

# Manitoba

Éducation, Citoyenneté et Jeunesse

**Biologie, 12<sup>e</sup> ANNÉE**

**Document de mise en œuvre**

**Partie 2 – Biodiversité**

**Regroupement 4 – Organisation de la  
biodiversité**

**ÉBAUCHE NON RÉVISÉE**

**Juin 2007**

Danièle Dubois-Jacques

Conseillère pédagogique

Bureau de l'éducation française

1181, avenue Portage, bureau 509

Téléphone : 1-800-282-8069, poste 6620 ou 945-6620 (appels locaux)

Courriel : [daniele.dubois-jacques@gov.mb.ca](mailto:daniele.dubois-jacques@gov.mb.ca)

## Regroupement 4 – ORGANISATION DE LA BIODIVERSITÉ

**B12-4-01 définir le concept de la biodiversité en termes d'écosystème, d'espèces et de diversité génétique;**

**B12-4-02 expliquer pourquoi il est difficile de s'entendre sur une définition des espèces,**

***par exemple des hybrides tels que la mule, des variations phénotypiques chez des espèces, l'absence de croisement entre les sous-populations;***

### Connaissances antérieures

Dans les cours de sciences de la nature de 6<sup>e</sup> année, les élèves sont initiés à la diversité des formes de vie. Ils voient des exemples de différents animaux (vertébrés et invertébrés) illustrant la diversité du règne animal, et ils observent et décrivent la diversité des formes de vie dans leur environnement local.

En 7<sup>e</sup> année, les élèves explorent les interactions complexes entre les organismes et leur environnement. Ils intègrent la définition d'écosystème et visualisent des exemples d'une variété d'écosystèmes.

En 10<sup>e</sup> année, les élèves examinent les relations existant dans les écosystèmes afin d'approfondir les questions de durabilité (ou développement durable) et les concepts et impacts de la diversité des espèces. Ils observent et documentent un éventail d'organismes illustrant la biodiversité d'un écosystème local ou régional et expliquent comment la biodiversité d'un écosystème contribue à sa durabilité.

### Renseignements pour l'enseignant

L'espèce est la seule catégorie taxonomique dotée d'une nette identité biologique. Le biologiste évolutionniste Ernst Mayr a défini une espèce comme étant une communauté reproductrice de populations (génétiquement isolée d'autres communautés) qui occupe une niche particulière dans la nature. En d'autres termes, une espèce se définit en fonction de son intégrité génétique parce que les individus qui la composent partagent le même ADN à l'exclusion des membres de toute autre espèce.

La définition d'espèce pose certains problèmes, par exemple, la mule est l'animal issu du croisement de deux espèces distinctes, l'âne (ou l'ânesse) et le cheval (jument). Alors comment classer la mule? Comme la mule est un animal généralement stérile, c'est-à-dire qu'elle ne peut se reproduire, elle est considérée comme un hybride, et pas une espèce. Comme autres exemples d'hybrides, mentionnons les pinsons des Galapagos qui s'interfécondent, mais dont la progéniture est stérile.

Certaines espèces présentent une telle diversité de caractères phénotypiques qu'il n'est pas évident qu'elles partagent le même patrimoine génétique. Il existe une grande variété de chiens (*Canis familiaris*) de diverses formes et tailles. On peut avoir du mal à croire que le chihuahua et le grand danois sont de la même espèce! Le plumage nuptial d'oiseaux mâles est souvent très différent de celui des femelles et des juvéniles de la même espèce.

À l'occasion, une espèce peut donner lieu à des sous-populations non interfécondes. On connaît plusieurs sous-espèces de la souris sylvestre (*Peromyscus maniculatus*) en Amérique du Nord. Cette souris est mieux connue comme étant porteuse du virus Hantaan (fièvre hémorragique coréenne). Une sous-espèce, *Peromyscus maniculatus bairdii*, préfère les espaces découverts comme les champs labourés ou cultivés et les prairies, tandis que *Peromyscus maniculatus gracilis* vit surtout en forêt. Les sous-espèces de la souris sylvestre occupent des habitats différents et ont des caractéristiques morphologiques différentes; elles peuvent occuper le même secteur mais sans pouvoir se reproduire entre elles. Cependant, un croisement est possible avec d'autres sous-espèces de la souris sylvestre.

Les élèves se familiariseront avec le terme espèce même s'ils n'ont pas encore approfondi ce concept auparavant.

### **Stratégies d'enseignement suggérées**

#### **EN TÊTE**

##### ***Remue-méninges***

Diviser la classe en petits groupes de 2 à 4 élèves et fournir à chaque groupe un petit paquet de feuillets autocollants. Laisser aux élèves 2 minutes pour trouver les noms d'espèces d'autant d'organismes que possible et les inscrire sur les feuillets autocollants (une espèce par feuillet). Leur demander de varier les types d'organismes (plante, animal, ...) de divers écosystèmes. Si les élèves ne savent pas le nom d'un organisme, ils peuvent le décrire.

Pendant ce temps, indiquer au tableau plusieurs types d'écosystèmes. Proposer ensuite aux élèves de regrouper les organismes selon les écosystèmes dans lesquels on les retrouve (p. ex., lac, zone urbaine, forêt boréale) et à coller le feuillet dans l'écosystème approprié.

Poser des questions telles que les suivantes :

- *Y a-t-il des organismes qu'on retrouve dans plus d'un écosystème?*
- *Quels types d'organismes ne sont pas représentés dans vos écosystèmes (p. ex., décomposeurs, producteurs, consommateurs)?*
- *Vos écosystèmes sont-ils très diversifiés (c.-à-d. combien d'espèces différentes contiennent-ils)? Faire le lien avec la biodiversité.*
- *Y a-t-il une forme de diversité dans chacun des types d'organismes que vous avez trouvés? Expliquez. (Oui, il y a de la diversité génétique.)*

## EN QUÊTE

### ***Enseignement direct – la biodiversité***

La biodiversité peut se définir comme l'éventail des formes de vie dans une zone. Elle inclut non seulement la diversité entre les espèces, mais aussi la diversité à l'intérieur de l'espèce. Réviser avec les élèves l'importance de la diversité (variation) génétique au sein d'une même espèce et l'importance de la biodiversité pour les écosystèmes.

Discuter avec les élèves de la difficulté d'établir une définition précise d'une espèce (c.-à-d. à cause des hybrides, de la variation phénotypique, de l'absence d'interfécondité entre des sous-populations). Consulter les exemples de la section Renseignements pour l'enseignant ci-dessus.

### ***Discussion en classe***

Fournir aux élèves des illustrations de la sturnelle des prés et de la sturnelle de l'Ouest. Demander s'ils pensent que les deux oiseaux font partie de la même espèce. Ces deux oiseaux peuvent se ressembler beaucoup, mais ils appartiennent à deux espèces différentes. La sturnelle des prés (*Sturnella magna*) vit dans l'Est du Canada, tandis que la sturnelle de l'Ouest (*Sturnella neglecta*) vit dans les provinces des Prairies.

### ***Étude de cas***

À quel stade de l'évolution un groupe d'individus forme-t-il deux espèces distinctes? Demander aux élèves de déterminer si la mouche de la pomme (ou ver-chemin-de-fer) qui se reproduit dans les pommes est une espèce distincte de celle qui s'attaque au fruit de l'aubépine [que nous appellerons mouche de l'aubépine pour simplifier les choses]. Préciser qu'ils doivent examiner les divers modèles de spéciation et tenir compte des forces principales qui influent sur les changements évolutifs. Voir **l'annexe 1** : Étude de cas – La mouche de la pomme : un exemple de spéciation.

Stratégie d'évaluation suggérée : Inviter les élèves à répondre aux questions liées à chaque étape de l'étude de cas et évaluer les réponses en se fondant sur des critères comme :

- Répond clairement à la question.
- Répond en utilisant des preuves pour identifier des points évoqués dans la question.

### ***Présentation visuelle***

Inviter chaque élève ou groupe d'élèves à choisir une espèce présentant une variation phénotypique ou physique évidente. Leur demander de discuter ensemble des raisons expliquant pourquoi les organismes sont considérés comme des membres de la même espèce et de présenter ces arguments à la classe. Suggérer d'utiliser le logiciel Power Point ou d'autres technologies numériques.

### Stratégies d'évaluation suggérées

Évaluer la logique et l'exactitude des présentations des élèves. La réponse devrait indiquer des détails tels que les suivants :

- les membres d'une même espèce présentent une intégrité génétique;
- les membres d'une même espèce partagent le même ADN, mais pas l'ADN d'autres espèces;
- pour cette raison, les membres de la même espèce ont un même patrimoine génétique, ce qui en fait une unité biologique distincte.

### **B12-4-03 décrire la nature dynamique de la classification, entre autres les divers systèmes, les débats actuels;**

#### **Connaissances antérieures**

En 6<sup>e</sup> année, les élèves ont été initiés aux systèmes de classification; ils ont construit et utilisé leur propre système et celui créé par d'autres élèves. Ainsi, ils ont découvert les avantages et inconvénients de divers systèmes de classification dans l'organisation de l'information.

#### **Renseignements pour l'enseignant**

La systématique est la branche de la biologie qui étudie la classification des organismes vivants, qu'ils soient de l'époque actuelle ou d'ères préhistoriques.

Cette science comporte trois volets :

- Taxonomie – qui décrit et nomme les nouveaux groupes taxonomiques
- Classification – qui organise/classe l'information sur les organismes en les structurant selon un système hiérarchique
- Phylogénétique – qui détermine l'historique des organismes vivants et les relations évolutives entre les diverses formes de vie au fil du temps; les relations entre organismes sont exprimées au moyen de diagrammes appelés cladogrammes.

La nature dynamique de la classification est un excellent exemple de l'utilisation de technologies nouvelles et améliorées ayant mené au bouleversement du système de classification tout entier.

- Aristote (384-322 avant notre ère) crée le premier système de classification largement utilisé en divisant tous les organismes en deux grands groupes : plantes et animaux.
- Carl von Linné/Carolus Linnæus (1707-1778) met au point un système de catégorisation hiérarchique (règne, phylum, classe, ordre, famille, genre, espèce) et regroupe les organismes selon leur ressemblance à d'autres formes de vie; le système de nomenclature binomiale établi par Linné est encore utilisé aujourd'hui.
- Les améliorations apportées aux microscopes optiques mènent à la découverte d'un grand nombre d'organismes unicellulaires. En 1866, Ernst Haeckel propose de classer ces organismes dans un règne distinct, les protistes.

- L'invention du microscope électronique et les avancées en biochimie au milieu du XX<sup>e</sup> siècle conduisent à la découverte de deux types différents de cellules : les procaryotes (bactéries) et les eucaryotes (plantes, animaux, champignons, protistes).
- En 1959, Robert Whittaker propose le système des cinq règnes distincts : plantes, animaux, champignons, bactéries et protistes.
- Dans les années 1970, Carl Woese analyse la séquence de base de l'ARN ribosomique de diverses bactéries, ce qui l'incite à diviser les bactéries en deux groupes distincts : eubactéries et archéobactéries.
- À partir des travaux de Woese, un système à six règnes est proposé; les règnes des plantes, animaux, champignons et protistes demeurent inchangés, mais celui des monères (bactéries) est scindé en deux, formant les règnes des eubactéries et des archéobactéries.
- En 1990, Woese propose un schéma de classification du vivant en trois domaines : Eukarya (comprenant tous les eucaryotes : animaux, plantes, champignons et protistes), Bacteria (les « vraies » bactéries comme *E. coli*, *Lactobacillus bulgaris* et *Cyanobacteria*) et Archaea (archéobactéries/organismes vivant dans des conditions extrêmes, p. ex., températures ou niveaux de salinité élevés, ou produisant du méthane).

Si désiré, apporter des exemples concrets d'organismes (spécimens préservés d'animaux, de plantes, ...). pour alimenter la discussion sur la classification.

Les nouvelles données recueillies grâce au séquençage de l'ADN et de l'ARN ont débouché sur des modifications majeures de la classification du vivant depuis 1990. Même les versions les plus récentes des manuels de biologie du secondaire peuvent être désuètes. Consulter des périodiques et des sites Web scientifiques réputés pour obtenir les informations les plus récentes.

Les élèves se familiariseront avec la classification classique (système phénétique) des organismes. Cette méthode classe les organismes suivant leurs similitudes morphologiques et leurs liens de parenté, mais elle omet de reconstruire intégralement les relations évolutives entre les organismes.

La cladistique a été mise au point par le biologiste allemand Willi Hennig. Cette méthode utilise la phylogénétique comme facteur déterminant de la classification, mettant l'accent sur la succession héréditaire et les ancêtres communs afin de déterminer la lignée évolutive de groupes d'organismes.

Les approches phénétique et cladistique débouchent souvent sur la même classification des organismes. Cependant, il y a des différences pouvant provoquer une certaine confusion chez les élèves. Voir la discussion sur la nature changeante de la classification des vertébrés dans les Renseignements pour l'enseignant à la section B12-4-07.

## **Stratégies d'enseignement suggérées**

### **EN TÊTE**

#### ***Question d'introduction***

Poser aux élèves la question ci-dessous.

- *Pensez à votre maison, votre école et votre voisinage; pouvez-vous trouver des exemples de systèmes de classification utilisés?*

Exemples :

- Bibliothèque (classification décimale de Dewey)
- Épicerie (articles classés par rayons/allées)
- Club vidéo (disposition des films)
- Élèves à l'école (par année/niveau)
- Vêtements à la maison ( tiroirs de chaussettes, de chandails, ...)

### **EN QUÊTE**

#### ***Démonstration***

Pour cette démonstration, utiliser une variété de légumes pour amorcer et stimuler une discussion sur les espèces et la systématique. Voir d'autres détails à **l'annexe 2**.

#### ***Pensée critique***

La logique catégorique est le fondement des systèmes de classification. Elle examine les relations en fonction de groupes ou catégories d'éléments. Par exemple, l'énoncé « tous les chiens sont des mammifères » nous informe du fait que tout le groupe des chiens appartient à un groupe plus grand, celui des mammifères.

La logique catégorique utilise le raisonnement déductif pour tirer une conclusion. Cette conclusion n'est valide que si les preuves fournies sont vraies et le raisonnement utilisé pour arriver à la conclusion est correct. Pour l'activité destinée aux élèves, voir **l'annexe 3** : Raisonnement catégorique en biologie.

#### ***Systèmes de classification***

On peut trouver une variété d'activités disponibles dans les cahiers de laboratoire, les manuels et sur Internet, permettant de développer et d'utiliser des systèmes de classification et des clés analytiques/dichotomiques (voir *Biologie 11*, p. 392 et 393).

#### **Stratégies d'évaluation suggérées**

Évaluer l'exactitude des réponses aux questions dans les rapports de laboratoire des élèves. L'évaluation des habiletés en laboratoire peut aussi se faire au moyen d'une liste de contrôle (voir les annexes 3 et 4 du regroupement 1).

**B12-4-04 décrire les types de preuve nécessaires à la classification des organismes et déterminer les relations évolutives, par exemple les fossiles, l'analyse de l'ADN, la biochimie, l'embryologie, la morphologie;**

**Connaissances antérieures**

En 6<sup>e</sup> année, les élèves ont appris aux cours de sciences de la nature à reconnaître, d'après les éléments de preuve rassemblés par les paléontologistes, les similitudes et différences chez les animaux vivant aujourd'hui et ceux qui ont vécu dans le passé.

**Renseignements pour l'enseignant**

La classification phénétique classique était basée sur les similitudes morphologiques entre les espèces. Elle se fondait sur l'étude des fossiles (paléontologie), le degré d'homologie et l'embryologie pour déterminer les relations entre les organismes.

La cladistique est une méthode qui utilise les caractéristiques communes des organismes pour tenter de saisir les relations évolutives entre eux. C'est la méthode reconnue aujourd'hui pour l'analyse systématique car elle se fonde sur les relations avec les ancêtres et la lignée (phylogenèse ou filiation). Le séquençage de l'ADN et de l'ARN est une technique importante qui permet de déterminer les liens phylogénétiques.

Veiller à faire la distinction entre arbre phylogénétique et cladogramme, car les deux sont utilisés actuellement. Un cladogramme est une reconstruction visuelle du processus évolutif d'un groupe d'organismes. Le cladogramme est un diagramme ramifié basé sur la transmission séquentielle des caractères ancestraux (primitifs) et dérivés (évolués). Les caractères dérivés distinguent les membres d'un embranchement évolutif de ceux d'un autre embranchement.

L'arbre phylogénétique est un diagramme en forme d'éventail ou d'arbre, avec la base/le tronc représentant l'origine de la vie et les branches ou rameaux correspondant aux divers groupes d'organismes. Les espèces ancestrales sont situées plus près du tronc, et les espèces actuelles sont situées aux extrémités des branches.

**Stratégies d'enseignement suggérées**

**EN TÊTE**

***Excursion***

Le Musée du Manitoba (Galerie de l'histoire naturelle) rappelle le passé géologique du Manitoba et présente des fossiles de diverses formes de vie telles que les trilobites et un plésiosaure.

Le Morden Museum renferme des spécimens de fossiles marins du Crétacé : mosasaures, calmars, requins, oiseaux de mer, etc. Il est possible d'organiser une visite à un site local de fouille archéologique.

## EN QUÊTE

### **Stratégie Jigsaw**

Assigner à des groupes d'élèves un certain type de preuves utilisé dans la science de la classification (datation des fossiles, ADN, ...). Demander à chaque groupe de faire des recherches sur la technologie ou les outils employés pour ce type de preuves. Inviter ensuite les groupes à préparer un résumé d'une page décrivant comment l'on utilise cet outil ou cette technologie pour la classification des organismes et la détermination des relations phylogénétiques.

Reformer les groupes différemment (*Jigsaw*) de façon que chaque nouveau groupe renferme un élève expert de chacun des groupes précédents. Chaque expert partage alors son résumé avec les membres du nouveau groupe. Ainsi, tous les élèves de la classe prendront connaissance des résumés de tous les groupes. Si des copies papier des résumés sont fournies, les experts doivent être prêts à discuter des points importants de leur résumé.

### Stratégies d'évaluation suggérées

Demander aux élèves d'utiliser l'échelle pour évaluer l'effort de collaboration de leur groupe. Voir **l'annexe 4** : Évaluation – Processus de collaboration.

### **Classification**

Il existe une variété d'activités disponibles dans les cahiers de laboratoire, les manuels et sur Internet expliquant comment examiner les preuves utilisées pour classer les organismes et déterminer les relations évolutives.

### Stratégies d'évaluation suggérées

Évaluer l'exactitude des réponses aux questions dans les rapports de laboratoire des élèves. L'évaluation des habiletés en laboratoire peut aussi se faire au moyen d'une liste de contrôle (voir les annexes 3 et 4 du regroupement 1).

## EN FIN

### **Billet de sortie**

Inviter les élèves à compléter un billet de sortie qui répond à la question suivante :

- *Les pigeons sont traités avec mépris de « rats avec des ailes », mais ils sont (comme tous les oiseaux) plus étroitement apparentés aux dinosaures carnivores comme Tyrannosaurus et Velociraptor qu'ils ne le sont aux mammifères. Certains sont même qualifiés de « dinosaures avec des plumes ». Quelles sont les preuves de cette parenté étroite entre oiseaux et reptiles?*

Exemples de réponses des élèves :

- Fossiles (p. ex., *Archaeopteryx*)
- Datation des fossiles (aux radio-isotopes comme le carbone 14, etc.)
- Similitudes structurales (p. ex., présence d'un bréchet, structure de la ceinture pelvienne)
- Documentation sur les fossiles (montrant la chronologie de l'évolution)
- Analyse de l'ADN (p. ex., l'ADN aviaire ressemble davantage à celui des crocodiles qu'à l'ADN des mammifères)

**B12-4-05 comparer les caractéristiques des domaines, entre autres Archée (archaebactérie), Bactérie (les eubactéries), Eukarya;**

**B12-4-06 comparer les caractéristiques des règnes dans le domaine des eucaryotes; entre autres la structure de la cellule, le mode principal d'alimentation, le nombre de cellules, la motilité.**

### Connaissances antérieures

Dans les cours de sciences de la nature de 6<sup>e</sup> année, les élèves apprennent les cinq règnes (monères, protistes, champignons, végétaux, animaux) communément utilisés pour classifier le vivant et trouvent des exemples d'organismes de chaque règne pour illustrer la diversité entre les formes de vie.

### Renseignements pour l'enseignant

En 1990, Carl Woese propose le modèle de classification à trois domaines, c'est-à-dire :

- Domaine Eukarya (tous les eucaryotes, dont les animaux, végétaux, champignons et protistes); les membres de ce domaine sont composés de cellules eucaryotes qui renferment un noyau et des organelles (mitochondries et chloroplastes) à l'intérieur d'une membrane.
- Domaine Bacteria (les « vraies » bactéries comme *E. coli*, *Lactobacillus bulgaris* et *Cyanobacteria*); les membres de ce domaine sont formés de cellules procaryotes, mais sont biochimiquement et génétiquement distincts des archées étant donné que leur paroi cellulaire renferme la protéine murine ou peptidoglycane.
- Domaine des Archaea (archéobactéries ou organismes vivant dans des conditions extrêmes comme *Acidianus*, *Thermoplasma* et *Methanobacteriales*); ces organismes sont composés de cellules procaryotes mais ils sont biochimiquement et génétiquement distincts des bactéries en ce que leur ARN contient des séquences protéiniques différentes. De fait, les archéobactéries (ou archées) sont plus étroitement apparentées aux humains qu'aux bactéries.

Les études en cours utilisent la génétique moléculaire et le séquençage de l'ADN/ARN pour déterminer les relations évolutives. Les progrès rapides dans l'acquisition de connaissances ont mené à des modifications à la classification des organismes. Récemment, le nouveau règne des chromistes a été proposé afin d'inclure les diatomées, les laminaires/fucacées et le mildiou (champignon). Ces organismes sont distincts des plantes car ils contiennent de la chlorophylle c et n'emmagasinent pas leur énergie sous forme d'amidon.

Le débat se poursuit concernant le règne des protistes. Ce règne englobe un groupe très varié d'organismes unicellulaires qui n'appartiennent à aucun autre règne. De nombreuses personnes se demandent s'il ne serait pas approprié de scinder ce groupe en trois règnes distincts ou même plus. De nouveaux noms sont adoptés progressivement pour désigner les animaux et végétaux. Certains auteurs utilisent métazoaires (animaux) et chlorobiontes (plantes) pour tenir compte des changements à la classification basée sur la phylogénétique.

À noter que des changements radicaux ont été apportés à la classification depuis 1990. Même les versions les plus récentes des manuels de biologie de niveau secondaire peuvent être obsolètes. Consulter des périodiques et des sites Internet faisant autorité pour obtenir les plus récentes données sur le sujet.

Les relations phylogénétiques entre organismes font présentement l'objet de vifs débats, ce qui peut engendrer une grande confusion chez les élèves lorsqu'ils consultent différentes sources d'information. Certains manuels et ressources ne mentionnent peut-être pas le système de classification à trois domaines, se fondant plutôt sur le système à cinq ou six domaines. D'autres ressources peuvent utiliser le terme « super-règne » au lieu de domaine.

### **Stratégies d'enseignement suggérées**

#### **EN TÊTE**

##### ***Exercice d'association***

Fournir aux élèves les noms des règnes compris dans le domaine Eukarya et une illustration d'un organisme représentatif de chaque règne. Leur demander d'apparier l'organisme au règne correspondant. Préciser qu'ils doivent pouvoir justifier leurs combinaisons.

#### **EN QUÊTE**

##### ***Enseignement direct – les domaines du vivant***

Utiliser un diagramme illustrant et décrivant la relation entre les trois domaines du vivant. Expliquer comment les analyses génétiques et biochimiques ont mené à des changements dans la classification des organismes vivants. Discuter avec les élèves des caractéristiques de chaque domaine et fournir des exemples d'organismes représentatifs.

**Schéma mental**

Proposer aux élèves de créer un diagramme comparant les caractéristiques au niveau du domaine. Leur fournir les caractéristiques puis leur demander d'indiquer le domaine auquel appartient l'organisme.

Inviter ensuite les élèves à ajouter les règnes appartenant à Eukarya au diagramme pour comparer les caractéristiques des règnes d'eucaryotes. Leur fournir les caractéristiques et demander d'indiquer le règne auquel appartient l'organisme (p. ex., pluricellulaire, hétérotrophe, paroi cellulaire formée de chitine = champignons).

**Stratégies d'évaluation suggérées**

Poser la question suivante aux élèves :

- *Comment les nouvelles technologies comme l'analyse de l'ADN (matériel génétique) et les épreuves biochimiques ont-elles donné lieu à des changements dans la classification des organismes?*

Vérifier si les réponses des élèves sont logiques et exactes.

Exemples de contenu de ces réponses :

- L'analyse de l'ADN peut déterminer la parenté entre deux espèces. Plus les séquences d'ADN sont semblables, plus les deux organismes sont étroitement apparentés.
- L'analyse de l'ADN permet de déterminer à quelle époque dans le passé une espèce a commencé à présenter des caractères différents, à partir des différences cumulatives dans l'ADN (horloge moléculaire).
- Les épreuves biochimiques permettent de déterminer la présence de molécules spécifiques dans les cellules. Plus ces molécules spécifiques sont similaires, plus les organismes sont proches parents.
- L'analyse de l'ADN et les épreuves biochimiques ont permis de distinguer les archées (archéobactéries) des autres bactéries avec qui elles avaient été classées précédemment, ce qui a débouché sur le système de classification à trois domaines.

**B12-4-07 étudier une tendance évolutive dans un groupe d'organismes, par exemple l'évolution des hominidés, la vascularisation chez les plantes, l'adaptation des animaux à la vie sur terre;****Connaissances antérieures**

Dans les cours de sciences de la nature de 6<sup>e</sup> année, les élèves apprennent à décrire les deux principaux groupes du règne animal, les vertébrés et invertébrés, et trouvent des exemples d'organismes représentatifs. Ils savent également classer les vertébrés en poissons, amphibiens, reptiles, oiseaux et mammifères et fournissent des exemples illustrant la diversité à l'intérieur de chaque groupe.

**Renseignements pour l'enseignant**

La classification phénétique classique distinguait les vertébrés terrestres anciens en quatre classes : amphibiens, reptiles, oiseaux et mammifères. Les poissons étaient divisés en trois grandes classes : les agnathes (poissons sans mâchoires comme la lamproie), les chondrichthyens (poissons cartilagineux, p. ex., requin et raie) et les ostéichthyens (poissons osseux comme le saumon et le guppy).

La cladistique suit une approche différente qui fait encore l'objet de débats. Les vertébrés terrestres sont regroupés dans le taxon des Tétrapodes. Ce taxon englobe les groupes des amphibiens et des amniotes. Parmi les amphibiens se trouvent les grenouilles, salamandres et crapauds. Les amniotes comprennent les anapsides (tortues), les diapsides (serpents, crocodiles, dinosaures, oiseaux) et les synapsides (mammifères).

Certains poissons osseux primitifs sont proches parents des amphibiens et ne sont pas classés parmi les poissons osseux (ostéichthyens), mais bien avec les crossoptérygiens, le grand groupe qui englobe les tétrapodes.

Noter que des changements radicaux ont été apportés à la classification depuis 1990. Même les versions les plus récentes des manuels de biologie de niveau secondaire peuvent être obsolètes. Consulter des périodiques et des sites Internet faisant autorité pour obtenir les plus récentes données sur le sujet.

Les relations phylogénétiques entre organismes font présentement l'objet de vifs débats, ce qui peut engendrer une grande confusion chez les élèves lorsqu'ils consultent différentes sources d'information.

**Stratégies d'enseignement suggérées****EN TÊTE**

Le processus évolutif de certains organismes est bien représenté dans les collections de fossiles. Discuter avec la classe de la diversification des ongulés à sabots : chameau, éléphant, cheval, etc.

**EN QUÊTE*****Cladogramme***

Fournir un cladogramme aux élèves et leur demander de décrire l'évolution d'un groupe d'organismes (p. ex., phylogénie des oiseaux modernes à partir des dinosaures théropodes, évolution des hominidés), soulignant les caractères dérivés.

**Stratégie d'évaluation suggérée**

Évaluer si les élèves ont identifié correctement les caractères dérivés dans leurs analyses.

**Dissection**

Organiser une série de dissections ou des exercices équivalents au moyen d'un logiciel de dissection afin d'examiner l'anatomie et la physiologie de vertébrés et/ou d'invertébrés représentatifs. Comparer les adaptations dans chaque phylum facilitant l'accomplissement des fonctions vitales. Par exemple, comparer la circulation et la respiration chez le ver de terre, la sauterelle, le calmar et le requin.

**Recherche – règne végétal**

Fournir aux élèves la liste de groupes végétaux ci-dessous.

- Hépatophytes (hépatiques)
- Bryophytes (mousses)
- Ptérophytes (fougères)
- Pinophytes, anciennement coniférophytes (conifères)
- Anthophytes (plantes à fleurs)

Proposer aux élèves de faire une recherche sur les caractéristiques de ces groupes, indiquant les tendances dans les adaptations des plantes à la vie sur terre (p. ex., vascularisation, développement de racines, tiges et feuilles, réduction de la perte d'eau, stratégies de reproduction).

Inviter ensuite les élèves à construire un arbre phylogénétique montrant les relations évolutives entre les plantes. Évaluer l'exactitude de l'arbre phylogénétique.

**Recherche - vertébrés**

Fournir aux élèves la liste ci-dessous des classes de vertébrés (d'après la classification phénétique) :

- Agnathes (poissons dépourvus de mâchoires)
- Chondrichthyens (poissons cartilagineux)
- Ostéichthyens (poissons osseux)
- Amphibiens (amphibiens/batraciens)
- Reptiles (reptiles)
- Mammifères (mammifères)
- Oiseaux (oiseaux)

Demander aux élèves de faire une recherche sur les caractéristiques de chaque classe, et de construire un arbre phylogénétique montrant les relations évolutives entre les vertébrés. Vérifier l'exactitude de l'arbre phylogénétique.

**Affiche**

Diviser la classe en petits groupes et assigner un phylum animal différent à chaque groupe.

En classification phénétique, les neuf principaux phyla animaux sont les porifères (spongiaires), cnidaires (méduses), plathelminthes (vers plats), nématodes (vers

ronds), mollusques, annélidés (vers segmentés), arthropodes, échinodermes et cordés. Demander aux groupes de faire une recherche sur leur phylum, en notant les organismes représentatifs du phylum, ses caractéristiques et sa place dans le monde (p. ex., parasites, coraux bâtisseurs de récifs, source alimentaire pour les humains, pollinisateurs).

Une fois la recherche terminée, demander à chaque groupe de préparer une affiche présentant l'information, indiquant notamment :

- le nom scientifique du phylum
- le nom commun ou vernaculaire du phylum, s'il y a lieu
- des exemples d'au moins deux organismes représentatifs, avec leur nom et une illustration
- les caractéristiques du phylum
- la place du phylum dans le monde

Accrocher les affiches aux murs de la classe. Organiser une exposition et inviter les élèves à regarder les affiches et à prendre des notes sur chaque phylum. Amorcer ensuite une discussion sur les tendances en matière d'évolution dans le règne animal (p. ex., céphalisation, symétrie bilatérale du corps, organisation cellulaire, segmentation, cavités corporelles).

Stratégie d'évaluation suggérée

Évaluer les affiches ou les faire évaluer par les élèves d'après le barème de **l'annexe 5 -Grille d'évaluation du rendement**.

***Le mystère australien – étude de cas***

Inviter les élèves à lire l'étude de cas « Le mystère australien » et à répondre aux questions connexes (voir **l'annexe 6**).

Stratégie d'évaluation suggérée : Participer avec les élèves à une séance de remue-méninges afin de déterminer les critères qui devraient servir à évaluer leurs réponses aux questions.

## **Annexes**

## Annexe 1 : Étude de cas – La mouche de la pomme, exemple de spéciation

### Introduction

L'aubépine est un arbre qui pousse partout en Amérique du Nord et produit un petit fruit (la cenelle), consommé par une larve de mouche. En 1864, des pomiculteurs de l'État de New York ont découvert une larve inconnue se nourrissant de pommes. Avec les années, une population de mouches de la pomme s'est différenciée progressivement, privilégiant le fruit de l'aubépine plutôt que la pomme.

Consultez ci-dessous des renseignements tirés d'ouvrages scientifiques. Examinez et évaluez les éléments de preuve présentés afin de répondre aux deux questions suivantes :

1. La mouche qui se reproduit dans le fruit de l'aubépine [que nous appellerons mouche de l'aubépine pour des raisons pratiques] appartient-elle à la même espèce que la mouche de la pomme (aussi appelée ver-chemin-de-fer)?
2. Sinon, et si la mouche de la pomme forme une espèce distincte, quel serait le scénario logique, sur le plan de la biologie, expliquant comment la spéciation s'est produite?

### Faits concernant les deux races de mouches de la pomme

- La mouche de la pomme et la mouche de l'aubépine sont toutes deux classées dans la même espèce (*Rhagoletis pomonella*) (Bush, 1969).
  - Il est impossible de distinguer physiquement la mouche de l'aubépine de la mouche de la pomme.
  - Il n'y a pas d'isolement géographique ni de séparation physique entre les populations de mouches de la pomme adultes et de mouches de l'aubépine adultes.
- *R. pomonella* est une espèce indigène de l'Est de l'Amérique du Nord et elle se reproduisait initialement dans le fruit de l'aubépine (Reissig, 1991).
- *R. pomonella* appartient à un ensemble de quatre espèces de mouches étroitement apparentées qui ne peuvent pas être distinguées physiquement (Berlocher et Bush, 1982).

### Faits concernant l'aubépine et le pommier

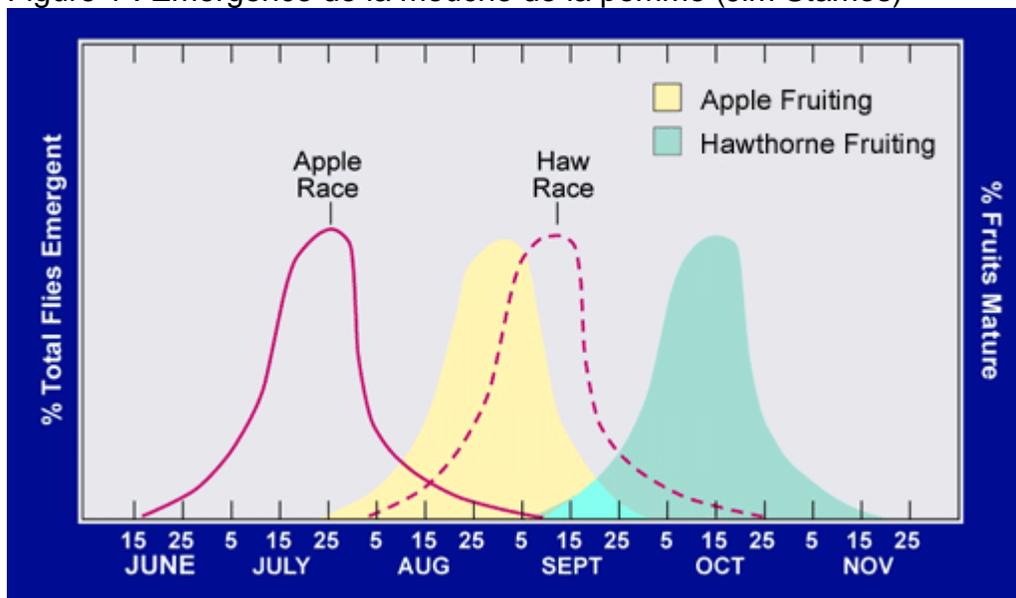
- L'aubépine et le pommier sont deux plantes ligneuses (à bois) qui appartiennent à la famille des rosacées (Newcomb, 1977).
  - Le groupe des aubépines englobe une cinquantaine d'espèces d'arbres et d'arbustes indigènes de l'Amérique du Nord, classés dans le genre *Crataegus*.
  - Les premiers colons européens ont introduit le pommier en Amérique du Nord; le pommier appartient au genre *Malus*.
- Le pommier est l'arbre fruitier le plus répandu en Amérique du Nord.

- La mouche de la pomme (ver-chemin-de-fer) est un parasite important des arbres fruitiers dans l'Est du Canada et le Nord-Est des États-Unis. Des mesures antiparasitaires vigoureuses doivent être prises pour limiter la propagation de ce parasite pour produire des fruits de qualité supérieure qui sont commercialisables (Reissig, 1991).

Faits concernant la reproduction de la mouche de la pomme

- La mouche qui se reproduit dans les pommes appartient à une race distincte de celle qui se reproduit dans le fruit de l'aubépine (cenelle).
- La figure 1 illustre schématiquement le moment d'émergence des mouches (lignes continue et pointillée) et la période de maturation des fruits (courbes délimitant une superficie colorée).

Figure 1 : Émergence de la mouche de la pomme (Jim Stamos)



% Total Flies Emergent : Nombre total de mouches émergentes (%)

Apple Race : Race s'attaquant à la pomme

Haw Race : Race s'attaquant à l'aubépine

Apple Fruiting : Fructification du pommier

Hawthorne Fruiting : Fructification de l'aubépine

% Fruits Mature : % des fruits à maturité

JUIN      JUILLET      AOÛT      SEPT.      OCT.      NOV.

- Les mouches adultes émergent pour se reproduire avant que les fruits ne soient mûrs.
  - La femelle dépose les œufs fécondés dans le fruit mûr.
  - Des larves éclosent, se nourrissent du fruit et se transforment en nymphe/pupe (Reissig, 1991).
- Les pommes mûrissent environ un mois plus tôt que les cenelles, mais il y a chevauchement entre la fin de la saison des pommes et le début de la saison des cenelles (Belocher et Feder, 2002).

### Faits concernant les pommes et les cenelles

- La pomme commerciale typique mesure 70 mm de diamètre, tandis que la cenelle sauvage typique a un diamètre de 12,5 mm.
- Les larves qui éclosent dans les pommes peuvent pénétrer 5,5 fois plus creux dans le fruit (compte tenu du diamètre) que celles qui éclosent dans les cenelles.
  - Les guêpes parasitoïdes pondent leurs œufs dans le corps de la larve de mouche, et la larve de guêpe finit par tuer la larve de mouche de la pomme.
  - La mouche de la pomme réussit mieux à éviter le parasitisme des guêpes en s'enfonçant plus profondément dans le fruit que la guêpe peut pénétrer avec son ovipositeur (organe qui dépose les œufs).
  - La mouche de la pomme renferme 70 % moins d'œufs de parasitoïdes que la mouche de l'aubépine (Berlocher et Feder, 2002).
- Les fruits du pommier fournissent 220 fois plus de nourriture (selon leur volume) aux larves en développement que les fruits de l'aubépine, plus petits.
  - La mouche de la pomme pond plus d'œufs dans une pomme que la mouche de l'aubépine.
  - La qualité nutritionnelle du fruit de l'aubépine se traduit par un meilleur taux de survie des larves se nourrissant de la cenelle : 52 % des larves ayant éclos dans les cenelles survivent, comparativement à 27 % des larves déposées dans les pommes (Prokopy et coll., 1988; Freeman et Herron, 1998).
  - Les chenilles et charançons peuvent aussi se nourrir de pommes, ce qui réduit la quantité de nourriture disponible pour les larves de mouche.

### Résultats de l'évolution chez la mouche de la pomme

- La fidélité au type de fruit représente un obstacle important au flux génétique entre les deux races de mouches de la pomme.
  - Le taux d'hybridation entre la race de mouche de la pomme se reproduisant dans la pomme et celle se nourrissant de cenelles n'est que de 4 % à 6 % (Berlocher et Feder, 2002).
  - Certaines mouches de la pomme préfèrent de beaucoup s'accoupler sur l'aubépine et pondre leurs œufs fécondés dans les cenelles.
  - Les autres ont une forte préférence pour l'accouplement et la ponte des œufs fécondés dans des pommes.
- Les deux races de mouches de la pomme sont génétiquement distinctes. Elles ont des profils génétiques identifiables (Berlocher et Feder, 2002).

### Questions

En petits groupes, répondez aux questions suivantes et indiquez les raisons justifiant vos choix.

1. Quel concept relatif à l'espèce est illustré dans ce cas?
2. La mouche de la pomme est-elle une espèce distincte de la mouche de l'aubépine?
3. Proposez un scénario logique, du point de vue de la biologie, expliquant le processus d'évolution de la mouche de la pomme.
4. Quelle importance accordez-vous aux différents éléments de preuve pour pouvoir répondre aux questions 2 et 3? Quel élément de preuve est le plus important? Lequel est le moins important?
5. De quels autres renseignements auriez-vous besoin pour être davantage certains de vos conclusions?

Adapté de : *As the Worm Turns: Speciation and the Apple Maggot Fly*, par Martin G. Kelly, Buffalo State College, National Center for Case Study Teaching in Science, University at Buffalo, The State University of New York.

### Références

- Berlocher, S.H. et G.L. Bush. « An electrophoretic analysis of *Rhagoletis* (Diptera: Tephritidae) phylogeny », *Systematic Zoology*, vol. 31, 1982, pp. 136-155.
- Berlocher, S.H. et J.L. Feder. « Sympatric speciation in phytophagous insects: moving beyond controversy? » *Annual Review of Entomology* 4, 2002, pp. 773-815.
- Bush, G.L. « Sympatric host race formation and speciation in frugivorous flies of the genus *Rhagoletis* (Diptera: Tephritidae) », *Evolution*, vol. 23, 1969, pp. 237-251.
- Freeman, S. et J.C. Herron. *Evolutionary Analysis*. Upper Saddle River, NJ, Prentice-Hall, 1998.
- Newcomb, L. *Newcomb's Wildflower Guide (NE and NC North America)*. Boston, Little Brown and Co., 1977.
- Prokopy, R.J., S.R. Diehl et S.S. Cooley. « Behavioral evidence for host races in *Rhagoletis pomonella* flies », *Oecologia*, vol. 76, 1988, pp. 138-147.
- Reissig, W.H. « Insect Identification Sheet No. 7: Apple Maggot, *Rhagoletis pomonella* (Walsh) », Cornell University et le New York State IPM Program, 1991.
- Seelig, R.A. et D. Hirsh. *March - Fruit and vegetable pointers: Apples*. United States Fresh Fruit and Vegetable Association, Washington, DC, 1978.

## Annexe 2 : Espèces et systématique - Démonstration

Mener une discussion sur les espèces et la systématique à l'aide de la démonstration suivante.

Apporter des variétés de *Brassica oleracea* et d'autres légumes, par exemple :

- Chou pommé (*Brassica oleracea capitata*)
- Chou vert (*Brassica oleracea acephala*)
- Brocoli, chou-fleur, chou-fleur vert (*Brassica oleracea botrytis*)
- Choux de Bruxelles (*Brassica oleracea gemmifera*)
- Chou-rave (*Brassica oleracea caulorapa*)
- Navet (*Brassica rapa*)
- Pak-choï/moutarde chinoise (*Brassica chinensis*)
- Laitue Iceberg ou frisée (*Lactuca sativa*)

Note : Les variétés de *Brassica oleracea* sont toutes issues d'une sélection artificielle à partir de l'espèce sauvage qui pousse sur les falaises côtières de l'Europe.

Montrer les légumes aux élèves et leur demander de les classer par catégories selon le genre et l'espèce. Observer la tendance générale des élèves à les classer selon leur aspect (p. ex., laitue Iceberg et chou).

Une fois que les élèves auront classé les légumes, leur montrer les regroupements officiels ainsi que les noms de genre et d'espèce. Souligner que les traits évidents ne sont pas toujours les plus importants pour la définition des espèces. Dans le cas présent, les détails relatifs aux fleurs servent à définir le genre *Brassica*, et l'espèce est définie selon la disposition des tiges.

Soulever la question des noms scientifiques. Les exemples ci-dessous permettent de renforcer l'idée que les noms scientifiques ont une signification précise (quand on a des notions de latin et de grec).

| Latin                           | Grec                         |
|---------------------------------|------------------------------|
| brassic = chou                  | acephala = sans tête         |
| capitata = tête                 | botrytis = grappe de raisins |
| oler = vert                     |                              |
| caulo = navet                   |                              |
| rapa = tige                     |                              |
| gemmifera = porte des bourgeons |                              |
| chinesis = chinois              |                              |
| lactuca = laitue                |                              |

Le nombre de variétés de *Brassica oleracea* est un excellent exemple de la variation génétique au sein d'une même espèce. On peut illustrer la sélection

artificielle en comparant le brocoli, le chou-fleur, et le chou-fleur vert (*Brassica oleracea botrytis*), qui ont été cultivés pour des caractères sélectionnés. Rappeler aux élèves le rôle que les plantes et animaux issus d'une sélection artificielle jouent dans le développement des idées de Darwin sur la sélection naturelle.

### **Annexe 3 : Raisonnement catégorique en biologie**

#### Introduction

Un caractère qui est vrai pour un groupe ou une catégorie est vrai pour tous les membres de ce groupe ou catégorie. Par exemple, on sait que tous les oiseaux sont des vertébrés, et que le merle est un oiseau. Donc, on peut conclure que le merle est un vertébré.

Ce type de raisonnement est appelé raisonnement catégorique. La logique catégorique est la base des systèmes de classification. Elle examine les relations en fonction de groupes ou de catégories d'éléments. Le raisonnement peut être formulé comme suit :

Prémisse majeure : Tous les oiseaux sont des vertébrés.

Prémisse mineure : Le merle est un oiseau.

Conclusion : Le merle est un vertébré.

#### Questions

1. En vous servant de l'exemple ci-dessus comme modèle, construisez un argument catégorique pour démontrer qu'un retriever du Labrador est un mammifère.
2. Expliquez le raisonnement qui vous a permis de répondre à la question 1.
3. Construisez un argument catégorique pour démontrer qu'un pin est une plante.
4. Qu'est-ce qui cloche dans l'argument catégorique ci-dessous?  
Prémisse majeure : Tous les chevaux sont herbivores.  
Prémisse mineure : L'organisme X est un herbivore.  
Conclusion : L'organisme X est un cheval.

**Annexe 4 : Évaluation – Processus de collaboration**

Évaluez le processus de collaboration dans votre équipe à l'aide de l'échelle d'évaluation ci-dessous.

Échelle d'évaluation :

- 4 Nous avons été constamment efficaces du point de vue de la collaboration.
- 3 Nous avons été généralement efficaces sur ce plan mais nous avons rencontré certains problèmes.
- 2 Nous avons été parfois efficaces sur ce plan. Nous avons rencontré certains problèmes, que nous avons résolus en partie.
- 1 Nous n'avons pas été efficaces sur ce plan. Nous avons rencontré des problèmes que nous n'avons pas tenté de résoudre.

Évaluation du processus en groupe

- Nous avons respecté l'approche et les points forts de chaque membre du groupe.
- Nous avons encouragé et aidé chaque membre du groupe à participer aux recherches, aux discussions et à la prise de décisions.
- Nous avons remis en question et discuté les idées des autres membres du groupe, mais sans aller à des attaques personnelles.
- Nous avons partagé les tâches et responsabilités de façon équitable.
- Nous avons surmonté le problème du manque de présence ou de participation de membres du groupe.
- Nous avons utilisé cette période de façon productive.

**Annexe 5 : Évaluation du rendement – Grille d'évaluation des affiches**

| <b>Élément</b>   | <b>Cote</b> |   |   |   |
|--|-------------|---|---|---|
| 1. Le titre de l'affiche est facilement repérable et indique le nom scientifique du phylum et son nom commun/vernaculaire (s'il y a lieu). | 1           | 2 | 3 | 4 |
| 2. L'affiche comprend des illustrations et/ou dessins d'au moins deux organismes représentatifs, avec leur nom.                            | 1           | 2 | 3 | 4 |
| 3. Les descriptions des caractéristiques du phylum fournissent suffisamment d'information.   | 1           | 2 | 3 | 4 |
| 4. Les descriptions de la place du phylum dans le monde contiennent suffisamment d'information.  | 1           | 2 | 3 | 4 |
| 5. L'affiche est claire, esthétique, facile à consulter et concise et utilise un vocabulaire approprié.                                    | 1           | 2 | 3 | 4 |
| 6. L'utilisation de l'espace, des couleurs, de photos ou de dessins ajoute à l'efficacité de l'affiche.                                    | 1           | 2 | 3 | 4 |
| 7. La disposition ou présentation de l'affiche est efficace parce qu'elle fait le lien entre les informations présentées.                  | 1           | 2 | 3 | 4 |

**Commentaires**

## Annexe 6 : Le mystère australien

### Partie I – Une lettre des antipodes

... La rivière semblait immobile à la hauteur du méandre où se trouve un eucalyptus au bord de l'eau. Le léger ombrage de fin d'après-midi annonçait le crépuscule qui allait bientôt masquer le profil des arbres sur la berge et le paysage s'étirant en douceur jusqu'à l'horizon. Je vis des bulles crever à la surface, puis une petite tête coiffée d'une calotte de fourrure brune luisante glissant en silence à la surface.

Comme vous le devinez sans doute, cher collègue, je me demandai quel pouvait être cet animal que l'aborigène avait attrapé avec son harpon dans le lac près de la rivière Hawkesbury, non loin de Sidney. La réponse me vint rapidement. Une petite créature menait le combat de sa vie avec une telle vigueur qu'elle réussit à piquer son agresseur avec son éperon, ce qui sembla causer une grande douleur au pêcheur. Je me suis permis de vous envoyer par courrier la peau du spécimen pour que vous puissiez l'examiner. Il a été préservé dans un barillet d'eau-de-vie avec une autre bête de la région. Je le remets à vos bons soins pour la Literary and Philosophical Society of Newcastle-upon-Tyne.



Veillez agréer, cher collègue, mes cordiales salutations.

John Hunter, gouverneur  
Nouvelle-Galles du Sud

Thomas Bewick examina la lettre attentivement en faisant la moue. Il déplia avec précaution les pages de notes et de dessins qui s'étaient échappées de l'enveloppe abîmée du gouverneur, expédiée des mois auparavant. Sa surprise ne cessait de croître au fil des minutes; cette créature ne ressemblait en rien à quelque autre animal connu. Qu'allait-il pouvoir écrire dans sa prochaine édition de *General History of Quadrupeds*? Que pouvait-il en dire? L'animal semblait à peine du domaine du réel. Est-ce un mammifère, songea-t-il, ou bien...?

### Question

Les dessins de Hunter semblent incroyables. Bewick devine qu'il ne sera pas facile de classer cet animal. Comment doit-il procéder pour déterminer de quel type de créature il s'agit? Quelle est la définition de mammifère?

1. Prédisez aussi précisément que possible les caractéristiques exactes qu'un mammifère est censé posséder. Tenez compte de l'anatomie externe et interne d'un mammifère; énumérez toutes les caractéristiques que vous pouvez trouver. Indiquez laquelle de celles-ci se retrouve exclusivement chez les mammifères et lesquelles se retrouvent chez d'autres vertébrés, comme les poissons, amphibiens, reptiles et oiseaux.

## Partie II – Une créature, trois identités possibles

Le tonneau renfermant les deux spécimens... atteignit Newcastle à la fin de 1799 et fut transporté du quai jusqu'aux salles de la Society par une servante, qui l'avait juché sur sa tête. Malheureusement, le fond du tonneau céda, aspergeant la pauvre femme d'eau-de-vie concentrée. Et comme si ce n'était pas assez, elle eut la surprise de voir non seulement les restes du petit wombat [un marsupial], mais également ceux d'une « étrange créature, mi-oiseau, mi-bête » gisant à ses pieds.

D'après Thomas Bewick, il s'agissait d'une créature « qui semblait bien être un animal *sui generis* (c.-à-d. particulier); il possédait des caractéristiques de trois types d'animaux à la fois, celles de poissons, d'oiseaux et de quadrupèdes, sans toutefois appartenir à aucun genre déjà connu ». Il avait la taille d'un petit chat, avec un bec très semblable à celui d'un canard et quatre courtes pattes, celles d'en avant... plus courtes que les pattes arrière, et des griffes avec de longues palmures ». Bewick termine en précisant qu'il a échoué dans ses tentatives de classer l'animal à l'aide de quelque système existant que ce soit.

Le professeur George Shaw, Ph.D., Fellow de la Royal Society et conservateur adjoint du département d'histoire naturelle du British Museum, reçut également un spécimen séché en 1799. Il se demanda si c'était une blague; un habile taxidermiste chinois ou japonais aurait pu monter de toutes pièces cet animal pour se payer la tête de marins crédules. « Je n'en croyais pas mes yeux », avoue-t-il, ne pouvant trouver aucun signe de supercherie.

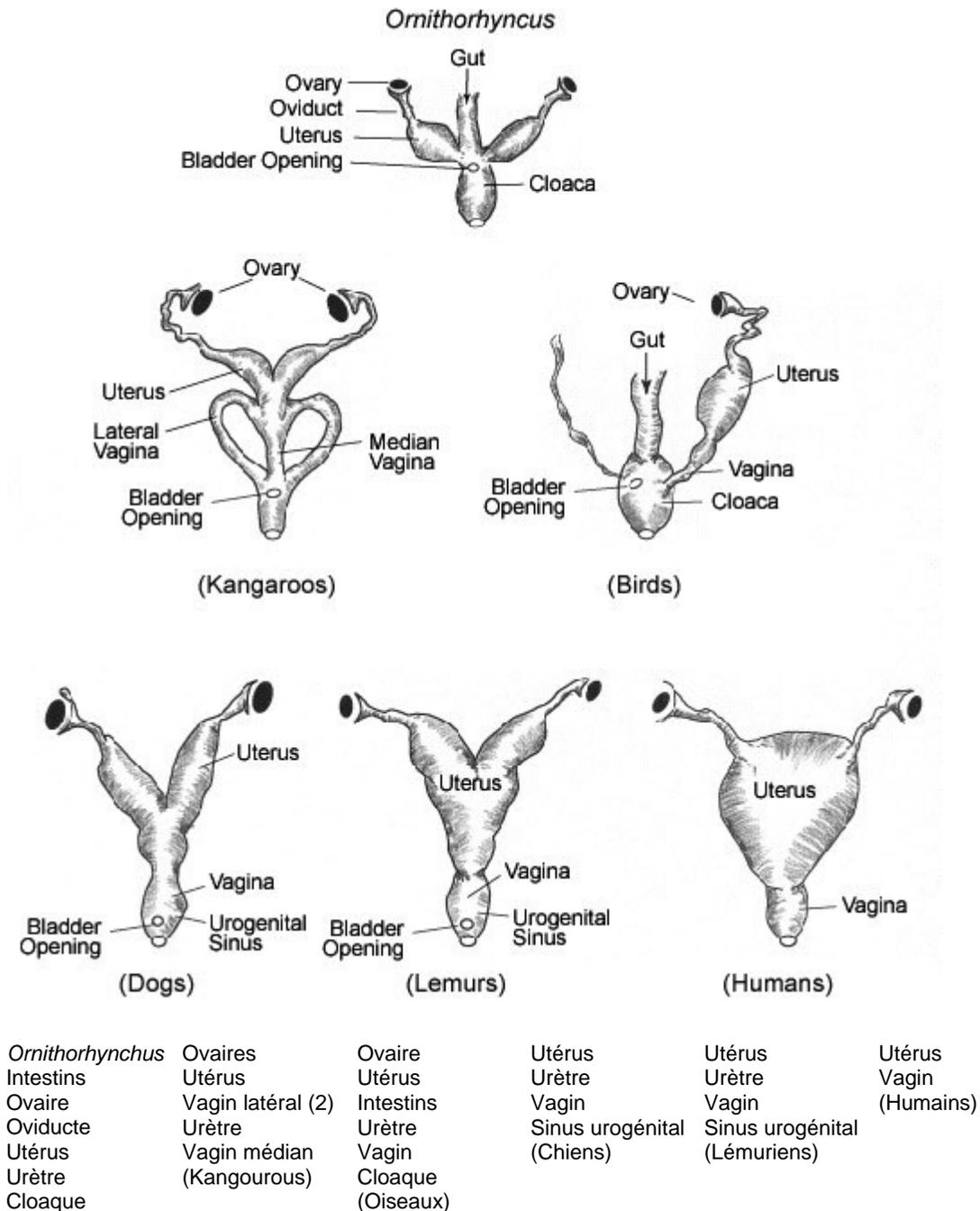
Un spécimen finit par arriver entre les mains du professeur Johann Blumenbach, spécialiste de l'anatomie comparative, de l'Université de Göttingen en Allemagne, qui baptisa la créature *Ornithorhynchus paradoxus*. « Paradoxal à tous points de vue », l'animal d'Australie soulevait une foule de questions. Était-ce, comme sa fourrure brune semblait l'indiquer, un mammifère? Mais où donc étaient ses glandes mammaires? Où étaient les mamelons? Et comment un jeune animal pouvait-il téter avec ce bec de canard? Ou bien c'était un reptile, une classe qui comprenait alors les amphibiens, puisque cette bête était sûrement aquatique? Ou peut-être s'agissait-il d'un oiseau, avec son bec de canard qui suggérait une parenté avec les oiseaux à sang chaud. Blumenbach était perplexe. *Ornithorhynchus* n'entrait dans aucune des grandes classes de vertébrés – mammifères, poissons, oiseaux et reptiles.

D'autres spécimens furent expédiés à un anatomiste britannique réputé, Everard Home, au Royal College of Surgeons de Londres. Le mystère au lieu de s'éclaircir s'épaissit encore quand Home fit une série de découvertes passionnantes qui firent l'objet d'articles entre 1800 et 1802. Le bec de canard était un organe exploratoire qui permettait à l'animal de fouiller et de goûter la boue des fonds de rivières pour trouver de quoi s'alimenter, des petits crustacés et des insectes aquatiques. Ce bec n'était pas dur comme celui d'un oiseau, mais plutôt humide, mou et très flexible. Mais les organes reproducteurs lui réservaient d'autres surprises!

### Questions

1. Examinez les dessins ci-dessous montrant les systèmes reproducteurs de six animaux. Quelles conclusions pouvez-vous en tirer? Quel est celui qui, selon vous, ressemble le plus à celui d'*Ornithorhynchus*?
2. Qu'est-ce que cela signifie du point de vue de l'évolution?
3. Pensez de quelle façon les jeunes *Ornithorhynchus* naissent. Est-ce qu'ils naissent vivants (animal vivipare)? Ou y a-t-il un œuf pondu, incubé et qui éclôt ensuite (ovipare)? Ou encore un œuf est-il produit et incubé dans le corps de la mère pendant une certaine période puis éclôt, toujours à l'intérieur, comme chez les serpents (ovovivipare)? Toutes ces opinions sur le développement d'*Ornithorhynchus* ont été défendues avec vigueur par certains grands anatomistes de l'époque.

[Voir le site <http://naturendanger.canalblog.com/archives/2006/01/index.html>.]



**Figure 1 : Systèmes reproducteurs de six vertébrés.** Toutes les dissections sont décrites comme si l'animal était couché sur le dos, face au lecteur. Tous les systèmes reproducteurs sont symétriques bilatéralement, sauf pour l'oiseau dont le côté gauche seulement est fonctionnel, le côté droit dégénéralant durant le développement. Le terme *cloaque* désigne la cavité qui reçoit le contenu du tractus *digestif et urinaire et du système reproducteur*. Le *sinus urogénital* est la cavité où se déverse le contenu du tractus *urinaire et reproducteur*; le tractus digestif se vide séparément dans sa propre cavité, le *rectum* (non montré). (Dessins modifiés à partir de ceux de Jim Stamos, d'après diverses sources).

### Partie III - Une découverte fascinante

Sir Joseph Banks, qui avait accompagné James Cook à son premier voyage, déclare ce qui suit en 1802 : « Notre plus cher désir ici est de mieux comprendre la façon dont cet animal au bec de canard [ornithorynque] et l'échidné d'Australie [pourvu d'épines], qui je crois appartient au même genre, se reproduisent; leur structure interne est tellement semblable à celle des oiseaux que selon moi, il n'est pas impossible qu'ils pondent des œufs, ou du moins comme les serpents et certains poissons, incubent leurs œufs dans leur ventre, où ils éclosent ensuite. »

À la lecture des articles de Home, le zoologiste français Etienne Geoffroy St-Hilaire déclare que les deux animaux devraient être classés dans une nouvelle catégorie animale, les monotrèmes, ce qui signifie « trou unique » pour indiquer que l'animal n'a qu'un seul orifice (le cloaque) par lequel il élimine les déchets digestifs et urinaires et les produits du système reproducteur (œufs ou sperme). Mais trois questions capitales concernant *Ornithorynchus* sont soulevées à l'époque.

1. D'abord, comment peut-on faire entrer cette créature étrange dans les systèmes de classification et de taxonomie qui ont déjà si bien intégré les organismes de l'hémisphère Nord?
2. Ensuite, comment l'étrange *Ornithorhynchus* fait-il pour donner naissance à ses petits?
3. Enfin, comment cet animal bizarre s'intègre-t-il à notre conception traditionnelle d'un monde créé parfait? Où *Ornithorynchus* se situe-t-il dans le concept de l'évolution, qui commence doucement à faire surface?

### Questions

Examinons la première question : comment devrait-on procéder pour classer un tel animal? Les taxonomistes comme John Ray et Carl von Linné ont dit que la reproduction est le critère essentiel de classification. Linné établit que la présence de glandes mammaires et la tétée chez les jeunes représentaient la caractéristique déterminante de la classe des animaux qu'il nomma « mammifères ». Il considérait que les quadrupèdes (animaux à quatre pattes) à sang chaud dont le cœur comportait quatre cavités et une circulation double étaient vivipares et mammifères.

Henri Marie Ducrotay de Blainville affirma que les mammifères pouvaient être classés par degré décroissant de complexité, depuis les primates et les marsupiaux jusqu'aux monotrèmes. Il fut le premier à souligner les nombreuses ressemblances entre l'ornithorynque, l'échidné et les marsupiaux. Il affirma que malgré l'absence apparente des glandes mammaires, les monotrèmes appartiennent aux mammifères et forment un ordre distinct, Ornithodelphia. Une

sommité du milieu scientifique français, Georges Cuvier, déclara qu'il s'agissait effectivement de mammifères mais il rangea carrément les monotrèmes dans l'ordre des Édentés, englobant d'autres mammifères dépourvus de dents, les oryctéropes (cochons de terre) et les paresseux.

Mais les scientifiques n'étaient pas tous d'accord. L'ornithorynque était bien un animal à sang chaud, dont le cœur a quatre cavités et avec une circulation double (un côté du cœur pompant le sang vers le poumon, et l'autre côté, vers le reste du corps), mais les oiseaux étaient aussi dotés de ces caractéristiques. De plus, il y avait ce bec de canard! En 1802, Everard Home écrit dans un article que la structure de l'oreille et de la ceinture thoracique (épaule) présentait à la fois des caractères des mammifères et des reptiles. La présence d'un cloaque était nettement une caractéristique des reptiles et des oiseaux, et l'absence d'un utérus bien constitué ainsi que l'absence apparente de mamelons contribuèrent à persuader Home que cette « taupe à bec de canard » était apparentée aux reptiles ovovivipares.

Lamarck déclara que l'ornithorynque et l'échidné ne pouvaient être des mammifères s'ils étaient dépourvus de glandes mammaires. Il les rangea dans une classe distincte de vertébrés, celle des monotrèmes.

1. Alors, quelle est la meilleure méthode pour classer cet animal bizarre? Si les oiseaux, les reptiles, les poissons et les mammifères sont tous placés dans des classes séparées, où doit-on classer l'ornithorynque?
2. Quelle est le meilleur raisonnement pour prédire de quelle façon naît le jeune ornithorynque : vivipare, ovipare ou ovovivipare? Quelle semble être la méthode de reproduction la plus probable, et la moins probable? Et après sa naissance, comment le jeune ornithorynque se nourrit-il?

#### **Partie IV – Le mystère résolu**

Comment l'ornithorynque fait-il pour se reproduire? L'année 1821 est celle d'une grande découverte. Patrick Hill, chirurgien de la marine, écrit à la Linnean Society pour raconter qu'un aborigène âgé lui a dit que « c'est un fait bien connu dans sa région que l'animal [l'ornithorynque] pond deux œufs semblables selon la taille, la forme et la couleur aux œufs de la poule, et que la femelle incube ses œufs pendant très longtemps dans un nid qui se trouve toujours dans les roseaux à la surface de l'eau ».

Plus important encore, en 1824, l'anatomiste allemand Johann Meckel affirme qu'il a trouvé les glandes mammaires chez l'ornithorynque! Ce sont des organes primitifs et ouverts directement à la surface de la peau, mais dépourvus de mamelons. Les monotrèmes représenteraient une forme transitoire entre les reptiles et les mammifères. Geoffrey St-Hilaire rejette cette idée et dit que les structures décrites par Meckel ne peuvent pas être des glandes mammaires parce qu'il n'y a pas de mamelons, ce qui rendrait difficile la tétée pour les petits

à cause de leur bec de canard. Il soutient que l'ornithorynque appartient à son propre ordre distinct, celui des monotrèmes.

En 1831, le lieutenant Maule, qui est basé en Australie, révèle à la Zoological Society of London qu'il a trouvé plusieurs nids d'ornithorynques abritant des fragments de coquilles d'œufs et, dans un nid, la femelle était là avec deux petits. Deux semaines plus tard, ayant constaté la mort de la femelle, il signale qu'en enlevant la peau encore chaude de l'animal, il a vu du lait suintant à travers les poils sur son thorax, mais aucun mamelon visible.

En 1834, Richard Owen, grand spécialiste britannique de l'anatomie comparative, reçoit du lieutenant Maule deux bébés ornithorynques venant de Nouvelle-Galles du Sud et détermine que le bec des petits est adapté pour la tétée normale. Il démontre sans équivoque que l'estomac des bébés contenait du lait.

Ce n'est qu'en 1884 que la question sera définitivement réglée. L'embryologiste écossais William Caldwell, de Cambridge, arrive en Australie et réunit un groupe de 150 aborigènes pour capturer des monotrèmes, ces animaux farouches, dans la rivière Burnett. Il tire une balle à une femelle en train de pondre ses œufs; elle a déjà pondu un œuf, et l'autre est encore dans le col de l'utérus partiellement dilaté. Il crie victoire. L'ornithorynque est donc ovipare. Elle pond ses œufs à coquille molle avec un gros jaune, qui est graduellement absorbé par les petits pendant leur développement, tout comme pour les oiseaux et les reptiles! En revanche, l'œuf calcifié de l'oiseau ne change pas de forme ni de grosseur, mais l'œuf du monotrème augmente de taille durant son séjour dans l'utérus. Sa coquille flexible s'agrandit à mesure que les nutriments sont absorbés dans l'utérus.

### Question

1. Est-ce que ces découvertes changent votre opinion sur la façon de classer l'ornithorynque?

### Partie V – Le tableau global

Penchons-nous maintenant sur la troisième question : Comment l'ornithorynque s'intègre-t-il à la doctrine créationniste? Rappelons que l'idée d'Aristote relative à une échelle de la nature (*Scala Naturae*, une grande chaîne des êtres vivants) laisse entendre que les espèces occupent une position fixe sur une échelle ascendante dont l'humain est l'échelon le plus élevé. Cette notion peut avoir été crédible il y a deux mille ans quand on ne connaissait que 500 espèces d'animaux, mais à mesure qu'on découvre de nouvelles espèces comportant de plus en plus de caractéristiques intermédiaires ou hybrides, cette conception statique du monde semble de moins en moins plausible. Par exemple, en 1803, des explorateurs français reviennent d'Australie avec 100 000 spécimens

d'animaux, dont 2 500 espèces nouvelles pour le monde scientifique. Georges Cuvier, scientifique français réputé, se targue d'avoir rapporté de voyage « plus de nouvelles créatures que tous les autres naturalistes réunis des temps modernes ». Robert Brown, qui a sillonné intensivement les côtes australiennes, a prélevé des spécimens de 465 genres et de 2 000 espèces végétales différentes en 1811, tous nouveaux pour la science. Les systèmes de classification créés pour l'Europe s'avéraient totalement inadéquats pour l'hémisphère Sud. L'ornithorynque n'était qu'un des milliers de mystères à éclaircir, quoique le plus spectaculaire.

Un autre problème faisait surface : la découverte de fossiles partout dans le monde. Beaucoup de ces fossiles représentaient des animaux disparus, ce qui laissait penser que certaines espèces étaient éteintes. Si vraiment il y a eu une extinction, alors qu'advient-il de « l'échelle de vie »? Y a-t-il d'autres échelons manquants?

Comment les scientifiques ont-ils résolu ce problème? Ont-ils rejeté en bloc le concept de la *Scala Naturae*? C'est ce que fit Georges Cuvier, s'appuyant sur le fait que des catastrophes naturelles surviennent périodiquement et détruisent des organismes, qui sont remplacés alors par de nouvelles créatures plus complexes et non apparentées. D'autres scientifiques ont-ils révisé la théorie de l'échelle de vie? Un compatriote de Cuvier, Jean-Baptiste de Lamarck, estimait qu'il y avait un ordre linéaire entre les organismes vivants, allant du plus simple au plus complexe, et que les organismes pouvaient s'élever dans l'échelle grâce à l'évolution – plutôt à l'image d'un escalier. Il croyait que l'extinction était impossible.

### Questions

1. Quand Charles Darwin est entré en jeu, il avait sa propre conception de la *Scala Naturae*. Selon vous, quelle était son idée sur la question?
2. Aujourd'hui, nous avons des preuves génétiques (ADN) ainsi que des preuves classiques obtenues grâce aux travaux d'anatomie et de physiologie. D'après l'ensemble des connaissances que nous possédons, dessinez un arbre phylogénique plausible montrant les relations évolutives entre les oiseaux, les marsupiaux, les monotrèmes, les mammifères à placenta et les reptiles.

Traduction et adaptation de « *An Antipodal Mystery* », par Clyde Freeman Herreid. © 2005. Reproduit avec la permission de National Center for Case Study Teaching In Science.