignent pas l'une à l'autre. Contrairement aux mammifères, il n'y a **pas de bassin circulaire**. Ensemble, les deux os coxaux forment un fer à cheval plutôt qu'une vraie ceinture. Ceci est une adaptation pour faciliter le passage des œufs. Cela donne aussi plus de place pour les organes viscéraux (foie, intestins, etc.); l'oiseau étant bipède, la ceinture pelvienne se doit d'être assez avancée vers l'avant pour que les pattes puissent être sous le centre de gravité du corps, et cela place la ceinture pelvienne vis-à-vis les viscères, et il faut leur faire de la place.

Les oiseaux, comme tous les reptiles sauf les crocodiles et les serpents, ont un « **anneau sclérotique** » : un anneau de petits os plats qui entourent chaque œil pour le soutenir.

LE SYSTÈME SQUELETTIQUE DES REPTILES :

Tout comme chez les oiseaux et les mammifères, on peut distinguer des vertèbres cervicales, thoraciques, lombaires, sacrées, et caudales, quoique chez les serpents la différence de forme entre ces sortes n'est pas très grande. Le nombre de vertèbres varie d'une espèce à l'autre.

Le nombre de côtes peut varier. Les côtes thoraciques sont connectées à un sternum, sauf chez les serpents (qui ont perdu leur sternum). Il peut y avoir des côtes flottantes s'étendant des vertèbres lombaires et s'étendant même des vertèbres cervicales.

Chez les **crocodiles** et les sphénodons, il y a des os dermiques allongées au niveau du ventre, formant une armure qu'on appelle le **gastralium**; ces os sont souvent appelés « côtes abdominales », mais étant dermiques ils ne sont pas de vraies côtes.

Chez les **tortues**, 8 vertèbres dorsales sont fusionnées à la dossière de leur carapace. Les côtes sont aussi soudées à la carapace. À cause de cette soudure, la **ceinture pectorale se doit d'être dans la cage thoracique plutôt que par-dessus**. Il n'y a pas de sternum (les deux moitiés de la ceinture pectorales ne sont unies ventralement que par des ligaments).

LE SYSTÈME SQUELETTIQUE DES AMPHIBIENS :

Le nombre de vertèbres est variable, allant d'aussi peu que 9 chez certaines grenouilles jusqu'à 285 chez certaines cécilies. Chez les anoures (grenouilles), les vertèbres caudales sont fusionnées en un seul long os appelé **urostyle**, qui donne de la rigidité à l'extrémité postérieure du corps.

Les **côtes des amphibiens sont très courtes**, sauf chez les cécilies où elles sont longues. Un sternum est présent en position ventrale mais il n'est pas connecté aux côtes.

Le sternum sert quand même de point d'appui pour la ceinture pectorale, laquelle est constituée de trois os de chaque côté : scapulaire, clavicule, et coracoïde.

La ceinture pelvienne est une vraie ceinture, avec une plaque ventrale formée par la fusion des deux pubis en position antérieure et des deux ischions en position postérieure, et de montants latéraux formés par les iléons qui font chacun connexion avec les vertèbres sacrées.

Chez les grenouilles, le tibia et le fibula sont fusionnés en un seul os appelé **tibiofibula**. Deux des os tarsiens sont très allongés, donnant une **cheville très longue**.

Presque tous les amphibiens ont 4 doigts à l'avant et 5 orteils à l'arrière, composés de 1-3 phalanges. **Couper des phalanges** ou des doigts/orteils est la façon traditionnelle de marquer individuellement des amphibiens sur le terrain, mais cette technique est controversée en termes de bien-être animal.

Les cécilies ont perdu leurs membres (antérieurs aussi bien que postérieurs) de même que leurs ceintures pectorale et pelvienne.

LE SYSTÈME SQUELETTIQUE DES POISSONS :

La connexion entre le crâne et la première vertèbre de la colonne n'est pas flexible.

La colonne vertébrale peut seulement plier latéralement (gauche-droite).

Les vertèbres sont similaires les unes aux autres. La notion de vertèbres cervicales, thoraciques, lombaires, sacrées et caudales n'appartient qu'aux tétrapodes. Mais il peut y en avoir beaucoup : le poisson *Nemichthys scolopaceus* (avocette ruban, *slender snipe eel*) détient le record du plus grand nombre de vertèbres pour tous les vertébrés : environ 750!

La plupart des poissons ont des côtes, dites « pleurales », mais toutes flottantes (il n'y a pas de sternum; le sternum est un os retrouvé seulement chez les tétrapodes). La plupart des espèces ont aussi des petits os longs (des « arêtes ») entre chaque myomère de leur musculature, tout le long de leur corps; ces petits os ressemblent à des côtes mais en fait ils ne sont pas rattachés aux vertèbres. Quelques espèces (cheval de mer, chondrichthyens) n'ont pas de côtes du tout.

Les poissons ont beaucoup d'os dermiques :

- Écailles de la peau.
- Écailles placodes des requins.
- Armure externe des poissons anciens (ostracodermes et placodermes) et de quelques poissons contemporains (ex. : poissons-coffres, = *boxfishes*).
- Rayons et épines des nageoires.
- Couverture des opercules.

Rappelez-vous que beaucoup d'espèces de poissons ont des squelettes entièrement cartilagineux (ex. : requins), ou majoritairement cartilagineux, plutôt qu'osseux. Ils ont des « os » quand même, mais ces « os » sont faits de cartilage plutôt que de matière osseuse. Leurs dents, par contre, sont bel et bien minéralisées.

KINÉSIE CRÂNIENNE (= CINÉTISME CRÂNIEN) :

Chez les mammifères, la mâchoire supérieure est soudée au crâne. La gueule s'ouvre seulement grâce au mouvement de la mâchoire inférieure. Mais chez la plupart des autres vertébrés, la **mâchoire supérieure n'est pas soudée au crâne** et peut, jusqu'à un certain point, **basculer vers le haut et vers l'avant**. Cette capacité s'appelle la kinésie crânienne.

- La plupart des oiseaux peuvent le faire, à différents degrés, les meilleurs étant les perroquets, les moins bons (ils en sont incapables) étant les pic-bois.
- Les crocodiles et les tortues ne peuvent pas le faire, les lézards peuvent le faire un peu, mais les serpents en sont des spécialistes.
- Les amphibiens peuvent rarement le faire.
- Les poissons en sont les champions incontestés (incluant les requins).

QUESTIONS À RÉFLEXION :

- 1) Avez-vous déjà serré le corps d'un crapaud dans votre main? C'est très facile à faire. C'est comme écraser une balloune. Quelle particularité anatomique explique cela?
- 2) Dans le processus de formation d'un fossile, des minéraux envahissent les espaces internes d'un os. Quels espaces internes?
- 3) Devinez ce qu'est l'ostéologie.
- 4) Quelle est la formule dentaire de l'humain?
- 5) Lors d'une randonnée en forêt, vous trouvez un humérus de chevreuil au sol. En l'examinant vous voyez des trous, gros aussi bien que petits, à sa surface. À quoi servaient ces trous?
- 6) Le sternum sert de point d'appui pour les côtes, pour la ceinture pectorale (scapulaire), et pour les muscles du vol dans le cas des espèces qui volent. Devinez si les organismes suivants ont un sternum :
 - a) Cécilies
 - b) Ptérosaures
 - c) Lézards amphibiens
 - d) Serpents
 - e) Canard
 - f) Autruche
 - g) Tortues
- 7) Vrai ou Faux?
 - a. Les requins ont des ostéocytes.
 - b. Les vertébrés sont pentadactyles.
 - c. La clavicule fait partie de la ceinture pelvienne.
 - d. Les oiseaux sont digitigrades.
 - e. Les os sont compacts.
 - f. Les os sont inertes.
 - g. Les vertébrés ont un sternum.
 - h. Le calcium peut être entreposé dans la partie organique d'un os.
 - i. Les squelettes exposés en laboratoire montrent tous les os du corps.
 - j. Les amphibiens ont un urostyle.
 - k. Les tortues n'ont ni ceinture pectorale, ni ceinture pelvienne.
 - l. Les chevaux ont un ischion, une omoplate et une clavicule.
 - m. Il y a des vertébrés qui n'ont pas de côtes.
 - n. Le « *wishbone* » est un os de la ceinture pectorale des oiseaux.
 - o. L'iléon est connecté au sacrum.

- 8) Quelle est la différence entre :
- Tendon et ligament
 - Moëlle osseuse rouge et moëlle osseuse jaune
 - Atlas et axis
 - Os tarsiens et os carpiens
 - Os dermiques et os sésamoïdes
 - Sternum de mammifère et sternum d'oiseau
 - Bourse et capsule articulaire
 - Pygostyle et urostyle
- 9) Les oiseaux plongeurs ont des os moins pneumatisés que les autres espèces. Pourquoi?
- 10) Au magasin de jardinage, vous pouvez acheter de la farine d'os (*bonemeal*) comme engrais naturel pour vos plantes. Ce sont des os de vaches moulus. Pourquoi est-ce un bon engrais?
- 11) Le jeu d'osselets est un ancien jeu d'adresse qui consiste à lancer et rattraper de petits osselets plus ou moins carrés. Les « osselets » de nos jours sont artificiels, mais à l'origine (qui remonte à l'antiquité) c'était des « astragales » de moutons. Juste basé sur sa forme (petit et plus ou moins carré), devinez dans quelle partie du corps on trouve un astragale.
- 12) Certains os fossilisés sont tellement bien préservés qu'on peut encore voir les endroits où passaient les vaisseaux sanguins dans l'os. Pouvez-vous deviner comment de tels os ont contribué à la conclusion, généralement acceptée de nos jours, que la plupart des dinosaures étaient des animaux à sang chaud (= à métabolisme élevé) comme les oiseaux et les mammifères, plutôt qu'à sang froid comme les autres reptiles, les amphibiens, et les poissons?
- 13) Les animaux à sang froid qui grandissent et vivent dans des milieux saisonniers démontrent souvent des anneaux de croissance dans leur os : des zones de dépôt rapide (correspondant à l'été ou à la saison des pluies) alternent avec des zones de dépôt lent (correspondant à l'hiver ou à la saison sèche), comme dans le cas des troncs d'arbre. Une étude (*Nature* 487 : 358-361, 2012) a rapporté le même phénomène chez des espèces de gros mammifères dont la croissance s'étend sur plusieurs années. Quelle expérience pourriez-vous faire pour tester l'idée que les zones de dépôt lent correspondent à une période de stress environnemental chez ces mammifères?
- 14) Une étude publiée dans *Nature* en 2000 (*Nature* 403 : 37-38) a rapporté que des iguanes marins adultes des Iles Galapagos diminuaient de longueur corporelle par jusqu'à 20% lors de certaines années. Qu'est-ce qui change dans le corps pour résulter en une telle diminution de longueur corporelle, et qu'est-ce qui pourrait causer cela?

CHAPITRE 10

LES MUSCLES DES VERTÉBRÉS

Chaque muscle est un organe, et ensemble (> 600) les muscles du corps forment le système musculaire. En poids, le système musculaire représente 40-50% du corps chez l'humain.

RÔLE DES MUSCLES:

Les muscles servent aux **mouvements**. Un muscle est un organe **contractile** (un muscle peut seulement tirer, pas pousser). En se contractant, un muscle rapproche les deux structures (os ou membranes) auxquelles il est rattaché à ses extrémités. Ce rapprochement constitue un mouvement. Des mouvements en directions opposées sont permis par la disposition de muscles différents attachés à des côtés opposés des os ou des membranes.

Un muscle peut n'être rattaché à aucune structure particulière. Il est quand même utile car en se contractant il augmente de diamètre. Si le muscle entoure un espace intérieur, le volume de cet espace se trouve diminué par l'augmentation de diamètre du muscle. Cela peut permettre une action de pompage (voir « muscle cardiaque » plus loin) ou de contrôle de flux dans un vaisseau (voir « muscles lisses » plus loin). On parle donc ici de mouvements de substances.

MÉCANISME DE CONTRACTION :

L'unité de base d'un muscle est une **cellule appelée « fibre musculaire »**. (« Fibre » est un mot souvent utilisé en anatomie pour désigner une structure effilée; on l'emploie ici parce que les cellules musculaires sont longues et effilées.) Un muscle est un ensemble de fibres musculaires collées les unes aux autres par des couches de collagène. Un muscle se raccourcit (se contracte) quand ses cellules se contractent. Plus le **pourcentage** de cellules qui se contractent dans un muscle est grand, plus le muscle exerce une grande force.

Les cellules (= fibres) musculaires contiennent des filaments parallèles d'**actine** et de **myosine**. L'actine est une protéine qui peut se tortiller avec d'autres molécules d'actine pour former une structure filamenteuse, appelé « **filament mince** ». La myosine est une protéine qui peut faire la même chose avec elle-même pour former des « **filaments épais** ». Chaque molécule de myosine dans un filament épais se termine en une « tête » qui peut s'attacher à l'actine et puis pivoter.

Une contraction musculaire commence en envoyant un message nerveux à un certain pourcentage de cellules du muscle. Ce message est transmis à la membrane cellulaire des cellules du muscle et cause la libération d'ions calcium par le réticulum endoplasmique des cellules. Ces ions calcium modifient la forme d'une protéine (la **troponine**), ce qui fait bouger les molécules d'une autre protéine (la **tropomyosine**) qui cache des sites d'attache sur l'actine. Les sites d'attache étant maintenant dévoilés, les têtes de myosine d'un filament épais s'attachent au filament mince d'actine et pivotent, **faisant glisser le filament mince par rapport au filament épais**. Ce glissement au niveau de tous les nombreux filaments d'une cellule raccourcit la cellule. La contraction d'un certain pourcentage de cellules raccourcit tout le muscle.

Après avoir pivoté, chaque tête de myosine doit se recharger, ce qui demande de **l'ATP**. Si l'ATP est présent, les têtes de myosine qui ont pivoté se détachent de l'actine, reviennent à leur position d'origine, et sont prêtes à se rattacher à nouveau à l'actine pour maintenir le glissement des filaments et donc maintenir la contraction de la cellule.

Afin d'accomplir leur action, les cellules musculaires sont composées de :

1. Une membrane cellulaire capable de transmettre une vague de dépolarisation pour amener le message nerveux jusqu'à proximité des réticulum endoplasmiques qui vont libérer les ions calcium. Cette membrane porte le nom spécial de **sarcolemme**.
2. Un réticulum endoplasmique qui entrepose du calcium. Le réticulum endoplasmique des cellules musculaires porte le nom spécial de **réticulum sarcoplasmique**. (Vous commencez à deviner que « sarco » est un préfixe qui fait référence aux muscles.)
3. Des **mitochondries** (source d'ATP par métabolisme aérobie).
4. De la **myoglobine** (une protéine pouvant s'attacher à des molécules d'oxygène et pouvant donc servir de réserve d'oxygène pour le métabolisme aérobie).
5. Du **glycogène** (faisant office de réserve de glucose, le glycogène étant un glucide constitué de plusieurs molécules de glucose rattachées les unes à la suite des autres; le glucose sert au métabolisme aérobie et aussi au métabolisme anaérobie).
6. De la **créatine phosphate** (une réserve d'ATP).

TROIS SORTES DE MUSCLES :

Les muscles squelettiques :

- Habituellement **rattachés à des os**, d'où leur nom. Le lien avec l'os se fait par l'intermédiaire d'une bande de tissu conjonctif appelé « **tendon** », qui peut être très long (par exemple, vos doigts se referment par l'action de muscles situés dans votre avant-bras et unis aux phalanges des doigts par de longs tendons qui passent dans le poignet et la main). Certains muscles squelettiques peuvent aussi être **rattachés à des membranes**, comme dans le cas des muscles de la langue ou des muscles rattachés à la peau (ceux qui vous font sourire, par exemple).
- Ces muscles sont **volontaires** : ils se contractent après avoir reçu un message envoyé de façon consciente par le cerveau. (Exceptions partielles: les muscles squelettiques responsables de la respiration peuvent être contrôlés volontairement jusqu'à un certain point, mais normalement ils reçoivent des messages involontaires; et lors du frisson – voir page 86 –, des muscles volontaires reçoivent des messages involontaires.)
- Chaque cellule (= fibre) du muscle a son propre contact avec une terminaison nerveuse.
- Aussi appelés « **muscles striés** » parce que les filaments minces et épais d'une cellule sont empilés les uns à côté des autres de façon bien précise, créant un ensemble de stries visibles au microscope.
- Les cellules sont « **multinucléées** » : elles ont plusieurs noyaux, probablement parce qu'elles sont très longues et qu'il serait difficile de distribuer l'ARN d'un seul noyau à tous les ribosomes de la cellule. La création de telles cellules multinucléées vient de la fusion de plusieurs cellules uninucléées lors de l'embryogénèse.

Le muscle cardiaque :

- Le muscle du **cœur**, dont la contraction diminue le volume des espaces intérieurs du cœur (oreillettes, ventricules), poussant ainsi sur le sang que ces espaces contiennent.
- Les cellules sont striées.
- Les cellules forment des **embranchements en zig-zags**, ce qui rend le muscle très solide.
- Le muscle n'est **pas volontaire**. Il se contracte par lui-même à intervalles réguliers sous l'influence d'un *pacemaker*, le « nœud sinusal », situé dans la paroi du cœur, qui génère un signal qui se propage d'une cellule à l'autre du muscle. Cependant, des messages nerveux, inconscients, en provenance du cerveau peuvent accélérer ou ralentir le nœud sinusal.

Les muscles lisses :

- Les cellules des muscles lisses ne sont **pas striées** (leurs filaments minces et épais ne sont pas empilés de façon régulière), ce qui leur donne une apparence « lisse » quand on les regarde au microscope.
- Les cellules sont plus courtes et plus minces que celles des muscles squelettiques, et elles n'ont qu'un seul noyau.
- Les muscles lisses sont **involontaires** : ils sont stimulés par des messages nerveux inconscients du cerveau. Contrairement aux muscles squelettiques, les terminaisons nerveuses n'ont pas besoin de toucher à chaque cellule, car le signal peut se propager d'une cellule à l'autre, ce qui permet une grande synchronie de contraction.
- Le réticulum sarcoplasmique de leurs fibres musculaires est très rudimentaire. Suite à une stimulation nerveuse, le calcium entre dans la fibre au travers de sa membrane plasmique, à partir de l'extérieur, plutôt que d'être relâché par le réticulum sarcoplasmique.
- Les muscles lisses sont habituellement dans la **paroi d'organes creux** (ex. : tube digestif, voies respiratoires, vaisseaux sanguins, vessie et tuyaux du système uro-génital). Ils servent à contrôler le diamètre des tuyaux. Les muscles lisses d'un vaisseau sont toujours légèrement contractés; les relâcher fait augmenter le diamètre du tuyau/vaisseau (= **vasodilatation**); les contracter plus que d'habitude fait diminuer le diamètre du vaisseau (= **vasoconstriction**). Vasodilatation et vasoconstriction permettent de contrôler la quantité de fluide circulant dans le vaisseau.
- Leur action synchronisée peut créer des vagues de contraction tout le long d'un tuyau (= **péristaltisme**, vague péristaltique) pour y faire avancer des choses.
- À certains endroits le long d'un vaisseau, les muscles lisses peuvent former des sphincters. Un **sphincter** est un anneau musculaire autour d'une portion de tuyau qui peut se contracter suffisamment pour complètement bloquer le tuyau.
- On peut aussi retrouver des muscles lisses à quelques autres endroits du corps, non creux (ex. : muscles de l'iris de l'œil; muscle pilo-érecteur à la base des poils).
- Ils sont très étirables (pour permettre l'élargissement des tuyaux lorsque ceux-ci sont pleins).

HYPERTROPHIE ET ATROPHIE MUSCULAIRE :

Un muscle peut s'**hypertrophier** (= augmenter de grosseur) avec l'exercice continu. Ce n'est pas le nombre de cellules par muscle qui augmente (ce nombre est déterminé génétiquement et ne change jamais). C'est plutôt **la grosseur de chaque cellule qui augmente**, car chaque cellule synthétise maintenant plus de filaments d'actine et de myosine. L'actine et la myosine étant des protéines, leur synthèse exige beaucoup d'acides aminés. L'hypertrophie musculaire ne peut être soutenue qu'avec un régime alimentaire riche en protéines.

Les culturistes (*body-builders*) mangent beaucoup de viande. La viande, c'est du muscle (de vache, cochon, poulet, poisson, etc.); et du muscle, c'est surtout de la protéine. Le système digestif brise les protéines de la viande, les acides aminés qui en résultent sont absorbés par la paroi du tube digestif et amenés par le sang aux muscles qui peuvent alors s'en servir pour synthétiser leurs propres protéines.

Un muscle peut aussi diminuer de grosseur (= **atrophie**) s'il n'est pas utilisé souvent, ou si la nourriture est peu abondante. Dans ces situations, le corps recycle les acides aminés des protéines des muscles squelettiques pour s'en servir ailleurs (notamment pour garantir la synthèse d'enzymes essentielles au bon fonctionnement du corps, les enzymes étant elles-aussi des protéines). Cela diminue le nombre de filaments par cellule, ce qui diminue le diamètre des cellules, ce qui diminue la grosseur du muscle entier.

TONUS MUSCULAIRE :

Tous les muscles squelettiques reçoivent sans cesse, du cerveau, inconsciemment, des influx nerveux à faible fréquence, ici et là dans le muscle, dans le but de maintenir les muscles toujours légèrement contractés. Cet **état de contraction légère mais continue des muscles squelettiques** est ce qu'on appelle le tonus musculaire. Le tonus sert à :

- minimiser les risques d'atrophie musculaire;
- maintenir le corps debout.

Le tonus musculaire cesse (le cerveau arrête d'envoyer ses messages aux muscles) :

- quand l'animal ou la personne perd connaissance (c'est pourquoi on tombe par terre);
- quand l'animal ou la personne dort (on a le « corps mou » quand on dort).

RIGIDITÉ CADAVERIQUE (*RIGOR MORTIS*) :

La rigidité cadavérique est un état de raideur des muscles, commençant 3-4 h après la mort et se terminant 2-3 jours plus tard. L'actine, la myosine et l'ATP sont encore présents et intacts. Par contre, le réticulum sarcoplasmique, relativement fragile, est la première structure intracellulaire à se dégrader après la mort (vous l'aurez deviné : 3-4 h après la mort). Donc le Ca^{++} est libéré dans les cellules musculaires, ce qui entame la contraction. Le Ca^{++} reste présent en permanence (il ne peut plus être réabsorbé par les réticulums maintenant brisés) et donc la contraction se poursuit jusqu'à temps que l'ATP soit tout consommé. À ce moment, les filaments d'actine et de myosine ne peuvent plus se détacher l'un de l'autre (ça prend de l'ATP pour détacher et recharger les têtes de myosine), et donc le muscle reste « barré ». Cette raideur cesse quand l'actine et la myosine elles-mêmes se dégradent au bout de 2-3 jours.

UTILISATION D'ÉNERGIE PAR UN MUSCLE :

Voici, en ordre, d'où vient l'énergie consommée par un muscle en action continue :

Premières 4-6 secondes :	ATP déjà présent.
Les 15 secondes suivantes :	Créatine phosphate → ATP.
L'heure suivante, environ :	Glycogène du muscle → glucose → ATP; Glycogène du foie → glucose → sang amène ce glucose aux muscles → ATP.
Le reste du temps :	Lipides → ATP.

Quand notre corps épuise tout son glycogène et qu'il se doit de passer aux lipides comme source d'énergie (ce qu'il « n'aime » pas faire, car il est relativement difficile d'obtenir rapidement de l'ATP à partir des lipides), il s'en suit une sensation de grande fatigue. C'est cette soudaine sensation de grande fatigue, lorsque les muscles passent aux lipides comme source d'énergie, qui correspond à « **frapper le mur** », comme lors d'un marathon par exemple.

On est **essoufflé pendant un exercice intense** parce que les muscles en action ont besoin d'ATP, et le moyen le plus efficace pour obtenir de l'ATP est le métabolisme aérobie (= oxydatif), c'est-à-dire faire réagir le glucose avec l'oxygène. Si les muscles travaillent très fort, il faut maximiser la quantité d'ATP produite, donc il faut maximiser l'apport d'oxygène aux cellules musculaires. On respire vite pour amener plus d'air (et donc d'oxygène) aux poumons, et notre cœur bat plus vite pour amener plus de sang aux muscles, car c'est le sang qui transporte l'oxygène entre les poumons et les muscles.

Parfois le travail musculaire est si intense qu'il est impossible d'amener suffisamment d'oxygène aux muscles pour satisfaire tous leurs grands besoins. À ce moment, le muscle, en plus de faire le métabolisme aérobie au maximum, va y ajouter de plus en plus de métabolisme anaérobie. Un des produits secondaires du métabolisme anaérobie est l'**acide lactique**, un produit dangereux car il peut déstabiliser le pH. La plupart de l'acide lactique produit dans les muscles est amené par le sang au foie, qui l'entrepose. Mais aussitôt l'exercice fini, le foie commence à se débarrasser de cet acide lactique en le faisant réagir avec l'oxygène. On est **essoufflé après l'exercice intense** pour amener beaucoup d'oxygène au foie afin qu'il puisse éliminer l'acide lactique qu'il a entreposé.

Un peu plus de deux-tiers de l'énergie contenu dans l'ATP consommé par un muscle est converti en chaleur lors de la contraction musculaire. Le **frisson** est une contraction rapide de **muscles antagonistes** (= **responsables de mouvements opposés**) dans le seul but de générer de la chaleur. Le frisson est souvent utilisé par les mammifères et les oiseaux pour se réchauffer.

FATIGUE MUSCULAIRE :

La fatigue musculaire est causée par différentes choses :

- L'acidification du muscle à tel point que les enzymes ne fonctionnent plus; les ions H⁺ responsables de cette acidification proviennent du métabolisme **anaérobie**;
- Des déséquilibres ioniques à cause de l'accumulation d'acide lactique ou autres métabolites.

FIBRES ROUGES ET FIBRES BLANCHES :

Les **fibres rouges** (= fibres oxydatives, = fibres à contraction lente) sont des cellules où :

- l'ATP vient surtout du **métabolisme aérobie** (= oxydatif);
- la couleur rouge vient de l'abondance de myoglobine (réserve d'oxygène);
- il y a aussi beaucoup de mitochondries;
- leur contraction est moins rapide mais peut se faire plus longtemps sans fatigue (la fatigue étant surtout causée par le métabolisme anaérobie).

Les **fibres blanches** (= fibres glycolytiques, = fibres à contraction rapide) sont des cellules où :

- l'ATP vient surtout du **métabolisme anaérobie** (= glycolytique);
- leur couleur est pâle car il y a peu de myoglobine;
- il y a beaucoup de glycogène (réserve de glucose);
- leur contraction est rapide, mais elles se fatiguent vite.

Les muscles contiennent habituellement un mélange de ces deux types de fibres (cellules) musculaires, de même qu'un troisième type qui est intermédiaire (oxydatif à contraction rapide). Cependant, surtout par les gènes, mais un peu aussi par l'exercice, il est possible que certains muscles se spécialisent dans un type de fibres plus que dans l'autre.

Une abondance de fibres rouges est bonne pour de l'exercice de longue durée, mais pas trop intense (pour qu'il soit toujours possible d'amener suffisamment d'oxygène à ces muscles spécialisés dans le métabolisme aérobie). Exemple : marathon.

Une abondance de fibres blanches est bonne pour de l'exercice explosif, très intense (contraction très rapide), mais de courte durée (car la fatigue apparaît assez vite). Exemple : sprint.

Viande blanche et viande brune des poulets :

Les poules utilisent leurs pattes pour marcher, une activité peu intense mais qui peut durer longtemps. Les muscles de leurs cuisses ont donc beaucoup de fibres rouges. La viande, c'est du muscle, et donc les cuisses de poulet sont de la viande « brune », foncée, car elle contient beaucoup de fibres rouges (donc beaucoup de myoglobine et de mitochondries).

Les poitrines de poulet sont de la viande « blanche », pâle, car ces muscles sont pleins de fibres blanches, spécialisées pour l'envol explosif mais de courte durée. Les poules appartiennent au groupe des gallinacés (revoir page 40), dont beaucoup d'espèces sont spécialisées pour échapper aux prédateurs en les surprenant par un envol soudain et bruyant, vers un arbre à proximité.

Chair blanche ou foncée des poissons :

La chair foncée de certains poissons indique une espèce qui nage régulièrement sans arrêt (fibres rouges abondantes). Une chair pâle indique plutôt un groupe musculaire spécialisé dans la nage rapide et soudaine (fibres blanches abondantes).

COLLAGÈNE :

Pour bien tirer, un muscle doit bien se tenir ensemble, doit être résistant au déchirement. La présence de couches de **collagène** au travers du muscle assure cette intégrité. Chaque cellule musculaire individuelle est entourée par une couche de fibres de collagène, appelé **endomysium**, qui la fait coller aux autres cellules. Ensuite, plusieurs cellules sont unies ensemble en faisceaux qui eux sont entourés par une autre couche de collagène, appelée **périnysium**, qui fait coller les faisceaux ensemble. Finalement, le muscle tout entier (tous les faisceaux ensemble) est entouré par une couche de collagène appelé **épimysium**. Aux extrémités du muscle, l'épimysium devient le **tendon** qui unit le muscle à l'os auquel il est attaché.

La couche de **gélatine** qu'on voit sur les pâtés de viande est du collagène hydrolysé (= brisé par une réaction avec de l'eau) qui est venu à la surface des muscles (la viande, c'est du muscle) quand ils ont été broyés et bouillis.

(Il est aussi possible d'obtenir de la gélatine en faisant bouillir de la peau ou des os. Rappelez-vous que ces organes contiennent aussi du collagène.)

QUESTIONS À RÉFLEXION :

- 1) Les poitrines de canard sont de la viande foncée, pas pâle comme chez les poulets. Pourquoi?

- 2) Quelle sorte de fibres musculaires vous attendez-vous à retrouver dans une cuisse de grenouille?

- 3) Au gymnase il est possible de créer des corps très musclés. Par sélection artificielle sur la ferme, il est aussi possible de créer des taureaux très musclés (très « viandeux »). Mais en nature c'est très rare de voir des animaux très musclés. Pourquoi?

- 4) Il existe des substances qui émettent rapidement de la fluorescence lorsque mises en présence de calcium. Comment pourrait-on s'en servir pour démontrer que le calcium est impliqué dans la contraction musculaire?

- 5) Lorsqu'une cellule de muscle squelettique reçoit un message en provenance d'un nerf, elle se contracte toujours complètement. Pouvez-vous expliquer comment il est possible, avec un même muscle squelettique, d'exercer consciemment différentes forces (forces délicates ou forces très grandes) sachant que chaque cellule individuelle qui se contracte obéit à une loi de tout ou rien?

CHAPITRE 11

LE SYSTÈME NERVEUX DES VERTÉBRÉS

RÔLES DU SYSTÈME NERVEUX :

- 1) Percevoir l'environnement externe et y répondre correctement, habituellement en envoyant des messages à des muscles ou à des glandes.
- 2) Percevoir l'environnement interne du corps et le réguler.
- 3) Permettre l'apprentissage, et entreposer de l'information en mémoire.

CELLULES DU SYSTÈME NERVEUX :

Neurone : Cellule responsable de la transmission de signaux. Elle comprend trois parties :

Corps cellulaire: Ressemble à une cellule typique. Contient le noyau cellulaire et une grande quantité de mitochondries et de ribosomes.

Dendrites: Prolongements du corps cellulaire en général courts et nombreux. Elles constituent la principale zone de réception des signaux nerveux en provenance d'autres neurones (mais ils ne sont pas la seule zone : le corps cellulaire peut lui aussi recevoir des signaux).

Axone: Prolongement unique du corps cellulaire, en général long, qui transmet les signaux nerveux jusqu'aux prochains neurones, ou jusqu'à des cellules musculaires, ou jusqu'à des glandes.

À son extrémité, il y a plusieurs petites ramifications, appelées **télodendrons**, qui font connexion avec les dendrites ou corps cellulaire des prochains neurones, ou avec les cellules musculaires, ou avec les glandes.

Les neurones ont une très grande activité métabolique, **entièrement aérobie**. Ils ont absolument besoin de glucose et d'oxygène pour être actifs. (Et ils **consomment beaucoup d'oxygène**; par exemple, chez l'humain le cerveau ne représente que 2% du poids total du corps, mais il consomme 20% de tout l'oxygène utilisé par le corps.) Chez l'humain, quelques secondes sans oxygène et on s'évanouit car les neurones du cerveau cessent de bien fonctionner; quelques minutes sans oxygène et les neurones meurent et donc on meurt.

Un neurone mature ne peut pas se diviser, **ne peut pas faire de mitose**. Donc, la plupart de nos neurones durent toute une vie. Mais les neurones ne sont pas nécessairement statiques : ils peuvent faire pousser de nouvelles dendrites au besoin. Dans les nerfs en dehors du cerveau et de la moëlle épinière, ils peuvent aussi parfois réparer une région écrasée ou coupée de l'axone.

Neurolemmocytes (= cellules de Schwann):

Cellules qui entourent l'axone des neurones **en dehors du cerveau et de la moëlle épinière**. Leur présence augmente la vitesse de conduction des signaux le long de l'axone.

La membrane cellulaire de ces cellules est riche en myéline (un mélange de protéines et de lipides). Quand le neurolemmocyte s'entoure plusieurs fois autour de l'axone, sa membrane cellulaire s'empile sur elle-même, formant ce qu'on appelle une « **gaine de myéline** » autour de l'axone. Le cytoplasme qui se fait pousser sur le côté s'appelle le neurolemme (= neurilemme). Un axone « myélinisé » est un axone recouvert de neurolemmocytes.

Dans un tissu préservé, la myéline est de couleur blanchâtre. Quand un tissu nerveux préservé apparaît blanchâtre, c'est parce qu'il contient beaucoup d'axones myélinisés.

Noeuds de la neurofibre (= noeuds de Ranvier): espaces ouverts entre neurolemmocytes le long de l'axone.

Oligodendrocytes:

Cellules qui forment une gaine de myéline autour des axones des neurones **dans le cerveau et la moëlle épinière** (en dehors du cerveau et de la moëlle épinière, ce sont les neurolemmocytes – les cellules de Schwann – qui remplissent ce rôle).

La **sclérose en plaque** est une maladie caractérisée par une destruction progressive des gaines de myéline fournies par les oligodendrocytes dans le cerveau et la moëlle épinière, suivi par leur remplacement par des plaques de tissus conjonctif. La cause est mal connue; l'hypothèse la plus populaire est qu'il s'agit d'une maladie auto-immune (le système immunitaire attaque la myéline, même s'il est normal d'avoir de la myéline dans le corps). Il en résulte plusieurs symptômes, dont le plus évident est une perte de coordination.

Astrocytes: (Astro = étoile. Les astrocytes sont en forme d'étoile)

Cellules qui transfèrent nutriments et déchets métaboliques entre les neurones et les capillaires. Les astrocytes servent de « **barrière hémato-encéphalique** » (*blood-brain barrier*) pour les neurones contre les agents pathogènes et les poisons, et servent aussi de tampon contre les fluctuations soudaines de pH, d'oxygène dissous, et de glucose dissous qui pourraient survenir dans le sang.

Microglies (= cellules microgliales):

Elles phagocytent les corps étrangers et les neurones morts.

Ensemble, les cellules autres que les neurones (la présente page) sont désignées par le terme général « **la névroglie** » ou « les **cellules gliales** ». Leur rôle général est de soutenir et aider les neurones. Chez l'humain elles constituent environ 50% en masse, et 90% en nombre de cellules, du tissu nerveux.

MÉCANISME DE TRANSMISSION D'UN SIGNAL NERVEUX

L'**axone** du neurone représente le chemin le plus long suivi par un signal nerveux.

Des pompes à ions dans la membrane de l'axone font en sorte qu'il y a plus d'ions sodium (Na^+) en dehors de l'axone, et plus d'ions potassium (K^+) en dedans. Cependant, le surplus de Na^+ est plus grand que le surplus de K^+ . Ce déséquilibre résulte en un potentiel (= voltage) électrique de part et d'autre de la membrane équivalent à -70 mV . On appelle cela le **potentiel de repos**.

Des canaux sont présents dans la membrane qui peuvent laisser passer les ions Na^+ et K^+ lorsqu'ils sont ouverts. En temps normal ils sont fermés. Mais si le potentiel transmembranaire s'élève à -55 mV (= le seuil d'excitation), alors les canaux s'ouvrent temporairement (ceux à Na^+ plus vite que ceux à K^+). Les ions Na^+ entrent par diffusion, ce qui fait monter le potentiel à $+30 \text{ mV}$ (ce changement correspond à la « **phase de dépolarisation** », et la valeur de $+30 \text{ mV}$ correspond au **potentiel d'action**), suivis des ions K^+ qui sortent par diffusion (la « **phase de repolarisation** »), ramenant le potentiel aux alentours de -70 mV .

À la base de l'axone (= la **zone gachette**), des ions en provenance des dendrites font monter le potentiel à -55 mV , ce qui déclenche la dépolarisation à cet endroit. Les ions Na^+ qui entrent à cet endroit font monter le potentiel à -55 mV juste à côté un peu plus loin sur l'axone, et les canaux ioniques font s'ouvrir là aussi, causant une dépolarisation là aussi, et ainsi de suite comme des dominos qui tombent tout le long de l'axone.

La tétrodothine est un poison synthétisé par certains poissons (à la page 19, avez-vous lu sur le fugu?), certaines grenouilles, et certains tritons. Son action toxique est de bloquer les canaux à sodium (Na^+) des axones. Les animaux producteurs du poison y sont insensibles car ils ont des canaux à sodium modifiés auxquels la tétrodothine ne peut se fixer.

Le signal nerveux le long de l'axone est souvent appelé « **vague de dépolarisation** » ou « **potentiel d'action** » (oui, « potentiel d'action » peut désigner la valeur précise de $+30 \text{ mV}$ et aussi le signal transmis lorsque cette valeur est atteinte consécutivement tout le long de l'axone). Ainsi on peut dire : « Ce neurone a retransmis 50 potentiels d'actions par seconde ».

La vague de dépolarisation suit le principe du tout ou rien : soit qu'elle est déclenchée ou soit qu'elle ne l'est pas. Son amplitude est toujours la même : passage de -70 mV à $+30 \text{ mV}$. Un signal nerveux est présent ou absent, il ne peut pas à lui seul être fort ou faible. Ce qui permet au cerveau de distinguer un stimulus fort ou faible, c'est la **fréquence** des signaux (le nombre de signaux qu'il reçoit par unité de temps), soit parce qu'un même neurone lui envoie plusieurs signaux un à la suite de l'autre, ou parce que plusieurs neurones lui envoient des signaux.

Mais la **vitesse** de transmission peut varier. Elle est plus rapide lorsque le diamètre de l'axone est plus grand, et aussi lorsqu'une gaine de myéline est présente à intervalle le long de l'axone. La vitesse maximale chez l'humain est 468 km/h .

Dans le chapitre sur les muscles, j'ai écrit que le signal nerveux en provenance d'un neurone est transmis au sarcolemme (la membrane de la cellule musculaire) et de là il se rend jusqu'aux réticulum sarcoplasmiques qui sont en contact avec le sarcolemme. C'est le bon temps de vous dire que les sarcolemmes ont eux aussi des canaux ioniques et qu'ils peuvent transmettre un signal de la même façon que les axones.

La **synapse** est la région où le télodendron terminal d'un axone vient presque en contact avec la membrane d'une dendrite ou du corps cellulaire d'un neurone suivant. (Un télodendron peut aussi venir presque en contact avec une cellule musculaire pour la stimuler; ce type particulier de synapse porte le nom de « jonction neuro-musculaire »). La transmission d'un signal d'un neurone à un autre se fait au travers de la synapse et se nomme **transmission synaptique**.

Le télodendron renferme des substances particulières, appelées **neurotransmetteurs**, dans des centaines de petites vésicules. Lorsqu'un potentiel d'action arrive au bout de l'axone, des canaux à calcium s'ouvrent dans la membrane du télodendron, laissant entrer des ions calcium, ce qui force les vésicules à se souder à la membrane et à déverser leurs neurotransmetteurs dans l'espace entre le télodendron et la dendrite ou corps cellulaire. (Cet espace, appelé « fente synaptique », est très mince : environ 20 nm.)

Vu la minceur de l'espace, les neurotransmetteurs diffusent rapidement jusqu'à la membrane de la dendrite, laquelle renferme des canaux ioniques qui peuvent seulement s'ouvrir si un neurotransmetteur particulier vient en contact avec un récepteur attaché au canal. Le récepteur peut seulement accepter un neurotransmetteur particulier (on dira que le récepteur est spécifique à un neurotransmetteur).

Lorsque le neurotransmetteur se fixe à son récepteur spécifique, le canal associé s'ouvre et laisse entrer des ions (habituellement des ions positifs, ce qui dépolarise la membrane). Ces ions se déplacent par diffusion tout le long de l'intérieur de la membrane de la dendrite et du corps cellulaire, jusqu'à la base de l'axone où ils élèvent le potentiel jusqu'à -55 mV, déclenchant alors le potentiel d'action. Cette diffusion des ions le long de l'intérieur des dendrites et du corps cellulaire prend le nom de **courant local**, ou **potentiel gradué** car plus les ions vont loin, plus un certain nombre d'entre eux se dispersent ou fuient au travers de la membrane, et plus le changement de potentiel causé par leur présence s'abaisse.

Le paragraphe précédent décrit une **synapse excitatrice**, celle qui transmet un signal. Il existe des **synapses inhibitrices** qui ouvrent des canaux laissant entrer des ions qui **hyperpolarise** la membrane post-synaptique, ce qui bloque le signal envoyé en amont par une synapse excitatrice.

Le neurotransmetteur se détache ensuite de son récepteur et est soit dégradé sur place, ou repris par le télodendron ou par des cellules gliales tout près. La synapse est alors prête à recevoir un autre signal.

Beaucoup de **poisons** et de drogues oeuvrent au niveau des synapses. Ils peuvent soit :

- inhiber la libération d'un neurotransmetteur particulier par le télodendron;
- bloquer les récepteurs d'un neurotransmetteur particulier;
- inhiber la dégradation ou la reprise d'un neurotransmetteur particulier.

Il existe plusieurs substances qui servent de neurotransmetteur: acétylcholine (le neurotransmetteur relâché par les jonctions neuro-musculaires); adrénaline et noradrénaline; endorphines (la morphine en est un analogue d'origine végétale); dopamine, sérotonine, GABA, glutamate, etc.

Les dendrites et le corps cellulaire d'un même neurone peuvent faire synapse avec des milliers d'autres neurones. De plus, l'axone d'un neurone peut avoir plusieurs télodendrons faisant synapse avec beaucoup d'autres neurones. Ce grand nombre de synapses, qui inclut des inhibitrices et des excitatrices, permet de former des réseaux de neurones très complexes dans le cerveau, et ceci est à la base des grandes capacités de traitement d'information du cerveau.

ANATOMIE MACROSCOPIQUE DU SYSTÈME NERVEUX

Système nerveux central (SNC) :

Cordon nerveux (= moëlle épinière) :

Voie de transmission de signaux entre le corps et le cerveau, passant dans les foramen (trous) des vertèbres qui forment la colonne vertébrale.

En coupe transversale, il comprend une zone blanchâtre (la « matière blanche », correspondant à des axones myélinisés) et une zone foncée (la « matière grise », correspondant à des corps cellulaires). Une telle division de couleur peut aussi se retrouver dans le cerveau.

Cerveau :

À son extrémité antérieure, le cordon nerveux s'élargit et devient l'encéphale (= cerveau), lequel comprend trois grandes divisions, et des sous-divisions :

le rhombocéphale (*hindbrain*) : - le cervelet,
- la moelle allongée,
- le pont (mammifères seulement)

le mésencéphale (*midbrain*)

le prosencéphale (*forebrain*) : - le diencéphale,
- le télencéphale.

Le **cervelet** forme une bosse postérieure et dorsale. Il sert à (1) coordonner inconsciemment les mouvements musculaires, et à (2) maintenir le corps en équilibre en fonction des informations en provenance des propriocepteurs, de la ligne latérale, et des canaux semi-circulaires (voir page 119). Il est particulièrement gros chez les oiseaux et les mammifères, des vertébrés capables de mouvements complexes.

Son bon fonctionnement est facilement affecté par l'alcool. Les gens ivres ont de la difficulté à parler car ils ont de la difficulté à coordonner leurs muscles de la parole, et ils ont de la difficulté à marcher droit car ils ont de la difficulté à garder leur équilibre.

La **moelle allongée** (= medulla oblongata, = myélocéphale, = **bulbe rachidien**) fait directement connexion avec le cordon nerveux. Elle génère le rythme respiratoire, module le rythme cardiaque, et contrôle la pression sanguine.

Chez les mammifères, la connexion entre la moelle allongée et le mésencéphale qui la suit est en forme de bosse, qu'on appelle le **pont**. Il sert de relai; il est aussi connecté à des nerfs du visage.

Le **mésencéphale** suit la moelle allongée (ou le pont). Il est impliqué dans les réponses visuelles et auditives, et la genèse de l'éveil, du sommeil, et de l'attention.

Chez les vertébrés autres que les mammifères le mésencéphale présente une paire de lobes très distinctifs (les **lobes optiques**) qui aident à coordonner les actions impliquant des cibles visuelles (comme nager ou voler sans frapper des obstacles). Chez les mammifères, les lobes sont petits car leur rôle a été transféré aux gros hémisphères cérébraux.

Un choc au mésencéphale fait temporairement perdre connaissance (= commotion cérébrale, *knock out*). Une blessure grave au mésencéphale entraîne une perte de connaissance prolongée (= coma). La perte de connaissance n'est pas la même chose que le sommeil; elle est l'absence à la fois de l'éveil et du sommeil.

Le **diencéphale** comprend : (1) l'**épithalamus**, qui correspond à la glande pinéale, laquelle est sensible à la longueur du jour et est impliqué dans le contrôle des réponses photopériodiques (comme la reproduction saisonnière); l'information lumineuse peut venir des yeux, mais chez quelques animaux (lamproies, quelques anoures, quelques lézards) elle peut aussi venir d'une petite fenêtre de peau transparente sur le dessus de la tête (= œil pariétal); (2) le **thalamus**, un grand centre de relai d'information entre les hémisphères cérébraux et le reste du cerveau; (3) l'**hypothalamus**, le grand centre de contrôle de l'homéostasie (le maintien des paramètres internes du corps) et des émotions (peur, stress, attraction sexuelle, etc.); il régule aussi le *timing* de l'éveil et du sommeil, et il stimule la glande pituitaire située sous lui, laquelle est responsable de produire beaucoup d'hormones. L'hypothalamus de l'humain est parfois appelé le « cerveau reptilien » de l'humain, parce qu'il remplit des fonctions primaires qu'on retrouve chez tous les vertébrés.

Le **téleencéphale** comprend : (1) le rhinencéphale (**bulbes et lobes olfactifs**) responsable de traiter l'information olfactive en provenance des narines et de l'organe voméronasal (page 124); et (2) les **hémisphères cérébraux** (un droit et un gauche, unis par une voie de communication appelé « **corps calleux** »), responsables de faire le lien entre information sensorielle et réponse appropriée; ils génèrent les mouvements et les comportements; ils sont le principal siège de la mémoire et de l'apprentissage; chez l'humain ils sont responsables de la parole, la lecture, l'écriture, le calcul, la projection dans le futur, et ce qu'on appelle en général « l'intelligence ». Le volume des hémisphères par rapport au reste du cerveau tend à augmenter en passant des poissons aux amphibiens aux reptiles aux oiseaux et finalement aux mammifères.

Les hémisphères exercent un contrôle dit « contra-latéral » : l'hémisphère droit perçoit les sensations et contrôle les mouvements de la moitié gauche du corps, et vice-versa pour l'hémisphère gauche.

Différentes parties des hémisphères (appelées « aires ») sont associées à différentes parties du corps. Par exemple, l'hémisphère gauche contient une « aire sensorielle de la main droite » (qui traite l'information sensorielle en provenance de la main droite) et aussi une « aire motrice de la main droite » (qui contrôle les mouvements de la main droite).

Ventricules cérébraux :

Le cerveau des vertébrés comprend 4 cavités internes (ils sont appelés le latéral droit, le latéral gauche, le 3^e, et le 4^e). Ils sont interconnectés entre eux, et connectés avec l'extérieur du cerveau. Ils produisent un liquide appelé « **liquide cérébro-spinal** (= céphalo-rachidien) » qui se répand autour du cerveau et aussi du cordon nerveux (donc, autour du système nerveux central – SNC) pour (1) contribuer à des échanges de nutriments et déchets métaboliques, et (2) servir de coussin contre les chocs.

Le coussinage n'est pas à toute épreuve : le cerveau peut cogner contre le crâne lors de violentes collisions, et cela peut endommager les neurones. On parle alors de **contusion cérébrale** (*concussion*, en anglais; à ne pas confondre avec la commotion cérébrale, qui est la perte de connaissance). La contusion peut s'accompagner d'hématomes (masse de sang coagulé) ou d'oedèmes (accumulation anormale de liquide) qui peuvent faire pression sur les neurones de façon très néfaste.

Méninges :

Les méninges sont des couches de tissu conjonctif entourant le cerveau et le cordon nerveux. Les poissons ont une seule couche; les tétrapodes en ont deux, sauf les mammifères qui en ont trois. Ces trois méninges sont, en ordre de l'extérieur vers le tissu nerveux : la **dure-mère**, l'**arachnoïde**, et la **pie-mère**. Entre l'arachnoïde et la pie-mère il y a un espace occupé par le liquide cérébro-spinal.

Les **maux de tête** sont causés par des récepteurs sensoriels dans les méninges. Il n'y a pas de récepteurs sensoriels de la douleur dans le cerveau (il y a des aires sensorielles pour créer la sensation de douleur en réponse à des messages qui viennent des récepteurs dans le corps, mais il n'y a pas de récepteurs dans le cerveau). Cependant il y a des récepteurs de la douleur dans les méninges. Ces récepteurs envoient des messages (ce qui mène éventuellement à la sensation de douleur) au cerveau en réponse à des pressions exercées sur les méninges par la vasodilatation des artères cérébrales.

La vasodilatation (élargissement du diamètre des vaisseaux sanguins) est souvent une réponse à la déshydratation. Moins d'eau dans le corps résulte en moins de sang, donc moins d'apport de glucose et d'oxygène aux neurones du cerveau; le cerveau a vraiment besoin d'un apport constant en oxygène, donc il compense le plus faible volume sanguin en élargissant les vaisseaux sanguins chargés d'amener le sang au cerveau. C'est bon pour le cerveau, mais malheureusement cela stimule les récepteurs de la douleur dans les méninges, donc : mal de tête.

On prend une aspirine quand on a mal à la tête. Souvent, le grand verre d'eau avec lequel on prend l'aspirine fait autant de bien que l'aspirine elle-même.

Système nerveux périphérique (SNP) :

Le SNP comprend l'ensemble des nerfs, des ganglions, et des organes sensoriels. Les **nerfs** sont des regroupements d'axones qui servent de grandes voies de transmission de signaux en dehors du système nerveux central. Les **ganglions** sont des regroupements de corps cellulaires associés à ces axones, situés en marge des nerfs. Les **organes sensoriels** sont des amas de cellules nerveuses spécialisées dans la détection de stimuli particuliers. Lorsque le stimulus est présent, ces neurones envoient un signal au SNC par l'intermédiaire des nerfs.

Il peut arriver que deux nerfs se rapprochent l'un de l'autre et qu'à cet endroit ils s'échangent des axones. Un tel endroit s'appelle un **plexus**.

On peut classer les nerfs selon leur position ou selon le type de signaux qu'ils transmettent.

Selon leur position, on a :

Les nerfs **crâniens** sont connectés directement au cerveau (il y en a 10-12).
Les nerfs **spinaux** (= **rachidiens**) sont connectés au cordon nerveux.

Selon leur type de signaux, on a :

Les nerfs **sensitifs** (= **afférents**) amènent des messages du corps au cerveau.
Les nerfs **moteurs** (= **efférents**) amènent des messages du cerveau au corps.
Les nerfs **mixtes** ont certains axones qui sont afférents, et certains qui sont efférents.

Si on regarde du côté moteur du SNP, on peut retrouver deux grandes catégories: le SN somatique et le SN autonome.

Système nerveux (SN) périphérique moteur

	SN somatique	SN autonome
Effecteurs:	muscles squelettiques	muscles lisses muscles cardiaques glandes (ex. : sudoripares)
Type de régulation :	volontaire	involontaires (= activités viscérales)
Voie nerveuse :	direct du SNC jusqu'au muscle	1) parfois direct jusqu'à une glande 2) direct du SNC jusqu'à un ganglion, et de là un deuxième neurone va jusqu'à l'effecteur.
Action sur l'effecteur:	toujours excitatrice	excitatrice ou inhibitrice

Le **SN autonome** peut lui-même être divisé en deux : le système sympathique et le parasympathique.

Sympathique : ses fonctions impliquent la dépense d'énergie.

Le SN sympathique envoie des messages involontaires au corps qui ont comme conséquence de préparer le corps à l'action, comme par exemple : augmenter la fréquence cardiaque, augmenter la fréquence respiratoire, inhiber les activités digestives.

Parasympathique: ses fonctions mènent à l'obtention et à la conservation d'énergie.

Le SN parasympathique envoie des messages involontaires au corps qui favorise l'inaction, comme par exemple : activer le système digestif, ralentir l'activité cardiaque et respiratoire.

Dans les situations d'alerte (« *fight or flight* »), le système sympathique devient dominant pour préparer le corps à l'action :

- dilatation des pupilles (pour mieux voir);
- vasoconstriction au niveau du système digestif;
- vasodilatation au niveau des muscles (pour leur apporter plus de sang);
- élévation des fréquences cardiaque et respiratoire;
- glycogène du foie transformé en glucose et mis en circulation dans le sang.

QUESTIONS À RÉFLEXION :

- 1) Relisez la section sur la transmission des signaux au niveau de l'axone et au niveau de la synapse, et devinez à quoi font référence les termes « canaux voltage-dépendants » et « canaux chimio-dépendants (ou canaux ligands-dépendants) ».
- 2) Plusieurs poisons inhibent l'acétylcholinestérase. Devinez ce que fait l'acétylcholinestérase dans le corps et expliquez comment le poison peut alors tuer un animal.
- 3) Des hémorragies cérébrales peuvent exercer des pressions sur le tissu nerveux et l'empêcher de bien fonctionner. Si une personne subit une hémorragie cérébrale et ses premiers symptômes sont un dérèglement de la fréquence cardiaque et respiratoire, quelle partie de l'encéphale a été particulièrement touchée, d'après vous? Et si le symptôme est une paralysie du bras droit?

- 4) Quelle est la substance qui ...
- ... est principalement responsable de la couleur blanche de certains tissus nerveux?
 - ... traverse beaucoup la membrane de l'axone lors de sa repolarisation?
 - ... est très consommée par les neurones?
 - ... traverse la synapse des jonctions neuro-musculaires?
 - ... sert de coussin au cerveau?
 - ... est le poison impliqué dans les cas d'empoisonnement au fugu?
- 5) Les neurophysiologistes peuvent implanter des électrodes dans le cerveau d'un rat de laboratoire pour stimuler certaines parties précises de son cerveau. Vous entendez parler d'une expérience où, par de telles stimulations, les chercheurs peuvent inciter un rat à manger à des moments bien précis, ou au contraire l'inciter à arrêter de manger. À quelle partie du cerveau pensez-vous que les électrodes ont été connectées?
- 6) Placez les événements suivants (identifiés par leur lettre) dans le bon ordre chronologique. Commencez la séquence avec l'événement A, qui est la libération d'un neurotransmetteur:

A — — — — —

- Libération d'un neurotransmetteur.
- Dépolarisation de la membrane dans la zone gâchette (= début) de l'axone.
- Un potentiel d'action passe au niveau d'un nœud de Ranvier (noeud de la neurofibre).
- Ouverture de canaux ligands-dépendants.
- Courant local.
- Des portes à calcium s'ouvrent.
- Pleine ouverture des portes à K^+ dans la zone gâchette (= début) de l'axone.

CHAPITRE 12

CAPACITÉS SENSORIELLES : PHOTORÉCEPTION (VISION)

Un **photorécepteur** est une cellule sensorielle qui envoie un message au cerveau lorsqu'elle se fait stimuler par un rayon lumineux. La perception de la lumière s'appelle la vision.

Dans ce chapitre je vais encore une fois commencer en présentant la vision chez l'humain, puis celle des autres vertébrés. L'humain a un œil assez typique de tous les vertébrés, donc il constitue un bon point de départ. Il y a relativement peu de différences entre l'œil humain et celui des autres vertébrés.

COMPOSANTES DE L'OEIL:

Sclérotique (= **scière**): Enveloppe extérieure de tissu conjonctif dense, dur (« scler » = dur), et blanc (quand on parle du « blanc de l'œil », on parle de la sclérotique).

Elle rend l'œil rigide.

Elle sert aussi de points d'attache pour les muscles oculo-moteurs (= ceux qui font pivoter nos yeux à l'intérieur de l'orbite oculaire de notre crâne).

Cornée: Partie antérieure et centrale de la sclérotique, **transparente** et plus courbée.

Avec le cristallin, la cornée **contribue à faire dévier les rayons lumineux** vers la rétine dans le fond de l'œil (ce fait est illustré par les nouvelles corrections par laser des troubles de la vue : le laser détruit une partie de la cornée de façon à augmenter ou diminuer sa courbure, dépendamment des besoins).

C'est sur la cornée que reposent les verres de contact.

Choroïde: Membrane **foncée** (à cause de la présence de mélanine) et richement **vascularisée** (= remplie de vaisseaux sanguins) entre la sclérotique et la rétine.

La mélanine (le même pigment noirâtre retrouvé dans la peau) **absorbe la lumière** après que celle-ci ait frappé et stimulé la rétine, pour ne pas que chaque rayon lumineux rebondisse un peu partout dans l'œil et stimule la rétine à plus d'un endroit.

Les vaisseaux sanguins de la choroïde apportent nutriments et oxygène à la rétine.

Rétine: Couche de **photorécepteurs** (cellules sensorielles sensibles à la lumière).

La partie la plus externe (vers la choroïde) de la rétine comprend aussi des pigments qui ont un rôle similaire à celui de la choroïde.

Décollement de la rétine : Séparation de la couche photoréceptrice et de la couche pigmentaire de la rétine. La couche photoréceptrice perd alors son approvisionnement sanguin. Traité par soudure au laser ou par engelure.

La **fovéa** (= fossette centrale) est une partie de la rétine où les cellules photoréceptrices sont particulièrement denses (ce qui permet une excellente résolution, c'est-à-dire une bonne capacité de distinguer, de loin, deux points rapprochés) et où les couches de neurones au-dessus des cellules sont plus minces (donc, plus de lumière parvient aux photorécepteurs, pour une meilleure perception de la lumière). Chez l'humain la fovéa est située en plein centre de la rétine, là où se forme l'image des objets qu'on regarde directement.

Iris: Diaphragme **musculaire** pigmenté pouvant faire ouvrir ou fermer une ouverture appelé **pupille**, contrôlant ainsi la quantité de lumière qui entre dans l'œil selon les besoins. Ce contrôle est involontaire, il se fait automatiquement par activité réflexe.

Il y a une couche de muscles circulaires qui sert à fermer la pupille, et une couche de muscles radiaux qui sert à ouvrir la pupille.

L'iris ouvre la pupille quand il y a peu de lumière en provenance de l'objet qu'on observe, pour compenser le manque de lumière.

L'iris ouvre aussi un peu la pupille quand on regarde quelque chose qu'on juge intéressant.

La **couleur des yeux** correspond à la couleur de l'iris. Les pigments de l'iris interceptent et bloquent la lumière, assurant que seule la partie centrale du cristallin sous-jacent (vis-à-vis la pupille) contribue à faire dévier les rayons lumineux. Si la bordure du cristallin déviait elle-aussi les rayons, alors le cristallin ne parviendrait pas à établir un focus pour toutes les couleurs également, une condition connue en optique sous le nom d'aberration chromatique.

Les pigments de l'iris sont de la mélanine, même dans le cas des yeux bleus ou verts (alors que la mélanine est un pigment noirâtre). La couleur des yeux bleus ou verts est structurale : elle dépend de la position et de la forme de granules de mélanine.

Pupille: Ouverture de l'iris.

La pupille apparaît noire parce qu'aucune lumière ne sort de l'œil, toute la lumière ayant été absorbée par la choroïde.

Si nos pupilles apparaissent rouges sur certaines photos prises à l'intérieur avec de vieilles caméras (les nouvelles caméras digitales reconnaissent les pupilles rouges sur la photo et les changent automatiquement en noir), c'est parce que nos pupilles étaient grandes ouvertes (à cause de la faible luminosité à l'intérieur), et le flash de la caméra a donc été capable de faire entrer beaucoup de lumière dans l'œil (on est d'ailleurs ébloui), tellement de lumière que la choroïde n'a pas été capable de tout absorber et ses vaisseaux sanguins ont alors réfléchi les longueurs d'onde rouges, lesquelles ont sorti par la pupille.

Cristallin: Lentille transparente biconvexe (= bombée des deux côtés) pouvant changer de forme lorsqu'elle se fait étirer par des « ligaments suspenseurs » qui sont connectés à des muscles (appelés « muscles ciliaires »). Elle est faite de cellules qui ont perdu leur noyau et qui contiennent très peu d'organites, d'où leur transparence.

Son rôle est de mettre au focus sur la rétine tous les rayons lumineux en provenance d'un même point d'un objet qu'on observe (à revoir plus tard).

Cataracte: Embrouillement du cristallin causé par un apport insuffisant en nutriments. Le tabagisme, le diabète, et l'exposition fréquente au soleil prédisposent à cette maladie. Aussi incroyable que cela puisse paraître, on peut enlever le cristallin embrouillé et le remplacer par un cristallin artificiel.

Segment antérieur: Espace entre le cristallin et la cornée, contenant l'**humeur aqueuse**, un liquide qui nourrit le cristallin et la cornée car ceux-ci n'ont pas de vaisseaux sanguins.

Segment postérieur: Espace entre le cristallin et la rétine, contenant l'**humeur vitrée** (= corps vitré), une gélatine transparente qui imbibe l'humeur aqueuse (en provenance du segment antérieur).

Glaucome : En temps normal, il y a renouvellement continu de l'humeur aqueuse (production et drainage en équilibre). Il y a glaucome lorsque le drainage de l'humeur aqueuse devient inférieur à sa production; le liquide est alors en surplus, ce qui exerce une pression à l'intérieur de l'œil à tel point que la rétine cesse de bien fonctionner.

PHOTORÉCEPTEURS DE LA RÉTINE:

Les neurones photorécepteurs de la rétine contiennent des pigments, faits à partir de vitamine A, qui se déforment lorsque frappés par la lumière. Cette déformation entraîne une dépolarisation (de la membrane) qui se propage tout le long de l'axone du photorécepteur, comme pour tout influx nerveux. Il y a ensuite connexion synaptique avec d'autres neurones qui se réunissent au niveau du nerf optique. Les pigments déformés se font remplacer par de nouveaux pigments intacts, qui à leur tour se font déformer, et ainsi de suite tant et aussi longtemps que la lumière les frappe. Donc des messages sont envoyés au cerveau tant et aussi longtemps que la lumière est présente.

Les axones des photorécepteurs sont par-dessus (vers l'intérieur de l'œil) les pigments des photorécepteurs. Il faut que la lumière passe au travers des axones avant d'aller briser les pigments. De plus, il faut à un moment donné que les axones passent au travers de la rétine afin d'amener les messages au cerveau, et donc à cet endroit (qui est la base du nerf optique) il ne peut pas y avoir de photorécepteurs. Cet endroit forme ce qu'on appelle la « tache aveugle », une petite portion de notre champ visuel où on ne peut rien voir (le cerveau remplit cette portion avec les couleurs qui entourent la portion).

Test de la tache aveugle: O X
(On fera ce test en classe)

Il y a deux types de photorécepteurs:

Les cônes:

- permettent la vision en couleur (à revoir);
- sont surtout concentrés au centre de la rétine, en ligne avec la pupille;
- ne sont pas stimulés sous de faibles intensités lumineuses;
- environ 7,000,000 par œil.

Les bâtonnets:

- permettent seulement la vision en noir et blanc (ils réagissent à toutes les longueurs d'onde du visible mais ne les différencient pas);
- sont surtout concentrés en bordure de la rétine;
- sont bien stimulés sous de faibles, mais pas sous de fortes, intensités lumineuses;

Sous la lumière intense, leurs pigments restent toujours déformés, et cela ne crée pas de messages nerveux car c'est l'action de déformer les pigments, et non pas l'état d'être déformé, qui fait qu'un influx nerveux est déclenché chez un photorécepteur.

- environ 120,000,000 par œil.

PERCEPTION DES COULEURS:

Il y a trois différentes sortes de cônes dans notre rétine : les cônes « bleus » ont des pigments qui sont surtout sensibles aux faibles longueurs d'onde, les cônes « verts » ont des pigments qui sont surtout sensibles aux longueurs d'onde intermédiaires, et les cônes « rouges » ont des pigments qui sont surtout sensibles aux longueurs d'onde longues. Des lumières de différentes couleurs vont stimuler **différentes proportions de chacun des trois cônes**. Le cerveau associe une couleur différente à chaque **combinaison de proportions** de cônes stimulés.

Par exemple, si la lumière stimule 20% des cônes bleus, 20% des cônes verts, et 80% des cônes rouges, le cerveau interprétera cela comme une certaine couleur (probablement proche du brun). Si la combinaison est plutôt 75% des bleus, 85% des verts, et 20% des rouges, le cerveau interprétera cela comme une autre couleur (probablement proche du bleu turquoise). Si c'est 0% bleus, 25% verts, et 75% rouges, ce sera un rouge orangé.

Prenez les combinaisons ci-haut et coupez chaque chiffre de moitié. Le cerveau interprétera cela comme étant les mêmes couleurs, mais foncées (brun foncé, turquoise foncé, orange foncé). Les proportions relatives des trois cônes déterminent les couleurs, et leurs valeurs absolues déterminent le ton (clair ou foncé).

Vos écrans d'ordinateur et de TV ont des pixels qui chacun ont trois minuscules composantes lumineuses : une rouge, une verte, et une bleue (*RGB*, ou *red-green-blue*, en anglais). En variant les proportions d'intensité de chacune de ces trois couleurs, un pixel peut reproduire toutes les couleurs finales accessibles à notre cerveau.

Le **daltonisme** ("*color blindness*") est une incapacité à distinguer certaines couleurs parce qu'un ou deux des 3 types de cônes (pigments) est défectueux ou manquant.

On estime que 8 % des hommes, mais seulement 1.5 % des femmes, en sont atteints. Il s'agit en fait d'une maladie génétique. Deux des trois pigments sont codés chacun par un gène différent porté sur le chromosome X. Les femmes étant XX, si un des deux gènes de pigment est défectueux sur un des chromosomes X, au moins l'autre X peut prendre la relève; il faut que les deux X soient défectueux pour qu'une femme soit daltonienne. Mais pour les hommes (XY), il suffit qu'un seul X soit défectueux, puisqu'ils n'ont pas un deuxième X pour prendre la relève (le chromosome Y est très court et ne contient pas des gènes homologues au chromosome X).

MISE AU POINT DU FOCUS:

Pour que le cerveau interprète une image comme étant bien claire, il faut que cette image soit bien mise au focus sur la rétine. Il faut que chaque rayon lumineux en partance d'un même point de l'objet observé tombe sur un même point de la rétine.

Quand un objet est proche de l'œil, le cristallin doit beaucoup dévier les rayons pour les mettre au focus sur la rétine. Il faut donc relâcher le cristallin pour qu'il soit plus bombé.

Quand un objet est loin de l'œil, les rayons doivent être moins déviés, donc le cristallin doit être plus aplati. Pour cela, les ligaments suspenseurs vont tirer sur le cristallin et l'aplatir.

Myopie: Difficulté à voir de loin.

Le cristallin est trop rond ou l'oeil est trop long, ce qui fait que les rayons **convergent trop** et le focus se fait en avant de la rétine plutôt que sur elle.

Les verres correcteurs doivent donc faire diverger les rayons lumineux, pour compenser. Ces verres ont donc une forme concave, avec un centre mince et une bordure épaisse (on sait qu'une personne est myope quand on voit que la bordure de ses verres correcteurs est épaisse).

Hypermétropie: Difficulté à voir de près.

Le cristallin n'est pas assez rond, ou l'oeil est trop court, et donc les rayons ne **convergent pas assez** et le focus se fait en arrière de la rétine.

Les verres correcteurs doivent donc faire converger les rayons lumineux, pour compenser. Ils sont donc convexes, avec un centre épais et une bordure mince.

Presbytie: Difficulté à voir de près avec l'âge.

Avec l'âge, le cristallin devient moins élastique et perd la capacité de redevenir assez rond après s'être fait étirer par les ligaments suspenseurs. Les gens presbytes ont donc de la difficulté à voir de près, car il faut que le cristallin soit bien bombé (fait beaucoup dévier les rayons) pour voir de près.

Astigmatisme: La cornée (ou parfois le cristallin) est anormalement plus courbée dans un axe que dans l'autre (cela arrive quand la cornée, ou le cristallin, est de forme elliptique plutôt que ronde). Quand les objets en haut et en bas de notre champ visuel sont au focus, les objets à gauche et à droite ne le sont pas. Ou quand on met les objets à gauche et à droite au focus, ceux en haut et en bas ne le sont pas.

Ce problème, qui touche plus souvent la cornée, illustre le fait que la cornée participe à la convergence des rayons lumineux, bien que cette action ne soit pas contrôlable par le cerveau, contrairement à l'action du cristallin.

PERCEPTION DE LA DISTANCE:

Parallaxe: Principe selon lequel la position apparente d'un objet change par rapport à l'arrière-plan si la position de l'observateur change elle-aussi, et plus l'objet est près de l'observateur, plus la position de l'objet change par rapport à l'arrière-plan.

Faites le test : regardez votre pouce à bout de bras avec un seul œil ouvert. Alternez entre l'œil gauche et l'œil droit. La position du pouce « saute » par rapport à l'arrière-plan. Maintenant, rapprochez votre pouce plus près de votre visage et refaites l'exercice : le pouce va sauter encore bien plus par rapport à l'arrière-plan, parce qu'il est plus près de vous.

Vision binoculaire (= stéréoscopique):

Nos deux yeux, n'étant pas situés au même endroit, envoient des images légèrement différentes au cerveau. Ce dernier, en interprétant les différences entre les deux images, applique le principe de la parallaxe et donc perçoit la distance (voit en « stéréoscopie »). Essentiellement le cerveau dit : plus un objet change de position entre les deux images par rapport à l'arrière-plan, plus il doit être près de moi.

Essayez de lancer quelque chose dans une poubelle à une certaine distance de vous. Vous aurez beaucoup plus de succès si vous gardez les deux yeux ouverts plutôt que de viser avec seulement un œil. Vos deux yeux ouverts permettent une meilleure estimation de la distance de la poubelle.

Mouvements de la tête:

Bouger la tête (changer la position de nos yeux) fait bouger les objets par rapport à l'arrière-plan dans notre champ visuel. Plus les objets bougent, plus le cerveau les perçoit comme étant proche. Donc bouger la tête aide à déterminer la distance des objets. (C'est pourquoi certains prédateurs –les chats par exemple– bougent un peu la tête juste avant de bondir sur une proie.)

Étirement du cristallin:

Plus le cerveau doit étirer le cristallin pour enfin avoir une image nette d'un objet, plus la distance de cet objet est perçue comme étant longue.

PROTECTION DE L'ŒIL :

Conjonctive: Mince muqueuse qui tapisse la face intérieure des paupières et la face extérieure du blanc (sclérotique) de l'œil (mais pas la cornée).

Elle protège l'œil et empêche son dessèchement.

Conjonctivite: Inflammation de la conjonctive. L'œil devient rouge. Il y a des vaisseaux sanguins dans la conjonctive, mais en temps normal ils sont tellement petits qu'ils sont invisibles et ne masquent pas le blanc de l'œil. Mais s'il y a inflammation (en réponse à une infection bactérienne, par exemple), les vaisseaux grossissent et le sang rouge qui y circule devient visible, masquant le blanc de l'œil.

Paupières : Minces replis de peau, une supérieure et une inférieure, la supérieure étant la plus mobile des deux. Elles se ferment régulièrement (clignement des yeux) pour étaler sur les yeux les sécrétions huileuses de petites glandes insérées dans les paupières, et aussi le liquide produit par les glandes lacrymales (voir ci-dessous), le tout gardant les yeux humides. Elles se ferment aussi automatiquement (par réflexe) lorsque quelque chose frappe les cils que les paupières portent.

Glandes lacrymales : Du côté latéral supérieur de chaque œil se trouve une grosse glande dite lacrymale qui sécrète sur la conjonctive une solution saline. Le clignement des paupières étend cette solution sur l'œil, l'humidifiant et le protégeant. La solution finit par s'accumuler dans le coin médian de l'œil, où se trouve l'ouverture du **conduit nasolacrymal**, un tube connecté à la cavité nasale correspondante. Chaque conduit nasolacrymal (un droit, un gauche) amène la solution lacrymale jusqu'aux cavités nasales, où elle se mélange au mucus des cavités nasales.

Quand on pleure, il y a surproduction de sécrétions lacrymales (un signal social honnête qu'on est malheureux). Les deux conduits nasolacrymaux ne peuvent plus fournir à drainer les yeux, et le surplus de sécrétion lacrymale coule alors sur les joues, formant les larmes. De plus, chaque conduit nasolacrymal déverse maintenant un maximum de sécrétion lacrymale dans sa cavité nasale respective, la raison pour laquelle souvent on renifle quand on pleure.

Aussi au coin médian de l'œil se trouve une petite bosse appelée « caroncule lacrymal ». C'est un petit repli de peau qui contient des glandes qui produisent une huile, un peu comme les paupières. Pendant la nuit cette huile peut sécher et former de petits granules blancs qu'on retrouve parfois dans le coin de nos yeux le matin.

LA VISION CHEZ LES AUTRES MAMMIFÈRES :

Tapetum lucidum : Chez beaucoup d'espèces nocturnes, **la choroïde est un miroir** plutôt qu'un absorbant de lumière. La choroïde prend alors le nom de tapetum lucidum.

Chaque rayon lumineux qui entre dans l'œil stimule un photorécepteur de la rétine, puis rebondit sur le tapetum lucidum qui est en arrière de la rétine et reprend le même chemin à l'envers. Faisant cela il stimule le même photorécepteur à nouveau avant de finalement sortir de l'œil. Chaque rayon lumineux permet donc une double stimulation; c'est comme s'il y avait deux fois plus de lumière. Ceci est avantageux pour un animal nocturne ou crépusculaire qui essaie de voir dans des conditions habituellement peu lumineuses.

Lorsqu'on pointe une lampe de poche vers un animal et qu'on voit ses yeux briller dans le noir (comme dans le cas des chats, par exemple), on sait que cet animal possède un tapetum lucidum.

Cônes et bâtonnets : L'humain et les singes comptent parmi les rares mammifères à posséder trois sortes de cônes. **La plupart des mammifères n'ont que deux sortes de cônes** (il leur manque le cône rouge) et donc, tout comme les daltoniens, ils ont de la difficulté à distinguer certaines couleurs (en particulier, le rouge du vert). La consommation de fruits était probablement importante pour les ancêtres évolutifs des singes, et il y a probablement eu pression de sélection pour bien distinguer les fruits murs à distance (par leur couleur rouge sur un fond de feuilles vertes) sans avoir à s'aventurer inutilement sur les branches d'un arbre, d'où l'évolution d'une meilleure capacité à distinguer les couleurs chez les singes et nos ancêtres évolutifs.

Plusieurs mammifères marins et quelques rongeurs nocturnes n'ont qu'une seule sorte de cônes et ne peuvent pratiquement pas distinguer les couleurs.

Tous les mammifères ont plus de bâtonnets que de cônes dans leurs yeux, mais les espèces diurnes ont une plus grande proportion de cônes que les espèces nocturnes.

Vision binoculaire : Les espèces **prédatrices** ont souvent les deux yeux situés à l'avant de la tête, permettant la vision binoculaire (= stéréoscopique) et donc l'estimation des distances, quelque chose qui est utile lorsque vient le temps de lancer une poursuite ou sauter sur une proie.

Les espèces **proies** ont plus tendance à avoir les yeux sur le côté de la tête. Cela ne permet pas la vision binoculaire, mais cela agrandit le champ de vision (= vision panoramique). Une proie est surtout intéressée à détecter la présence d'un prédateur plutôt que sa distance, ce que facilite un grand champ de vision qui s'étend le plus loin possible vers l'arrière de la tête.

Pupille : Chez les chats et quelques autres mammifères actifs jour et nuit, la pupille est fusiforme plutôt que circulaire; cela permet un meilleur ajustement de sa taille.

Chez les baleines et quelques autres mammifères, la pupille est rectangulaire.

Membrane nictitante : Quelques espèces de mammifères, comme les monotrèmes, les marsupiaux, les chameaux, les ours, et diverses espèces plongeuses, ont une « **troisième paupière** ». Il s'agit d'une membrane plus ou moins transparente que l'animal peut glisser au-dessus de l'œil, d'avant en arrière, pour le protéger sans trop entraver la vision. On appelle cela la membrane nictitante.

Les membranes nictitantes sont communément retrouvées chez presque tous les oiseaux, reptiles, amphibiens, et poissons, mais elles sont plutôt rares chez les mammifères. En plus des espèces mentionnées ci-haut, les chats et les chiens en ont une, mais peu mobile et rarement déployée. Chez les autres espèces de mammifères, la membrane nictitante n'est que vestigiale et prend le nom de « pli semi-lunaire de la conjonctive ».

LA VISION CHEZ LES OISEAUX :

Grosueur des yeux : Les oiseaux ont de très gros yeux par rapport à la grosueur de leur crâne. Certaines espèces ont même des yeux tubulaires. En général les oiseaux ont une excellente vision (la meilleure de tous les vertébrés), ce qui les aide à percevoir leurs proies de loin et à éviter les obstacles lors du vol.

Anneau sclérotique : **Chez les oiseaux, comme chez tous les reptiles sauf les crocodiles (et comme chez la plupart des poissons)**, la sclère est renforcie par de petits osselets plats qui forment un anneau autour de la sclère. On appelle cela l'anneau sclérotique.

Mouvement des yeux : Les oiseaux ont peu de muscles oculo-moteurs attachés au globe oculaire (à la sclère) et ne peuvent donc pas très bien bouger leurs yeux à l'intérieur de leurs cavités oculaires. Pour regarder dans différentes directions ils doivent bouger toute la tête, une des raisons pour laquelle la tête des oiseaux est souvent en mouvement, même lorsque le corps est immobile.

Vision binoculaire : Comme chez les mammifères, les espèces prédatrices (comme les hiboux) ont tendance à avoir les deux yeux sur le devant de la tête pour permettre la vision binoculaire et donc une bonne évaluation des distances. Les espèces proies, avec les yeux sur le côté de la tête, peuvent aussi utiliser la parallaxe pour évaluer les distances, mais seulement en changeant l'angle de vue de l'œil, et donc la position de leur tête, une autre raison pour laquelle les oiseaux bougent souvent leur tête.

- Tapetum lucidum : Tout comme certains mammifères, certaines espèces d'oiseaux nocturnes ou crépusculaires, comme les engoulevents, ont un tapetum lucidum. Le tapetum lucidum est en fait assez répandu chez les vertébrés : en plus des quelques mammifères et oiseaux qui l'ont, **on le retrouve aussi chez les crocodiles, les requins, et certains poissons téléostéens.**
- Cônes et bâtonnets : La plupart des oiseaux sont tétrachromatiques, c'est-à-dire qu'ils ont 4 sortes de cônes dans leur rétine (plutôt que 3 comme nous), ce qui leur permet une excellente distinction des couleurs. La plupart des oiseaux sont en fait capables de **voir l'ultra-violet**, ce que très peu de mammifères (et certainement pas l'humain) peuvent faire. Les oiseaux ont aussi des bâtonnets (tous les vertébrés en ont).
- Fovéa : Les oiseaux de proie et les oiseaux qui chassent des insectes en vol ont **deux** fovéas plutôt qu'une seule : une qui leur permet de bien voir devant eux et l'autre pour bien voir sous eux en même temps.
- Pecten : Le pecten est une structure en forme de peigne (« pecten » veut dire peigne en latin) qui s'étend dans le segment postérieur à partir de la choroïde près de la tache aveugle. La rétine des oiseaux n'est pas tellement bien vascularisée mais le pecten l'est. Les nutriments diffusent du pecten au liquide du segment postérieur et, de là, jusqu'à la rétine.
- (Les lézards ont une structure similaire appelée « cône papillaire ».)
- (Les poissons téléostéens ont une structure similaire appelée « procès falciforme ».)
- Membrane nictitante : Comme les mammifères les oiseaux ont deux paupières, une inférieure et une supérieure. Comme quelques mammifères, ils ont aussi une membrane nictitante qui se ferme brièvement quand l'oiseau picore ou attrape une proie, pour protéger l'œil sans complètement entraver la vision.

LA VISION CHEZ LES REPTILES :

Œil pariétal (ou « troisième œil ») de lézards:

Genre d'œil, composé d'une cornée, d'un genre de cristallin, et de photorécepteurs; il est situé en position médiane sur le dessus de la tête, sous une écaille transparente. Il ne forme pas d'images. C'est plutôt un **organe de détection de la photopériode (longueur du jour)**. Il est associé à la glande pinéale, située en position centrale dans le cerveau et impliquée dans le *timing* d'activités journalières et saisonnières.

On retrouve un œil pariétal chez beaucoup de lézards. On le retrouve aussi chez les larves d'amphibiens, quelques amphibiens adultes, quelques poissons osseux, et chez la lamproie.

Serpents : Les serpents n'ont pas une très bonne vision, probablement parce qu'ils ont évolué à partir de lézards qui vivaient sous terre et chez qui les yeux avaient commencé à se dégénérer. Revenus à la surface, l'évolution a dû « ré-améliorer » les yeux et elle n'a pas réussi à le faire exactement. Ainsi :

Le focus sur la rétine est fait en **avançant ou en reculant le cristallin** plutôt qu'en l'étirant ou en l'aplatissant. La gamme de distances pouvant ainsi être mises au focus est moins grande.

Les espèces primitives ont seulement des bâtonnets. Les plus modernes ont une sorte de cônes qui semblent être des bâtonnets modifiés.

Les serpents ont de la difficulté à distinguer des objets stationnaires. Mais ils sont bien sensibles au mouvement.

Pas de paupières. Les yeux sont plutôt protégés par une écaille transparente, laquelle est détachée et remplacée avec le reste de l'épiderme lors de la mue.

LA VISION CHEZ LES AMPHIBIENS :

La rétine des amphibiens a deux sortes de cônes, et aussi deux sortes de bâtonnets plutôt qu'une seule. Mais les deux sortes de bâtonnets sont fonctionnellement similaires et pas impliquées dans la perception des couleurs.

Comme chez les serpents, et comme chez les poissons aussi, la mise au focus sur la rétine est faite en **changeant la position (avancée ou reculée) du cristallin** plutôt qu'en changeant sa courbature. Une autre façon de dire ceci est que seuls les amniotes (moins les serpents) font la mise au focus en changeant la forme de leur cristallin.

LA VISION CHEZ LES POISSONS :

La cornée ne contribue pas au focus des rayons lumineux, l'indice de réfraction de la cornée étant assez semblable à celui de l'eau. Pour compenser, le **cristallin est presque rond** (= plus courbé), pour une plus grande déviation des rayons. Un cristallin plus rond permet aussi de mieux mettre au focus les objets vus de très près; dans la pénombre de la plupart des milieux aquatiques, seuls les objets qui sont près peuvent être bien vus de toute façon.

Les poissons n'ont **pas de paupières** (sauf, en un sens, pour quelques requins qui ont une membrane nictitante, qu'ils ferment quand ils mordent une proie). Pas de glandes lacrymales non plus. Paupières et glandes lacrymales sont des adaptations à la vie terrestre pour protéger l'œil contre la déshydratation et le dépôt de poussières flottant dans l'air. Donc les poissons n'en ont pas besoin. Cela veut dire qu'ils dorment avec les yeux ouverts!

Chez la plupart des poissons, le diamètre de la pupille est fixe. Seuls les requins et quelques téléostéens exceptionnels peuvent rétrécir ou dilater leur pupille.

La plupart des poissons ont un **anneau sclérotique**, habituellement fait de seulement deux os.

QUESTIONS À RÉFLEXION :

- 1) Certaines salamandres de la famille Plethodontidae ont la capacité de projeter leur langue gluante très loin vers l'avant dans le but de capturer des insectes. Faites une prédiction sur la position de leurs yeux sur leur tête.
- 2) Plusieurs serpents, avant de frapper la proie de laquelle ils viennent de s'approcher, font vaciller leur tête de droite à gauche ou de haut en bas (et les chats font souvent la même chose). Pourquoi?
- 3) Au zoo, regardez un serpent les yeux dans les yeux. Vous allez être le premier à cligner de l'œil. Garanti. Pourquoi garanti?
- 4) A) Les matadors tentent d'exciter leur taureau en faisant bouger devant eux une cape rouge : auraient-ils autant de succès avec une cape d'une autre couleur? B) Une piste de course de cheval sur gazon est délimitée par des cônes orangés : est-ce utile pour le cheval?
- 5) Avec un flash, vous prenez la photo d'un hibou la nuit. Sur la photo, ses yeux apparaissent rouges. Pouvez-vous expliquer pourquoi?
- 6) Dans des expériences en laboratoire où on leur donne le choix, les étourneaux femelles préfèrent certains mâles plutôt que d'autres. Ces étourneaux mâles, qu'ils soient préférés ou non, ont peu de couleurs sur leur corps. Est-ce que cela veut dire que les couleurs ne sont pas importantes pour les femelles dans le choix de leur partenaire?
- 7) Quelles différences adaptatives pourrait-on retrouver entre l'œil d'un animal nocturne et celui d'un animal diurne?
- 8) Les baleines ont un cristallin beaucoup plus sphérique que ceux des autres mammifères. Pourquoi? (Indice : si elles portaient un masque de plongée rempli d'air, leur cristallin n'aurait pas besoin d'être aussi sphérique.)
- 9) Les poissons sont souvent très colorés, habituellement pour envoyer des signaux à d'autres poissons, et donc vous ne serez pas surpris d'apprendre que les poissons sont très bons pour percevoir les couleurs, incluant possiblement l'ultra-violet. Imaginez une expérience pour tester l'hypothèse que les épinoches à trois épines (une espèce présente au N.-B.) sont capables de percevoir les rayons UV et que les femelles s'en servent dans le choix des mâles avec lesquels elles s'accouplent (indice : il existe des filtres qui bloquent l'ultra-violet).
- 10) Vous souvenez-vous de l'aposématisme? Quel type de prédateur a le plus de chances d'être visé par un avertissement aposématique : un mammifère ou un oiseau? Pourquoi?

CHAPITRE 13

CAPACITÉS SENSORIELLES : MÉCANORÉCEPTION I (TOUCHER, PROPRIOCEPTION, LIGNE LATÉRALE)

Les **mécanorécepteurs** sont des cellules sensorielles qui envoient un message au cerveau lorsqu'elles sont **stimulées par du mouvement ou par des pressions**. Les mécanorécepteurs sont impliqués dans les sens du toucher (détecter des pressions sur la peau ou sur les poils ou sur les plumes), de la proprioception (détecter la position des différentes parties du corps basé sur l'étirement des tendons et des muscles), de la ligne latérale (détecter le mouvement de l'eau à la surface du corps des animaux aquatiques), de la gravité (détecter dans quelle direction la gravité tire sur le corps), et de l'audition (détecter les sons, c'est-à-dire des vagues de pression dans l'air ou dans l'eau). Je vais réserver l'audition et la gravité pour le prochain chapitre et seulement parler des autres types de mécanoréception dans le présent chapitre.

TOUCHER (= sensations tactiles) :

La peau des vertébrés contient des cellules sensorielles avec des ramifications qui s'étendent dans l'épiderme, et des cellules sensorielles capsulées dans des corpuscules de tissu conjonctif dans le derme. Ces cellules sont sensibles aux pressions. Elles permettent de **détecter le contact avec des objets, leur texture, et aussi le mouvement de l'air ou de l'eau à la surface du corps**.

De telles cellules sensorielles sont aussi rattachées à la racine des poils de mammifères et des plumes d'oiseaux. Elles permettent de détecter le déplacement des poils/plumes, et de là la présence d'objets près de la peau, ou du vent sur le corps. Certains poils, comme les longues **vibrisses** (*whiskers*) autour de la bouche de presque tous les mammifères, ou comme de petits poils entre les écailles de certains lézards, ont comme unique fonction de détecter le contact avec des objets et leur texture.

Certaines cellules sensibles aux pressions ne réagissent qu'à des pressions très élevées. Les messages envoyés par ces cellules sont interprétés par le cerveau comme étant de la douleur. (La **perception de stimuli douloureux s'appelle la nociception**. La nociception correspond toujours à la perception de stimuli **excessifs**, et pas seulement au niveau de la mécanoréception : en plus des pressions ou étirements excessifs, il y a aussi le chaud ou le froid excessifs, et la concentration excessive de substances normalement absentes en dehors des cellules – trahissant ainsi la présence de plusieurs cellules brisées.)

PROPRIOCEPTION :

Les propriocepteurs sont des cellules sensorielles qui réagissent à l'étirement des muscles, tendons, et articulations. Ils permettent à l'animal d'être **conscient de la position et des mouvements des différentes parties de son corps**, même avec les yeux fermés.

On considère souvent que les humains ont cinq sens : vision, olfaction, audition, goût, toucher. La proprioception est parfois appelée le « sixième sens ».

Tous les vertébrés ont des propriocepteurs, mais l'information proprioceptive est particulièrement importante pour les tétrapodes, étant donnée la grande capacité de déplacement spatial de leurs membres.

LIGNE LATÉRALE DES POISSONS ET DES LARVES D'AMPHIBIENS :

Tel que déjà exposé au chapitre 3, la ligne latérale est une série de pores de chaque côté du corps, allant de la tête jusqu'à la queue. Tous les pores d'un côté du corps sont reliés à un même canal dans la peau. Ce canal est comme un tuyau d'égout dans le sol, relié à la surface par une série de courts puits verticaux. Le canal étant connecté à l'extérieur du corps par la série de puits, il est rempli d'eau. Dans le canal il y a des cellules ciliées, et les cils de ces cellules peuvent se faire plier par les mouvements de l'eau. Les cils envoient différents messages au cerveau dépendamment de la direction dans laquelle ils se font plier. De cette façon l'animal peut **percevoir la direction, la vitesse, et la pression des mouvements d'eau à la surface de son corps**. Cela permet à l'animal de détecter, même dans l'obscurité, l'approche d'un objet vers lequel il nage (l'objet stationnaire forme un obstacle qui modifie la circulation d'eau autour du corps à mesure que l'animal s'approche de l'objet) et aussi de détecter les déplacements d'eau générées par les mouvements natatoires de proies ou de conspécifiques tout près.

Il peut aussi y avoir des pores non reliés à un canal, ou rattachés seulement à de courts canaux, sur la tête. Au fond de ces pores il y a des cellules ciliées qui donnent au cerveau le même genre d'information que la ligne latérale. Avec la ligne latérale elle-même, ces pores à la surface de la tête forment ce qu'on appelle le **système de la ligne latérale**.

Installez deux tunnels dans un aquarium qui contient un poisson cavernicole (aveugle). À chaque jour, choisissez un des tunnels au hasard, placez de la nourriture au bout, et marquez ce tunnel en plaçant sur le mur à son entrée de petites barres de 1 mm de haut espacées de 8,75 mm; marquez l'autre tunnel avec des barres espacées de 10.0 mm. Au bout d'une semaine, ne placez aucune nourriture et donnez le choix au poisson entre les deux tunnels marqués. Il choisira celui marqué par les barres de 8.75 mm sans même toucher aux barres. Il peut distinguer les deux patrons de barres avec sa ligne latérale, et il peut apprendre que c'est toujours le même patron qui indique où se trouve la nourriture.

Bloquez les pores et les courts canaux d'un côté seulement de la tête d'un poisson, et avec une lunette spéciale dans le noir observez son comportement de prise de nourriture (zooplancton). Il attrapera le zooplancton qui bouge près de sa tête, mais seulement du côté intact de la tête.

Dans un grand bac dans lequel tourne en rond un banc de poissons grégaires, insérez des individus que vous avez aveuglés en leur collant une coupole sur les yeux, et que vous avez dans la moitié des cas opérés pour couper le nerf qui relie la ligne latérale au cerveau. Les individus (aveugles, répétons-le) avec un nerf intact réussiront à suivre le banc, mais pas ceux dont le nerf de la ligne latérale a été coupé.

Certains poissons ont l'habitude de faire face au courant d'eau (un phénomène appelé « rhéotaxie »). Ceux dont la ligne latérale est intacte réussissent à détecter la direction du courant même quand il est faible, mais ceux dont on a coupé le nerf reliant la ligne latérale au cerveau ne réussissent pas.

La ligne latérale est un organe typique d'organismes vivant dans l'eau. **On la retrouve chez les poissons, les larves d'amphibiens, et les quelques amphibiens adultes qui vivent de façon permanente dans l'eau**. Elle ne pourrait pas fonctionner dans l'air parce que l'air ne serait pas assez dense pour faire plier les cils des cellules sensorielles.

QUESTIONS À RÉFLEXION :

- 1) Faites une prédiction sur la corrélation qui pourrait exister entre comment bien développé le système de la ligne latérale se retrouve sur le corps de plusieurs espèces de poissons et le type d'habitat dans lequel on retrouve ces espèces.

- 2) Les phoques et les otaries n'ont pas de système de ligne latérale, mais ils sont très bons pour détecter les mouvements de poissons près d'eux, ou les remous de l'eau causés par un autre animal qui nage devant eux. Ils le font bien même lorsqu'ils sont aveugles. Comment y parviennent-ils? (Indice : les organes impliqués sont 10 fois mieux innervés que l'équivalent retrouvé chez les mammifères terrestres.)

- 3) À quoi pourraient bien servir les très courts poils qui recouvrent encore notre corps? (Un beau retour sur la page 59.)

- 4) Quelle est la différence entre :

 Mécanoréception

 Nociception

 Proprioception

CHAPITRE 14

CAPACITÉS SENSORIELLES : MÉCANORÉCEPTION II (AUDITION, PERCEPTION DE LA GRAVITÉ ET DES MOUVEMENTS ROTATOIRES)

La perception des sons (audition), de la gravité, et des mouvements du corps se fait dans les oreilles. L'oreille humaine est assez typique de celle de tous les tétrapodes. Commençons par elle.

Oreille externe : Le **pavillon** est la partie visible de l'oreille. Il est fait de **cartilage**.

Le **conduit auditif externe** est un conduit dont la surface est recouverte d'une substance cireuse, le **cérumen**. À mesure qu'il est produit, le cérumen voyage de l'intérieur vers l'extérieur, capte les poussières pour ne pas qu'elles aillent s'empiler sur le tympan (ce qui l'empêcherait de bien vibrer), et finit par sécher et tomber (ou se faire enlever quand on se lave les oreilles).

Membrane tympanique (tympan): Frontière entre l'oreille externe et l'oreille moyenne, au fond du conduit auditif externe. C'est une mince couche de tissu conjonctif recouverte de peau mince du côté externe, et d'une muqueuse du côté interne. Les sons (vagues de pression de l'air) la font vibrer et ces vibrations sont retransmises aux osselets de l'oreille moyenne.

Oreille moyenne : Petite cavité dans l'os temporal du crâne, remplie d'air.

Les **trois osselets de l'oreille moyenne** retransmettent et amplifient les vibrations du tympan jusqu'à la cochlée de l'oreille interne. Les trois osselets sont

marteau (= malléus); enclume (= incus); étrier (= stapès)

Trompe auditive (= trompe d'Eustache) : Connection entre l'oreille moyenne et la gorge, et donc avec le milieu externe (la gorge étant toujours en connexion avec les cavités nasales, qui sont toujours en connexion avec l'extérieur). Elle permet d'équilibrer les pressions d'air de part et d'autre de la membrane tympanique, afin que cette dernière puisse vibrer librement.

Oreilles « bouchées » : Si les trompes auditives sont bouchées, et que la pression atmosphérique augmente beaucoup (comme dans les carlingues d'avion quand ils ont de la difficulté à ajuster la pression), nos tympanes se font pousser vers l'intérieur (ceci n'arriverait pas si les trompes étaient ouvertes, car alors la pression augmenterait aussi bien d'un côté du tympan que de l'autre). Le tympan ainsi étiré ne peut plus vibrer librement et on a alors de la difficulté à entendre.

Oreille interne: Cavités de forme particulière à l'intérieur de l'os temporal du crâne, contenant un liquide appelé périlymphe, capable de retransmettre des vibrations. Il s'agit de :

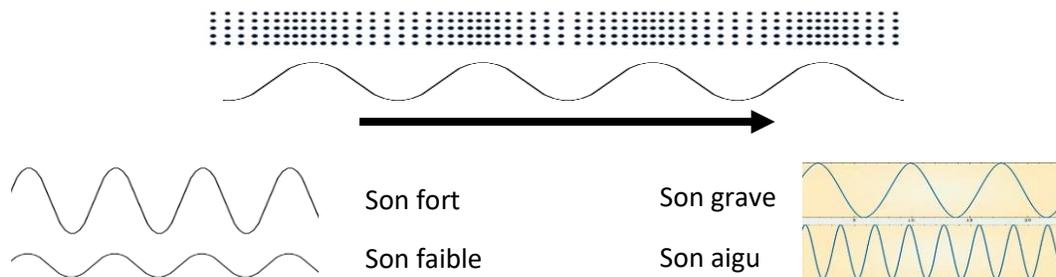
- les **trois canaux semi-circulaires** (détectant les mouvements de rotation);
- le **vestibule**, partiellement divisé en saccule et utricule (détectant la gravité);
- la **cochlée** (un long tube responsable de la perception des sons).

PERCEPTION DES SONS PAR LA COCHLÉE:

Les sons sont des vagues de pression de l'air. Comme tout phénomène ondulatoire, les sons peuvent avoir différentes fréquences et différentes amplitudes.

Amplitude élevée : son fort
Amplitude faible : son faible

Fréquence faible : son grave
Fréquence élevée : son aigu



Chaque objet possède une fréquence de résonance, c'est-à-dire une fréquence à laquelle l'objet vibre facilement. Cette fréquence dépend du diamètre de l'objet.

Diamètre plus grand → fréquence de vibration plus faible → son grave.

Diamètre plus mince → fréquence de vibration plus grande → son aigu.

Pensez aux cordes de guitares : les cordes plus épaisses donnent des sons plus graves, parce qu'elles vibrent moins rapidement quand vous les pincez.

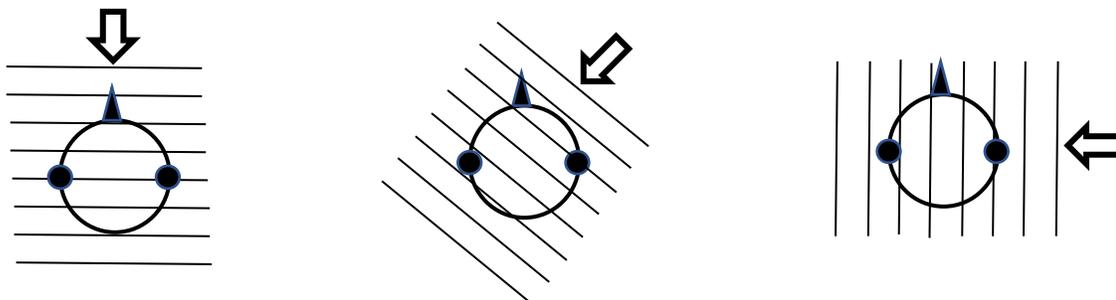
Distinguer les sons aigus des sons graves revient à distinguer leurs différentes fréquences de vibration. Cela est possible car la cochlée contient une longue membrane dont l'épaisseur change graduellement. Chaque partie de la membrane a donc sa propre fréquence de résonance. Les fréquences de vibration de l'air sont retransmises par le tympan aux osselets de l'oreille moyenne, qui à leur tour les retransmettent à la périlymphe (liquide) qui remplit la cochlée. Les différentes fréquences de vibration vont faire vibrer différentes parties de la membrane de la cochlée, celles dont la fréquence de résonance correspond à la fréquence de vibration. Des cellules ciliées sont présentes dans la membrane et envoient des influx nerveux au cerveau lorsque la membrane qui vibre fait plier leurs cils. Le cerveau peut donc savoir quelle est la fréquence d'un son en sachant de quelle partie de la membrane il reçoit des messages.

Distinguer les sons forts des sons faibles revient à distinguer leurs différentes amplitudes de vibration. Certaines parties de la membrane de la cochlée vibrent plus que d'autres, dépendamment de la fréquence du son, mais toutes ces parties (celles qui vibrent plus aussi bien que celles qui vibrent moins) vont vibrer encore plus (à une plus grande amplitude) si le son est très fort. Un plus grand pourcentage de cellules sensorielles sont alors stimulées et l'ensemble de la membrane basilaire va donc envoyer plus d'influx nerveux au cerveau quand le son est fort. Le cerveau connaît la force du son en mesurant le nombre total d'influx nerveux que lui envoie la membrane de la cochlée.

PERCEPTION DE LA DIRECTION D'UN SON :

Deux mécanismes permettent de distinguer une **provenance droite versus gauche** :

La première façon est de **comparer les temps d'arrivée du son** entre l'oreille droite et l'oreille gauche. Si le son est directement en avant ou en arrière, le son arrivera en même temps aux deux oreilles. Si le son vient d'un peu à droite, il arrivera à l'oreille droite un peu avant la gauche. Si le son vient complètement de la droite, il arrivera à l'oreille droite bien avant l'oreille gauche.



La deuxième façon est de **comparer l'intensité du son** entre l'oreille droite et l'oreille gauche. Cela est dû au fait que la tête bloque un peu le son, forme une « ombre » sonore. Plus le son vient de la droite, plus la tête bloque le son, et plus il y aura une grande différence entre l'intensité du son qui entre directement dans l'oreille droite par rapport au son qui entre dans l'ombre de la tête du côté gauche.

Les écouteurs stéréo nous donnent l'impression d'entendre des sons venant de la droite ou de la gauche parce qu'ils jouent avec le temps d'arrivée et l'intensité des sons qui arrivent aux deux oreilles. Il serait impossible d'avoir un effet stéréo avec un écouteur dans seulement une oreille.

Un seul mécanisme permet de distinguer l'origine d'un son sur le plan vertical (**haut vs bas**) ou sur le plan horizontal (**avant vs arrière**) :

Ceci est entièrement dû à la drôle de **forme de nos pavillons**.

Le pavillon de l'oreille réfléchit les sons qui viennent de l'avant, ou détourne les sons qui viennent de l'arrière. Puisque le pavillon n'a pas une forme symétrique, il réfléchit différemment les sons qui viennent d'en haut en comparaison à ceux qui viennent d'en bas. La réflexion (et le détournement, dans le cas des sons arrière) affecte le son d'une manière reconnaissable par le cerveau. (C'est la distribution des fréquences du son qui est affectée, en fait; on sait cela parce que quand on fait entendre un son pur – une seule fréquence – à quelqu'un, cette personne ne peut plus distinguer si le son vient d'en haut ou d'en bas, ou d'en avant ou d'en arrière.)

Les écouteurs ne peuvent pas reproduire ces modifications de sons. Et même s'ils le pouvaient, ça serait difficile, car chaque personne a un pavillon avec une forme personnalisée que seul le cerveau de cette personne s'est entraîné à reconnaître.

PERCEPTION DE LA GRAVITÉ :

Comment le cerveau détermine-t-il la **direction de la gravité** (= l'orientation de la tête, penchée vers la droite ou la gauche, vers l'avant ou l'arrière)?

Dans l'utricule et le saccule du vestibule de l'oreille interne, il y a des cellules sensorielles ciliées reliées à des cristaux de carbonate de calcium appelés **statoconies** ou **otolithes**. Dépendamment de l'orientation de la tête, la gravité tire les cristaux dans un certain sens, ce qui fait plier les cils dans ce sens. Les cellules sensorielles envoient des influx nerveux à un taux différent (différent nombre d'influx par seconde) dépendamment de la direction dans laquelle les cils sont pliés. Le cerveau reconnaît donc dans quelle direction la tête est penchée en se basant sur le taux d'influx nerveux qu'il reçoit en provenance de l'utricule et le saccule.

Ce mécanisme est présent chez tous les vertébrés.

PERCEPTION DES MOUVEMENTS ROTATOIRES DU CORPS

Comment le cerveau détermine-t-il l'**axe de rotation lors d'un mouvement rotatoire** du corps?

Il y a **trois canaux semi-circulaires** dans l'oreille interne, et chacun est orienté dans une dimension différente (couvrant ainsi les trois dimensions de l'espace). Quand le corps bascule dans le même axe (= la même dimension) qu'un des canaux, seul ce canal bascule par rapport au liquide (endolymphe, = périlymphe) qu'il contient. Ce mouvement du liquide par rapport aux parois du canal fait plier les cils de cellules sensorielles de la paroi, lesquelles envoient alors des messages au cerveau. Le cerveau sait dans quel axe le corps bascule ou tourne en sachant quel canal lui envoie des messages.

On pense que le **mal de mer** est dû à une contradiction que le cerveau perçoit quand il compare les messages en provenance des canaux semi-circulaires versus ceux en provenance des yeux. À l'intérieur d'un navire, les yeux disent au cerveau que le corps ne bouge pas (rien dans la pièce ne change de position, puisque toute la pièce bouge de la même façon que son occupant) mais les canaux semi-circulaires disent au cerveau que le corps bascule sans arrêt dans un sens puis dans un autre (au gré de la houle). Les solutions possibles sont de regarder l'horizon à l'extérieur du navire (donc les yeux disent eux aussi au cerveau que le corps bouge), ou de prendre des médicaments qui diminuent les messages envoyés par les canaux semi-circulaires.

Ces trois canaux semi-circulaires sont présents chez tous les vertébrés, sauf les lamproies, qui ont deux canaux plutôt que trois, et les myxines, qui n'en ont qu'un seul.

L'AUDITION CHEZ LES AUTRES MAMMIFÈRES :

Seuls les mammifères possèdent un **pavillon externe** (mais quelques espèces l'ont perdu, comme les cétacés, certains phoques –sauf les otaries–, certains insectivores, et certaines espèces sous-terrestres). Contrairement à la situation humaine, le pavillon externe de plusieurs mammifères est amovible. Il peut être volontairement orienté dans différentes directions pour mieux percevoir la provenance des sons. Certaines espèces ont un pavillon très large (ex. : lapins, éléphants) mais c'est probablement pour des raisons thermorégulatrices plutôt qu'auditives (le pavillon présente une grande surface et y faire circuler plus de sang permet de refroidir le corps par grand transfert de la chaleur du sang à l'air environnant).

Seuls les mammifères ont **trois osselets dans l'oreille moyenne** plutôt qu'un seul. Les fossiles et le développement embryonnaire indiquent que les deux osselets supplémentaires (le marteau et l'enclume) étaient, à l'origine, des os de la mâchoire. À mesure que le dentaire a grossi pour devenir le seul os de la mâchoire lors de l'évolution des mammifères, les autres os de la mâchoire ont commencé à remplir d'autres fonctions.

Avoir trois osselets dans l'oreille moyenne (plutôt qu'un seul comme chez les oiseaux, reptiles, et amphibiens) permet aux mammifères de mieux entendre, en particulier les sons aigus. Une représentation de ceci est l'évolution de l'**écholocalisation** chez les chauves-souris et les baleines à dents (l'écholocalisation consiste à produire des sons de haute fréquence et à percevoir l'onde acoustique qui rebondit sur les objets environnants). Aussi possible est la **communication par ultrasons** (des fréquences au-dessus de 20 kHz, trop haut pour être entendues même par l'humain) chez les souris. La capacité de perception des ultrasons par différentes espèces de souris varie en fonction des particularités de la cochlée de chacune de ces espèces.

La vision et l'olfaction ne sont pas très utiles pour les **grands cétacés marins**, mais l'audition l'est, en particulier pour la communication sociale et la navigation. Le bruit des moteurs de bateaux, le sonar des navires de guerre, et autres sons sous-marins causés par l'humain peuvent interférer avec ces fonctions et, semble-t-il, mener parfois à des échouements massifs.

L'AUDITION CHEZ LES OISEAUX :

Les oiseaux n'ont pas de pavillon externe, mais l'entrée du conduit auditif externe (sous les plumes de la tête) n'est pas ronde, pas symétrique. Tout comme dans le cas de l'asymétrie du pavillon des mammifères, cela peut aider à déterminer la direction d'un son.

L'oreille moyenne ne contient qu'un seul os, la **columelle**, qui est l'équivalent de l'étrier des mammifères et qui est parfois appelé par ce nom plutôt que columelle.

La cochlée est courte et linéaire (pas longue et en colimaçon comme chez les mammifères). Elle fonctionne quand même de la même manière que chez les mammifères.

L'AUDITION CHEZ LES REPTILES :

Les **crocodiles et certains lézards** ont un court conduit auditif externe menant au tympan en profondeur, mais d'autres lézards (ex. : iguane) et les tortues n'ont pas un tel conduit : leur tympan est visible directement à la surface du corps, près de la commissure des mâchoires.

Les **serpents** n'ont pas d'oreille externe et pas de tympan, et donc ils ne peuvent pas bien entendre les sons propagés dans l'air. Les bruissements (*hissing*) produits par les serpents, ou le staccato produit par les serpents à sonnette (*rattlesnakes*, une sorte de crotale – une série d'écailles lâches s'entrechoquent bruyamment entre elles quand le serpent élève et fait vibrer sa queue), sont pour faire peur à leurs prédateurs, pas pour communiquer avec d'autres serpents. Faire du bruit en randonnée dans la jungle n'avertit pas très bien les serpents de notre présence. Ceci étant dit, une bonne capacité de détecter les vibrations du sol est quand même présente. Ces vibrations sont transmises par un os de la mâchoire inférieure à la columelle de l'oreille moyenne qui, elle, les retransmet à l'oreille interne. Certains sons forts dans l'air ou dans l'eau pourraient aussi faire un peu vibrer les tissus de la tête, et de là la columelle, et ainsi être perçus tant bien que mal par les serpents.

Comme chez les oiseaux, l'oreille moyenne des reptiles ne contient qu'un seul os, la columelle (= étrier), et la cochlée de l'oreille interne est courte et linéaire.

L'AUDITION CHEZ LES AMPHIBIENS :

Le tympan des **anoures** (grenouilles) est exposé à la surface, comme chez les iguanes. (Il est passablement gros et visible sur le côté de la tête de certains crapauds.) Leur oreille moyenne contient une columelle. La cochlée est remplacée par deux structures plus rudimentaires : deux petits élargissements (= papilles) du saccule, où se trouvent les membranes et cellules ciliées responsables de la perception des sons.

Les **salamandres et les cécilies**, eux, n'ont même pas de tympan ou d'oreille moyenne (ces structures sont vestigiales chez eux). Il y a une columelle vestigiale. Chez ces espèces, les sons sont tant bien que mal transmis à l'oreille interne au travers des tissus du corps.

Chez les amphibiens, un os spécial appelé « operculum » est connecté par des muscles aux os de l'épaule et il retransmet directement à l'oreille interne des vibrations du sol. Donc, tout comme les serpents (mais par une structure osseuse différente), les amphibiens peuvent percevoir les sons/vibrations qui voyagent dans le sol.

L'AUDITION CHEZ LES POISSONS :

Les poissons n'ont **pas d'oreille externe (donc pas de tympan) ni d'oreille moyenne** (donc pas de columelle). Les vibrations des sons (vagues de pression) de l'eau ambiante sont transmises directement à l'oreille interne par l'eau des tissus du corps (si les sons peuvent voyager dans l'eau ambiante, ils peuvent tout aussi bien voyager dans l'eau du corps). Ces sons qui traversent le corps du poisson font aussi vibrer la vessie natatoire remplie de gaz, et chez certaines espèces (dont menés et poissons-chats) une série de petits osselets (appelés **osselets de Weber**) retransmettent ces vibrations de la vessie natatoire à l'oreille interne. Chez d'autres espèces, la vessie natatoire touche directement au crâne et peut y retransmettre ses vibrations.

Il n'y a **pas de cochlée**. Les cellules ciliées responsables de la perception des sons sont situées dans un petit élargissement du saccule. Leurs cils sont rattachés à un **otolithe** (une « petite roche » de carbonate de calcium). Les sons font vibrer l'otolithe, ce qui stimule les cellules ciliées. Les cellules ciliées envoient des messages au cerveau à différentes fréquences dépendamment de la fréquence de vibration de l'otolithe.

Il y a un autre **otolithe** dans l'utricule, aussi rattaché à des cellules ciliées, pour la détection de la gravité.

La forme des **otolithes** est caractéristique de chaque espèce de poisson. De plus, les otolithes grandissent de façon régulière et, à la manière d'un arbre, présentent des bandes de différente apparence en fonction des années successives. L'examen de tels otolithes permet souvent de **déterminer l'âge** d'un individu.

QUESTIONS À RÉFLEXION :

- 1) Vous voulez voir si un serpent a une horloge interne qui lui permet de savoir que la nuit approche même en absence de changement dans l'intensité lumineuse. Donc vous placez un serpent dans un terrarium en laboratoire où les lumières s'éteignent abruptement plutôt que graduellement le soir, et vous regardez s'il continue d'exhiber les comportements typiques de fin de journée chez cette espèce. Mais vous voulez que son horloge interne soit son seul signal possible du temps de la journée; vous ne voulez pas qu'il réagisse simplement à votre présence quand vous venez observer son comportement. Donc vous placez un carton opaque tout autour de son terrarium, avec un seul trou laissant passer la lentille d'une caméra, et à tous les jours 1 h avant le début de la nuit vous entrez dans la pièce sans faire de bruit pour allumer la caméra et ensuite ressortir sans que le serpent puisse vous voir. Son horloge interne est-elle maintenant son seul signal horaire possible?
- 2) Imaginez une expérience pour démontrer que les poissons peuvent entendre des sons.
- 3) Imaginez une expérience pour démontrer qu'un hibou peut détecter la présence et le mouvement d'une souris au sol, et l'attraper, même dans l'obscurité complète, grâce à son audition.
- 4) Pourquoi est-ce que lorsqu'on écoute un enregistrement de notre propre voix, ça ne sonne pas comme quand on parle et qu'on s'entend soi-même?
- 5) Les sons sont facilement transmis de l'eau environnante aux tissus du corps d'un poisson, qui sont surtout faits d'eau, et donc les poissons n'ont pas besoin d'oreille externe ou moyenne. Mais si les sons peuvent passer au travers d'un poisson, comment un dauphin peut-il alors se servir de l'écholocalisation pour détecter la présence d'un poisson?

CHAPITRE 15

CAPACITÉS SENSORIELLES : CHIMIORÉCEPTION (OLFACTION ET GOÛT)

Un **chimiorécepteur** (= **chémocepteur**) est une cellule nerveuse qui envoie un message au cerveau lorsqu'un atome ou une molécule spécifique se lie à une protéine particulière dans la membrane de la cellule. Donc, un chimiorécepteur sert à détecter la présence de substances chimiques particulières dans l'environnement. Tous les animaux ont des chimiorécepteurs.

L'**olfaction** (= l'**odorat**) est la détection de substances chimiques présentes dans l'air (espèces terrestres) ou dans l'eau (espèces aquatiques) grâce à des chimiorécepteurs situés dans le nez.

Le **goût** (= **sensations gustatives**) est la détection de substances chimiques présentes dans la nourriture potentielle grâce à des chimiorécepteurs situés sur la langue, dans la bouche, sur la tête mais près de la bouche (comme sur les barbillons d'un poisson-chat, par exemple), ou même (chez certains poissons comme les carpes) sur le corps tout entier.

Un cas particulier de chimiorécepteurs sont ceux qui sont situés dans des vaisseaux sanguins et qui servent à mesurer la concentration de O₂, de CO₂, ou de H⁺ dans le sang. Chez les poissons ils peuvent aussi être situés dans la gorge et détecter la concentration d'oxygène dans l'eau, dans le but d'éviter les régions où l'eau manque d'oxygène.

OLFACTION :

Les cellules sensorielles responsables de la perception des odeurs sont des neurones spécialisés rassemblés dans un épithélium recouvert de mucus. Cette plaque d'épithélium riche en cellules sensorielles s'appelle « **épithélium olfactif** ». Différentes cellules ont, dans leur membrane cellulaire, des récepteurs moléculaires spécifiques à différentes molécules (et chaque type de récepteurs est codé par son propre **gène**). Lorsque la bonne molécule (présente dans l'air ou dans l'eau environnante) diffuse à travers la mince couche de mucus et vient en contact avec son récepteur sur plusieurs cellules, ces cellules envoient un message au cerveau (plus précisément à une partie précise du cerveau appelée « **rhinencéphale** », qui comprend deux **bulbes olfactifs** et deux **lobes olfactifs**) pour lui « dire » que la molécule est présente en grand nombre. Le cerveau crée alors la sensation d'odeur.

Chez les **poissons**, l'épithélium olfactif est présent dans deux puits, un de chaque côté de la tête, chacun s'ouvrant sur l'extérieur par une narine. L'eau entre et sort de chaque puit par sa narine. Chaque narine est divisée en deux parties, une qui sert à l'entrée d'eau et une qui sert à la sortie. Chez les espèces où la tête est grosse et donc où les deux narines sont séparées par une bonne distance (c'est le cas de la plupart des requins, par exemple), le poisson peut savoir de quelle direction vient l'odeur en comparant l'intensité de la stimulation entre ses deux narines.

Si on bloque la narine droite d'un requin et qu'on le place dans un aquarium contenant l'odeur d'une proie, le poisson passe tout son temps à tourner vers la gauche.

Chez les **poissons dipneutes et les amphibiens**, chaque puit s'ouvre non seulement sur l'extérieur par les narines, mais aussi dans la cavité buccale ou dans la gorge par des **narines internes**. Chaque puit devient donc en fait un tunnel assez large reliant chaque narine externe à la cavité buccale. Les deux tunnels sont recouverts d'épithélium, mais c'est seulement une partie de cet épithélium qui contient les récepteurs olfactifs.

Chez les **amniotes**, chaque narine mène à sa propre « cavité nasale » séparée de la bouche par une cloison horizontale plus ou moins complète appelé « **palais** ». Là où le palais s'arrête, les cavités nasales se connectent à la bouche (si le palais est court) ou à la gorge (si le palais est long).

Chez les reptiles non-crocodiliens, le palais est relativement court.

Chez les crocodiles, le palais est long.

Chez les oiseaux, le palais est incomplet et exhibe une fente médiane.

Chez les mammifères, le palais est long. Sa partie antérieure est osseuse. Sa partie postérieure est musculaire (= palais mou) et elle se relève quand l'animal avale pour ne pas que l'eau et la nourriture entre dans les cavités nasales au lieu d'aller vers l'œsophage (= le tuyau qui relie la gorge à l'estomac).

Ce n'est pas tout l'épithélium d'une cavité nasale qui est olfactif. Chez l'humain par exemple, l'épithélium olfactif est seulement situé au plafond de chaque cavité nasale. Chez les autres mammifères il est situé sur des replis au fond des cavités nasales. Le reste des cavités nasales des oiseaux et des mammifères sert surtout à filtrer, réchauffer, et humidifier l'air qui entre dans les poumons. L'épithélium nasal (pas olfactif), qui est chaud et humide, présente lui-aussi des replis qui augmente sa surface de contact avec l'air inspiré, pour un meilleur réchauffement et humidification de cet air. Les oiseaux et les mammifères sont des endothermes avec de grands besoins énergétiques, nécessitant donc une respiration intense et un grand mouvement d'air dans les poumons. Les parois minces et humides des poumons (minces et humides pour permettre une bonne diffusion de l'oxygène de l'air au sang) seraient endommagées si elles venaient en contact avec de l'air froid et sec, d'où la nécessité pour les cavités nasales de bien réchauffer et humidifier l'air inspiré.

Organe voméronasal (= organe de Jacobson) :

Chez les **amphibiens**, chaque tunnel nasal présente un sillon ventral plus ou moins profond dans lequel se trouve une partie de l'épithélium olfactif. Ces endroits particuliers portent le nom d'organe voméronasal ou organe de Jacobson.

Chez les **squamates** (lézards et serpents), ces sillons ont perdu leur connexion avec le tunnel nasal et sont devenus chacun une petite cavité se connectant maintenant avec la bouche. Le plafond de la cavité buccale présente donc deux ouvertures, une droite et une gauche, chacune menant à une petite cavité sensorielle olfactive. Ensemble la paire de cavités continue de porter le nom d'organe voméronasal. Les molécules odoriférantes entrent dans les deux cavités par la salive, ou plus fréquemment apportée par la langue fourchue de l'animal. Les serpents en particulier ont un organe voméronasal bien développé. Un serpent sort sa langue fourchue par l'échancrure de sa mâchoire supérieure, des molécules se déposent sur chaque pointe de la langue fourchue, l'animal rentre sa langue et fait toucher chaque pointe à l'ouverture correspondante au plafond de la bouche (mais sans entrer dans l'ouverture), et cela permet aux molécules de diffuser jusqu'à l'épithélium olfactif de l'organe voméronasal. À noter que les cavités nasales elles-mêmes continuent de posséder un épithélium olfactif séparé.

Chez les **crocodiles et les oiseaux**, l'organe voméronasal apparaît lors du développement embryonnaire, mais il régresse rapidement et est absent chez l'individu naissant. Ceci revient à dire que ces animaux n'ont pas d'organe voméronasal fonctionnel.

Chez les **mammifères**, l'organe voméronasal est présent chez la plupart des espèces. Il peut être connecté soit aux cavités nasales (ex. : rongeurs), ou soit à la cavité buccale au travers du palais (ex. : chats). Cependant il est absent chez les cétacés et chez certains primates comme l'humain. (Il est présent chez l'embryon humain, atteignant une taille maximum au 5^e mois de la grossesse, mais il régresse par la suite et devient non-fonctionnel avant la naissance.) L'organe voméronasal des mammifères sert surtout à détecter des **phéromones** – des signaux olfactifs en provenance de conspécifiques – particulièrement dans un contexte reproducteur.

Le « **flehmen** » (terme allemand à l'origine, adopté en français) est un comportement assez répandu chez les mammifères, où pendant quelques secondes la bouche est ouverte, la lèvre supérieure est retroussée, les narines sont fermées, et la tête est plus ou moins redressée vers le haut. Le comportement est souvent exhibé par des mâles qui viennent de frotter leur museau contre les parties génitales d'une femelle. Ce comportement permet une meilleure détection, par l'organe voméronasal du mâle, des phéromones présentes dans l'urine ou autres sécrétions de la femelle.

GOÛT :

Un **calicule gustatif** (= bourgeon gustatif) est un amas de cellules chimioosensibles, entourées par des cellules de support, dans un petit puit qui s'ouvre à la surface de la langue, à la surface interne de la bouche et de la gorge, ou même à la surface du corps dans le cas de certains poissons.

Tous les vertébrés ont des calicules gustatifs, quoique les reptiles et les oiseaux en ont moins.

Différentes cellules gustatives peuvent être spécialisées dans la détection de différentes catégories de substances. Chez l'humain (mais plusieurs vertébrés ne les ont pas tous), ces différentes catégories (différentes saveurs) sont :

1. Le salé (*salty*) déclenché par des ions métalliques, dont le sodium, très important pour plusieurs processus physiologiques.
2. Le sucré (*sweet*) déclenché par des substances organiques avec un groupement -OH, dont les glucides qui sont très importants comme source d'énergie.
3. L'amer (*bitter*) déclenché par des alcaloïdes, souvent contenus dans des substances toxiques ou des aliments pourris.
4. L'acide (*sour*) déclenché par l'ion H⁺, souvent contenu dans des fruits qui sont de bonnes sources de vitamine C.
5. L'umami (*savory*) déclenché par l'acide glutamique, un acide aminé qui indique la présence de protéines, un nutriment important.

QUESTIONS À RÉFLEXION :

- 1) Un serpent est caché sous un tronc d'arbre abattu. Une souris apparaît à un demi-mètre de lui. Le serpent commence à respirer plus vite mais il ne sort pas sa langue. Expliquez ce comportement.

- 2) Quand un serpent sort brièvement sa langue, souvent il écarte les deux pointes de la fourche de la langue avant de la rentrer. Pourquoi un tel écartement?

- 3) Quand on mâche quelque chose, on commence à goûter l'aliment. Mais le « goût » qu'on ressent est en fait un mélange de sensations gustatives et de sensations olfactives. Décrivez le chemin que prennent les molécules volatiles relâchées par le bris de la nourriture mâchée.

- 4) Vous voulez avoir une idée de l'importance que l'olfaction joue de façon générale dans la vie d'une certaine espèce de vertébré. Que pourriez-vous mesurer? (Indice : anatomie, comportement.)

- 5) Énumérez toutes les fonctions possibles de l'olfaction.

- 6) Prenez un animal qui est capable de facilement détecter une certaine odeur que vous, vous avez de la difficulté à percevoir. Laquelle des choses suivantes est la plus susceptible d'être différente entre vous et l'animal?
- a) Le rhinencéphale de l'animal est plus gros que le vôtre.
 - b) L'épithélium olfactif de l'animal présente une plus grande surface que le vôtre.
 - c) L'épithélium olfactif de l'animal a plus de cellules avec le récepteur propre à la substance odoriférante.
 - d) Le génome de l'animal renferme plus de gènes olfactifs (des gènes codant pour la formation de récepteurs dans la membrane des cellules de l'épithélium olfactif).
 - e) L'épithélium olfactif de l'animal envoie des potentiels d'action de plus grande amplitude au lobe olfactif que, vous, vous le faites.
 - f) L'animal a un organe voméronasal, alors que vous vous n'en avez pas.
- 7) Quand on a le rhume, notre système immunitaire apporte plus de sang à l'épithélium de nos cavités nasales, afin d'y apporter plus de globules blancs et d'anticorps pour combattre le virus qui s'y est établi. Une conséquence secondaire de cet apport sanguin accru est une plus grande production de mucus à la surface de l'épithélium. Expliquez pourquoi on a de la difficulté à bien sentir quand on a le rhume. Et aussi pourquoi les aliments goûtent fades quand on a le rhume.
- 8) Vrai ou faux?
- a) Le palais des grenouilles est bien développé.
 - b) Le flehmen fait partie du répertoire comportemental des oiseaux.
 - c) Les bourgeons gustatifs des vertébrés peuvent être en dehors de la bouche.
 - d) Les narines internes des salamandres s'ouvrent dans les cavités nasales.
 - e) La chimioréception implique seulement les sens du goût et de l'olfaction.
- 9) Chez beaucoup d'espèces de poissons, une femelle en train d'ovuler (= de produire ses œufs) relâche dans son environnement une partie de ses fluides ovariens, lesquels peuvent servir de phéromones pour attirer les mâles. Imaginez une ou des expériences pour démontrer que les mâles peuvent détecter la présence de femelles en train d'ovuler, et que c'est l'olfaction qui est impliquée.
- 10) Un éléphant en rencontre un autre. Il touche cet autre éléphant avec sa trompe, puis met sa trompe dans sa bouche. Expliquez ce comportement.

CHAPITRE 16

CAPACITÉS SENSORIELLES : THERMORÉCEPTION, MAGNÉTORÉCEPTION, ET ÉLECTROPERCEPTION

THERMORÉCEPTION :

L'hypothalamus (la partie du cerveau responsable du contrôle de la physiologie du corps) des vertébrés possède des cellules sensibles à la température. La température du sang qui circule dans l'hypothalamus renseigne le cerveau sur la température générale du corps.

La peau des vertébrés contient aussi des cellules nerveuses sensibles à la température, ce qui renseigne l'animal sur la température de son environnement.

Certaines de ces cellules thermoréceptrices sont sensibles à la chaleur seulement (pas au froid) et envoient des messages au cerveau quand la température à laquelle elles sont exposées s'élève au-dessus d'environ 30 °C.

D'autres cellules sont sensibles à l'abaissement de température et envoient des messages au cerveau quand la température s'abaisse soudainement par 0.5 °C ou plus.

D'autres cellules sont sensibles à des températures très élevées (45 °C pour les mammifères) et envoient des messages que le cerveau interprète comme douloureux.

Détection des rayons infrarouges de la chaleur par les crotales (*pit vipers*) et par certains boas et pythons :

Sur la tête de ces serpents, des cavités (deux grosses cavités chez les crotales, une de chaque côté de la tête entre l'œil et la narine; ou une série de petites cavités chez les boas et pythons, de chaque côté de la tête le long des mâchoires) sont tapissées de cellules sensorielles sensibles à la chaleur irradiée. On appelle ces cavités « fossettes sensorielles » ou « **fossettes thermosensibles** ». Les cellules sensorielles dans ces fossettes sont stimulées par une augmentation de température aussi faible que 0.2 °C, ce que réussissent à faire les rayons infra-rouges (calorifiques) émis par un corps chaud. Ceci permet la détection d'endothermes (des petits rongeurs, par exemple) à proximité du serpent lorsque la tête du serpent est orientée vers eux. Puisque c'est seulement à proximité, cette sensation est utile seulement pour bien orienter l'attaque finale (détecter la proie de plus loin se fait plutôt par l'intermédiaire de vibrations du sol et d'odeurs) mais cette attaque finale devient possible même la nuit, dans la noirceur complète. L'orientation correcte est possible lorsque les cavités de gauche et de droite détectent la même quantité de radiations thermiques; l'animal sait alors que le corps chaud est directement devant lui. Des expériences avec des crotales en captivité dans le noir total ont indiqué un succès de frappe de presque 100% sur une proie chaude, mais ce taux a baissé à seulement 27% lorsque les fossettes ont été artificiellement bloquées avec de la vaseline.

MAGNÉTORÉCEPTION :

Plusieurs espèces de vertébrés (des poissons jusqu'aux mammifères) peuvent s'orienter dans un champ magnétique. Posséder une boussole magnétique permet à ces animaux de retrouver le nord/sud à l'aide du champ magnétique naturel de la Terre, et de là toutes les autres directions aussi.

En laboratoire, sous un champ magnétique artificiel, on peut entraîner ces vertébrés à toujours aller dans une même direction (vers le nord, par exemple). Par la suite, si on tourne le champ magnétique artificiel par 90°, l'animal change spontanément son orientation par 90°. Si on enlève complètement tout champ magnétique, l'animal s'oriente dans toutes les directions au hasard.

La plupart des études ont été faites sur les saumons anadromes (qui voyagent sur de grandes distances dans l'océan mais reviennent aux alentours de leur rivière natale pour la reproduction), les tortues marines (qui elles aussi errent dans l'océan mais reviennent toujours à la même plage précise pour pondre leurs œufs), les oiseaux migrateurs (dont le besoin d'avoir une boussole est évident), et les souris (tant qu'à étudier un mammifère, aussi bien en prendre un qui se garde bien en laboratoire!).

Le champ magnétique terrestre présente des variations locales dans l'intensité et dans l'angle par rapport à l'horizontal (inclinaison) des lignes de champ. Certains animaux peuvent détecter ces variations pour se faire une carte géographique mentale dont ils se servent ensuite pour s'orienter.

Des tortues marines exposées en laboratoire au champ magnétique terrestre typique d'une position plus au sud de leur domaine vital essaient de nager vers le nord, pour revenir à leur domaine vital. Des tortues exposées au champ magnétique d'une position plus au nord nagent vers le sud.

Des salamandres exposées en laboratoire à l'inclinaison magnétique d'un endroit plus au nord de leur domaine vital nagent vers le sud, et vice-versa pour les salamandres exposées à l'inclinaison d'un endroit plus au sud.

Le mécanisme par lequel l'animal peut détecter le champ magnétique est encore mystérieux. Il y a des hypothèses, les deux principales étant basées (1) sur la présence, dans certaines cellules, de cristaux de **magnétite**, Fe_3O_4 , qui peuvent s'aligner dans un champ magnétique, ou (2) sur des variations cycliques dans l'état quantique de certaines protéines qui peuvent être influencées par un champ magnétique. Les tests expérimentaux de ces hypothèses n'ont pas encore donné de résultats concluants.

On a de bonnes raisons de croire, cependant, que le mécanisme prend place au niveau de la tête. Placer un petit aimant près de la tête « déboussole » l'animal et l'empêche de s'orienter correctement dans un champ magnétique. Comme manipulation témoin, placer un morceau de métal non-magnétique près de la tête, ou placer un petit aimant ailleurs sur le corps, ne déboussole pas l'animal.

ÉLECTROPERCEPTION :

Les chondrichthyens (requins, raies), les chondrostéens (esturgeons, poissons-spatules), les dipneutes, les coelacanthes, et les poissons-chats (téléostéens siluriformes) ont des « électrorécepteurs », c'est-à-dire des structures sensorielles dans leur peau qui **détectent la présence de champs électriques dans l'eau** environnante. Cela leur permet de **détecter la présence de proies vivantes cachées dans le sable** (tout animal vivant a des muscles, comme le cœur, et autres tissus qui génèrent sans cesse des champs électriques qui se propagent au travers de leur corps et au travers de l'eau environnante).

Un requin peut trouver une plie vivante complètement cachée dans le sable. Mais si la plie cachée est morte (et donc ses tissus ne génèrent plus de champs électriques), le requin ne peut plus la trouver.

De plus, si une plie cachée vivante est enveloppée dans un film de plastique spécial qui bloque les champs électriques, le requin ne peut plus la trouver.

Finalement, un requin attaque des électrodes cachées dans le sable qui émettent des champs électriques similaires à ceux d'une proie vivante.

Chez les **requins**, ces structures sensorielles sont appelées « **ampoules de Lorenzini** ». Ce sont des cellules situées au fond de petits puits dans la peau de la tête, à la manière des puits de la ligne latérale. D'ailleurs, les ampoules de Lorenzini se développent à partir des mêmes tissus embryonnaires que ceux de la ligne latérale.

Des électrorécepteurs sont aussi présents dans le bec des **monotrèmes**, le seul exemple de vertébrés autres que des poissons capables d'électroperception. L'ornithorynque en a particulièrement beaucoup sur son bec; il s'en sert pour trouver ses habituelles proies aquatiques (vers, écrevisses, petits poissons). Les échidnés en ont moins : leurs proies vivent en milieu humide mais terrestre, ce qui n'est pas idéal pour la transmission de courants électriques.

Ce qui est décrit ci-haut est l'**électroperception passive**. Il existe aussi l'**électroperception active** chez les poissons gymnotiformes (*South American knifefish*) et les poissons notoptéroïdes (*aba, freshwater elephantfish*). Ces poissons génèrent autour de leur corps un champ électrique stable grâce à un « organe électrique » constitué de tissu musculaire modifié. Lorsque le poisson s'approche d'un objet, la proximité de l'objet déforme le champ électrique, et ce changement est perçu par des électrorécepteurs à la surface de la peau. De cette façon, le poisson peut détecter la proximité d'un objet, incluant des proies, même dans l'obscurité complète. Il peut distinguer entre proies et objets inanimés comme des roches, car les proies conduisent le courant et ne déforment pas le champ électrique de la même manière qu'un objet non-conducteur comme une roche.

Le poisson-chat électrique (dans le Nil), la raie électrique (en Méditerranée), et l'anguille électrique (en Amérique du Sud) possèdent eux aussi un organe électrique, et ils s'en servent d'une façon encore plus active : pour « assommer » leurs proies avec des décharges de plusieurs centaines de volts. (Ces décharges ne sont pas assez fortes pour tuer un être humain, mais elles font mal!)

Plusieurs espèces se servent aussi de leur organe électrique pour **communiquer** entre individus. Ils peuvent varier la fréquence des décharges de leur organe électrique, et varier leur voltage, pour créer des signaux qui intimident un adversaire ou qui courtisent le sexe opposé.

QUESTIONS À RÉFLEXION :

- 1) Plusieurs crotales qui font face à un gros mammifère qui pourrait être un prédateur potentiel essaient de l'intimider en lui faisant face et en ouvrant la gueule. Cependant, ils ne déploient pas leurs crocs, ce qui semble bizarre puisque des crocs déployés seraient plus intimidants. Sachant que le déploiement des crocs modifie la position des fossettes thermosensibles sur le côté de la tête d'une manière qui les rend moins performantes, expliquez le comportement de ces crotales.

- 2) Les vampires (ces chauves-souris qui se nourrissent de sang après avoir mordu un oiseau ou un mammifère) trouvent dans le noir le meilleur endroit du corps où mordre leur victime (c'est-à-dire, un endroit moins poilu ou moins emplumé) grâce à des détecteurs de chaleur situés dans leur museau (les endroits nus laissent échapper plus de chaleur). Devinez quelle précaution anatomique ces détecteurs de chaleur, qui appartiennent à un mammifère, se doivent de posséder. (Indice : un oiseau aurait besoin de la même chose, mais pas un serpent.)

- 3) Dans la section sud-américaine d'un aquarium public, vous voyez un poisson effilé dont la longue nageoire dorsale lui permet de nager de reculons. Vous le voyez reculer rapidement vers le fond de son aquarium, mais juste avant d'entrer en collision avec la vitre il change de direction et nage maintenant le long de la vitre, toujours de reculons. A-t-il des yeux dans sa nageoire caudale? Avez-vous un commentaire à faire sur le fait qu'on est dans la section sud-américaine, et que le poisson est effilé?

- 4) Je vous donne un poisson notoptéroïdé dans un aquarium, deux pots de terre cuite (qui sont transparents au courant électrique, mais qui bien entendu bloque la lumière), et une petite tige de verre. Faites une expérience pour démontrer que le notoptéroïdé peut détecter la proximité d'une tige de verre grâce à son organe électrique.

- 5) Les champs électriques générés par des proies enterrées dans la vase ne peuvent être détectés par les ampoules de Lorenzini d'un requin que sur de courtes distances. Expliquez la drôle de forme de la tête d'un requin-marteau (*hammerhead shark*).

CHAPITRE 17

QUESTIONS DE RÉVISION GÉNÉRALE

- 1) L'autre jour à la télé je regardais un épisode de la série meurtre-mystère *The Brokenwood Mysteries*. Un des personnages était un biologiste qui, pour impressionner et intimider les détectives, s'est présenté comme étant un « élasbranchologiste ». Qu'est-ce qu'il étudiait?
- 2) L'autre jour j'ai vu un vidéo sur YouTube dans lequel un homme se promenait sur le campus de la prestigieuse Université Harvard et offrait 1000\$ à des étudiantes ou étudiants choisis au hasard s'ils pouvaient répondre à cinq de ses questions. Deux de ces questions étaient les suivantes. Auriez-vous pu y répondre?
 - a) Quel est le plus gros organe du corps (humain)?
 - b) Quel est le plus gros os du corps (humain)?
- 3) Dans chaque numéro du magazine de vulgarisation scientifique *New Scientist*, il y a un petit quiz de cinq questions. L'autre jour j'y ai vu les deux questions suivantes. Auriez-vous été capable d'y répondre?
 - a) Parmi les trois modes de locomotion des mammifères, il y a les onguligrades, les digitigrades, et quoi?
 - b) La chiroptérophilie est la pollinisation des plantes par quelle sorte d'animal?
- 4) Une tortue marine arrive sur la plage et pond ses œufs dans un nid situé haut sur la plage, à l'ombre des cocotiers pour une partie de la journée. Une autre arrive sur la même plage et pond ses œufs dans un nid situé plus bas sur la plage, en plein soleil toute la journée. Dites quelque chose d'intéressant sur cette situation.
- 5) Quelle est la substance qui est commune à la composition de la peau, des os, et des muscles, et à quoi sert-elle?
- 6) À quel groupe d'animaux appartiennent les organismes qui, un peu comme certains profs d'université après qu'ils obtiennent la permanence d'emploi, résorbent leur cerveau après être devenus sessiles?
- 7) Les myxines et les lamproies sont des poissons « primitifs », en ce sens qu'ils ressemblent aux premiers poissons qui sont apparus sur terre et qu'ils n'ont pas développé les innovations évolutives qui sont arrivées chez les poissons plus « modernes ». Quelles sont les caractéristiques qui sont absentes du corps des myxines et des lamproies mais qu'on retrouve chez presque tous les autres poissons?
- 8) Donnez trois exemples de tétrapodes qui, au cours de l'évolution, ont perdu leurs membres antérieurs et leurs membres postérieurs. Pour le plaisir de la chose, donnez aussi un exemple de tétrapodes qui ont perdu leurs membres postérieurs mais pas les antérieurs.
- 9) Décrivez des caractéristiques du squelette des oiseaux qui sont des adaptations au vol.
- 10) Donnez le plus d'exemples possibles de structures faites de kératine chez les vertébrés.

11) Quelle est la différence entre :

- | | |
|---|---|
| a) Anadrome et catadrome | s) Nageoires pectorale et pelvienne |
| b) Triton et salamandre | t) Ischion et iléon |
| c) Baculum et furculum | u) Amplexus et amphioxus |
| d) Cornée et cristallin | v) Chordés et vertébrés |
| e) Cônes et bâtonnets | w) Ovipare et ovovivipare |
| f) Endotherme et ectotherme | x) Civelle et larve ammocète |
| g) Chondrichthyens et chondrostéens | y) Myopie et hypermétropie |
| h) Moëlle rouge et moëlle jaune | z) Synapside et diapside |
| i) Tendon et ligament | aa) Larve de grenouille et larve de salamandre |
| j) Bourse et capsule articulaire | bb) Poil de jarre et poil de bourre |
| k) Carpien et tarsien | cc) Ostéoblaste et ostéoclaste |
| l) Pygostyle et urostyle | dd) Urocordés et céphalocordés |
| m) Glande sudoripare et glande sébacée | ee) Paléontologie et archéologie |
| n) Frisson et chair de poule | ff) Viande blanche et viande foncée |
| o) Corne (de vaches) et bois (de chevreuil) | gg) Filaments minces et filaments épais |
| p) Chromatophore et photophore | hh) Foramen et sinus |
| q) Os hyoïde et os sésamoïde | ii) Nociception, mécanoréception, et proprioception |
| r) Atlas et axis | |

12) Que veulent dire (ou à quoi font référence) les adjectifs suivants :

- | | |
|-----------------|------------------|
| a) Limicole | h) Nociceptif |
| b) Néoténique | i) Hétérocerque |
| c) Héмотoxique | j) Éthologique |
| d) Amniotique | k) Astigmat |
| e) Vivipare | l) Euthérien |
| f) Aposématique | m) Coracoïde |
| g) Placoïde | n) Proprioceptif |

13) Quel est le nom du groupe taxonomique constitué par :

- Mammifères + oiseaux + reptiles?
- (a) ci-haut + amphibiens?
- (b) ci-haut + dipneutes et coelacanthes?
- (c) ci-haut + poissons osseux et poissons cartilagineux

14) Parlez des os dermiques dans le contexte des ...

- | | |
|---------------|----------------|
| a) Mammifères | f) Reptiles |
| b) Oiseaux | g) Anoures |
| c) Crocodiles | h) Salamandres |
| d) Tortues | i) Poissons |
| e) Serpents | |

15) Quel est l'animal (ou le groupe d'animaux) vertébré(s) qui ...

- a) ... peut produire énormément de mucus?
- b) ... a une grande capacité de kinésie crânienne?
- c) ... est un ectoparasite hématophage?
- d) ... est un reptile primitif néo-zélandais?
- e) ... fait de l'électroperception active?
- f) ... fait de l'écholocalisation?
- g) ... dépose des spermatophores?
- h) ... a une croissance indéterminée?
- i) ... a une « corne » faite de poils agglutinés?
- j) ... a une formule dentaire?

16) C'est quoi, chez qui, et à quoi ça sert?

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| a) Tapetum lucidum | t) Bréchet |
| b) Ptérygopode | u) Anneau sclérotique |
| c) Columelle | v) Muscle lisse |
| d) Tonus musculaire | w) Synovie |
| e) Spiracle | x) Pecten |
| f) Bourse de sirène | y) Ampoule de Lorenzini |
| g) Glande parotide | z) Cérumen |
| h) Osselets de Weber | aa) Vibrisse |
| i) Glande uropygienne | bb) Trompe auditive |
| j) Mélanocyte | cc) Cochlée |
| k) Fontanelle | dd) Otolithe |
| l) Ligne latérale | ee) Anneau sclérotique |
| m) Chorôïde | ff) Gastralium |
| n) Sac vitellin | gg) Œil pariétal |
| o) Allantoïs | hh) Diaphragme |
| p) Amnios | ii) Marteau, enclume, étrier |
| q) Syrinx | jj) Os pneumatiques |
| r) Foramen | kk) Membrane nictitante |
| s) Bourse | ll) Canaux semi-circulaires |

17) Nommez deux ...

- a) ... structures de votre colonne vertébrale qui sont faites de vertèbres fusionnées.
- b) ... os qui forment votre ceinture pectorale.
- c) ... os situés immédiatement sous le genou.
- d) ... types de mélanine.
- e) ... monotrèmes.
- f) ... modes d'action du venin de serpent.
- g) ... sortes d'invertébrés les plus proches cousins évolutifs des cordés.
- h) ... éléments retrouvés dans la partie inorganique des os.
- i) ... types de cellules retrouvées dans les couches profondes de l'épiderme.
- j) ... parties de l'œil qui contribuent à la mise au focus d'une image sur la rétine.
- k) ... façons que le cerveau peut déterminer si un son vient de la droite ou de la gauche.
- l) ... fonctions du tonus musculaire.
- m) ... choses qui font arrêter le tonus musculaire.
- n) ... façons d'utiliser le cristallin pour mettre des images au focus sur la rétine.

18) Nommez trois ...

- a) ... rôles des plumes d'oiseaux.
- b) ... rôles de la vessie natatoire.
- c) ... sortes de _____ grades.
- d) ... caractéristiques des échidnés qu'on ne retrouve pas chez les autres mammifères.
- e) ... couches de la peau.
- f) ... grands types de muscles, et ce qui les distingue.
- g) ... parties de l'oreille, et décrivez ce que chacune contient.

19) Nommez quatre ...

- a) ... disciplines biologiques se spécialisant sur différentes sortes de vertébrés.
- b) ... grandes caractéristiques des cordés.
- c) ... caractéristiques des fibres musculaires rouges.
- d) ... caractéristiques des mammifères.
- e) ... fonctions des os (parmi 6 au total).
- f) ... exemples de reptiles aquatiques appartenant à des groupes taxonomiques différents.
- g) ... différentes sortes de crocodiliens.

20) Quelle sorte d'animal est un/une ...

- | | |
|--------------|-------------------|
| a) Ratite | j) Axolotl |
| b) Chélydre | k) Alevin |
| c) Cécilie | l) Petromyzontide |
| d) Monotrème | m) Squamate |
| e) Gallinacé | n) Necture |
| f) Gavial | o) Lagomorphe |
| g) Scinque | p) Oscine |
| h) Urodèle | q) Cyclostome |
| i) Urocordé | r) Conodonte |

21) Pourquoi ...

- a) ... est-ce que les biologistes de Pêches et Océans étudient les urocordés?
- b) ... est-ce que la grande majorité des amphibiens vivent seulement dans des milieux très humides?
- c) ... retrouve-t-on beaucoup de salamandres et de grenouilles écrasées sur les routes au printemps?
- d) ... est-il difficile de nourrir un amphibien adulte en captivité?
- e) ... est-ce qu'un prédateur qui attrape un lézard par la queue n'a pas de garantie de faire un gros repas?
- f) ... est-ce qu'un lézard peut survivre assez longtemps sans nourriture, mais pas un oiseau?
- g) ... est-ce que les branchies de poissons sont capables d'extraire un beaucoup plus haut pourcentage de l'oxygène de l'eau que les poumons de mammifères de l'air?
- h) ... est-ce que la coquille des œufs est dure, comparativement à la coquille des autres œufs amniotes qui elle est plutôt molle?
- i) ... est-ce que les os d'une femelle mammifère s'affaiblissent lors de sa période de lactation?
- j) ... est-ce que nos oiseaux migrent vers le sud en automne?

- k) ... est-ce que nos lèvres apparaissent plus rouges, et sont aussi plus déches, que le reste de la peau?
- l) ... est-ce qu'on pâlit quand on a peur? Et quand on a froid?
- m) ... est-ce que les shampoings anti-pellicules contiennent des substances antifongiques?
- n) ... a-t-on des odeurs corporelles?
- o) ... est-ce que les baleines n'ont pas de fourrure, même si elles vivent dans de l'eau froide?
- p) ... est-ce que les paresseux ont parfois une fourrure un peu verdâtre?
- q) ... est-ce que les gens âgés deviennent progressivement moins grands?
- r) ... est-ce que les astronautes de la station spatiale font régulièrement des exercices avec des instruments à ressort (ce n'est pas seulement pour se garder en forme...)?
- s) ... est-ce qu'on ne retrouve pas d'animaux super musclés en nature?
- t) ... est-on essoufflé APRÈS un exercice intense?
- u) ... est-ce qu'il y a du glycogène dans les muscles?
- v) ... est-ce qu'un muscle se fatigue pendant un exercice intense, mais pas tellement pendant un exercice peu intense mais de longue durée?
- w) ... est-ce que les boutons d'acné sont rouges?
- x) ... est-ce qu'aucune espèce de moustique ne se sert de l'acide lactique volatilisé à partir de la sueur pour trouver où piquer un oiseau?
- y) ... est-ce que les biologistes de la faune regardent-ils l'intérieur des fémurs des carcasses d'orignal qu'ils trouvent dans le bois?
- z) ... est-ce que les gens âgés ont de la difficulté à lire de près?
- aa) ... est-ce que le nez nous coule quand on pleure?
- bb) ... est-ce que les oiseaux sont presque toujours en train de bouger leur tête?
- cc) ... est-ce que pour viser ou aligner des choses on se ferme un œil, mais on garde les deux yeux ouverts pour lancer une balle sur une cible.
- dd) ... est-ce que les pavillons d'oreille (ou s'il n'y a pas de pavillon, l'ouverture du conduit auditif) sont asymétriques?
- ee) ... est-ce que les biologistes de Pêches et Océans dissèquent souvent la tête des poissons qu'ils attrapent?
- ff) ... est-ce que la vraie écholocalisation (celle basée sur le reflet de sons de haute fréquence) ne se retrouve-t-elle que chez les mammifères?
- gg) ... est-ce que les mammifères (et les oiseaux aussi, mais surtout les mammifères) ont de grandes cavités nasales alors que seule une petite partie de ces cavités renferme un épithélium olfactif?
- hh) ... est-ce que, quand on tient une grenouille dans notre main, on a l'impression de tenir une ballonne flexible?
- ii) ... est-ce que certains oiseaux se plongent le bec dans les plumes de leur croupion, parfois?
- jj) ... est-ce qu'il existe de la lotion pour les mains, mais pas de lotion pour les bras?
- kk) ...est-ce que la farine d'os (*bonemeal*, faite d'os de vache moulus) est un bon engrais?
- ll) ...est-ce que, après une forte exposition au soleil, en termes de mécanisme et aussi d'avantage, (a) on a un coup de soleil, et (b) on bronze?
- mm)... est-ce qu'on utilise du savon pour se laver?
- nn) ... est-ce que, quand on a froid, on a (a) la chair de poule, et (b) le frisson?
- oo) ... est-ce que les manteaux de fourrure de castor ou de vison sont particulièrement bons pour nous garder au chaud?
- pp) ... est-ce que les cages thoraciques sont faites en partie de cartilage, et pas uniquement de tissus osseux?
- qq) ... est-ce que les laiteries ajoutent de la vitamine D dans le lait qu'elles vendent?
- rr) ... est-ce qu'un corps devient raide 3-4 h après la mort?
- ss) ... est-ce que, en termes de mécanisme, un muscle grossit quand on fait beaucoup d'exercice musculaire intense?
- tt) ... est-ce que les coureurs de marathon « frappent le mur » au bout d'un certain temps?

- uu) ... est-ce que la pupille des yeux apparait noire?
- vv) ... est-ce que les yeux apparaissent rouges sur des photos de certains animaux nocturnes qui ont été prises au flash?
- ww) ... est-ce que les yeux de certains animaux brillent la nuit quand on les éclaire avec une lampe de poche?
- xx) ... est-ce que parfois on a les oreilles bouchées en avion?
- yy) ... est-ce les chevaux et les taureaux retroussent leur lèvre supérieure vers le haut parfois?
- zz) ... est-ce que Xenopus est souvent utilisé en recherche?

22) Vrai ou Faux?

- a) Les serpents à sonnettes mâles et femelles se courtisent avec le bruit de leurs queues modifiées.
- b) Les tortues n'ont pas d'incisives, canines, prémolaires et molaires comme les mammifères; toutes leurs dents sont de forme similaire.
- c) La plupart des tétrapodes inspirent en augmentant le volume de leurs poumons grâce à l'action de leur diaphragme.
- d) Les ascidies sont un exemple de vertébrés.
- e) Les humains (ils marchent sur deux pattes) font partie des tétrapodes.
- f) L'herpétologie se définit comme étant l'étude des reptiles.
- g) La rivière Petitcodiac est très sédimentaire et donc il pourrait y avoir des lancelets.
- h) Les œufs de vertébrés possèdent un amnios.
- i) Étant plutôt primitifs, les urocordés ont un squelette cartilagineux plutôt qu'osseux.
- j) Les alevins représentent une grande famille de poissons.
- k) Tous les requins ont cinq fentes branchiales, une queue hétérocerque, et des ptérygopodes.
- l) Les salpes ont une notocorde.
- m) Les caïmans sont des chéloniens.
- n) Les squamates sont quadrupèdes.
- o) À l'état adulte, les salamandres respirent par la peau et n'ont pas de poumons.
- p) Les gallinacés vivent surtout au sol, tandis que les passereaux vivent surtout dans les arbres.
- q) Les oiseaux sont stressés pendant la mue parce qu'ils ne peuvent pas voler en cette période.
- r) Les oscines ont un syrinx.
- s) Les artiodactyles ont des serres.
- t) Chez les plantigrades, les os métatarsiens touchent au sol.
- u) Les échidnés sont ovipares.
- v) Les scinques sont des sarcoptérygiens.
- w) Le cours est intéressant.
- x) Quand tu portes un manteau de cuir, tu portes en fait de la kératine.
- y) Chez l'humain, la jaunisse est causée par un excès de carotène.
- z) Les vertèbres lombaires sont postérieures aux vertèbres cervicales.

23) Quelle est la façon la plus simple de distinguer entre ...

- a) Crocodile et alligator?
- b) Périssodactyle et artiodactyle?
- c) Cécilie et amphibène?
- d) Lamproie et anguille?
- e) Crotale et couleuvre?
- f) Otarie et phoque?