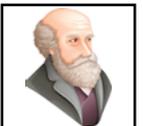


L'ÉVOLUTION ET LA BIODIVERSITÉ

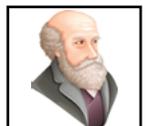


APERÇU DU REGROUPEMENT

Dans ce regroupement, l'élève approfondit sa compréhension de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle. L'élève étudie les travaux de Charles Darwin et les principaux éléments de sa théorie. L'élève explore aussi les effets de la sélection naturelle sur les populations ainsi que les conditions menant à l'apparition de nouvelles espèces.

CONSEILS D'ORDRE GÉNÉRAL

Les élèves connaissent déjà le terme « évolution », mais ont peut-être une compréhension de ce terme dans un contexte non scientifique. En Biologie 12^e année, ils approfondissent leur compréhension de la nature de la science et du concept des théories en sciences de la nature. Le sujet de l'évolution pourrait susciter de la controverse. Il est important de bien faire la différence entre la science et d'autres façons de comprendre le monde, et d'expliquer que le cours de biologie est tenu de présenter les explications scientifiques (basées sur des données empiriques) du monde qui nous entoure. Les explications qui ne sont pas fondées sur des données empiriques ne font pas partie du domaine des sciences et donc ne sont pas traitées dans le cours de biologie.

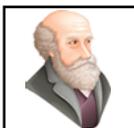


BLOCS D'ENSEIGNEMENT SUGGÉRÉS

Afin de faciliter la présentation des renseignements et des stratégies d'enseignement et d'évaluation, les RAS de ce regroupement ont été disposés en blocs d'enseignement. Il est à souligner que, tout comme le regroupement lui-même, les blocs d'enseignement ne sont que des pistes suggérées pour le déroulement du cours de biologie. L'enseignant peut choisir de structurer son cours et ses leçons en privilégiant une autre approche. Les élèves doivent cependant réussir les RAS prescrits par le Ministère pour la biologie 12^e année.

Outre les RAS propres à ce regroupement, plusieurs RAS transversaux de la biologie 12^e année ont été rattachés aux blocs afin d'illustrer comment ils peuvent être enseignés pendant l'année scolaire.

	Titre du bloc	RAS inclus dans le bloc	Durée suggérée
Bloc A	L'évolution et la biodiversité	B12-3-01, B12-0-C1, B12-0-R1, B12-0-G1	1,5 h
Bloc B	Le voyage et les travaux de Charles Darwin	B12-3-02, B12-0-C1, B12-0-C2, B12-0-R1, B12-0-R4, B12-0-N1, B12-0-N2	3,5 h
Bloc C	La théorie de l'évolution par la sélection naturelle	B12-3-03, B12-3-04 B12-0-C1, B12-0-C2, B12-0-S3, B12-0-S5, B12-0-R4	3,5 h
Bloc D	Les effets de la sélection naturelle sur les populations	B12-3-05, B12-0-C1, B12-0-C2, B12-0-S1, B12-0-S3, B12-0-S5, B12-0-D4, B12-0-R1, B12-0-R2, B12-0-R4, B12-0-N1	2,5 h
Bloc E	Les influences sur la variation génétique	B12-3-06, B12-0-C1, B12-0-C2, B12-0-P1, B12-0-S3, B12-0-S4, B12-0-S5, B12-0-R4	2,5 h
Bloc F	La sélection artificielle	B12-3-07, B12-0-C2, B12-0-P2, B12-0-S1, B12-0-S5, B12-0-R1, B12-0-R2, B12-0-R4	2 h
Bloc G	La génétique des populations	B12-3-08, B12-3-09, B12-0-C1, B12-0-C2, B12-0-P3, B12-0-S3, B12-0-S5	2,5 h
Bloc H	La spéciation	B12-3-10, B12-0-C1, B12-0-C2, B12-0-G1, B12-0-G3	3 h
Bloc I	L'évolution convergente et divergente	B12-3-11, B12-0-C1, B12-0-C2, B12-0-R1, B12-0-R2, B12-0-R3, B12-0-R4	2 h
Bloc J	La vitesse de l'évolution	B12-3-12, B12-0-C1, B12-0-C2, B12-0-R4, B12-0-G2, B12-0-N1	2 h
<i>Récapitulation et objectivation pour le regroupement en entier</i>			1 à 2 h
Nombre d'heures suggéré pour ce regroupement			26 à 27 h



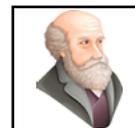
RESSOURCES ÉDUCATIVES POUR L'ENSEIGNANT

Vous trouverez ci-dessous une liste de ressources éducatives qui se prêtent bien à ce regroupement. Il est possible de se procurer la plupart de ces ressources à la Direction des ressources éducatives françaises (DREF) ou de les commander auprès du Centre de ressources d'apprentissage du Manitoba (CRA).

[R] indique une ressource recommandée

LIVRES

- [R] BLAKE, Leesa, *et al.* *Biologie 12*, Montréal, Les Éd. de la Chenelière Inc., 2003. (DREF 570 C518b 12, CMSM 91614)
- [R] BLAKE, Leesa, *et al.* *Biologie 12 – Guide d'enseignement*, Montréal, Les Éd. de la Chenelière Inc., 2003. (DREF 570 C518b 12, CMSM 91613)
- [R] CARTER-EDWARDS, Trent, *et al.* *Biologie 12 STSE*, Montréal, Éd. TC Média Livres Inc., 2014. (DREF 570 C518b 12)
- [R] CREASEY, David, *et al.* *Biologie 12 STSE – Guide d'enseignement*, Éd. TC Média Livres Inc., 2014.
- [R] COLBOURNE, Helen, *et al.* *Biologie 11-12*, Montréal, Les Éd. de la Chenelière Inc., 2008. (DREF 570 C684b, CMSM 97716)
- [R] COLBOURNE, Helen, *et al.* *Biologie 11-12 – Guide d'enseignement*, Montréal, Les Éd. de la Chenelière Inc., 2007. (DREF 570 C684b, CMSM 961345)
- [R] DUNLOP, Jenna, *et al.* *Biologie 11 STSE*, Montréal, Éd. Chenelière Éducation, 2011. (DREF 570 C518b 11 2011, CMSM 97395)
- [R] DUNLOP, Jenna, *et al.* *Biologie 11 STSE – Guide d'enseignement*, Montréal, Éd. Chenelière Éducation, 2011. (DREF 570 C518b 11 2011, CMSM 97394)
- [R] GALBRAITH, Don, *et al.* *Biologie 11*, Montréal, Les Éd. de la Chenelière Inc., 2002. (DREF 570 C518b 11, CMSM 91612)
- [R] GALBRAITH, Don, *et al.* *Biologie 11 – Guide d'enseignement*, Montréal, Les Éd. de la Chenelière Inc., 2003. (DREF 570 C518b 11, CMSM 91611)
- PANAFIEU, Jean-Baptiste de. *La grande aventure de l'évolution : une histoire d'aujourd'hui*, Toulouse, Milan, 2014. (DREF 576.8 P187g)



PANAFIEU, Jean-Baptiste de. *Sur les traces de Charles Darwin*, Paris, Gallimard jeunesse, 2004. (DREF 576.82092 D228p)

REECE, Jane B., et al. *Campbell Biologie – 4^e édition*, Montréal, Éd. ERPI, 2012. (DREF 570 C189b [3^e édition])

STARR, Ceci, et Ralph TAGGART. *Biologie générale – L'unité et la diversité de la vie*, Montréal, Éd. Groupe Modulo, 2006. (DREF 570 S796b, CMSM 97021)

WALKER, Denise. *Hérédité et évolution*, Montréal, Hurtubise HMH, 2007. (DREF 599.935 W178h)

AUTRES IMPRIMÉS

L'Actualité, Éditions Rogers Media, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE. [revue publiée 20 fois l'an; articles d'actualité canadienne et internationale]

Ça m'intéresse, Prisma Presse, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; beaucoup de contenu STSE; excellentes illustrations]

Découvrir : la revue de la recherche, Association francophone pour le savoir, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE [revue bimestrielle de vulgarisation scientifique; recherches canadiennes]

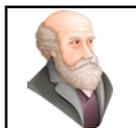
Pour la science, Éd. Bélin, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE [revue mensuelle; version française de la revue américaine Scientific American]

Québec Science, La Revue Québec Science, Montréal (Québec). DREF PÉRIODIQUE. [revue publiée 10 fois l'an]

[R] *Science et vie junior*, Excelsior Publications, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; excellente présentation de divers dossiers scientifiques; l'exemplaire de mars 2007 comprend un dossier sur l'évolution avec plusieurs articles excellents et une bande dessinée décrivant le voyage du Beagle; l'exemplaire de septembre 2013 comprend un article sur l'évolution de la longueur d'ailes chez les hirondelles]

Science et vie, Excelsior Publications, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; articles plus techniques]

Sciences et avenir, La Revue Sciences et avenir, Paris (France). DREF PÉRIODIQUE. [revue mensuelle; articles détaillés]



DVD

BARRILÉ, Albert. *Il était une fois – les découvreurs, épisodes 14-20*, Montréal, Imavision, 2005. (DVD DOC INTERMÉDIAIRE ÉTAIT) [l'épisode Darwin et l'évolution traite de la théorie de la sélection naturelle]

ROGEL, Jean-Pierre, et Louis FAURE. *Un dimanche avec Darwin*, Radio-Canada, 2009. (DVD DOC SECONDAIRE DÉCOUVERTE)

DISQUES NUMÉRISÉS ET LOGICIELS

COLBOURNE, Helen, et al. *Biologie 11-12 – Banque d'évaluation informatisée*, Montréal, Les Éd. de la Chenelière Inc., 2009. (DREF 570 C684b, CMSM 93447)

SITES WEB

Après Darwin : débuts de la biologie contemporaine. <http://education.francetv.fr/matiere/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/troisieme/video/apres-darwin-debuts-de-la-biologie-contemporaine> (consulté le 16 juillet 2017). [partie 8 d'une série de 8 vidéos sur l'évolution]

Avant Darwin : fixisme et transformisme. <http://education.francetv.fr/matiere/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/troisieme/video/avant-darwin-fixisme-et-transformisme> (consulté le 16 juillet 2017). [partie 1 d'une série de 8 vidéos sur l'évolution; traite des travaux de Linné, de Buffon et de Lamarck]

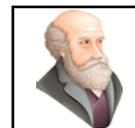
La biographie de Charles Darwin. http://www.hominides.com/html/biographies/charles_darwin.php (consulté le 16 juillet 2017).

Capsule outil : Évolution graduelle ou équilibre ponctué? http://lecerveau.mcgill.ca/flash/capsules/outil_bleu09.htm (consulté le 16 juillet 2017).

Capsule outil : Qu'est-ce que l'évolution? http://lecerveau.mcgill.ca/flash/capsules/outil_bleu08.htm (consulté le 16 juillet 2017).

Capsule outil : La sélection naturelle de Darwin. http://lecerveau.mcgill.ca/flash/capsules/outil_bleu10.htm (consulté le 16 juillet 2017)

Centre de recherche et de développement de Morden. <http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/centres-de-recherche/manitoba/centre-de-recherche-et-de-developpement-de-morden/?id=1180643854086> (consulté le 16 juillet 2017). [Le Centre de recherches sur les céréales est l'un des 19 établissements de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ses installations sont situées à Winnipeg et à Morden]



[R] *Charles Darwin : la sélection naturelle.* <http://education.francetv.fr/matiere/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/troisieme/video/charles-darwin-la-selection-naturelle> (consulté le 16 juillet 2017).

[R] *Darwin : adaptation et transformation des espèces.* <http://education.francetv.fr/matiere/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/troisieme/video/darwin-adaptation-et-transformation-des-especes> (consulté le 16 juillet 2017). [partie 3 d'une série de 8 vidéos sur la théorie de l'évolution; traite des réflexions de Darwin sur les pinsons des îles Galapagos]

[R] *Darwin : ébauche d'une théorie de l'évolution.* <http://education.francetv.fr/matiere/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/troisieme/video/darwin-ebauche-d-une-theorie-de-l-evolution> (consulté le 16 juillet 2017). [partie 4 d'une série de 8 vidéos sur la théorie de l'évolution; traite des observations et réflexions de Darwin qui ont mené au développement de sa théorie de l'évolution par sélection naturelle]

Darwin et la sélection naturelle. <http://www.alloprof.qc.ca/bv/pages/s1220.aspx> (consulté le 16 juillet 2017).

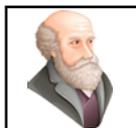
Darwin : le concept de la sélection sexuelle. <http://education.francetv.fr/matiere/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/troisieme/video/darwin-le-concept-de-la-selection-sexuelle> (consulté le 16 juillet 2017). [partie 7 d'une série de 8 vidéos sur l'évolution; traite des idées de Darwin sur la sélection sexuelle]

[R] *Darwin - le voyage d'un naturaliste autour du monde.* <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosdarwin/darwin.html#> (consulté le 16 juillet 2017). [animations et textes présentant la vie de Darwin et son voyage sur le Beagle]

Darwin : parution de L'Origine des espèces. <http://education.francetv.fr/matiere/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/troisieme/video/darwin-parution-de-l-origine-des-especes> (consulté le 16 juillet 2017). [partie 5 d'une série de 8 vidéos sur la théorie de l'évolution; traite de la publication de son livre L'Origine des espèces et des idées présentés dans cet ouvrage]

Darwin, théorie de l'évolution. <http://www.futura-sciences.com/sante/dossiers/biologie-darwin-theorie-evolution-322/> (consulté le 16 juillet 2017). [Dossier sur la vie de Darwin, son voyage et ses publications]

Darwinisme : une théorie bien vivante. <http://www.futura-sciences.com/sante/dossiers/biologie-darwinisme-theorie-bien-vivante-767/> (consulté le 16 juillet 2017). [Dossier sur la théorie de l'évolution par sélection naturelle]



Darwin : voyage d'un naturaliste autour du monde. <http://education.francetv.fr/matiere/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/troisieme/video/darwin-voyage-d-un-naturaliste-autour-du-monde> (consulté le 16 juillet 2017). [partie 2 d'une série de 8 vidéos sur l'évolution; traite du voyage de Darwin]

Des mots à éviter en sciences de l'évolution.

<http://edu.mnhn.fr/mod/page/view.php?id=284#2> (consulté le 16 juillet 2017).

Évolution biologique. <http://www.evolution-biologique.org/mecanismes/selection-naturelle-2.html> (consulté le 16 juillet 2017). [Site qui décrit les expériences sur la phalène du bouleau, et offre une critique des résultats obtenus. Le site décrit aussi les mécanismes agissant sur la variation au sein d'une population.]

Évolution, des clés pour comprendre. www.cnrs.fr/cnrs-images/production/podcast/evolution.htm (consulté le 17 juillet 2017). [vidéos présentant les points clés de la théorie de l'évolution par sélection naturelle]

L'Évolution mise en questions. <http://edu.mnhn.fr/mod/page/view.php?id=296> (consulté le 16 juillet 2017).

[R] *Evolution of life.* <http://www.evolution-of-life.com/fr/observer.html> (consulté le 16 juillet 2017). [vidéos, activités et leçons sur Darwin et la théorie de l'évolution par sélection naturelle]

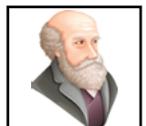
Évolution par sélection naturelle – la phalène du bouleau. http://www.collegetheophanevenard.net/gallerand/evolution_phalene/main.htm (consulté le 16 juillet 2017). [animation sur l'évolution de la phalène du bouleau]

L'évolution : une idée qui évolue. http://edu.mnhn.fr/pluginfile.php/1525/mod_page/content/5/chapitre_enseigner_une_theorie_scientifique/histoire_pensee_evol/evolutiondesidees/evolution_des_idees.swf (consulté le 16 juillet 2017). [excellente animation qui présente une échelle de temps permettant de découvrir les origines de l'idée de l'évolution jusqu'au recherches actuelles]

[R] *Le grand voyage de Charles Darwin.* <https://www.youtube.com/watch?v=soGdwpQs6b0> (consulté le 16 juillet 2017). [film sur le voyage de Charles Darwin]

Histoire de la pensée évolutionniste et Textes historiques associés. <http://edu.mnhn.fr/mod/page/view.php?id=289> (consulté le 16 juillet 2017).

Histoire d'une pensée en évolution. http://edu.mnhn.fr/pluginfile.php/1525/mod_page/content/5/chapitre_enseigner_une_theorie_scientifique/histoire_pensee_evol/6article.pdf (consulté le 16 juillet 2017). [article sur le développement de la théorie de l'évolution]



Milieus humides 3 – Évolution, diversité et durabilité des écosystèmes : guide de l'enseignant. <http://www.canards.ca/assets/2012/06/3-5guide.pdf> (consulté le 16 juillet 2017).

Milieus humides 3 – Évolution, diversité et durabilité des écosystèmes : journal de l'élève. <http://www.canards.ca/assets/2012/06/3-5journal.pdf> (consulté le 16 juillet 2017).

L'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle. http://classiques.uqac.ca/classiques/darwin_charles_robert/origine_especes/darwin_origine_des_especes.pdf (consulté le 16 juillet 2017). [traduction du livre de Charles Darwin]

Quand l'évolution prend l'autoroute (littéralement) (consulté le 16 juillet 2017).

Sélection naturelle. http://www.fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/minisites/projet_biodiversite/elevés/SelectionNaturelle.swf (consulté le 16 juillet 2017). [animation de la sélection naturelle]

Sélection naturelle. <https://phet.colorado.edu/fr/simulation/legacy/natural-selection> (consulté le 16 juillet 2017). [simulation de la sélection naturelle où on peut provoquer des mutations et contrôler l'environnement]

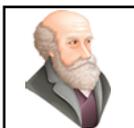
Sélection naturelle. (consulté le 21 janvier 2016). [animation eduMedia accessible à partir du site Web de la DREF, www.dref.mb.ca]

La théorie de l'évolution. <http://www2.cegep-ste-foy.qc.ca/profs/gbourbonnais/pascal/nya/evolution/indexevol.htm> (consulté le 16 juillet 2017).

Un dimanche avec Darwin. <http://ici.radio-canada.ca/emissions/decouverte/2008-2009/Reportage.asp?idDoc=73950> (consulté le 16 juillet 2017).

Une simulation de l'évolution. <http://www.aestq.org/sautquantique/tres/t-scenarios1.html#simulation> (consulté le 16 juillet 2017). [activité simulant les concepts de dérive génétique et de sélection naturelle]

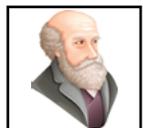
Voyage d'un naturaliste autour du monde fait à bord du navire le Beagle de 1831 à 1836. http://classiques.uqac.ca/classiques/darwin_charles_robert/voyage_naturaliste_autour_du_monde/darwin_voyage.pdf (consulté le 16 juillet 2017). [traduction du livre de Charles Darwin, qui décrit l'histoire de son voyage à bord du Beagle]



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES THÉMATIQUES

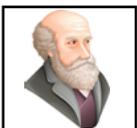
L'élève sera apte à :

- B12-3-01** définir le terme « évolution » en expliquant comment l'évolution a mené à la biodiversité en modifiant des populations et non des particuliers, entre autres le fonds génétique, le génome;
RAG : D1, E3
- B12-3-02** décrire et expliquer le processus de découverte de Darwin qui a mené à l'élaboration de sa théorie de l'évolution par sélection naturelle, entre autres le voyage du Beagle, ses observations des fossiles sud-américains, l'incidence des îles Galapagos sur ses observations, le travail d'autres scientifiques;
RAG : A2, A4, B1, B2
- B12-3-03** souligner les principaux éléments de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle de Darwin, entre autres la surproduction, la compétition, la variation, l'adaptation, la sélection naturelle et la différenciation des espèces;
RAG : D1
- B12-3-04** expliquer, à l'aide d'exemples, ce que l'on entend par le terme « apte » dans l'expression « la survivance des plus aptes »,
par exemple un phasme qui prend la couleur et l'aspect de son environnement, les tournesols qui se penchent en direction du soleil, les bactéries résistantes aux antibiotiques;
RAG : D1
- B12-3-05** expliquer comment la sélection naturelle mène à des changements dans des populations,
par exemple le mélanisme industriel, les bactéries résistantes aux antibiotiques, les insectes résistants aux pesticides;
RAG : D1, E3
- B12-3-06** décrire comment la sélection naturelle divergente, stabilisatrice et directionnelle agit sur la variation;
RAG : D1, E3
- B12-3-07** faire la distinction entre la sélection naturelle et la sélection artificielle;
RAG : D1, E1, E3



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES THÉMATIQUES (suite)

- B12-3-08** décrire de façon sommaire comment les scientifiques déterminent si un pool génique a changé, selon les critères de l'équilibre génétique, entre autres grande population, accouplement aléatoire, absence de flux génétique, absence de mutation, absence de sélection naturelle;
RAG : D1, E3
- B12-3-09** discuter de la façon dont la variation génétique dans un pool génique peut être modifiée,
par exemple la sélection naturelle, le flux génétique, la dérive génétique, l'accouplement non aléatoire, la mutation;
RAG : D1, E1, E3
- B12-3-10** décrire comment une population peut devenir isolée sur le plan reproductif,
par exemple l'isolement géographique, la différenciation de niche, le comportement modifié, la physiologie modifiée;
RAG : D1, E2
- B12-3-11** à l'aide d'exemples, faire la distinction entre l'évolution convergente et l'évolution divergente (rayonnement adaptatif);
RAG : D1, E1
- B12-3-12** faire la distinction entre les deux modèles sur la vitesse du changement évolutif, soit l'équilibre intermittent et le gradualisme.
RAG : D1, E3



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES TRANSVERSAUX

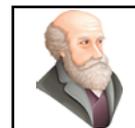
L'élève sera apte à :

Démonstration de la compréhension

- B12-0-C1** utiliser des stratégies et des habiletés appropriées pour développer une compréhension de concepts en biologie,
par exemple utiliser des cadres de concepts, des cadres de tri et de prédiction, des schémas conceptuels;
RAG : D1
- B12-0-C2** montrer une compréhension approfondie de concepts en biologie,
par exemple utiliser un vocabulaire scientifique approprié, expliquer un concept à une autre personne, faire des généralisations, comparer, identifier des régularités, appliquer ses connaissances à une nouvelle situation ou à un nouveau contexte, tirer des conclusions, créer une analogie, faire des exposés créatifs;
RAG : D1

Perspectives personnelles/réflexion

- B12-0-P1** faire preuve de confiance dans sa capacité de mener une étude scientifique;
RAG : C2, C5
- B12-0-P2** manifester un intérêt soutenu et éclairé dans la biologie et des enjeux et carrières liés à ce domaine;
RAG : B4
- B12-0-P3** reconnaître l'importance de maintenir la biodiversité et le rôle que peuvent jouer les particuliers à cet égard;
RAG : B5
- B12-0-P4** reconnaître que les humains ont eu un impact et continuent d'avoir un impact sur l'environnement;
RAG : B1, B2
- B12-0-P5** reconnaître que les progrès technologiques peuvent mener à des dilemmes d'ordre éthique qui compliquent la prise de décisions personnelles et sociétales;
RAG : B1, B2



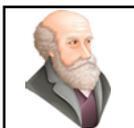
RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES TRANSVERSAUX (suite)

Étude scientifique

- B12-0-S1** employer des stratégies d'enquête et de résolution de problèmes appropriées pour répondre à une question ou résoudre un problème;
RAG : C2, C3
- B12-0-S2** adopter des habitudes de travail qui tiennent compte de la sécurité personnelle et collective, et qui témoignent de son respect pour l'environnement;
RAG : B3, B5, C1, C2
- B12-0-S3** enregistrer, organiser et présenter des données au moyen d'un format approprié;
RAG; C2, C5
- B12-0-S4** évaluer la pertinence, la fiabilité et l'exactitude des données et des méthodes de collecte de données,
entre autres des écarts entre les données, les sources d'erreur;
RAG : C2, C4, C5, C8
- B12-0-S5** analyser des données ou des observations afin d'expliquer les résultats et d'en déterminer la portée;
RAG : C2, C4, C5, C8

Prise de décisions

- B12-0-D1** identifier et explorer un enjeu courant,
par exemple clarifier ce qu'est l'enjeu, identifier différents points de vue ou interoenants, faire une recherche sur l'information/les données existantes;
RAG : C4, C8
- B12-0-D2** évaluer les implications d'options possibles ou de positions possibles reliées à un enjeu,
par exemple les conséquences positives et négatives d'une décision, les forces et faiblesses d'une position, les dilemmes moraux;
RAG : B1, C4, C5, C6, C7
- B12-0-D3** reconnaître que les décisions peuvent refléter certaines valeurs, et tenir compte de ses propres valeurs et de celles des autres en prenant une décision;
RAG : C4, C5
- B12-0-D4** recommander une option ou identifier sa position en justifiant cette décision;
RAG : C4



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES TRANSVERSAUX (suite)

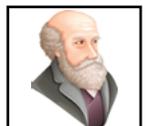
- B12-0-D5** recommander une ligne de conduite reliée à un enjeu;
RAG : C4, C5, C8
- B12-0-D6** évaluer le processus utilisé par soi-même ou d'autres pour parvenir à une décision;
RAG : C4, C5

Recherche et communication

- B12-0-R1** tirer des informations d'une variété de sources et en faire la synthèse, entre autres imprimées, électroniques, et humaines; différents types d'écrits;
RAG : C2, C4, C6
- B12-0-R2** évaluer l'information obtenue afin de déterminer l'utilité des renseignements, *par exemple l'exactitude scientifique, la fiabilité, le degré d'actualité, la pertinence, l'objectivité, les préjugés*;
RAG : C2, C4, C5, C8
- B12-0-R3** citer ou noter des références bibliographiques selon les pratiques acceptées;
RAG : C2, C6
- B12-0-R4** communiquer l'information sous diverses formes en fonction du public cible, de l'objet et du contexte;
RAG : C5, C6

Travail en groupe

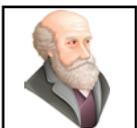
- B12-0-G1** collaborer avec les autres afin d'assumer les responsabilités et d'atteindre les objectifs d'un groupe;
RAG : C2, C4, C7
- B12-0-G2** susciter et clarifier des questions, des idées et des points de vue divers lors d'une discussion, et y réagir;
RAG : C2, C4, C7
- B12-0-G3** évaluer les processus individuels et collectifs employés;
RAG : C2, C4, C7



RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SPÉCIFIQUES TRANSVERSAUX (suite)

Nature de la science

- B12-0-N1** décrire le rôle des données dans l'acquisition des connaissances scientifiques ainsi que la manière dont les connaissances évoluent lorsque de nouvelles données sont présentées;
RAG : A2
- B12-0-N2** reconnaître que de nombreux facteurs influent sur l'élaboration et l'acceptation de preuves scientifiques, de théories ou de technologies,
par exemple le contexte culturel et historique, la politique, l'économie, la personnalité;
RAG : A2, B2
- B12-0-N3** reconnaître à la fois le pouvoir et les limites de la science comme moyen de répondre aux questions sur le monde et d'expliquer des phénomènes naturels.
RAG : A1



Bloc A : L'évolution et la biodiversité

L'élève sera apte à :

- B12-3-01** définir le terme « évolution » en expliquant comment l'évolution a mené à la biodiversité en modifiant des populations et non des particuliers, entre autres le fonds génétique, le génome;
RAG : D1, E3
- B12-0-C1** utiliser des stratégies et des habiletés appropriées pour développer une compréhension de concepts en biologie,
par exemple utiliser des cadres de concepts, des cadres de tri et de prédiction, des schémas conceptuels;
RAG : D1
- B12-0-R1** tirer des informations d'une variété de sources et en faire la synthèse, entre autres imprimées, électroniques, et humaines; différents types d'écrits;
RAG : C2, C4, C6
- B12-0-G1** collaborer avec les autres afin d'assumer les responsabilités et d'atteindre les objectifs d'un groupe.
RAG : C2, C4, C7

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Guide d'anticipation

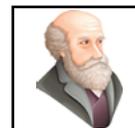
Inviter les élèves à compléter le guide d'anticipation sur l'évolution à ① l'annexe 1 (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 9.19-9.20) afin d'identifier leur compréhension du concept. Le corrigé figure à ② l'annexe 2. ③ L'annexe 3 comprend des renseignements pour l'enseignant sur l'évolution et la nature de la science.

Les élèves connaissent probablement le terme « évolution », mais ils n'ont pas encore étudié le concept.

OU

Démonstration

Utiliser des illustrations ou photographies représentant l'évolution d'un style ou d'un produit (p. ex., coupe de cheveux, vêtements, automobiles, téléphones).



Poser les questions suivantes aux élèves :

- *Peux-tu expliquer en quoi ce style ou ce produit est le même? (Il a la même fonction.)*
- *Peux-tu expliquer en quoi il a changé au fil du temps? (Les réponses varieront selon l'exemple utilisé.)*
- *Qu'est-ce qui peut avoir provoqué les changements observés? (Les réponses varieront selon l'exemple utilisé, mais certains les expliqueront par une technologie améliorée, les tendances de la mode, etc.)*
- *Les organismes changent aussi au fil du temps. En quoi l'évolution des espèces diffère-t-elle de l'évolution des styles ou des produits? (L'évolution des espèces est généralement beaucoup plus lente.)*

L'évolution est le thème qui sous-tend tous les domaines liés à la biologie. Mettre l'accent sur les liens qui existent entre évolution, biodiversité, ADN et génétique. La théorie synthétique ou moderne de l'évolution combine la théorie fondamentale de Darwin sur l'évolution par voie de sélection naturelle avec les découvertes sur la biologie des populations et la génétique. Selon cette théorie, l'évolution touche non pas les individus isolés, mais les populations. L'évolution est la variation de fréquence d'un allèle dans le fonds génétique d'une population. Insister sur le fait que l'évolution se fait au sein des populations (et non chez les individus).

En quête

Définir l'évolution (C1, R1, G1)

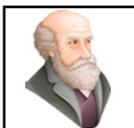
Proposer aux élèves de former des équipes et de consulter une variété de sources pour rassembler des définitions du terme évolution. Préciser qu'ils doivent inclure des sources écrites (p. ex., manuels, dictionnaire), électroniques et personnelles (p. ex., enseignant, parent).

Partager avec la classe une définition de l'évolution du point de vue de la biologie. Demander aux équipes d'examiner les définitions recueillies et de les comparer à la définition de l'évolution en biologie; discuter des points communs et des différences. Faire la distinction entre le fait qu'une évolution s'est produite (preuves tirées de fossiles, analyse de l'ADN) et l'explication du mécanisme de l'évolution (la théorie de la sélection naturelle).

 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Inviter les élèves à compléter un billet de sortie (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 13.9 et 13.10). Voici des exemples de questions :

- *En quoi ta compréhension du terme « évolution » a-t-elle changé?*
- *As-tu encore des questions? Lesquelles?*

Les réponses devraient indiquer clairement que les élèves comprennent bien la définition de l'évolution selon la perspective biologique.

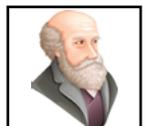


Rappeler aux élèves que cette évolution survient non pas chez les individus en particulier, mais au sein des populations. L'évolution découle d'une variation de la fréquence d'allèles dans le fonds génétique d'une population.

En fin

Cadre de concept (C1)

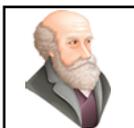
Inviter les élèves à compléter un cadre de concept pour l'évolution (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.24).



Bloc B : Le voyage et les travaux de Charles Darwin

L'élève sera apte à :

- B12-3-02** décrire et expliquer le processus de découverte de Darwin qui a mené à l'élaboration de sa théorie de l'évolution par sélection naturelle, entre autres le voyage du Beagle, ses observations des fossiles sud-américains, l'incidence des îles Galapagos sur ses observations, le travail d'autres scientifiques;
RAG : A2, A4, B1, B2
- B12-0-C1** utiliser des stratégies et des habiletés appropriées pour développer une compréhension de concepts en biologie,
par exemple utiliser des cadres de concepts, des cadres de tri et de prédiction, des schémas conceptuels;
RAG : D1
- B12-0-C2** montrer une compréhension approfondie de concepts en biologie,
par exemple utiliser un vocabulaire scientifique approprié, expliquer un concept à une autre personne, faire des généralisations, comparer, identifier des régularités, appliquer ses connaissances à une nouvelle situation ou à un nouveau contexte, tirer des conclusions, créer une analogie, faire des exposés créatifs;
RAG : D1
- B12-0-R1** tirer des informations d'une variété de sources et en faire la synthèse, entre autres imprimées, électroniques, et humaines; différents types d'écrits;
RAG : C2, C4, C6
- B12-0-R4** communiquer l'information sous diverses formes en fonction du public cible, de l'objet et du contexte;
RAG : C5, C6
- B12-0-N1** décrire le rôle des données dans l'acquisition des connaissances scientifiques ainsi que la manière dont les connaissances évoluent lorsque de nouvelles données sont présentées;
RAG : A2
- B12-0-N2** reconnaître que de nombreux facteurs influent sur l'élaboration et l'acceptation de preuves scientifiques, de théories ou de technologies,
par exemple le contexte culturel et historique, la politique, l'économie, la personnalité.
RAG : A2, B2



Le caractère dynamique de l'évolution dans la théorie de l'évolution représente un excellent véhicule qui permet d'explorer la nature de la science avec les élèves.

- James Hutton (1726-1797) et Charles Lyell (1797-1875) étudient les forces du vent, de l'eau, des tremblements de terre et des volcans. Ils concluent que la Terre est très vieille et qu'elle s'est transformée lentement au fil des millénaires sous l'action de mécanismes naturels.
- Erasmus Darwin (1731-1802) émet l'hypothèse selon laquelle la compétition entre les individus pourrait mener à des transformations dans les espèces. (Il est le grand-père de Charles Darwin.)
- Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) propose un mécanisme par lequel les organismes changent au fil du temps. Il soumet l'hypothèse voulant que les organismes vivants évoluent en héritant de caractéristiques acquises.
- Thomas Malthus (1766-1834) observe que les populations humaines ne peuvent pas augmenter à l'infini. Si le taux de naissances continuait de dépasser le taux de décès, les humains finiraient par manquer d'espace et de nourriture et mourraient. La famine, la maladie et la guerre ont empêché une croissance démographique sans fin.
- Charles Darwin (1809-1882) formule la théorie de l'évolution par la sélection naturelle d'après ses observations faites durant un voyage sur le Beagle, et sur la reproduction sélective d'animaux de ferme, de plantes et d'animaux familiers. Dans les années 1840, Darwin rédige des manuscrits décrivant sa théorie, mais il hésite à les publier. Son ouvrage le plus célèbre est intitulé *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, traduit sous le titre *L'origine des espèces*, publié en 1859.
- Alfred Russell Wallace (1823-1913) propose une théorie de l'évolution par sélection naturelle similaire à celle de Darwin. Il expose cette théorie dans un article, qu'il fait vérifier par Darwin. C'est ce qui incite Darwin à publier enfin sa propre théorie. En 1858, Charles Lyell présente l'essai de 1844 de Darwin et l'article de Wallace au public.

Ce résultat d'apprentissage fournit l'occasion d'explorer la nature de la science avec les élèves. Par exemple, bien que les idées de Lamarck puissent nous sembler bizarres aujourd'hui, à l'époque, c'était un scientifique respecté qui fut l'un des premiers à proposer un mécanisme expliquant comment les organismes se transforment avec le temps. Le fait que sa théorie a été rejetée quand une autre théorie est venue fournir une meilleure explication est proposé comme une excellente illustration du fonctionnement de la science.

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Présenter la situation suivante aux élèves et les inviter à en discuter :

Imagine que tu as 21 ans et que tu viens de décrocher ton diplôme universitaire. Tu n'es pas sûr de vouloir t'établir et commencer à travailler tout de suite dans ton domaine. Tu as toujours aimé faire de la randonnée et observer la nature, lorsqu'un jour, tu vois une annonce dans le journal. Le gouvernement recherche des personnes pour se joindre à une expédition de survie devant durer cinq ans sur les côtes de l'Amérique du Sud. Est-ce que tu poserais ta candidature?

Les élèves n'ont pas encore étudié la théorie de la sélection naturelle, mais ils ont peut-être entendu parler de Charles Darwin et de l'expression « la survivance des plus aptes ».



En quête

Analyse d'article – les travaux de Charles Darwin (C1, N2)

L'histoire de Charles Darwin est fascinante. Inviter les élèves à lire un texte qui résume ses travaux (p. ex., celui de  l'annexe 4), et de compléter un cadre d'analyse d'article (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.30-11.31).

 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Utiliser le cadre d'analyse d'article à titre d'évaluation formative en vue de déterminer le niveau de compréhension des élèves. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

Enseignement direct – le voyage de Darwin (C1)

Présenter aux élèves le processus de découverte qui a mené Darwin à formuler sa théorie de l'évolution par sélection naturelle. Les élèves peuvent utiliser un cadre de notes pour organiser l'information (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.32).

Les sites Web qui suivent pourraient servir comme ressources :

- Darwin - Le voyage d'un naturaliste autour du monde.
<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosdarwin/darwin.html>
[animations et textes présentant la vie de Darwin et son voyage sur le Beagle]
- Evolution of life. <http://www.evolution-of-life.com/fr/observer.html> [vidéos, activités et leçons sur Darwin et la théorie de l'évolution par sélection naturelle]
- Le grand voyage de Charles Darwin. <https://www.youtube.com/watch?v=soGdwpQs6b0> [documentaire sur la vie de Charles Darwin]

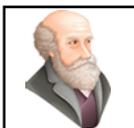
 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Utiliser le cadre de notes à titre d'évaluation formative en vue de déterminer le niveau de compréhension des élèves. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

Recherche – théories pour expliquer la transformation des espèces (C2, R1, R4, N1)

Inviter les élèves à faire une courte recherche sur le travail d'un scientifique qui a contribué à développer une théorie unificatrice expliquant comment les espèces peuvent se transformer au fil du temps.

Proposer aux élèves de faire une recherche sur les points suivants :

- date des travaux ou de la publication;
- principales constatations;
- données biographiques (p. ex., endroit où les recherches ont été menées, antécédents du chercheur).



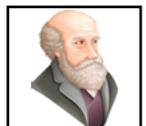
📎 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Demander aux élèves de présenter les résultats de leur recherche à la classe et de préparer un résumé d'une page ou un diagramme avec chronologie des événements, qui sera affiché au babillard. Développer des critères d'évaluation avec les élèves portant à la fois sur le contenu et sur la présentation.

En fin

Cartes postales du Beagle - stratégie PPPST (C2, R1, R4, N1)

Les PPPST sont des rédactions créatives où les élèves sont encouragés à adopter de nouvelles perspectives sur un concept ou un enjeu scientifique (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 13.23-13.28). Voir les détails du travail à l'annexe 5.

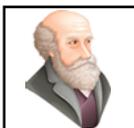
📎 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Déterminer des critères d'évaluation en collaboration avec les élèves et leur demander d'évaluer les cartes postales de leurs pairs à l'aide des critères.



Bloc C : La théorie de l'évolution par sélection naturelle

L'élève sera apte à :

- B12-3-03** souligner les principaux éléments de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle de Darwin,
entre autres la surproduction, la compétition, la variation, l'adaptation, la sélection naturelle et la différenciation des espèces;
RAG : D1
- B12-3-04** expliquer, à l'aide d'exemples, ce que l'on entend par le terme « apte » dans l'expression « la survivance des plus aptes »,
par exemple un phasme qui prend la couleur et l'aspect de son environnement, les tournesols qui se penchent en direction du soleil, les bactéries résistantes aux antibiotiques;
RAG : D1
- B12-0-C1** utiliser des stratégies et des habiletés appropriées pour développer une compréhension de concepts en biologie,
par exemple utiliser des cadres de concepts, des cadres de tri et de prédiction, des schémas conceptuels;
RAG : D1
- B12-0-C2** montrer une compréhension approfondie de concepts en biologie,
par exemple utiliser un vocabulaire scientifique approprié, expliquer un concept à une autre personne, faire des généralisations, comparer, identifier des régularités, appliquer ses connaissances à une nouvelle situation ou à un nouveau contexte, tirer des conclusions, créer une analogie, faire des exposés créatifs;
RAG : D1
- B12-0-P1** faire preuve de confiance dans sa capacité de mener une étude scientifique;
RAG : C2, C5
- B12-0-S3** enregistrer, organiser et présenter des données au moyen d'un format approprié;
RAG; C2, C5
- B12-0-S5** analyser des données ou des observations afin d'expliquer les résultats et d'en déterminer la portée;
RAG : C2, C4, C5, C8



B12-0-R1 tirer des informations d'une variété de sources et en faire la synthèse, entre autres imprimées, électroniques, et humaines; différents types d'écrits;
RAG : C2, C4, C6

B12-0-R4 communiquer l'information sous diverses formes en fonction du public cible, de l'objet et du contexte.
RAG : C5, C6

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Question d'introduction

Présenter le problème qui suit aux élèves et leur demander de travailler en petit groupe afin de développer des réponses. Leur demander de les noter dans leur carnet scientifique.

Dans des conditions optimales, certaines formes de bactéries peuvent se diviser par simple fission toutes les 20 minutes. Supposer que l'on commence avec une bactérie, combien peut-il y avoir de bactéries produites en une heure? (8). Après deux heures? (64). Après cinq heures? (32 768). Après 10 heures? (1,07 x 10⁹). Alors pourquoi ne sommes-nous pas envahis par les bactéries?

Réponses possibles :

- Les bactéries peuvent manquer de nourriture.
- Les bactéries peuvent manquer d'oxygène.
- Les bactéries peuvent manquer d'espace vital.
- Certaines bactéries meurent de vieillesse.
- Certaines bactéries peuvent être consommées par des prédateurs (p. ex., globules blancs, larves de moustiques)

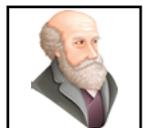
En quête

Enseignement direct – la théorie de Darwin (C1)

En s'appuyant sur les discussions de la section « En tête », présenter aux élèves les principaux points de la théorie de Darwin de l'évolution par sélection naturelle (voir Biologie 11 STSE, p. 332 ou Biologie 12, p. 346-348).

- Surproduction : une espèce produit plus de descendants que le nombre qui peuvent survivre

Mettre l'accent sur le fait que la variation au sein d'une espèce est le résultat de mutations au niveau de l'ADN. Ces mutations sont la source de nouveaux allèles, les variations sur lesquelles la sélection naturelle peut agir. Il importe de rappeler aux élèves que les mutations se font sans viser un but précis, qu'elles surviennent de façon aléatoire au sein d'une population, et qu'elles peuvent induire un changement dans la structure ou la fonction de l'organisme. C'est l'environnement qui détermine si la mutation sera bénéfique ou néfaste. L'évolution choisit ensuite les organismes qui sont les mieux adaptés à leur environnement à ce stade.



- Compétition : les taux de naissance élevés entraînent une pénurie des ressources de survie, d'où une compétition entre les organismes
- Variation : chaque individu diffère de tous les autres membres de son espèce, certains présentant plus de différences que les autres
- Adaptation : permet aux organismes de mieux s'adapter à leur environnement
- Sélection naturelle : les organismes les plus aptes (les mieux adaptés) survivent et se reproduisent
- Différenciation des espèces (ou spéciation) : formation de nouvelles espèces à partir d'espèces anciennes par voie de sélection naturelle

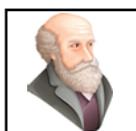
Les sites Web qui suivent pourraient servir comme ressources :

- Charles Darwin : la sélection naturelle. <http://education.francetv.fr/matiere/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/troisieme/video/charles-darwin-la-selection-naturelle>.
 - Darwin : adaptation et transformation des espèces. <http://education.francetv.fr/matiere/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/troisieme/video/darwin-adaptation-et-transformation-des-especes>. [partie 3 d'une série de 8 vidéos sur la théorie de l'évolution; traite des réflexions de Darwin sur les pinsons des îles Galapagos] -
 - Darwin : ébauche d'une théorie de l'évolution. <http://education.francetv.fr/matiere/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/troisieme/video/darwin-ebauche-d-une-theorie-de-l-evolution>. [partie 4 d'une série de 8 vidéos sur la théorie de l'évolution; traite des observations et réflexions de Darwin qui ont mené au développement de sa théorie de l'évolution par sélection naturelle]
- ✎ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Demander aux élèves d'utiliser le procédé tripartite (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.9-10.10) pour résumer les concepts appris. Les travaux peuvent être remis et commentés par l'enseignant. Comme il s'agit d'une évaluation formative destinée à vérifier la compréhension des élèves, il n'est pas nécessaire de donner une note à ce travail.

Activité - simulation de la sélection naturelle (C2, S3, S5, R4)

Inviter les élèves à modéliser la sélection naturelle à l'aide de différents outils permettant « d'attraper la nourriture ». Voir les détails de l'activité à ☹ l'annexe 6. Des renseignements pour l'enseignant figurent à ☹ l'annexe 7.

- ✎ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Évaluer si les réponses des élèves sont logiques et exactes. Il peut s'agir d'une évaluation informelle (questions, discussion des résultats en classe) ou formelle (billet de sortie, réponses écrites aux questions).



La survivance des plus aptes (C1)

Fournir aux élèves des appuis visuels (p. ex., présentation PowerPoint, diagrammes, illustrations, photos) d'organismes présentant des adaptations structurales, comportementales et physiologiques. Exemples : aiguilles d'un cactus, canines d'un animal carnivore comme le loup, changement saisonnier de la couleur du plumage des lagopèdes.

Demander aux élèves de décrire comment chaque organisme est bien adapté à son environnement. Quelle caractéristique spéciale possède chaque espèce, qui augmente ses chances de survivre ou de se reproduire?

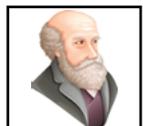
📌 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Évaluer si les réponses des élèves sont logiques et exactes. Il peut s'agir d'une évaluation informelle (questions, discussion des résultats en classe).

Enseignement direct - les adaptations (C1, C2)

À l'aide d'exemples, faire la distinction entre adaptations comportementales, structurales et physiologiques. Mentionner le mimétisme et le camouflage (aussi appelé homochromie) dans la discussion sur les adaptations structurales (voir @ l'annexe 8 pour des informations sur les adaptations, *Biologie 11 STSE*, p. 298-299, ou *Biologie 12*, p. 392-396). Utiliser la stratégie « pause de trois minutes » (Keeley, 2008, p. 195) pour donner aux élèves du temps de réflexion après des séquences d'enseignement. Donner trois minutes aux élèves pour qu'ils puissent résumer, clarifier ou discuter de leur compréhension avec un partenaire ou en petit groupe. Circuler afin de déterminer leur niveau de compréhension. Utiliser un minuteur pour permettre aux élèves de surveiller le temps. Une fois les trois minutes écoulées, continuer les explications.

Une adaptation est une variation qui permet à un organisme de mieux survivre dans son environnement. Les organismes qui sont les mieux adaptés à leur environnement sont plus « aptes », ce qui accroît leurs chances de survivre et de se reproduire avec succès. Par conséquent, les adaptations sont le résultat d'une sélection naturelle. Si l'environnement change, bon nombre d'individus vont mourir, car ils ne sont plus adaptés à leur nouvel environnement.

Bien faire la distinction entre adaptation et acclimatation. L'acclimatation est lorsqu'un organisme devient habitué aux conditions changeantes de son environnement. Ce n'est pas le résultat d'une sélection naturelle. Il n'y a pas de changement dans le fonds génétique de l'espèce. Par exemple, quand reviennent les beaux jours après la froideur de l'hiver, on se dépêche de se défaire de son manteau d'hiver et de revêtir des bermudas et des sandales, même si la température n'est que de 10 °C. Mais si un front froid venu du nord balaye le pays en plein milieu de l'été, on remet un chandail et on se plaint du froid qui sévit, parce qu'on s'est acclimaté aux températures chaudes de l'été.



Stratégies d'évaluation suggérées :

1. Poser aux élèves la question « C'est quoi une adaptation? » la noter au haut d'une feuille de papier et faire circuler cette dernière parmi les élèves. Chaque élève doit ajouter une ou deux phrases qui se rapportent à la question, en ajoutant aux idées précédentes ou en corrigeant les idées fausses. Examiner les réponses des élèves pour vérifier leur compréhension et revoir les concepts si nécessaire.
2. Inviter les élèves à compléter un cadre de concept pour le concept d'adaptation (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.23 et 11.24). Examiner les réponses des élèves pour vérifier leur compréhension et leur donner de la rétroaction descriptive.

Recherche – les adaptations (C2, P1, R1, R4)

Proposer aux élèves de faire une recherche individuelle et de préparer une affiche sur une adaptation présente chez une espèce de leur choix. L'affiche devrait inclure les points suivants :

- le nom de l'espèce;
- une description de l'adaptation;
- le type d'adaptation en présence (comportementale, physiologique, structurale);
- une explication de la façon dont cette adaptation permet à l'organisme de mieux s'adapter à son environnement;
- une photo, un dessin ou un diagramme de l'organisme.

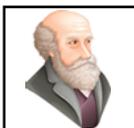
 **Stratégie d'évaluation suggérée :** L'évaluation peut être faite par les pairs. Si désiré, organiser une « galerie de l'évolution », où les élèves pourront circuler et évaluer les affiches. Des critères devraient être élaborés avec la classe et pourraient inclure des éléments portant sur le contenu et la présentation.

En fin

Demander aux élèves de répondre à la question qui suit :

- À l'aide d'un exemple, expliquez ce que signifie l'expression « survivance des plus aptes ».

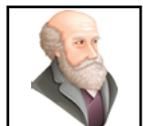
Inviter les élèves à noter leur réponse dans leur carnet scientifique.



Bloc D : Les effets de la sélection naturelle sur les populations

L'élève sera apte à :

- B12-3-05** expliquer comment la sélection naturelle mène à des changements dans des populations,
par exemple le mélanisme industriel, les bactéries résistantes aux antibiotiques, les insectes résistants aux pesticides;
RAG : D1, E3
- B12-0-C1** utiliser des stratégies et des habiletés appropriées pour développer une compréhension de concepts en biologie,
par exemple utiliser des cadres de concepts, des cadres de tri et de prédiction, des schémas conceptuels;
RAG : D1
- B12-0-C2** montrer une compréhension approfondie de concepts en biologie,
par exemple utiliser un vocabulaire scientifique approprié, expliquer un concept à une autre personne, faire des généralisations, comparer, identifier des régularités, appliquer ses connaissances à une nouvelle situation ou à un nouveau contexte, tirer des conclusions, créer une analogie, faire des exposés créatifs;
RAG : D1
- B12-0-S1** employer des stratégies d'enquête et de résolution de problèmes appropriées pour répondre à une question ou résoudre un problème;
RAG : C2, C3
- B12-0-S3** enregistrer, organiser et présenter des données au moyen d'un format approprié;
RAG; C2, C5
- B12-0-S5** analyser des données ou des observations afin d'expliquer les résultats et d'en déterminer la portée;
RAG : C2, C4, C5, C8
- B12-0-D4** recommander une option ou identifier sa position en justifiant cette décision;
RAG : C4
- B12-0-R1** tirer des informations d'une variété de sources et en faire la synthèse, entre autres imprimées, électroniques, et humaines; différents types d'écrits;
RAG : C2, C4, C6
- B12-0-R2** évaluer l'information obtenue afin de déterminer l'utilité des renseignements,
par exemple l'exactitude scientifique, la fiabilité, le degré d'actualité, la pertinence, l'objectivité, les préjugés;
RAG : C2, C4, C5, C8



B12-0-R4 communiquer l'information sous diverses formes en fonction du public cible, de l'objet et du contexte;
RAG : C5, C6

B12-0-N1 décrire le rôle des données dans l'acquisition des connaissances scientifiques ainsi que la manière dont les connaissances évoluent lorsque de nouvelles données sont présentées.
RAG : A2

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Démonstration

Dans cette activité, les élèves deviennent, à leur insu, les sujets d'une démonstration de la sélection naturelle. Inviter les élèves à choisir des bonbons dans un bol et leur laisser le temps de réfléchir aux facteurs qui ont permis la « survie » de certains bonbons (voir @ l'annexe 9 pour des renseignements pour l'enseignant).

Prévenir les élèves qu'ils doivent éviter de supposer que la sélection naturelle et l'évolution sont des processus qui garantissent un état de perfection chez les organismes. La sélection naturelle agit sur la variation déjà présente au sein d'une espèce; elle ne peut pas entraîner la création de nouvelles structures ou fonctions. Quel que soit le temps passé par un humain à la lumière du jour, il ne pourra jamais fabriquer sa nourriture par photosynthèse.

En quête

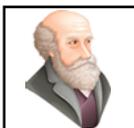
Activité - la sélection naturelle chez Legocarnivora (C2, S3, S5)

Proposer aux élèves de faire l'activité Legocarnivora, qui simule la sélection naturelle chez un animal fictif. Voir les détails de l'expérience à @ l'annexe 10.

 Stratégie d'évaluation suggérée :
Le corrigé de l'annexe 10 figure à @ l'annexe 11. Évaluer si les réponses des élèves sont logiques et exactes. Se référer aux @ annexes 5 et 6 du regroupement 1 pour évaluer les habiletés de laboratoire des élèves.

Le terme « microévolution » est utilisé pour décrire les changements survenant dans une population de la même espèce. Il englobe le processus de sélection naturelle, les variations des fréquences des allèles et les changements qui se produisent au sein de populations au fil du temps. Le mélanisme industriel et l'apparition de bactéries résistantes aux antibiotiques sont des exemples de microévolution.

En revanche, la macroévolution s'entend de profils d'évolution à grande échelle et sur une longue durée dans un grand nombre d'espèces. L'évolution de nouvelles espèces à partir d'un ancêtre commun, comme chez les hémignathes (des oiseaux) d'Hawaï et les pinsons de Darwin, ou leur origine, le rayonnement adaptatif et l'extinction des dinosaures en sont tous des exemples. Les biologistes évolutionnistes ne s'entendent pas sur la mesure dans laquelle les mécanismes de la microévolution peuvent expliquer les profils macroévolutifs (Martin, 2004).



Enseignement direct - la sélection naturelle (C1, N1)

Expliquer comment la sélection naturelle mène à des changements dans une population à l'aide d'exemples (voir *Biologie 11 STSE*, p. 300-304). Deux exemples bien connus illustrent un mécanisme de sélection naturelle à l'œuvre. Le premier est celui d'une étude faite par H.B. Kettlewell sur l'adaptation par camouflage dans une population de phalènes du bouleau de couleur claire et de couleur foncée en Angleterre. Le deuxième exemple tient à l'apparition d'une résistance aux antibiotiques chez des bactéries comme *Staphylococcus aureus*.

📖 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Proposer aux élèves de compléter un cadre de notes pour organiser leur information (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.32).

Étude de cas - la sélection naturelle (C2, S1, S5)

Proposer aux élèves de compléter une étude de cas, qui explore les processus de sélection naturelle (voir ☞ l'annexe 12).

📖 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Évaluer les réponses des élèves afin de déterminer leur compréhension des concepts à l'étude.

En fin

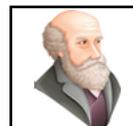
Microthème - Je me sens mieux, donc pourquoi devrais-je prendre toute la quantité d'antibiotique prescrite? (C2, S1, D4, R1, R2, R4)

Donner aux élèves l'exercice suivant sur le Microthème :

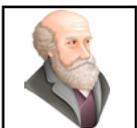
Ton amie a récemment eu une infection à streptocoques, maladie qui s'accompagne d'un mal de gorge et de fièvre. Son médecin lui a dit que cette infection est facilement soignée et lui a prescrit des antibiotiques. Lorsque tu as accompagné ton amie à la pharmacie pour faire remplir son ordonnance, la pharmacienne lui a dit qu'il était important de prendre tous les antibiotiques prescrits, même si elle commençait à se sentir mieux.

Après avoir pris l'antibiotique pendant trois jours, ton amie a commencé à se sentir mieux. Elle pense arrêter de prendre l'antibiotique. Explique-lui pourquoi il est important qu'elle prenne toute la quantité prescrite. Fais référence aux concepts de variation et de sélection naturelle dans ton explication.

Les microthèmes sont des exercices écrits conçus pour aider les élèves à connaître la matière en l'examinant sous un angle différent (Martin, 1989). Ils s'investissent davantage que par une simple lecture du document ou en mémorisant des notes. Les élèves doivent analyser un cas particulier relatif à la génétique et interpréter ce qui se passe. Par la suite, ils expriment leurs idées dans une courte rédaction. Leur texte doit être concis, détaillé et pertinent. Consulter le guide de l'enseignant à ☞ l'annexe 12 du regroupement 2 pour des renseignements généraux.



✎ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Se référer aux @ annexes 13 et 14 du regroupement 2 pour les outils d'évaluation. Dans leur réponse, les élèves devraient discuter de l'apparition de bactéries résistantes aux antibiotiques comme un exemple de sélection naturelle à l'œuvre. Une variation de la résistance aux antibiotiques est présente au sein de populations bactériennes. Certaines bactéries présentant peu de résistance aux antibiotiques sont éliminées rapidement en présence de l'antibiotique. Mais certaines présentent une plus grande résistance aux antibiotiques. Pour tuer les bactéries plus résistantes, il faut prendre toute la quantité d'antibiotiques prescrite. Si le traitement est arrêté avant que toutes les bactéries soient mortes, les bactéries résistantes survivent et se reproduisent. Comme il y a moins de compétition entre les bactéries, la population de bactéries résistantes augmente rapidement, rendant inefficace l'antibiotique qui réussissait auparavant à faire diminuer le nombre de bactéries.



Bloc E : Les influences sur la variation génétique

L'élève sera apte à :

- B12-3-06** décrire comment la sélection naturelle divergente, stabilisatrice et directionnelle agit sur la variation;
RAG : D1, E3
- B12-0-C1** utiliser des stratégies et des habiletés appropriées pour développer une compréhension de concepts en biologie,
par exemple utiliser des cadres de concepts, des cadres de tri et de prédiction, des schémas conceptuels;
RAG : D1
- B12-0-C2** montrer une compréhension approfondie de concepts en biologie,
par exemple utiliser un vocabulaire scientifique approprié, expliquer un concept à une autre personne, faire des généralisations, comparer, identifier des régularités, appliquer ses connaissances à une nouvelle situation ou à un nouveau contexte, tirer des conclusions, créer une analogie, faire des exposés créatifs;
RAG : D1
- B12-0-P1** faire preuve de confiance dans sa capacité de mener une étude scientifique;
RAG : C2, C5
- B12-0-S3** enregistrer, organiser et présenter des données au moyen d'un format approprié;
RAG; C2, C5
- B12-0-S4** évaluer la pertinence, la fiabilité et l'exactitude des données et des méthodes de collecte de données,
entre autres des écarts entre les données, les sources d'erreur;
RAG : C2, C4, C5, C8
- B12-0-S5** analyser des données ou des observations afin d'expliquer les résultats et d'en déterminer la portée;
RAG : C2, C4, C5, C8
- B12-0-R4** communiquer l'information sous diverses formes en fonction du public cible, de l'objet et du contexte.
RAG : C5, C6



Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Démonstration

Demander aux élèves de se grouper deux par deux et de mesurer leur taille, arrondie aux 5 cm près (p. ex., 1,60 m, 1,85 m). En plénière, déterminer ensemble la taille maximum et la taille minimum de la classe. Dessiner une ligne continue au tableau noir, avec la taille minimum et la taille maximum indiquées aux deux extrémités. Entre ces deux points, indiquer les tailles intermédiaires au tableau. Demander aux élèves de se tenir en face du point correspondant à leur taille. S'il y a plus d'un élève ayant la même taille, les faire placer en rang devant ce point. Une fois les élèves placés, dessiner une courbe, qui devrait être en forme de cloche. Cette courbe représente la variation de taille entre les élèves de la classe.

En quête

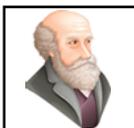
Enseignement direct - les effets de la sélection sur la variation dans une population (C1)

À l'aide de graphiques et d'exemples, illustrer les effets de la sélection stabilisatrice, directionnelle et divergente (disruptive) sur une population (voir ¶ l'annexe 13 pour des renseignements pour l'enseignant, *Biologie 11 STSE*, p. 358-359, ou *Biologie 12*, p. 383-384).

Utiliser la stratégie « pause de trois minutes » (Keeley, 2008, p. 195) pour donner aux élèves du temps de réflexion après des séquences d'enseignement. Donner trois minutes aux élèves pour qu'ils puissent résumer, clarifier ou discuter de leur compréhension avec un partenaire ou en petit groupe. Circuler afin de déterminer leur niveau de compréhension. Utiliser un minuteur pour permettre aux élèves de surveiller le temps. Une fois les trois minutes écoulées, continuer les explications.

📎 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Inviter les élèves à compléter un billet de sortie. Les billets de sortie permettent de faire une évaluation rapide et d'obtenir de l'information sur ce que les élèves considèrent important dans une leçon en particulier. Le processus consiste simplement à poser une question à la fin de la leçon et à accorder cinq minutes aux élèves pour inscrire leur réponse sur un billet de sortie (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 13.9 et 13.10). Voici des exemples de questions :

- Qu'avez-vous appris de nouveau aujourd'hui?
- Que saviez-vous déjà?
- Avez-vous encore des questions par rapport à la leçon?



Revoir les réponses des élèves pour mesurer leur degré de compréhension et, au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.

Enquête sur la variation (P1, S3, S4, S5, R4)

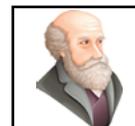
L'activité sur la variation examine les différences observables dans un caractère. Inviter les élèves à mesurer la longueur des haricots secs et de représenter graphiquement les résultats de la classe. Voir les détails de l'activité à @ l'annexe 14.

 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Le corrigé pour cette activité se trouve à @ l'annexe 15. Évaluer si les réponses des élèves sont logiques et exactes. Se référer aux @ annexes 5 et 6 du regroupement 1 pour évaluer les habiletés de laboratoire des élèves.

En fin

Procédé tripartite (C2)

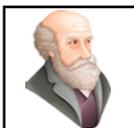
Proposer aux élèves d'utiliser le procédé tripartite (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.9 et 10.10) afin de définir les termes *sélection stabilisatrice*, *sélection directionnelle* et *sélection divergente*.



Bloc F : La sélection artificielle

L'élève sera apte à :

- B12-3-07** faire la distinction entre la sélection naturelle et la sélection artificielle;
RAG : D1, E1, E3
- B12-0-C2** montrer une compréhension approfondie de concepts en biologie,
par exemple utiliser un vocabulaire scientifique approprié, expliquer un concept à une autre personne, faire des généralisations, comparer, identifier des régularités, appliquer ses connaissances à une nouvelle situation ou à un nouveau contexte, tirer des conclusions, créer une analogie, faire des exposés créatifs;
RAG : D1
- B12-0-P2** manifester un intérêt soutenu et éclairé dans la biologie et des enjeux et carrières liés à ce domaine;
RAG : B4
- B12-0-S1** employer des stratégies d'enquête et de résolution de problèmes appropriées pour répondre à une question ou résoudre un problème;
RAG : C2, C3
- B12-0-S5** analyser des données ou des observations afin d'expliquer les résultats et d'en déterminer la portée;
RAG : C2, C4, C5, C8
- B12-0-R1** tirer des informations d'une variété de sources et en faire la synthèse, entre autres imprimées, électroniques, et humaines; différents types d'écrits;
RAG : C2, C4, C6
- B12-0-R2** évaluer l'information obtenue afin de déterminer l'utilité des renseignements,
par exemple l'exactitude scientifique, la fiabilité, le degré d'actualité, la pertinence, l'objectivité, les préjugés;
RAG : C2, C4, C5, C8
- B12-0-R4** communiquer l'information sous diverses formes en fonction du public cible, de l'objet et du contexte.
RAG : C5, C6



Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Démonstration

Fournir aux élèves des échantillons de différents types de courges d'hiver : courge reine-de-table, courge musquée, courge verte de Hubbard, citrouille et courge spaghetti. Tous font partie de la même espèce, *Curcubita maxima*. Demander aux élèves d'expliquer comment, à leur avis, les humains ont réussi à produire autant de variétés différentes de courges d'hiver.

Il est possible aussi de présenter les différentes variétés de *Brassica oleracea* (p. ex., le brocoli, le brocofleur, le chou-fleur, le chou, le chou de Bruxelles, le chou fourrager, le chou-rave, les feuilles de chou-rave, le brocoli chinois, le rapini). Toutes ces variétés ont été dérivées du chou sauvage par voie de la sélection artificielle.

La sélection naturelle et la sélection artificielle sont deux mécanismes de changement dans le fonds génétique d'une population. La principale différence est que dans la sélection artificielle, les humains s'assurent que les individus ayant les caractères les plus souhaitables puissent se reproduire. Dans la sélection naturelle, seuls les individus qui sont les mieux adaptés à leur environnement survivent et se reproduisent.

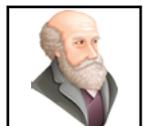
La sélection artificielle est une forme d'accouplement non aléatoire, l'une des causes de changement dans un patrimoine génétique. Pendant des siècles, les éleveurs ont utilisé la variation naturelle dans une population pour apparier sélectivement des plantes ou animaux qui représentent le mieux les propriétés qu'ils voulaient conserver dans les générations futures, comme des vaches produisant plus de lait, des arbres fruitiers aux fruits qui mûrissent plus tôt, du blé qui produit davantage, des chevaux qui courent plus vite. Charles Darwin a su utiliser la sélection artificielle comme modèle de changement dans la nature (c.-à-d. la sélection naturelle).

En quête

Conférencier invité (C2, P2, R1)

Inviter un producteur local de plantes ou d'animaux à venir en classe. Suggérer aux élèves de préparer à l'avance des questions qu'ils poseront à l'invité, par exemple :

- Quel type de plantes ou d'animaux produisez-vous?
- Pour quels types de caractères vos plantes ou animaux sont-ils produits?
- Quelles pratiques d'élevage sélectif utilisez-vous pour vos animaux?
- Comment faites-vous pour faire multiplier vos plantes?



📎 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Proposer aux élèves de faire un résumé de la présentation du conférencier dans leur carnet scientifique, et de répondre aux questions suivantes :

- *Qu'est-ce qui vous a surpris?*
- *Qu'avez-vous trouvé intéressant?*
- *Avez-vous encore des questions?*

Visite sur place (C2, P2, R1)

Visiter une station de recherche sur les végétaux, un horticulteur ou un éleveur local qui fera la démonstration des caractères choisis dans une plante ou chez un animal et les pratiques d'élevage sélectif utilisées. Il s'agit ici d'une bonne occasion d'explorer des carrières dans le domaine.

📎 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Proposer aux élèves de compléter une réflexion dans leur carnet scientifique, en se penchant sur leurs idées au début de l'étude de la sélection artificielle. Comment leurs idées ont-elle changé ou ont-elle été approfondies suite à l'excursion? Les élèves peuvent partager leur réflexion avec un partenaire.

Recherche - la sélection artificielle (C2, R1, R2, R4)

Proposer aux élèves de choisir chacun pour soi une race, une variété ou un cultivar en particulier et de faire une recherche sur cet organisme (p. ex., chat siamois, vache Hereford, rosier hybride de thé, épagneul cocker, blé de force roux de printemps). Les rapports devraient comprendre :

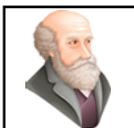
- le nom de la race, de la variété ou du cultivar;
- les caractères ou traits qui en font la particularité;
- une illustration ou photo représentative de cet organisme.

📎 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Inviter les élèves à présenter l'information recueillie selon la méthode de leur choix (p. ex., exposé oral, brochure informative, affiche, présentation multimédia). Élaborer des critères d'évaluation avec les élèves. Peu importe la méthode choisie, les critères devraient comprendre des éléments portant à la fois sur le contenu et la présentation. Voir 📎 l'annexe 3 du regroupement 1 pour des informations sur la co-construction de critères d'évaluation avec les élèves.

En fin

Étude de cas - « Où sont passés tous les trèfles à quatre feuilles? » (C2, S1, S5)

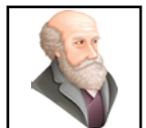
Inviter les élèves à compléter l'étude de cas à 📎 l'annexe 16 (le corrigé figure à 📎 l'annexe 17).



Bloc G : La génétique des populations

L'élève sera apte à :

- B12-3-08** décrire de façon sommaire comment les scientifiques déterminent si un pool génétique a changé, selon les critères de l'équilibre génétique, entre autres grande population, accouplement aléatoire, absence de flux génétique, absence de mutation, absence de sélection naturelle;
RAG : D1, E3
- B12-3-09** discuter de la façon dont la variation génétique dans un pool génétique peut être modifiée,
par exemple la sélection naturelle, le flux génétique, la dérive génétique, l'accouplement non aléatoire, la mutation;
RAG : D1, E1, E3
- B12-0-C1** utiliser des stratégies et des habiletés appropriées pour développer une compréhension de concepts en biologie,
par exemple utiliser des cadres de concepts, des cadres de tri et de prédiction, des schémas conceptuels;
RAG : D1
- B12-0-C2** montrer une compréhension approfondie de concepts en biologie,
par exemple utiliser un vocabulaire scientifique approprié, expliquer un concept à une autre personne, faire des généralisations, comparer, identifier des régularités, appliquer ses connaissances à une nouvelle situation ou à un nouveau contexte, tirer des conclusions, créer une analogie, faire des exposés créatifs;
RAG : D1
- B12-0-P3** reconnaître l'importance de maintenir la biodiversité et le rôle que peuvent jouer les particuliers à cet égard;
RAG : B5
- B12-0-S3** enregistrer, organiser et présenter des données au moyen d'un format approprié;
RAG; C2, C5
- B12-0-S5** analyser des données ou des observations afin d'expliquer les résultats et d'en déterminer la portée.
RAG : C2, C4, C5, C8



Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Activité – introduction à la génétique des populations

Distribuer aux élèves environ 20 jetons ou morceaux de papier d'une couleur qui représenteront un allèle dominant, et environ 10 jetons d'une couleur différente qui représentent un allèle récessif. Les élèves peuvent assigner un trait quelconque à chacun des allèles, par exemple lobes d'oreilles détachés pour l'allèle dominant et lobes d'oreilles attachées pour l'allèle récessif. Indiquer aux élèves que l'ensemble de tous ces allèles représente le *pool génétique*.

Demander aux élèves de former des paires avec leurs allèles. Il devrait y avoir trois possibilités : homozygote récessif, homozygote dominant et hétérozygote. Demander ensuite aux élèves de calculer la *fréquence génotypique* (proportion de la population ayant un génotype particulier) en comptant le nombre de paires ayant un génotype particulier et divisant cela par le nombre total de paires (population). Leur demander ensuite de calculer la *fréquence phénotypique* (proportion de la population ayant un phénotype particulier). Finalement, leur demander de calculer la fréquence allélique (proportion de la population ayant un allèle particulier) en comptant le nombre d'allèles particuliers et en divisant cela par le nombre total d'allèles.

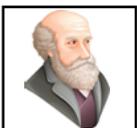
En quête

Enseignement direct – le principe Hardy-Weinberg (C1)

Introduire le principe de Hardy-Weinberg aux élèves. Ce principe correspond à un modèle mathématique portant sur la fréquence des allèles dans un pool génique (voir *Biologie 11-12*, p. 678, ou *Biologie 12*, p. 371). Si la fréquence des allèles ne varie pas dans une population au cours des générations successives, il n'y a pas d'évolution et la population est en équilibre. Pour que l'équilibre soit maintenu, plusieurs conditions doivent être présentes, à savoir :

1. absence de mutation, donc pas de changement dans les allèles;
2. absence d'immigration et d'émigration, sinon il y aurait altération du pool génique;
3. population nombreuse, pour que les changements ne surviennent pas seulement de façon aléatoire;
4. toute la reproduction doit se faire de façon totalement aléatoire pour qu'une forme de l'allèle ne soit pas privilégiée au détriment de l'autre;
5. toutes les formes de l'allèle doivent se reproduire aussi bien pour qu'il n'y ait pas de sélection naturelle.

Présenter aux élèves les conditions requises pour maintenir l'équilibre génétique avant d'amorcer une discussion sur l'équation de Hardy-Weinberg. Cette équation représente une population où il n'y a pas d'évolution. Souligner le fait qu'il est pratiquement impossible de remplir toutes ces conditions, donc la fréquence allélique varie et il y a évolution au sein des populations.



Le principe de Hardy-Weinberg sert également à expliquer pourquoi les génotypes d'une population ont tendance à demeurer les mêmes, et à déterminer la fréquence d'un allèle récessif.

La principale application du principe de Hardy-Weinberg dans la génétique des populations se fait dans le calcul des fréquences d'allèles et de génotypes dans une population. C'est le moyen qui permet de déterminer les variations de fréquence allélique et leur taux de changement.

Présenter aux élèves les calculs des fréquences alléliques et génotypiques d'après l'équation de Hardy-Weinberg ($p^2 + 2pq + q^2 = 1$).

Dans une population stable, la fréquence des allèles égale 1. Quand il y a deux allèles possibles, on peut exprimer ainsi : $p + q = 1$, où :

p = fréquence de l'allèle dominant
 q = fréquence de l'allèle récessif

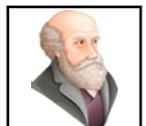
Utiliser les données ci-dessus pour illustrer l'équation de Hardy-Weinberg ($p^2 + 2pq + q^2 = 1$) où :

p^2 = fréquence des individus homozygotes pour l'allèle dominant
 q^2 = fréquence des individus homozygotes pour l'allèle récessif
 $2pq$ = fréquence des individus avec le génotype hétérozygote

La distribution de l'allèle responsable de la drépanocytose (anémie falciforme) peut être utilisée comme exemple pour les calculs. Dans certaines régions de l'Afrique, la fréquence de l'allèle récessif de la drépanocytose est de 0,30. La fréquence de l'allèle de l'hémoglobine normale se calcule donc comme suit :

$$\begin{aligned}1 - 0,30 &= 0,70 \\2pq &= 2 \times 0,70 \times 0,30 = 0,42 = Ss \text{ (42 \% de la population)} \\p^2 &= 0,30^2 = 0,09 = ss \text{ (9 \% de la population atteinte de drépanocytose)} \\p^2 + 2pq + q^2 &= 1 \\0,49 + 0,42 + 0,09 &= 1\end{aligned}$$

D'après ces calculs, on peut déterminer que malgré le pourcentage relativement faible d'individus (9 %) dans la population qui sont atteints de drépanocytose, l'allèle récessif est largement distribué dans la population. En fait, 51 % des habitants de ces régions sont porteurs d'au moins un allèle de la drépanocytose. On peut se servir de cet exemple pour illustrer le fait que les allèles récessifs ne disparaissent pas d'une population, même si le nombre d'individus ayant la condition homozygote récessive est très bas.



- ☞ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Inviter les élèves à compléter un cadre de concept pour décrire le principe de Hardy-Weinberg (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.23-11.26).

Activité de laboratoire – le principe de Hardy-Weinberg (S3, S5)

Diverses activités de laboratoire intègrent l'équation de Hardy-Weinberg dans leurs simulations de la génétique des populations (voir *Biologie 11-12*, p. 686-687, *Biologie 12*, p. 374-375, ou ☞ l'annexe 18). Le corrigé de l'annexe 18 figure à ☞ l'annexe 19.

- ☞ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Évaluer les réponses que l'élève a fournies aux questions posées. On peut aussi demander aux élèves de résumer ce qu'ils ont fait pour l'activité, d'expliquer l'objectif de l'activité, de décrire les résultats et ce qu'ils signifient, de décrire ce qui n'est pas encore clair et de noter au moins deux nouvelles choses qu'ils ont appris lors de cette activité (Keeley, 2008, p. 172-173).

Enseignement direct – le changement dans un pool génétique (C1)

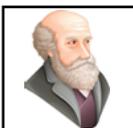
Utiliser des diagrammes et l'équation de Hardy-Weinberg pour démontrer comment les fréquences d'allèles dans une population fondatrice peuvent évoluer différemment de la population parente (voir *Biologie 11 STSE*, p. 352-360, *Biologie 11-12*, p. 689-697, ou *Biologie 12*, p. 377-386).

On connaît bon nombre d'exemples de l'effet fondateur dans les populations humaines, notamment :

- la tyrosinémie dans la région du Saguenay-Lac Saint Jean au Québec (voir ☞ l'annexe 17 du regroupement 1);
- la myopathie des ceintures chez les Huttérites du Manitoba;
- la rétinite pigmentaire dans l'île de Tristan da Cunha;
- la chondrodysplasie ou maladie d'Ellis-van Creveld dans la communauté amish de Pennsylvanie.

- La sélection naturelle influe sur les variations dans une population, car les individus les plus aptes survivent et se reproduisent, transmettant leurs gènes aux générations successives.
- Les migrations entrantes et sortantes d'individus d'une population influent sur les fréquences alléliques, donc sur le flux génétique.
- Les changements dans le pool génique d'une petite population qui sont dus au hasard entraînent une dérive génétique. L'effet de goulot d'étranglement est une forme de dérive génétique qui résulte de l'extinction quasi complète d'une population. L'effet fondateur représente une forme de dérive génétique où un petit nombre d'individus colonisent un nouveau secteur. Dans les deux cas, la fréquence des allèles peut changer de façon spectaculaire.
- Chez les animaux, l'accouplement non aléatoire (dirigé) est plus souvent le cas puisque le choix des partenaires joue souvent un rôle important dans le comportement (p. ex., parade nuptiale). Bien des plantes s'autopollinisent, ce qui est une forme d'autofécondation ou de reproduction non aléatoire.
- Les mutations, bien que rares, se produisent constamment. Elles sont la source de nouveaux allèles ou de variations qui peuvent enclencher une sélection naturelle.

Grâce au résultat d'apprentissage B12-3-08, les élèves connaîtront les conditions requises pour maintenir l'équilibre génétique. S'assurer qu'ils comprennent comment les fréquences alléliques changent dans les populations étant donné qu'il est pratiquement impossible d'avoir ces conditions présentes en même temps. Utiliser ce point pour lancer la discussion sur la façon dont la variation génétique peut altérer un pool génique.



- ✎ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Demander aux élèves de compléter un billet de sortie décrivant les points les plus importants qui ont contribué à leur compréhension.

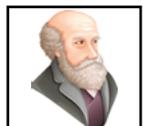
En fin

Étude de cas (C2, P3)

Voir @ l'annexe 20, qui présente une étude de cas sur la grue blanche.

- ✎ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Le corrigé de l'annexe 20 figure à @ l'annexe 21. Évaluer si les réponses des élèves sont logiques et exactes.

Pour plus de détails sur la grue blanche, consulter le site d'Environnement Canada au http://www.sararegistry.gc.ca/species/speciesDetails_f.cfm?sid=34.



Bloc H : La spéciation

L'élève sera apte à :

- B12-3-10** décrire comment une population peut devenir isolée sur le plan reproductif, *par exemple isolement géographique, différenciation de niche, comportement modifié, physiologie modifiée;*
RAG : D1, E2
- B12-0-C1** utiliser des stratégies et des habiletés appropriées pour développer une compréhension de concepts en biologie, *par exemple utiliser des cadres de concepts, des cadres de tri et de prédiction, des schémas conceptuels;*
RAG : D1
- B12-0-C2** montrer une compréhension approfondie de concepts en biologie, *par exemple utiliser un vocabulaire scientifique approprié, expliquer un concept à une autre personne, faire des généralisations, comparer, identifier des régularités, appliquer ses connaissances à une nouvelle situation ou à un nouveau contexte, tirer des conclusions, créer une analogie, faire des exposés créatifs;*
RAG : D1
- B12-0-G1** collaborer avec les autres afin d'assumer les responsabilités et d'atteindre les objectifs d'un groupe;
RAG : C2, C4, C7
- B12-0-G3** évaluer les processus individuels et collectifs employés.
RAG : C2, C4, C7

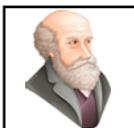
Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Les pinsons de Darwin

Obtenir des illustrations ou diagrammes de certains des quatorze pinsons des îles Galapagos montrant leur bec, et recueillir des données sur le régime alimentaire de chacune des espèces illustrées. Demander aux élèves de tenter d'expliquer l'évolution de ces différences par rapport à l'espèce d'origine.

Si désiré, discuter avec les élèves la définition d'espèce (voir B12-4-02, pour des informations supplémentaires). Le biologiste Ernst Mayer définissait une espèce comme étant une communauté reproductrice de populations (isolées des autres du point de vue reproductif) qui occupent une niche écologique particulière dans la nature.



En quête

Stratégie Jigsaw - la spéciation allopatrique (C2, G1, G3)

Diviser la classe en quatre groupes. Assigner à chaque groupe d'élèves un stade particulier du processus de spéciation allopatrique (stade 1 : deux populations avec un flux génétique normal; stade 2 : le flux génétique est bloqué par un obstacle géographique; stade 3 : les différences génétiques s'accumulent; stade 4 : les deux populations sont isolées sur le plan génétique).

Inviter ensuite chaque groupe à faire une recherche sur les caractéristiques et les événements correspondant à son stade, et à préparer un résumé.

Reformer les groupes de façon que chaque nouveau groupe compte un élève expert de chacun des groupes précédents. Inviter chaque expert à partager son résumé avec les membres de son nouveau groupe. Ainsi, tous les élèves de la classe recevront les sommaires de tous les groupes. S'il y a des copies papier qui sont fournies, les experts doivent être prêts à discuter des points importants de leur résumé.

Lorsqu'une partie de la population devient isolée géographiquement de la population mère, il peut se produire une spéciation allopatrique. L'isolement géographique peut survenir à cause de la formation d'obstacles physiques comme des montagnes, des canyons, l'élévation du niveau de la mer, la formation de glaciers. L'obstacle physique empêche le flux génétique entre les deux populations. Si les deux populations sont soumises à des pressions de sélection naturelle différentes, la fréquence des allèles sera modifiée. Les deux populations peuvent accumuler des différences génétiques substantielles si bien qu'elles peuvent devenir isolées sur le plan de la reproduction et sont incapables de s'interféconder, d'où l'établissement de deux espèces distinctes.

Quand le flux génétique entre les membres d'une population est limité à cause de l'isolement géographique (différenciation des niches), une spéciation sympatrique peut se produire. Certains membres d'une population peuvent s'adapter davantage à un habitat légèrement différent dans un écosystème, et commencer à se spécialiser dans cet habitat. Les différentes pressions sélectives dans les deux habitats induisent des variations génétiques dans les organismes. Les deux populations deviennent isolées génétiquement et deux espèces distinctes voient le jour, malgré l'absence d'obstacles physiques pouvant causer le fractionnement de la population.

Les altérations du comportement peuvent mener à un isolement sur le plan de la reproduction. Advenant qu'un groupe de mammifères nocturnes deviennent actifs durant la journée, ils ne pourraient plus s'interféconder avec leurs semblables qui sont actifs la nuit. La mutation chromosomique peut aussi induire un isolement au niveau de la reproduction. Une anomalie du processus de la méiose d'une plante peut mener à la polyploïdie (formation de multiples copies de chromosomes). Comme les plantes peuvent se reproduire par multiplication asexuée et s'autopolliniser, le nouveau polyploïde peut se reproduire, même s'il est isolé génétiquement de ses parents.



- 📎 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Inviter les élèves à compléter une évaluation de leur travail de groupe à l'aide de l'annexe 21 du regroupement 1.

Enseignement direct - la spéciation (C1)

Utiliser des exemples réels ou hypothétiques pour compléter une discussion sur le processus de différenciation des espèces (spéciation). Rappeler aux élèves qu'il y a apparition de nouvelles espèces quand des membres d'une population deviennent isolés les uns des autres sur le plan de la reproduction et qu'ils ne peuvent plus s'interféconder et produire des hybrides féconds dans leur environnement naturel (voir *Biologie 11 STSE*, p. 362-369, ou *Biologie 12*, p. 398-403. Utiliser la stratégie « pause de trois minutes » (Keeley, p. 195) pour donner aux élèves du temps de réflexion après des séquences d'enseignement. Donner trois minutes aux élèves pour qu'ils puissent résumer, clarifier ou discuter de leur compréhension avec un partenaire ou en petit groupe. Utiliser un minuteur pour permettre aux élèves de surveiller le temps. Une fois les trois minutes écoulées, continuer les explications.

- 📎 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Poser la question suivante aux élèves à la fin de la leçon :

- *Comment votre compréhension de la spéciation a-t-elle changé suite aux informations présentées?*

Les élèves peuvent discuter en petit groupe et ensuite noter leurs réflexions dans leur carnet scientifique.

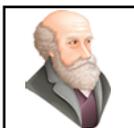
En fin

Schéma conceptuel sur la spéciation (C2)

Fournir aux élèves la liste suivante de termes clés relatifs à la spéciation : *population, pool génétique, spéciation, isolement sur le plan de la reproduction, adaptation, interféconder, espèce, sélection.*

Demander aux élèves d'utiliser les termes clés et tout autre terme qu'ils veulent ajouter pour créer un schéma conceptuel illustrant le processus de la spéciation. Suggérer aux élèves d'articuler leur schéma conceptuel autour du type de spéciation (p. ex., allopatrique, sympatrique) ou d'un exemple réel ou hypothétique (les pinsons de Darwin, l'isolement géographique dû à la formation d'une mer intérieure, etc.).

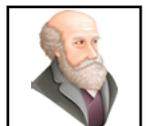
- 📎 **Stratégie d'évaluation suggérée** : Évaluer si la disposition et les liens des schémas conceptuels sont logiques, et si les termes sont utilisés à bon escient.



Bloc I : L'évolution convergente et divergente

L'élève sera apte à :

- B12-3-11** à l'aide d'exemples, faire la distinction entre l'évolution convergente et l'évolution divergente (rayonnement adaptatif);
RAG : D1, E1
- B12-0-C1** utiliser des stratégies et des habiletés appropriées pour développer une compréhension de concepts en biologie,
par exemple utiliser des cadres de concepts, des cadres de tri et de prédiction, des schémas conceptuels;
RAG : D1
- B12-0-C2** montrer une compréhension approfondie de concepts en biologie,
par exemple utiliser un vocabulaire scientifique approprié, expliquer un concept à une autre personne, faire des généralisations, comparer, identifier des régularités, appliquer ses connaissances à une nouvelle situation ou à un nouveau contexte, tirer des conclusions, créer une analogie, faire des exposés créatifs;
RAG : D1
- B12-0-R1** tirer des informations d'une variété de sources et en faire la synthèse, entre autres imprimées, électroniques, et humaines; différents types d'écrits;
RAG : C2, C4, C6
- B12-0-R2** évaluer l'information obtenue afin de déterminer l'utilité des renseignements,
par exemple l'exactitude scientifique, la fiabilité, le degré d'actualité, la pertinence, l'objectivité, les préjugés;
RAG : C2, C4, C5, C8
- B12-0-R3** citer ou noter des références bibliographiques selon les pratiques acceptées;
RAG : C2, C6
- B12-0-R4** communiquer l'information sous diverses formes en fonction du public cible, de l'objet et du contexte.
RAG : C5, C6



Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Question d'introduction

Rappeler aux élèves la signification du terme homologue, comme dans chromosomes homologues. Poser les questions suivantes aux élèves :

- *Que signifie homologue dans ce cas?* (Chromosomes similaires ou apparentés)
- *D'après vos connaissances sur les chromosomes homologues, pouvez-vous dire ce que signifie l'expression « structures homologues »?* (Structures similaires ou apparentées chez divers organismes, par exemple, le bras chez l'humain, l'aile de l'oiseau, les pattes antérieures du chien)
- *Que signifie le terme analogue?* (Similitude partielle, correspondance quelconque).
- *Pouvez-vous dire à quoi l'expression « structures analogues » s'applique?* (Structures correspondantes par leur fonction, mais non apparentées par leur origine, par exemple, l'aile du papillon et celle de l'oiseau)

En quête

Démonstration (C1)

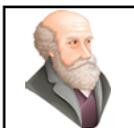
Obtenir des spécimens d'ailes d'oiseaux (dindon, poulet, canard) et des spécimens d'ailes d'insectes (papillons, papillons de nuit). Utiliser les ailes d'oiseaux pour illustrer des structures homologues. Décrire la structure et la fonction d'une aile d'oiseau et demander aux élèves de reconnaître les structures homologues dans les ailes de divers oiseaux.

Présenter les ailes d'insectes. Décrire la structure et la fonction de l'aile d'un insecte et demander aux élèves d'indiquer les structures homologues dans les ailes de divers insectes. Souligner le fait que les structures homologues sont des preuves que les organismes ont évolué à partir d'un ancêtre commun. Les différences entre les structures homologues résultent d'adaptations à différents environnements.

L'évolution divergente (aussi appelée rayonnement adaptatif) est le processus par lequel une espèce ancestrale donne naissance à un certain nombre de nouvelles espèces adaptées à des conditions environnementales différentes. Cela se produit souvent quand une espèce colonise un nouvel environnement dans lequel il y a des niches écologiques inoccupées. Par exemple, le rayonnement adaptatif des hémignathes d'Hawaï et des pinsons de Darwin s'est produit sur des îles. Dans d'autres cas, le rayonnement adaptatif se déroule après l'extinction de beaucoup d'espèces. Une augmentation rapide du nombre d'espèces de mammifères s'est produite après l'extinction massive des dinosaures.

L'évolution convergente est le processus par lequel différents organismes qui vivent dans des habitats similaires deviennent plus semblables en apparence et en comportement. Comme ils subissent des pressions environnementales similaires, ces organismes développent des structures analogues. Par exemple, les dauphins et les requins vivent tous dans l'eau et utilisent leur queue pour se propulser. Mais malgré leur ressemblance, la queue des dauphins n'a pas la même origine que celle des requins. Les requins bougent la queue latéralement, tandis que les dauphins battent de la queue verticalement. De même, les ailes de la chauve-souris, du papillon et des oiseaux sont des structures analogues.

Faire la distinction entre structures homologues et structures analogues, à l'aide d'illustrations ou de diagrammes. Les structures homologues sont des preuves d'évolution car elles indiquent une parenté avec un ancêtre commun. Les structures analogues fournissent également des preuves d'évolution puisqu'elles montrent à quel point des organismes dissemblables peuvent s'adapter de façon indépendante à des environnements similaires.



✎ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Inviter les élèves à comparer les ailes d'oiseaux avec des ailes d'insectes et de noter leurs idées. Leur faire remarquer qu'elles ont une fonction similaire, mais que leurs structures diffèrent. Les ailes d'oiseaux et d'insectes sont des structures analogues. Elles n'ont pas d'ancêtre commun, mais elles ont des fonctions semblables. Les structures analogues sont le résultat d'adaptations à des environnements similaires. Revoir les réponses des élèves afin de vérifier leur compréhension.

Enseignement direct - l'évolution convergente et divergente (C2)

Comparer l'évolution divergente et convergente en mettant l'accent sur les principales différences entre les deux mécanismes. Intégrer des exemples à la discussion (voir *Biologie 11 STSE*, p. 370, ou *Biologie 12*, p. 411-412).

✎ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Inviter les élèves à relever, à l'aide d'un cadre de comparaison, les ressemblances et les différences entre l'évolution convergente et divergente (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.15-10.18).

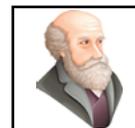
En fin

Recherche - les structures homologues et analogues (C2, R1, R2, R3, R4)

Proposer aux élèves de faire une recherche pour présenter des exemples de structures homologues et analogues (p. ex., l'aile d'une bernache, l'aile d'une chauve-souris et l'aile d'un moustique). Préciser que cette recherche devrait comprendre :

- des exemples de deux organismes qui ont une structure homologue;
- une description de la structure homologue;
- une explication indiquant en quoi la différence de structure représente une adaptation à un environnement différent;
- un exemple d'organisme doté d'une structure analogue à l'une des structures homologues;
- une description de la structure analogue;
- une explication indiquant en quoi la similitude de fonction est une adaptation à un environnement similaire.

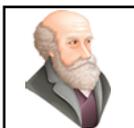
✎ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Élaborer des critères d'évaluation avec les élèves et évaluer les rapports selon ces critères. Voir ☞ l'annexe 3 du regroupement 1 pour des informations sur la co-construction de critères.



Bloc J : La vitesse de l'évolution

L'élève sera apte à :

- B12-3-12** faire la distinction entre les deux modèles sur la vitesse du changement évolutif, soit l'équilibre intermittent et le gradualisme;
RAG : D1, E3
- B12-0-C1** utiliser des stratégies et des habiletés appropriées pour développer une compréhension de concepts en biologie,
par exemple utiliser des cadres de concepts, des cadres de tri et de prédiction, des schémas conceptuels;
RAG : D1
- B12-0-C2** montrer une compréhension approfondie de concepts en biologie,
par exemple utiliser un vocabulaire scientifique approprié, expliquer un concept à une autre personne, faire des généralisations, comparer, identifier des régularités, appliquer ses connaissances à une nouvelle situation ou à un nouveau contexte, tirer des conclusions, créer une analogie, faire des exposés créatifs;
RAG : D1
- B12-0-R4** communiquer l'information sous diverses formes en fonction du public cible, de l'objet et du contexte;
RAG : C5, C6
- B12-0-G2** susciter et clarifier des questions, des idées et des points de vue divers lors d'une discussion, et y réagir;
RAG : C2, C4, C7
- B12-0-N1** décrire le rôle des données dans l'acquisition des connaissances scientifiques ainsi que la manière dont les connaissances évoluent lorsque de nouvelles données sont présentées.
RAG : A2



Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Remue-méninges

Présenter le sujet en posant les questions suivantes aux élèves :

- Vous êtes-vous déjà demandé si l'évolution se fait rapidement?
- Est-ce que l'évolution se fait toujours au même rythme, tout le temps?

Donner aux élèves l'occasion de discuter en petit groupe, puis de noter leurs réflexions dans leur carnet scientifique

En quête

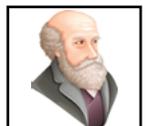
Discussion - À quelle vitesse l'évolution se déroule-t-elle? (C2, G2)

Mener une discussion au sujet de la vitesse de l'évolution. Mentionner que selon les études de fossiles, certains groupes d'organismes semblent n'avoir aucunement changé pendant des millions d'années. Inviter les élèves à réfléchir au fait que le rythme de l'évolution chez certains organismes comme la coquerelle, le requin et la prêle (*Equisetum sp.*, un type de plante) est si lent, et à tenter d'expliquer pourquoi. Réponses possibles :

- une sélection stabilisatrice tend à garder la fréquence des allèles relativement constante, ce qui limite l'évolution;
- les conditions environnementales restent assez constantes;
- un petit nombre de mutations chromosomiques sont survenues.

Faire remarquer aux élèves que les études sur les fossiles montrent que certains groupes d'organismes semblent avoir fait l'objet d'épisodes de différenciation rapide. Leur demander de réfléchir aux raisons pouvant expliquer cette évolution si rapide, et de formuler certaines explications sur le sujet. Exemples : le rayonnement adaptatif chez les pinsons des îles Galapagos, l'explosion des phylums d'animaux à la période cambrienne, la multiplication des espèces de mammifères durant l'ère tertiaire. Réponses possibles :

- dérive génétique dans une petite population isolée;
- extinction massive de bien des formes de vie (p. ex., dinosaures);
- changements rapides des conditions environnementales (p. ex., collision avec un météore, période de glaciation);
- exploitation de nouvelles niches écologiques (par suite d'une extinction ou par colonisation).



- ✎ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Inviter les élèves à relever, à l'aide d'un cadre de comparaison, les ressemblances et les différences entre le gradualisme et l'équilibre intermittent (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.15-10.18).

Enseignement direct – la vitesse de l'évolution (C1)

À l'aide d'illustrations, faire la différence entre les deux modèles portant sur le rythme des changements évolutifs (voir *Biologie 11 STSE*, p. 371, *Biologie 12*, p. 414-416, ou @ l'annexe 22). Souligner le fait qu'il s'agit de modèles extrêmes. La majorité des biologistes évolutionnistes estiment que certains aspects des deux modèles surviennent durant l'histoire de l'évolution d'une espèce. À certains stades, on assiste à une évolution graduelle due à la sélection stabilisatrice et à des conditions environnementales constantes. À d'autres moments, il se produit une dérive génétique, une sélection directionnelle, des changements soudains dans l'environnement ou une coévolution, qui peuvent tous déboucher sur des changements rapides.

- ✎ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Proposer aux élèves de compléter un billet de sortie (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 13.9 et 13.10). Voici des exemples de questions :

- Décrivez les questions les plus importantes ayant été soulevées selon vous durant la leçon.
- Qu'avez-vous appris durant cette leçon?
- Avez-vous encore des questions par rapport à la leçon? Lesquelles?

En fin

Questions de réflexion sur la vitesse de l'évolution (C2, R4, N1)

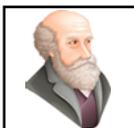
Poser les questions suivantes aux élèves :

- Comment les défenseurs de l'équilibre intermittent expliquent-ils la rareté des formes transitoires (les chaînons manquants) dans les études sur les fossiles?
- Comment leur explication diffère-t-elle de celle proposée par les partisans du gradualisme?

Leur demander de noter leurs réponses dans leur carnet scientifique.

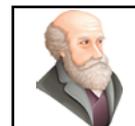
- ✎ **Stratégie d'évaluation suggérée** : Évaluer si les réponses des élèves sont logiques.
Réponses possibles :

- Les partisans de l'équilibre intermittent soutiennent qu'il manque des formes transitoires entre deux espèces à cause de la rapidité du phénomène d'évolution (sur une courte période).
- Les gradualistes pensent qu'il manque des formes d'organismes transitoires (ou chaînons manquants) entre les espèces dans les études sur les fossiles parce que ces formes sont rares.



LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Guide d'anticipation.....	3.54
ANNEXE 2 : Guide d'anticipation – Corrigé	3.55
ANNEXE 3 : La nature des sciences et l'évolution	3.56
ANNEXE 4 : L'histoire de Charles Darwin	3.57
ANNEXE 5 : Stratégie PPPST – rédaction créative.....	3.58
ANNEXE 6 : Simulation de sélection naturelle.....	3.59
ANNEXE 7 : Simulation de sélection naturelle – Renseignements pour l'enseignant.....	3.61
ANNEXE 8 : Les adaptations – Renseignements pour l'enseignant.....	3.63
ANNEXE 9 : Sélection naturelle dans un bol à bonbons	3.64
ANNEXE 10 : Sélection naturelle chez <i>Legocarnivora</i>	3.66
ANNEXE 11 : Sélection naturelle chez <i>Legocarnivora</i> – Réponses	3.70
ANNEXE 12 : J'examine un plant de trèfle à feuille rayées – une étude de cas sur la sélection naturelle	3.71
ANNEXE 13 : Les effets de la sélection sur la variation – Renseignements pour l'enseignant	3.79
ANNEXE 14 : Recherche sur la variation.....	3.80
ANNEXE 15 : Recherche sur la variation – Réponses.....	3.82
ANNEXE 16 : Étude de cas – Où sont passés tous les trèfles à quatre feuilles?.....	3.83
ANNEXE 17 : Où sont passés tous les trèfles à quatre feuilles? – Réponses	3.84
ANNEXE 18 : Investigation – Le principe Hardy-Weinberg	3.85
ANNEXE 19 : Le principe Hardy-Weinberg – Réponses	3.87
ANNEXE 20 : Étude de cas – Goulot d'étranglement dans une population (espèce menacée).....	3.88
ANNEXE 21 : Goulot d'étranglement dans une population (espèce menacée) – Réponses.....	3.89
ANNEXE 22 : La vitesse de l'évolution.....	3.90

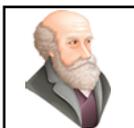


ANNEXE 1 : Guide d'anticipation*

Lis les énoncés suivants et indique pour chacun d'eux s'ils sont vrais ou faux, d'après l'idée que tu as de l'utilisation et de la compréhension du terme évolution par les biologistes aujourd'hui. Tu n'as PAS besoin d'être D'ACCORD avec l'énoncé pour indiquer qu'il est vrai, il faut répondre selon ce que tu crois être le point de vue des biologistes.

Énoncés	Ta réponse (vrai ou faux)
L'évolution a été proposée et expliquée pour la première fois par Charles Darwin.	
L'évolution a fait l'objet de nombreuses vérifications et a toujours été appuyée par des preuves.	
L'évolution est quelque chose qui se passe sur le plan individuel.	
L'évolution est un processus qui inclut l'origine de la vie.	
L'évolution est un fait scientifique.	
L'évolution, c'est la même chose que la sélection naturelle.	
L'évolution n'est qu'une théorie.	
L'évolution est quelque chose qui appartient au passé, elle ne se produit plus aujourd'hui.	
L'évolution fournit une explication à la formation de structures complexes comme l'œil.	
La science peut déduire ce qui est arrivé dans le passé, à partir de faits.	

* University of Indiana, « Evolution Survey », *Evolution and the Nature of Science Institutes*, <http://www.indiana.edu/~ensiweb/lessons/unt.ev.f.html>. Adaptation autorisée par la University of Indiana.

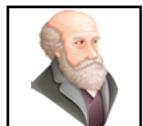


ANNEXE 2 : Guide d'anticipation – Corrigé*

Le but du questionnaire est de déterminer le degré de compréhension du sujet des élèves de la classe afin de pouvoir examiner les idées fausses. Dans tous les énoncés ci-dessous, *évolution* désigne l'évolution biologique. Lis les énoncés suivants et indique pour chacun d'eux s'ils sont vrais ou faux, d'après l'idée que tu as de l'utilisation et de la compréhension du terme *évolution* par les biologistes aujourd'hui. Tu n'as PAS besoin d'être D'ACCORD avec l'énoncé pour indiquer qu'il est vrai, il faut répondre selon ce que tu crois être le point de vue des biologistes.

Énoncés	Ta réponse (vrai ou faux)
L'évolution a été proposée et expliquée pour la première fois par Charles Darwin.	FAUX : D'autres personnes avaient déjà proposé l'idée que les espèces changent au fil du temps.
L'évolution a fait l'objet de nombreuses vérifications et a toujours été appuyée par des preuves.	VRAI : La somme des preuves de l'évolution est considérable et continue de grossir. Toutes les observations effectuées appuient l'évolution.
L'évolution est quelque chose qui se passe sur le plan individuel.	FAUX : L'évolution se fait au sein des populations, et non chez les individus.
L'évolution est un processus qui inclut l'origine de la vie.	FAUX : L'évolution traite uniquement de l'origine des espèces.
L'évolution est un fait scientifique.	VRAI : On a pu observer directement l'évolution; il n'existe aucune preuve à l'encontre de l'évolution.
L'évolution, c'est la même chose que la sélection naturelle.	FAUX : La sélection naturelle est une théorie qui explique le mécanisme de l'évolution.
L'évolution n'est qu'une théorie.	FAUX : L'évolution est un fait prouvé scientifiquement. Il s'agit d'un phénomène observable.
L'évolution est quelque chose qui appartient au passé, elle ne se produit plus aujourd'hui.	FAUX : L'évolution est un phénomène constant.
L'évolution fournit une explication à la formation de structures complexes comme l'œil.	VRAI : L'évolution n'est pas un fait de hasard ou un accident, elle dépend de certains facteurs.
La science peut déduire ce qui est arrivé dans le passé, à partir de faits.	VRAI : Il n'y a pas d'observations empiriques d'une forme de vie, existante ou disparue, pour laquelle l'évolution ne peut pas fournir une explication.

* University of Indiana, « Evolution Survey », *Evolution and the Nature of Science Institutes*, <http://www.indiana.edu/~ensiweb/lessons/unt.ev.f.html>. Adaptation autorisée par la University of Indiana.

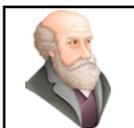


Annexe 3 : La nature des sciences et l'évolution

Les non-scientifiques peuvent confondre deux aspects du terme évolution. Certains pensent que l'évolution n'est qu'une théorie, et que par conséquent elle n'est pas aussi crédible qu'une loi. Saisir l'occasion pour discuter du fait que les théories sont des explications de phénomènes observés et s'appuient sur une somme importante de preuves et d'expériences. Les théories ne sont jamais « prouvées » pour devenir des lois; elles continuent d'être peaufinées à mesure que l'on accumule des données probantes les appuyant, ou bien elles sont rejetées lorsqu'une meilleure explication (ou théorie) relative au phénomène est proposée. Les lois sont des généralisations ou des profils appliqués à la nature (comme la loi de Boyle, la loi de Newton sur la gravité, les lois de la thermodynamique), souvent exprimées sous forme de formules mathématiques.

Certaines difficultés associées à l'évolution apparaissent lorsqu'on fait la distinction entre l'évolution (le fait) et l'explication de la façon dont l'évolution s'est produite (la théorie). L'évolution est effectivement un fait, une réalité. Une foule de données probantes résultant de recherches sur les fossiles, et d'études embryologiques, morphologiques, biochimiques (ADN), etc., démontrent qu'il s'est produit une évolution entre les organismes modernes et leurs lointains ancêtres, et que les espèces modernes continuent de se transformer au fil du temps. Ce qui est moins certain, c'est le mécanisme exact sur lequel repose cette évolution. Plusieurs théories tentent d'expliquer le phénomène. Charles Darwin a proposé une théorie – la sélection naturelle – pour expliquer le mécanisme en jeu dans l'évolution. Même aujourd'hui, les biologistes continuent de débattre des mécanismes de l'évolution.

Les élèves devraient comprendre que l'un des principaux éléments de la nature de la science est qu'il y a des limites aux questions que la science peut se poser. La science et ses méthodes ne peuvent fournir de réponses à des questions morales, éthiques, esthétiques, sociales et métaphysiques, car la science se fonde sur des données probantes rassemblées en étudiant la nature, que ce soit directement ou par déduction. Les explications qui ne sont pas fondées sur des données empiriques ne font pas partie du domaine des sciences, donc ne sont pas traitées dans un cours de sciences de la nature. Les scientifiques peuvent avoir leurs opinions personnelles sur ces autres questions, mais les recherches scientifiques ne peuvent y répondre.



Annexe 4 : L'histoire de Charles Darwin

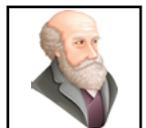
L'histoire de Charles Darwin est fascinante. Bien qu'il soit associé à l'étude de la biologie, ce chercheur était en fait diplômé en théologie de l'Université de Cambridge. Il avait commencé des études en médecine, mais décida de changer d'orientation quand il se rendit compte qu'il ne pouvait supporter la vue du sang.

En fait, Darwin s'intéressait à l'histoire naturelle. Il aimait faire des randonnées en forêt, observer la nature, ramasser et classer des spécimens de plantes et d'insectes. Un jour, John Henslow, botaniste qui accompagne Darwin dans ses randonnées, le recommande à Robert Fitzroy, capitaine du HMS Beagle, comme compagnon de voyage. En 1831, le Beagle largue les amarres avec Charles Darwin à son bord.

Durant cinq ans, Darwin observe et recueille des spécimens géologiques et biologiques tout au long de son voyage. Les lettres et spécimens qu'il envoie chez lui pendant ce temps font de lui un botaniste reconnu et respecté. À son retour en Angleterre, Darwin passe un certain nombre d'années à compiler ses données et à classer ses spécimens. Il acquiert la conviction que les espèces peuvent se transformer au fil du temps. Après avoir lu Malthus en 1838 au sujet des conséquences de la surpopulation, il lui vient un éclair de génie. Il propose un mécanisme de l'évolution – la sélection naturelle.

Darwin rédige deux manuscrits (en 1842 et en 1844) où il expose sa théorie, mais il ne veut pas les publier, ne montrant ses manuscrits qu'à des amis fidèles. Pourquoi Darwin hésitait-il à publier les résultats de ses travaux? Darwin savait que ses idées soulèveraient la controverse et qu'elles pourraient être perçues comme venant en contradiction avec les enseignements religieux de l'époque. Mais ce n'était pas la principale raison de sa réticence à publier. Darwin reconnaissait que sa théorie comportait deux volets principaux qui étaient problématiques en ces temps-là. Il était incapable d'expliquer l'origine de la variation dans les populations qui débouchait sur la sélection naturelle, ainsi que le mécanisme de la transmission de variations d'une génération à l'autre.

Au milieu des années 1850, Alfred Russell Wallace en vient aux mêmes conclusions que Darwin, d'après ses observations en Indonésie. Il écrit un article et l'envoie à Darwin pour que celui-ci le révise. Ce geste incite Darwin à accepter de publier enfin sa théorie. En 1858, Charles Lyell présente l'essai de 1844 de Darwin et l'article de Wallace au public. Darwin publie son ouvrage *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* en 1859. Le livre présente une argumentation solide pour appuyer la théorie de la sélection naturelle, fondée sur une somme considérable de données probantes.



Annexe 5 : Stratégie PPPST – rédaction créative

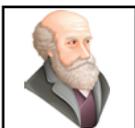
Introduction

Imagine que tu joues le rôle de Charles Darwin durant son voyage de cinq ans sur le *Beagle*. Ton périple t'amène dans une foule de lieux nouveaux et tu vois plein de choses fascinantes. Chaque fois que tu fais escale, tu envoies des lettres et des notes chez toi, à ta famille et à tes amis. Choisis une région que tu viens de visiter et envoie une carte postale de 100 mots à un ami, décrivant tes observations et réflexions sur ce que tu as vu à cet endroit.

Voici quelques conseils pour démarrer.

- Rappelle-toi que Darwin a formulé sa théorie de l'évolution par voie de sélection naturelle après son retour de voyage.
- Rédige ta carte postale dans un style clair et concis.
- Indique le nom de la région d'où tu écris (p. ex., Tasmanie, îles Galapagos, Patagonie)
- Ajoute au moins une observation et une question ou pensée qui t'est venue à l'esprit à partir de tes observations.

Toutes les cartes postales pourraient être accrochées à une carte du monde, retraçant le voyage du *Beagle*.



ANNEXE 6 : Simulation de sélection naturelle

Introduction

Sur une lointaine planète dans une galaxie à des milliards d'années lumière vivent des créatures étranges appelées fougous. Tous les fougous se nourrissent de haricots, mais ils n'ont pas tous le même genre de bouche. Certains fougous ont la bouche en forme de pince à linge (montrer comment utiliser la pince à linge pour attraper les haricots), d'autres en forme d'aiguilles à tricoter (démonstration) et le reste, en forme de pince à épiler (démonstration). Un jour, on découvre un nouveau type de fougou avec la bouche en forme de cuillère (démonstration). Ces fougous sont assez rares. Dans cette activité, chacun de vous jouera le rôle d'un fougou de cette planète et devra attraper des haricots pour se nourrir.

Objectif

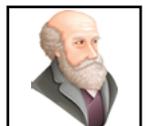
Cette simulation vous permettra de modéliser la sélection naturelle en utilisant divers outils pour « saisir les aliments ».

Matériel

- grand sac de haricots secs (p. ex., haricots communs, haricots de Lima ou haricots verts)
- plateau à dissection
- pinces à linge
- aiguilles à tricoter
- cuillères de plastique
- pinces à épiler
- bécher de 50 mL

Démarche

1. Procure-toi un plateau à dissection contenant 100 haricots séchés pour le groupe, ainsi qu'un bécher de 250 mL pour chaque membre du groupe.
2. L'enseignant donnera à chaque membre du groupe un ustensile. Il est important d'utiliser l'ustensile comme dans la démonstration. Tiens l'ustensile avec une main et le bécher à plat sur la table avec l'autre main.
3. Il y aura quatre essais pour cette activité. Chaque fougou devra manger au moins 20 haricots pour survivre.
4. Lorsque l'essai commence, tu dois utiliser l'outil pour saisir les haricots dans le plateau et les déposer dans ton bécher. Les fougous qui ne réussiront pas à attraper au moins 20 haricots mourront.
5. Compte le nombre de haricots « mangés » par chaque fougou dans ton groupe et note les résultats dans le tableau qui suit.
6. Répète pour trois autres essais, notant chaque fois les résultats dans le tableau.

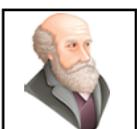


Observations

Élève	Type d'ustensile	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4

Analyse et conclusion

1. Quel type de fougou était le mieux adapté à son environnement? Explique ta réponse.
2. Comment la forme de la bouche peut-elle faire varier le taux de survie des fougous?
3. Qu'arrive-t-il aux fougous qui ne peuvent pas soutenir la concurrence autant que les autres fougous?
4. Comment le scénario des fougous peut-il servir de modèle de sélection naturelle?



Annexe 7 : Simulation de sélection naturelle – Renseignements pour l'enseignant

Introduction (à lire aux élèves)

Sur une lointaine planète dans une galaxie à des milliards d'années lumière vivent des créatures étranges appelées fougous. Tous les fougous se nourrissent de haricots, mais ils n'ont pas tous le même genre de bouche. Certains fougous ont la bouche en forme de pince à linge (montrer comment utiliser la pince à linge pour attraper les haricots), d'autres en forme d'aiguilles à tricoter (démonstration) et le reste, en forme de pince à épiler (démonstration). Un jour, on découvre un nouveau type de fougou avec la bouche en forme de cuillère (démonstration). Ces fougous sont assez rares. Dans cette activité, chacun de vous jouera le rôle d'un fougou de cette planète et devra attraper des haricots pour se nourrir.

Objectif

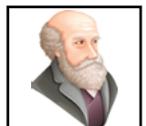
Cette simulation permet aux élèves de modéliser la sélection naturelle en utilisant divers outils pour « saisir les aliments ».

Matériel

- grand sac de haricots secs (p. ex., haricots communs, haricots de Lima ou haricots verts)
- plateau à dissection
- pinces à linge
- aiguilles à tricoter
- cuillères de plastique
- pinces à épiler
- béciers de 250 mL

Démarche

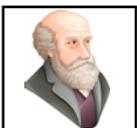
1. Rappeler aux élèves qu'ils doivent placer exactement 100 haricots secs dans leur plateau.
2. Donner à chaque élève un outil et un petit bécier ou une boîte de Pétri. S'assurer qu'il y a au moins deux outils différents dans chaque groupe d'élèves. Ne donner que deux ou trois cuillères à la classe durant l'essai initial et distribuer les pinces à linge, les aiguilles à tricoter et les pinces à épiler aux autres élèves. Prévenir les élèves qu'ils ne doivent pas tricher et doivent utiliser l'outil comme dans la démonstration. Les élèves ne peuvent pas lever ou incliner le bécier. Ce dernier doit demeurer à plat sur la table.
3. Dire aux élèves qu'il y aura quatre essais, et que dans chacun, leur fougou devra manger au moins 20 haricots pour survivre. Mentionner qu'ils doivent utiliser l'outil pour saisir les haricots dans le plateau et les déposer dans le bécier ou la boîte de Pétri. Les fougous qui ne réussiront pas à attraper au moins 20 haricots mourront.
4. Pour le premier essai, laisser aux élèves une minute pour saisir les haricots. Discuter avec les élèves des résultats de l'essai et faire des liens aux concepts de compétition, de variation et d'adaptation.
5. S'il y a des fougous qui meurent, dire aux élèves de jouer les rejetons des fougous survivants. Donner à ces élèves une cuillère ou une pince à épiler pour l'essai suivant.



6. Faire trois autres essais, un de 45 secondes, un de 30 secondes et un de 15 secondes. À la fin des quatre essais, les fufous survivants seront probablement seulement ceux qui ont la cuillère. Revoir le processus de sélection naturelle et d'extinction avec les élèves en lien avec les résultats de l'activité.

Analyse et conclusion

1. Quel type de fufou était le mieux adapté à son environnement? Explique ta réponse (*Ceux avec la cuillère, car ils ont pu survivre et se reproduire.*)
2. Comment la forme de la bouche peut-elle faire varier le taux de survie des fufous? (*Ceux qui ont la bouche en forme de cuillère sont capables de se nourrir plus vite que les autres, donc ce sont eux qui survivent et se reproduisent.*)
3. Qu'arrive-t-il aux fufous qui ne peuvent pas soutenir la concurrence autant que les autres animaux? (*Ils meurent et ne peuvent pas se reproduire parce qu'ils sont moins bien adaptés. Ils ne peuvent pas obtenir assez de nourriture pour survivre.*)
4. Comment le scénario des fufous peut-il servir de modèle de sélection naturelle? (*Les fufous qui ont la bouche en forme de cuillère sont mieux adaptés et ont plus de chances de survie que les autres. La sélection naturelle favorise les fufous avec une cuillère comme bouche et le nombre de fufous qui ont une autre forme de bouche va diminuer car ils ne survivent pas, donc ne se reproduisent pas. Finalement, tous les fufous avec d'autres types de bouches vont disparaître et une nouvelle espèce va émerger – les fufous-cuillères.*)



ANNEXE 8 : Les adaptations – Renseignements pour l'enseignant

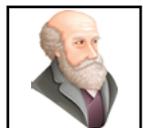
Les adaptations peuvent être de nature comportementale, physiologique ou structurale. Les adaptations comportementales sont liées à la façon dont les organismes réagissent à leur environnement. La migration saisonnière du monarque, des oiseaux et du caribou, l'hibernation chez l'ours et le thamnophis (serpent), le penchant des tournesols vers le soleil, et la chute des feuilles d'arbres à l'automne sont tous des exemples de façons dont les organismes ont adapté leur comportement.

Les variations dans les processus métaboliques prenant place chez les organismes d'une espèce sont qualifiées d'adaptations physiologiques. Certaines bactéries ont développé une résistance aux antibiotiques et des insectes sont devenus résistants aux pesticides parce qu'ils ont développé des adaptations qui leur ont permis de survivre en présence d'antibiotiques et de pesticides.

Les adaptations structurales touchent la forme ou l'agencement des caractères physiques d'un organisme. Par exemple, les narines des baleines et des dauphins sont déplacées, tandis que les aiguilles du cactus sont des feuilles modifiées qui protègent la plante tout en réduisant l'évaporation d'eau.

Le mimétisme est un type d'adaptation structurale qui permet à une espèce de ressembler à une autre. Comme moyen de défense, la larve de chenille (jusqu'à 75 mm) du grand sphinx de la vigne (*Deilephila elpenor*) prend l'allure d'un serpent. Les segments gonflés près de sa tête contiennent deux larges ocelles qui peuvent tromper les oiseaux insectivores (et les gens) et leur faire croire qu'ils sont dangereux.

Le camouflage est un autre type d'adaptation structurale dans l'apparence d'un organisme. Les adaptations comme celle-là augmentent les chances de survie d'un organisme en lui permettant de se fondre dans son environnement. Le phasme est un insecte qui ressemble aux rameaux d'arbrisseaux qu'il habite. Les bandes de la fourrure du tigre l'aident à passer inaperçu dans la jungle.



Annexe 9 : Sélection naturelle dans un bol à bonbons*

Introduction

Dans cette activité, les élèves deviennent à leur insu les sujets d'une démonstration de sélection naturelle. La possibilité de choisir des bonbons dans un bol leur fournit l'occasion de s'interroger sur les facteurs qui ont contribué à la « survie » de certains bonbons. Il s'agit évidemment d'une expérience artificielle, tant parce que ce sont des personnes qui choisissent et que les « organismes » choisis sont des entités non vivantes, sans patrimoine génétique ni capacité de se reproduire.

Matériel

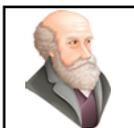
- grand bol de bonbons
- variété de bonbons de différentes formes, tailles, marques, saveurs et couleurs. Il doit y avoir au moins deux sortes de bonbons populaires (comme les Hershey's kisses, Starburst) pour chaque élève et plein de bonbons moins populaires (p. ex., bonbons à la réglisse).
- Éviter les bonbons contenant des noix.

Préparation par l'enseignant

- Préparer une liste des bonbons et compter le nombre initial de chaque sorte de bonbon dans le bol.

Démarche

1. Avant de commencer l'expérience, placer le bol de bonbons près des élèves pour qu'ils puissent en prendre, ou le faire circuler dans la classe à quelques reprises. Éviter tout commentaire concernant le bol de bonbons, ou simplement dire aux élèves que c'est pour leur faire plaisir.
2. Après que le contenu du bol aura diminué de plus de la moitié, rassembler les élèves et amorcer une discussion en disant qu'il y a souvent une grande variabilité entre les individus d'une même espèce. Par exemple, suggérer aux élèves de regarder autour d'eux et d'énumérer les caractéristiques qui varient d'un humain à l'autre. Puis demander aux élèves pourquoi ces variations sont importantes. (Une raison de l'importance de cette variation est qu'elle offre plus ou moins de chances de survie pour les individus.)
3. Montrer à la classe le bol de bonbons et ce qui en reste. Compter les bonbons qui restent et en faire la liste au tableau. Demander aux élèves s'ils se souviennent des bonbons qui étaient dans le bol au début. Faire la liste au tableau des bonbons qui se trouvaient initialement dans le bol.
4. Demander aux élèves d'énumérer les traits ou caractéristiques des bonbons qu'ils ont choisis dans le bol (exemples : saveur de chocolat, gros bonbons, marque favorite). Ce sont les caractéristiques qui ont fait que certains bonbons ont été choisis.
5. Faire une liste des caractéristiques des bonbons qui *n'ont pas été choisis* (exemples : saveur peu agréable, trop petits). Ce sont les caractéristiques qui ont permis à ces bonbons de survivre à ces tournées.

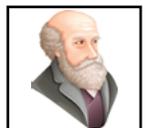


6. Donc, parce qu'il y avait différentes sortes de bonbons avec différentes caractéristiques, certains bonbons ont été mangés et d'autres ont « survécu ». C'est ce que produit la sélection naturelle dans une population. Chaque individu possède des caractéristiques uniques, certaines qui aident à sa survie et d'autres pas.

Prolongement de l'expérience

Si désiré, continuer à ajouter des bonbons dans le bol en gardant les mêmes proportions que les bonbons qui restent. Par exemple, si après la première tournée, tous les bonbons Hershey's kisses ont disparu, mais qu'il y a beaucoup de Starbursts verts, ajouter plus de Starbursts verts mais ne pas ajouter plus de Hershey's kisses pour accentuer la perte des bonbons préférés et la prolifération des bonbons moins recherchés. Ce prolongement simule également la production de nouvelles générations, comme dans l'évolution de populations au fil du temps. Ou encore, remarquer que les élèves prennent les bonbons de leur second choix, simulant la situation naturelle où les prédateurs commencent à consommer une autre proie que leur favorite lorsque celle-ci est éliminée.

Carol TANG, « Candy Dish Selection », *VCMP Lessons*, 2003, http://www.ucmp.berkeley.edu/education/lessons/candy_dish.html (consulté le 17 juillet 2017). Traduction autorisée par la University of California Museum of Paleontology.



ANNEXE 10 : Sélection naturelle chez *Legocarnivora*

Introduction

Dans toute population se produisent des variations. Chaque individu diffère de tous les autres membres de son espèce, certains présentant des différences plus marquées. Certains individus font l'objet d'adaptations qui leur permettent de mieux s'adapter à leur environnement. Dans la nature, les individus les plus aptes (les mieux adaptés) survivent et se reproduisent. Ce processus s'appelle la sélection naturelle.

But

À l'aide d'un sou et d'un dé, cette activité permet de simuler la sélection naturelle pour en arriver au meilleur agencement de roues d'un *Legocarnivora*, qui lui permettra de se déplacer sur la plus grande distance.

Matériel (par groupe d'élèves) :

- deux ensembles de roues Lego
- un bloc Lego 2 x 12
- douze blocs Lego 2 x 2
- rampe (1 m de long)
- un dé à six faces
- un sou
- mètres

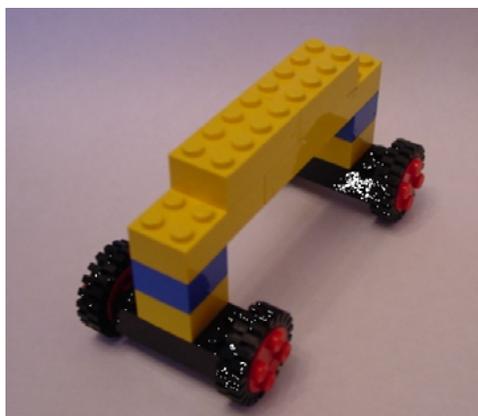


Figure 1 : *Legocarnivora*

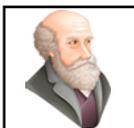
Démarche

Partie A : Génération parentale

1. Bâti le *Legocarnivora* parent. Au-dessus de chaque paire de roues, place deux blocs Lego 2 x 2. Fixe les deux paires de roues surmontées de blocs au moyen du bloc 2 X 12 (figure 1).
2. Installe la rampe d'essai avec une pente de 25° à 35°. Assure-toi qu'il y a assez d'espace au bas de la rampe pour que le *Legocarnivora* puisse rouler jusqu'à 2 mètres.
3. Fais rouler le *Legocarnivora* parent sur la rampe. Mesure la distance roulée au bas de la rampe et inscris-la dans le tableau de données.
4. Répète l'étape 3 une autre fois. Calcule la moyenne des résultats.

Partie B : Génération F1

1. Le *Legocarnivora* a trois descendants. L'un est identique à son parent (descendant 1) et les deux autres ont subi une mutation par rapport au parent (descendants 2 et 3).
2. Fais rouler le descendant 1 sur la rampe (c.-à-d. se servir du parent). Mesure la distance parcourue à partir du bas de la rampe et inscris-la dans le tableau. Fais un deuxième essai et calcule la moyenne des résultats.



3. Modifie ensuite le descendant 1 pour créer le descendant 2. Tire à pile ou face. Si le sou tombe sur face, modifie le devant du *Legocarnivora*. S'il tombe sur pile, modifie l'arrière du *Legocarnivora*.
4. Fais rouler un dé et utilise le tableau ci-dessous pour déterminer comment modifier le descendant 1 pour créer le descendant 2.

Tableau 1 : Modifications du Legocarnivora

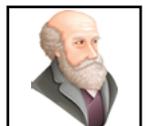
Numéro sur le dé	Modification
1	ajoute un bloc 2 x 2 au-dessus des roues
2	ajoute deux blocs 2 x 2 au-dessus des roues
3	ajoute trois blocs 2 x 2 au-dessus des roues
4	enlève un bloc 2 x 2 au-dessus des roues
5	enlève deux blocs 2 x 2 au-dessus des roues
6	enlève trois blocs 2 x 2 au-dessus des roues

Si à un moment donné la modification n'est pas possible, alors le *Legocarnivora* « meurt ».

5. Bâtis le descendant 2 et fais-le descendre sur la rampe. Mesure la distance parcourue à partir du bas de la rampe et inscris-la dans le tableau. Répète l'essai et calcule la moyenne des résultats.
6. Recrée le *Legocarnivora* parent. Joue à pile ou face et fais rouler le développement pour déterminer les modifications nécessaires pour créer le descendant 3 à partir du *Legocarnivora* parent.
7. Bâtis le descendant 3 et fais-le descendre la rampe. Mesure la distance parcourue depuis le bas de la rampe et inscris-la dans le tableau. Répète l'essai et calcule la moyenne des résultats.

Partie C : Générations suivantes

1. Parmi les trois descendants de *Legocarnivora*, indique lequel a parcouru la plus grande distance (en moyenne). Ce descendant devient le nouveau parent.
2. Répète les étapes 1 à 7 de la partie B et inscris les données pour chaque essai pour un total de dix générations. Note lequel des *Legocarnivora* parcourt la plus grande distance.
3. Inscris la masse du *Legocarnivora* qui roule le plus loin.

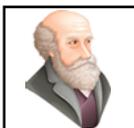


Observations

Tableau de données

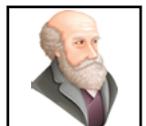
<i>Legocarnivora</i>	Pile ou face	Dé	Nombre de blocs avant	Nombre de blocs arrière	Distance parcourue		
					Essai 1	Essai 2	moyenne
<i>Parent</i>	S/O	S/O	2	2			
Génération 1							
Descendant A							
Descendant B							
Descendant C							
Génération 2							
Descendant A							
Descendant B							
Descendant C							
Génération 3							
Descendant A							
Descendant B							
Descendant C							
Génération 4							
Descendant A							
Descendant B							
Descendant C							
Génération 5							
Descendant A							
Descendant B							
Descendant C							
Génération 6							
Descendant A							
Descendant B							
Descendant C							
Génération 7							
Descendant A							
Descendant B							
Descendant C							
Génération 8							
Descendant A							
Descendant B							
Descendant C							
Génération 9							
Descendant A							
Descendant B							
Descendant C							
Génération 10							
Descendant A							
Descendant B							
Descendant C							

Masse du *Legocarnivora* qui a roulé le plus loin : _____



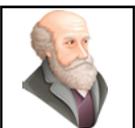
Analyse et conclusions

- Quel agencement de roues a produit le *Legocarnivora* qui a roulé le plus loin?
C'est le modèle optimal.
 - À quelle génération ce modèle est-il apparu?
- T'attendais-tu à un autre résultat? Pourquoi?
- Selon toi, quels facteurs font varier la distance parcourue par le *Legocarnivora*?
- Parmi les facteurs mentionnés, lequel est lié à l'environnement?
 - Quel effet un changement dans l'environnement aurait-il sur le modèle optimal de *Legocarnivora*?
 - Monte une expérience pour vérifier cette prédiction.
- Suppose que le parent choisi dans chaque génération était celui qui a roulé le moins loin.
En quoi le modèle optimal de *Legocarnivora* serait-il différent?
 - Prépare une expérience pour vérifier cette prédiction.
- Pourquoi serais-tu porté à utiliser le *Legocarnivora* qui a parcouru la plus grande distance comme parent de la nouvelle génération?
- Est-ce que des *Legocarnivora* sont morts? En quoi la mort de ces *Legocarnivora* est-elle analogue à ce qui se produit dans la nature?
- Comment la variation prépare-t-elle le terrain pour la sélection naturelle?



ANNEXE 11 : Sélection naturelle chez *Legocarnivora* – Réponses

1. a) En général, le *Legocarnivora* qui roule le plus loin est celui qui a le plus de blocs sur le devant, ou le plus de blocs sur l'arrière que sur l'avant.
b) Les réponses varient, mais habituellement dans la dernière génération.
2. Les réponses varient.
3. La masse du *Legocarnivora* et la pente de la rampe sont des facteurs qui font varier la distance parcourue.
4. a) Le facteur environnemental est l'angle de la rampe.
b) Les réponses varient.
c) Le protocole d'expérience devrait inclure une variation de l'angle de la rampe et la répétition de l'expérience sur plusieurs générations.
5. a) Les réponses varient.
b) Le protocole d'expérience devrait inclure la répétition de l'expérience sur plusieurs générations, mais en choisissant comme parent le *Legocarnivora* qui a roulé le moins loin.
6. Dans la nature, c'est l'organisme le mieux adapté qui survit et se reproduit. Le *Legocarnivora* qui a roulé le plus loin dans chaque génération était celui qui a été choisi parce qu'il était le mieux adapté, donc c'est celui-là qui s'est « reproduit »
7. Oui, certains *Legocarnivora* sont morts. Les réponses varient mais devraient indiquer que dans la nature, les mutations entraînent parfois des variations qui ne sont pas favorables à la survie d'un organisme.
8. Les individus qui présentent des variations qui les rendent mieux adaptés à leur environnement survivent et se reproduisent en plus grands nombres que ceux qui n'ont pas ces adaptations. Au fil des générations, le nombre d'individus augmentera dans une population dotée de l'adaptation favorable.



ANNEXE 12 : J'examine un plant de trèfle à feuille rayées – Une étude de cas sur la sélection naturelle*

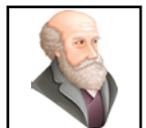
Objectifs d'apprentissage

- Comprendre le processus de la sélection naturelle et l'importance des adaptations liées à un environnement.
- Développer une compréhension des concepts suivants : *la variation, la sélection naturelle, la valeur adaptative, la pression de sélection, l'évolution et l'adaptation.*
- Se servir de ces termes dans un paragraphe pour décrire la fréquence de deux variétés de trèfle rampant.
- Prédire la distribution du trèfle cyanogénétique dans tel ou tel microhabitat.
- Acquérir des compétences relatives aux méthodes scientifiques et pouvoir proposer des hypothèses et des justifications afin d'expliquer la fréquence des deux variétés de trèfle rampant.
- Préparer des expériences pour vérifier des hypothèses et décrire les données qui appuieraient ces hypothèses.
- Comprendre les renseignements fournis par des figures et des tableaux et en faire la synthèse.
- Pouvoir déterminer le coefficient de sélection et la valeur adaptative relative des différentes sortes de trèfle dans divers habitats.
- Comprendre ce que signifient la valeur du coefficient de sélection et la valeur adaptative relative sur le plan de l'action de la sélection naturelle sur les plants de trèfle.

Partie I – J'examine...

Le trèfle rampant (*Trifolium repens*), une petite plante vivace, pousse partout dans le monde et compte deux variétés. Une variété a les feuilles entièrement vertes (*feuilles unies*) et l'autre a des feuilles vertes qui portent une rayure blanche bien visible (*feuilles rayées*).

On retrouve les deux variétés de trèfle rampant (celle aux feuilles unies et celle aux feuilles rayées) sur les côtes de Long Island, à New York. La plus grande partie de Long Island se situe seulement quelques pieds au-dessus du niveau de la mer. Une suite de collines basses et herbeuses séparées par des dépressions peu profondes s'étendent derrière les dunes qui donnent sur l'océan. Ces dépressions peu profondes s'étendent jusqu'à la nappe phréatique, donc elles ont tendance à rester humides toute l'année et ne gèlent pas l'hiver. L'eau s'écoule rapidement des collines basses, qui ont tendance à s'assécher plusieurs fois au cours d'une année et à geler l'hiver. L'habitat dans les dépressions peu profondes est particulièrement propice aux mollusques (les escargots et les limaces) qui se nourrissent de trèfle. Une sorte de trèfle se trouve surtout dans les dépressions peu profondes alors que l'autre pousse principalement sur les collines basses.



À la fin de l'étude de cas, nous reviendrons à New York et il faudra prédire quelle sorte de trèfle rampant est la plus abondante dans chacun des microhabitats. Mais étudions d'abord l'abondance de ces deux sortes de trèfle à une plus grande échelle. La figure 1 montre la fréquence relative des variétés de trèfle rampant au Minnesota et en Caroline du Nord. Le tableau 1 fournit des renseignements additionnels sur le Minnesota et la Caroline du Nord.

Figure 1. Fréquence relative du trèfle à feuilles unies et du trèfle à feuilles rayées dans deux habitats différents

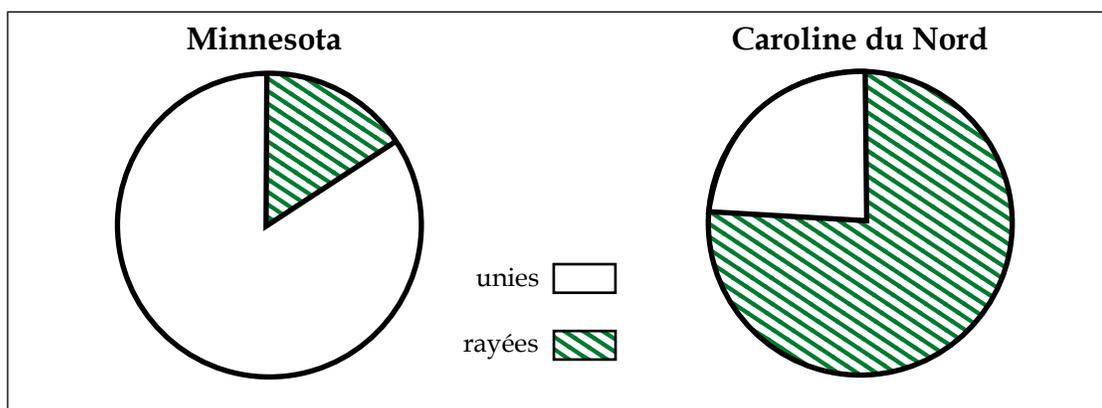
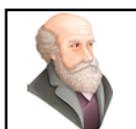


Tableau 1. Facteurs physiques et écologiques d'habitats représentatifs du Minnesota et de la Caroline du Nord

	Minnesota	Caroline du Nord
Latitude	entre 43° N et 49° N	entre 34° N et 36° N
Altitude moyenne	0,365 km	0,213 km
Plage de températures mensuelles moyennes	-19,4 °C à 28,6 °C	-2,6 °C à 31,3 °C
Température maximale	45,6 °C	43,3 °C
Température minimale	-51 °C	-37 °C
Nombre moyen de jours où le maximum est supérieur à 32 °C*	14	38
Nombre moyen de jours où le minimum est inférieur à 0 °C*	154	75
Précipitations annuelles moyennes	66 à 76 cm	107 à 117 cm
Présence d'herbivores (mollusques, p. ex., les escargots, les limaces)	Petite population, n'est pas présente l'hiver	Population importante et active, présente toute l'année
Données de Netstate.com et de la National Oceanic and Atmospheric Administration. *Données pour les capitales (St. Paul, Minnesota et Raleigh, Caroline du Nord). [Traduction libre]		



Exercice 1

L'habitat est le lieu où vit un organisme et les conditions de vie qu'offrent ce lieu. L'habitat se compose de facteurs physiques comme la température, le type de sol, la nourriture et l'eau, ainsi que de facteurs biologiques comme la présence d'herbivores, la concurrence pour la nourriture et les maladies. À l'aide des renseignements du tableau 1, résume brièvement les caractéristiques de l'habitat du trèfle rampant dans chaque État.

Partie II - Du trèfle qui porte malchance

Certaines variétés de trèfle rampant produisent du cyanure, un puissant poison. Deux produits géniques sont nécessaires pour produire du cyanure actif. Un gène code un complexe de cyanure inactif et de sucre qui est emmagasiné dans le cytoplasme de la cellule végétale. Un autre gène code une enzyme qui détache le sucre afin de libérer le cyanure. Cette enzyme est emmagasinée dans la paroi cellulaire. De manière générale, le trèfle à feuilles rayées contient du cyanure et celui à feuilles unies n'en contient pas.

Quand la température reste sous zéro, les membranes cellulaires végétales (qui entourent les organites et la cellule) peuvent éclater. C'est pourquoi les parties des plantes situées au-dessus du sol meurent dans les climats froids. Toutefois, les cellules des racines sont moins susceptibles d'éclater parce qu'elles se trouvent sous terre et stockent souvent des sucres, ce qui les protège du gel (exactement comme le fait l'antigel). Ces caractéristiques permettent aux plantes vivaces de survivre et de se remettre à pousser au printemps. Tout comme le gel, les herbivores peuvent endommager les cellules végétales. En mangeant une feuille, les herbivores détruisent les membranes et les organites des cellules qui la composent.

Exercice 2

- Selon toi, pourquoi les deux produits géniques sont-ils emmagasinés dans des parties différentes de la cellule?
- Suggère au moins deux scénarios possibles dans la nature où ces produits pourraient se retrouver ensemble et produiraient du cyanure actif.
- Suggère une raison pour laquelle un plant de trèfle pourrait produire du cyanure. En d'autres mots, quel avantage aurait un plant à produire du cyanure? Suggère aussi un possible désavantage de produire du cyanure. Se peut-il qu'il n'y ait aucun avantage à en produire?
- L'organisme doit dépenser de l'énergie pour créer une structure particulière, par exemple, une rayure sur une feuille de trèfle unie. Pourquoi un plant de trèfle qui produit du cyanure produirait-il des feuilles rayées?
- Afin de pousser plus loin la réflexion, étudie les résultats d'expériences fictives notés au tableau 2. Dans chaque situation, on a placé des escargots qui venaient d'un milieu sauvage où poussaient les deux sortes de trèfle dans une boîte de Petri qui contenait différentes sortes de trèfle. Quelle est ton interprétation de chaque résultat? Inscris tes interprétations dans le tableau.

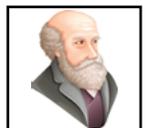


Tableau 2. Interprétations des résultats d'expériences fictives avec des escargots et du trèfle

<i>Sorte de trèfle offerte aux escargots</i>	<i>Réaction des escargots</i>	<i>Interprétation</i>
Feuilles unies	Mangent les feuilles	
Feuilles rayées et feuilles unies	Mangent les feuilles unies	
Feuilles rayées	Ne mangent pas de feuilles	
Feuilles unies avec une rayure peinte	Ne mangent pas de feuilles	

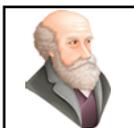
Exercice 3

Afin de comprendre pourquoi on trouve plus souvent du trèfle à feuilles rayées qui produit du cyanure en Caroline du Nord qu'au Minnesota, tu dois tenir compte de la *valeur adaptative* de chaque variété dans les différents habitats qui existent dans les deux États. La valeur adaptative est déterminée par la capacité d'un organisme à survivre, à grandir et à se reproduire dans un habitat donné. Tu as probablement déjà entendu l'expression « survivance des plus aptes ». Cependant, si un organisme est incapable de grandir et de se reproduire, il ne pourra transmettre aucun de ses allèles (informations géniques) à des descendants. Un organisme dont la valeur adaptative est élevée se développe bien dans son habitat et transmet ses allèles favorables à ses descendants quand il se reproduit.

Retourne à l'exercice 1 et revois tes descriptions d'habitats. Réfléchis sur les facteurs importants de la valeur adaptative de la plante. Puis, énumère les différences écologiques entre la Caroline du Nord et le Minnesota qui pourraient avoir un effet sur la valeur adaptative de chaque variété. En d'autres mots, quels facteurs pourraient favoriser la croissance, la survie et la reproduction de la plante dans chacun des habitats et quels facteurs pourraient y nuire?

Nous pouvons exprimer la valeur adaptative et la sélection sous forme de nombres qui nous indiquent non seulement si un organisme a une valeur adaptative supérieure à celle d'un autre organisme, mais aussi les chances de survie et de reproduction d'un organisme par rapport à celles d'un autre. Il n'est pas toujours possible de trouver la valeur adaptative absolue, mais nous pouvons souvent calculer la valeur adaptative relative. Pour chaque variété de l'organisme, nous prenons une donnée liée à la valeur adaptative, par exemple, le pourcentage d'individus de la variété étudiée que l'on retrouve à la génération suivante. Nous divisons ensuite le résultat obtenu pour chaque variété par le résultat le plus élevé. Donc, les organismes dont la valeur adaptative est la plus élevée auront une valeur adaptative relative de 1,0, tandis que les autres organismes auront une valeur adaptative relative inférieure à 1,0, mais supérieure ou égale à zéro.

Voici un exemple de calcul de la valeur adaptative relative tiré d'une étude bien connue de Bernard Kettlewell (Kettlewell, 1955, 1956) sur les phalènes du bouleau (*Biston betularia*).



Il y a deux différentes formes (en gros, foncée et claire) de phalènes, et Kettlewell les a étudiées dans deux types d'environnement, des forêts polluées où l'écorce des arbres est foncée et des forêts non polluées où l'écorce des arbres est claire. Il avait formulé l'hypothèse que la couleur de la phalène détermine la facilité avec laquelle les prédateurs peuvent la repérer, donc que la valeur adaptative des phalènes de couleur foncée devrait être plus élevée que celle des phalènes de couleur claire dans les forêts polluées et vice versa.

Afin de mettre son hypothèse à l'épreuve, il a marqué des phalènes des deux variétés et les a libérées dans les deux environnements. Plus tard, il a capturé des phalènes des deux environnements et a compté les phalènes marquées qu'il avait pu récupérer. Voici ses résultats (tableau 3).

Tableau 3. Taux de survie des phalènes de couleur foncée et de couleur claire dans les forêts non polluées et polluées

	Forêts non polluées			Forêts polluées		
	Phalènes relâchées	Phalènes recapturées	% de phalènes recapturées	Phalènes relâchées	Phalènes recapturées	% de phalènes recapturées
Phalènes de couleur foncée	406	19	4,7	447	123	27,5
Phalènes de couleur claire	393	54	13,7	137	18	13,1

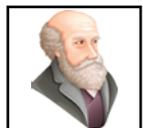
Selon toi, pourquoi Kettlewell n'a-t-il pas recapturé toutes les phalènes marquées? Selon les données, quelles phalènes avaient la valeur adaptative la plus élevée dans la forêt non polluée? Dans la forêt polluée?

À présent, nous pouvons calculer la valeur adaptative relative de chaque variété de phalène dans chaque environnement. Nous pouvons considérer que le pourcentage d'individus recapturés reflète le taux de survie. Dans la forêt non polluée, les phalènes de couleur claire sont les mieux adaptées, donc nous divisons chaque pourcentage de phalènes recapturées par le pourcentage de phalènes de couleur claire recapturées, c'est-à-dire :

$$\text{Valeur adaptative relative des phalènes de couleur claire} = 13,7/13,7 = 1,0$$

$$\text{Valeur adaptative relative des phalènes de couleur foncée} = 4,7/13,7 = 0,34$$

Calcule la *valeur adaptative relative* des phalènes de couleur foncée et des phalènes de couleur claire dans la forêt polluée.



Une chose que tu as peut-être remarquée est que la différence entre la valeur adaptative relative des phalènes les mieux adaptées et celle des moins bien adaptées n'est pas pareille dans les forêts non polluées et les forêts polluées. On appelle cette différence le coefficient de sélection. Il est possible de calculer cette valeur pour chaque environnement. Voici le calcul pour la forêt non polluée :

$$\text{Forêt non polluée : } s = 1,0 - 0,34 = 0,66$$

Calcule la valeur de s pour la forêt polluée.

Étant donné la valeur plus élevée de s dans la forêt non polluée, la sélection est plus intense dans la forêt non polluée que dans la forêt polluée. Décris ce que veulent dire ces résultats sur le plan de la survie et de la reproduction des phalènes dans chaque environnement.

Partie III – Enquête sur la distribution du trèfle

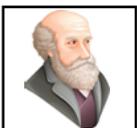
Maintenant que tu as étudié les différents habitats où pousse le trèfle rampant et les facteurs qui ont un effet sur sa valeur adaptative, tu développeras des hypothèses afin d'expliquer la distribution du trèfle à feuilles unies et du trèfle à feuilles rayées. Une hypothèse est une réponse provisoire à une question avec des paramètres bien définis. Cela veut dire qu'une personne a développé une explication d'un événement à partir de données préliminaires, d'observations et possiblement de travaux d'autres scientifiques. Les scientifiques se servent d'observations et de données pour élaborer et justifier leurs hypothèses. L'hypothèse prend la forme d'un énoncé, et non d'une question, et doit être à la fois *vérifiable* (il doit y avoir une façon de vérifier si elle est valide) et *réfutable* (il faut pouvoir démontrer qu'une hypothèse erronée est fausse).

Exercice 4

À partir des données présentées plus haut et des différences entre l'habitat au Minnesota et en Caroline du Nord, propose une hypothèse pour expliquer chacune des observations suivantes : a) au Minnesota, le trèfle à feuilles unies est plus fréquent que celui à feuilles rayées; b) en Caroline du Nord, le trèfle à feuilles rayées qui produit du cyanure est plus fréquent que celui à feuilles unies. Justifie le raisonnement sur lequel s'appuie chacune de tes hypothèses. Précise les variables (les conditions) qui ont un effet sur la fréquence de chaque sorte de trèfle dans chacun des habitats. N'oublie pas d'écrire tes hypothèses sous forme d'énoncés et non de questions.

Exercice 5

Tes hypothèses pour les différents habitats sont-elles les mêmes? Explique pourquoi des individus ou des populations appartenant à la même espèce pourraient présenter différents caractères dans différents habitats. Sers-toi du terme pression de sélection dans ton explication. La pression de sélection désigne l'influence d'un facteur donné sur la capacité d'un organisme à survivre et à se reproduire.



Exercice 6

Après avoir formulé une hypothèse, le scientifique passe à l'étape suivante et vérifie l'hypothèse au moyen d'observations ou d'expériences. Une expérience devrait vérifier une seule variable à la fois et devrait garder le plus possible les autres facteurs constants (ce qui ne veut pas dire qu'ils ne peuvent pas changer, mais qu'ils sont les mêmes pour tous les groupes soumis à l'expérience). Prépare des expériences pour vérifier au moins une hypothèse par habitat.

Exercice 7

Pour chacune des expériences que tu as proposées à l'exercice 6, décris les données qui appuieraient ton hypothèse et celles qui la réfuteraient.

Exercice 8

As-tu une raison de t'attendre à ce que la sélection soit plus intense dans un environnement que dans l'autre? Voici les résultats d'une expérience fictive sur la survie des différentes sortes de trèfle à différents endroits (tableau 4). Ces résultats appuient-ils ou réfutent-ils ton hypothèse?

Tableau 4. Taux de survie du trèfle à feuilles unies et du trèfle à feuilles rayées au Minnesota et en Caroline du Nord (sur la base d'une expérience fictive)

<i>Variété</i>	<i>Taux de survie</i>	
	<i>Minnesota</i>	<i>Caroline du Nord</i>
Feuilles unies	59 %	27 %
Feuilles rayées	13 %	72 %

Calcule la valeur adaptative relative de chaque variété de trèfle à chaque endroit. Calcule le coefficient de sélection (s) à chaque endroit.

Partie IV – Qu'as-tu appris?

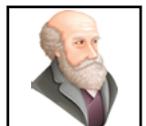
Tu as déjà exploré et appliqué plusieurs concepts de biologie évolutive qui nous aident à comprendre comment les organismes s'adaptent à leurs habitats. Donnons-leur à présent une définition officielle.

Variation : Différences entre les membres d'une espèce; différentes formes du même caractère.

Sélection naturelle : Écart du taux de survie et du taux de reproduction entre des individus qui présentent différentes formes du même caractère.

Évolution : Changement génique qui survient au cours du temps dans une population.

Adaptation : Évolution d'un caractère qui augmente les chances de survie et de reproduction d'un organisme dans un environnement donné.



Exercice 9

- Quels sont des exemples de variation chez le trèfle?
- Consulte la figure 1 qui illustre la fréquence relative du trèfle à feuilles unies et du trèfle à feuilles rayées au Minnesota et en Caroline du Nord. Explique pourquoi la fréquence de chaque sorte de trèfle est différente dans les deux régions.
- L'adaptation du trèfle rampant signifie qu'il y a, au fil du temps, une augmentation de la fréquence de caractères particuliers qui favorisent la survie et la reproduction des membres de la population de trèfle rampant dans un habitat particulier. Quels sont des exemples de possibles adaptations chez le trèfle? N'oublie pas que les adaptations sont propres à un habitat donné.
- Si tu compares les populations de trèfle rampant au Minnesota et en Caroline du Nord, de quelles preuves as-tu besoin pour démontrer qu'il y a eu une évolution?
- Plusieurs facteurs peuvent exercer une pression de sélection sur les différents caractères du trèfle rampant dans chaque habitat. Selon toi, quel facteur exerce la plus grande pression de sélection sur la production ou l'absence de production de cyanure par le trèfle rampant au Minnesota? En Caroline du Nord?

Partie V – As-tu bien compris?

Exercice 10

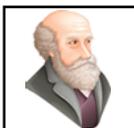
Selon ta compréhension de l'étude de cas du trèfle et des définitions fournies plus haut, lesquels des énoncés suivants sont vrais? Si l'énoncé est vrai ou exact, explique pourquoi et, s'il est faux, corrige-le afin de le rendre vrai.

- L'expression « la survivance des plus aptes » explique en totalité le concept de la sélection naturelle.
- Sans variation, la sélection naturelle ne peut pas avoir lieu.
- L'adaptation est définie en fonction des conditions environnementales locales (p. ex., la chaleur, le froid, les précipitations, la présence de concurrents ou d'herbivores).
- La sélection naturelle se fait au sein des populations, et non chez les individus.

Exercice 11

- Prédis quelle variété de trèfle rampant sera la plus fréquente dans chacun des microhabitats sur Long Island (consulte la partie I).
- Rédige un paragraphe qui décrit la distribution du trèfle dans les microclimats de Long Island en utilisant les termes variation, adaptation, sélection naturelle et évolution. Assure-toi de donner une description complète de chacun de ces termes dans ton paragraphe détaillé.

*Susan EVARTS, Alison KRUFKA et Chester WILSON. « I'm Looking Over a White-Striped Clover – A Natural Selection Case », *National Center for Case Study Teaching in Science*, 2006, http://sciencecases.lib.buffalo.edu/cs/collection/detail.asp?case_id=272&id=272 (Consulté le 17 juillet 2017). Traduction autorisée par le National Center for Case Study Teaching in Science.



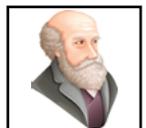
ANNEXE 13 : Les effets de la sélection sur la variation – Renseignements pour l'enseignant

La sélection naturelle stabilisatrice, directionnelle et divergente représente des moyens d'influer sur la variation génétique. Si désiré, étoffer la discussion sur les trois types de sélection à l'aide de graphiques et d'exemples.

Sélection stabilisatrice – Favorise les individus présentant une valeur moyenne pour un caractère donné et défavorise les autres ayant une valeur extrême (basse ou élevée). La sélection stabilisatrice tend à garder la fréquence des allèles relativement constante, ce qui limite l'évolution. C'est pourquoi des espèces comme la coquerelle (blatte) et le requin sont restées stables pendant des millions d'années. Le poids à la naissance en est un exemple. Jusqu'à tout récemment, les nourrissons qui étaient trop petits ne survivaient généralement pas et ceux qui étaient trop gros mouraient à la naissance.

Sélection directionnelle – Favorise les individus possédant des valeurs pour un caractère donné à une extrémité de la courbe de distribution, et défavorise ceux ayant une valeur moyenne ou situés à l'autre extrémité de la ligne de distribution. Souvent, la sélection directionnelle se produit quand un changement dans l'environnement favorise un phénotype extrême. Le changement progressif de coloration de la phalène du bouleau en Grande-Bretagne (mélanisme industriel) s'est produit à cause de la pollution atmosphérique. Graduellement, la fréquence de l'allèle de la forme foncée a augmenté dans la population de phalènes du bouleau. Le développement de bactéries résistantes aux antibiotiques est un exemple de sélection directionnelle. Seules les bactéries qui peuvent tolérer la présence d'un antibiotique survivent.

Sélection divergente – Favorise les individus situés aux deux extrémités de la courbe de distribution et défavorise ceux qui ont une valeur moyenne pour ce caractère. On l'appelle aussi sélection diversifiante. La sélection divergente mène à la formation de sous-populations distinctes. Après un certain temps, la fréquence des allèles dans les sous-populations peut changer à tel point que les deux groupes ne sont plus capables de s'interféconder. La coquille des organismes marins connus sous le nom de patelles (ou berniques) est de couleur blanche à brun foncé. Les patelles de couleur sombre fixées à des rochers également foncés dans l'océan et les patelles pâles fixées à des rochers de couleur claire ont tendance à être moins visibles par les prédateurs et ont de meilleures chances de survie. En revanche, les patelles de couleur intermédiaire (brun pâle) sont faciles à repérer pour les prédateurs. La couleur intermédiaire est donc désavantagée sur le plan de la sélection naturelle.



ANNEXE 14 : Recherche sur la variation

Introduction

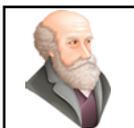
Dans une population, bon nombre de traits font l'objet de variations, qui peuvent augmenter ou diminuer les chances de survie d'un organisme dans un environnement donné. Cette recherche permet d'examiner la variation dans la longueur des haricots secs.

Matériel (par groupe)

- 50 haricots secs (p. ex., haricot commun, haricot rond blanc, haricot Pinto)
- règle en millimètres

Démarche

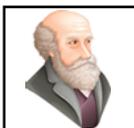
1. Obtiens 50 haricots secs. Trouve le haricot le plus gros et le plus petit de l'échantillon.
2. Mesure la longueur du plus petit haricot au millimètre près. Inscris sa longueur dans la première rangée de la colonne des longueurs et fais une coche sur le tableau des données.
3. Mesure la longueur du plus gros haricot au millimètre près. Inscris sa longueur dans la colonne appropriée du tableau, et indique les longueurs intermédiaires. Inscris la longueur du haricot le plus gros dans la dernière rangée de la colonne et fais une coche.
4. Mesure les 48 autres haricots de l'échantillon et fais une coche pour chacun sur le tableau.
5. Compte les coches pour chaque longueur et inscris leur nombre dans la colonne *Total du groupe*.
6. Additionne les totaux pour chaque longueur et inscris ce nombre dans la colonne *Total de la classe*.



ANNEXE 15 : Recherche sur la variation – Réponses

Analyse et conclusions

1. Y a-t-il des variations dans la longueur des haricots secs? Utilise des données précises pour appuyer ta réponse. *Oui, il y avait une variation dans la longueur des haricots secs. Les données vont varier.*
2. Prépare un histogramme avec les résultats de la classe. Trace le total de la classe sur l'axe des y et la longueur des haricots sur l'axe des x. *Les résultats vont varier, mais on verra généralement une courbe en cloche.*
3. Comment décrirais-tu la forme de l'histogramme? *La forme est une courbe en forme de cloche*
4. Quel est l'avantage d'utiliser les résultats de toute la classe plutôt que ceux de ton groupe? *L'utilisation des résultats de toute la classe donne un plus grand échantillon, qui donne des résultats statistiquement plus précis.*
5. Quel serait un désavantage possible pour la survie d'un haricot long? *Les haricots plus longs pourraient être plus facilement trouvés par les oiseaux et les rongeurs, donc plus souvent mangés.*
6. Quel serait un désavantage possible pour la survie d'un haricot plus court? *Les haricots plus courts pourraient ne pas contenir assez de nutriments pour l'embryon.*
7. Complète la phrase suivante :
Selon le graphique de la longueur du haricot, plus la valeur de la variation à partir de la longueur moyenne augmente, plus la fréquence de cette variation _____. diminue
8. Si les graines plus longues ont un avantage sélectif, cette sélection serait-elle stabilisatrice, directionnelle ou disruptive? Explique ta réponse. *Il s'agirait d'une sélection directionnelle. Les individus à un extrême de la distribution sont favorisés – les haricots longs sont favorisés au détriment des haricots moyens et courts. Au fil du temps, il y aurait de plus en plus de haricots longs et moins d'haricots courts et moyens.*



ANNEXE 16 : Étude de cas – Où sont passés tous les trèfles à quatre feuilles?

Partie A : Introduction

Une équipe de biologistes a mené une étude à long terme sur la distribution des fleurs sauvages dans un pré de parc provincial. On y trouve une variété de fleurs sauvages comme le trèfle rampant (*Trifolium repens*), l'ancolie du Canada (*Aquilegia canadensis*) et la campanule à feuilles rondes (*Campanula rotundifolia*). Au cours de l'échantillonnage initial des populations végétales, les biologistes ont noté que les trèfles rampants sont généralement à trois feuilles, mais ils trouvent des trèfles à quatre feuilles à l'occasion. Les trèfles à quatre feuilles représentent une variation du trèfle à trois feuilles présente naturellement. On trouve aussi des variations à deux et à cinq feuilles, mais elles sont extrêmement rares.

Une année, la Direction du parc décide de créer une aire de pique-nique près du site d'étude. Après plusieurs années, les biologistes voient apparaître des changements dans la population de fleurs sauvages du site. Avec l'augmentation de l'achalandage dans le pré, le nombre de trèfles à quatre feuilles commence à décliner, à tel point qu'ils en viennent à disparaître presque complètement du site. L'équipe de recherche se demande où sont passés tous les trèfles à quatre feuilles.

Partie A : Questions

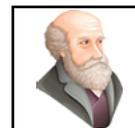
1. Selon toi, qu'est-il arrivé aux trèfles à quatre feuilles?
2. Comment procédera-tu pour vérifier ton hypothèse?

Partie B : Euréka! le mystère est résolu!

L'équipe de recherche a compris que les trèfles à quatre feuilles ont été cueillis par les visiteurs au fil des années. Elle clôture un secteur du pré pour empêcher les touristes de cueillir les trèfles, mais même après cela, les trèfles à quatre feuilles se font extrêmement rares. La cueillette des trèfles a été très dommageable. Dans ce pré, il n'était pas avantageux pour les trèfles d'avoir quatre feuilles, mais les trèfles à trois feuilles étaient laissés à leur place.

Partie B : Questions

1. Qu'est-il arrivé au pool génétique du trèfle pour expliquer la quasi disparition des trèfles à quatre feuilles?
2. Quel type de sélection s'est produit dans le pré? Explique ta réponse.
3. Dessine un diagramme montrant la distribution initiale de la variation dans *Trifolium repens*. Indique le nombre de feuilles sur l'axe des x et le nombre de fleurs sur l'axe des y.
4. Dessine un diagramme montrant la variation relative aux feuilles dans *Trifolium repens* plusieurs années plus tard. Indique le nombre de feuilles sur l'axe des x et le nombre de fleurs sur l'axe des y.



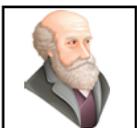
ANNEXE 17 : Où sont passés tous les trèfles à quatre feuilles? - Réponses

Partie A

1. Les trèfles à quatre feuilles ont été cueillis par les pique-niqueurs.
2. Possibilités de recherches pour vérifier l'hypothèse : interroger les pique niqueurs pour voir s'ils cueillent les trèfles, clôturer une partie du pré pour empêcher les touristes de cueillir les trèfles à quatre feuilles et voir si ces derniers recommencent à pousser.

Partie B

1. Le pool génétique s'est modifié graduellement en faveur de la variété de trèfle à trois feuilles.
2. Une sélection stabilisatrice s'est produite. Le type ordinaire de trèfle à trois feuilles a été favorisé et la variation extrême (quatre feuilles) a été désavantagée.
3. La fréquence est maximale pour la variété à trois feuilles et les courbes indiquent un petit nombre de trèfles à quatre feuilles et très peu de trèfles à deux ou à cinq feuilles.
4. La fréquence atteint un pic pour la variété à trois feuilles et le diagramme ne montre maintenant que quelques trèfles à quatre feuilles et très peu de trèfles à deux et à cinq feuilles.



ANNEXE 18 : Investigation – Le principe Hardy-Weinberg

Introduction

L'équation de Hardy-Weinberg, dont l'expression est $p^2 + 2pq + q^2 = 1$, permet de calculer la fréquence des allèles et des génotypes chez une population. Dans le cadre de cette étude, tu détermineras la fréquence des allèles et des génotypes d'un trait de l'humain.

Objectif

Au cours de l'étude, tu calculeras la fréquence des allèles dominants et des allèles récessifs d'un trait héréditaire. Tu compareras également la fréquence de deux allèles avec la fréquence de leurs phénotypes.

Matériel

- calculatrice

Démarche

1. La capacité de rouler la langue en forme de « U » est contrôlée par un seul gène. Les personnes homozygotes dominantes ou hétérozygotes pour ce trait peuvent rouler la langue en forme de « U ». Celles qui sont homozygotes pour l'allèle récessif en sont incapables. Vois si tu peux rouler ta langue en forme de « U ».
2. Inscris ton phénotype (capable ou incapable de rouler la langue en forme de « U ») sur le tableau de la classe. Note le nombre total de personnes qui peuvent faire cette action et de celles qui en sont incapables dans le tableau de données no 1.
3. À partir des données de la classe, calcule la valeur de q^2 , la proportion d'élèves qui ont le génotype homozygote récessif. Elle équivaut au nombre total d'élèves qui ne peuvent pas rouler la langue en forme de « U » divisé par le nombre total d'élèves dans l'échantillon. Note-la dans le tableau de données n° 2.
4. Calcule la valeur de q , la fréquence de l'allèle récessif, en trouvant la racine carrée de q^2 . Note-la dans le tableau de données n° 2.
5. Trouve la fréquence de l'allèle dominant, p , en utilisant la formule $p = 1 - q$. Note-la dans le tableau de données n° 2.
6. Calcule la valeur de p^2 , la proportion d'élèves qui ont le génotype homozygote. Note-la dans le tableau de données n° 2.
7. Calcule la valeur de $2pq$, la proportion d'élèves qui ont le génotype hétérozygote. Note-la dans le tableau de données n° 2.

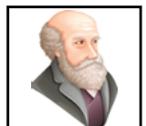


Tableau de données n° 1

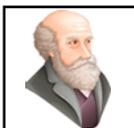
Nombre total d'élèves capables de rouler la langue en forme de « U »	Nombre total d'élèves qui en sont incapables

Tableau de données n° 2

Proportion d'élèves qui ont le génotype homozygote récessif (q^2)	
Fréquence de l'allèle récessif (q)	
Fréquence de l'allèle dominant (p)	
Proportion d'élèves qui ont le génotype homozygote dominant (p^2)	
Proportion d'élèves qui ont le génotype hétérozygote ($2pq$)	

Analyse et conclusions

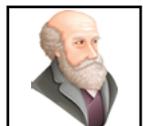
1. Quelle est la fréquence des allèles qui influent sur la capacité de rouler la langue en forme de « U » chez les élèves de la classe?
2. a. Est-ce que q , la fréquence de l'allèle récessif, est plus ou moins élevé que la fréquence des personnes qui présentent le trait récessif?
b. Selon toi, pourquoi est-ce le cas?
3. Si tu demandais à 10 000 personnes d'essayer de rouler leur langue en forme de « U », penses-tu que la fréquence des génotypes chez cette population serait la même que dans la classe? Explique.
4. Si toutes les conditions du principe Hardy-Weinberg étaient réunies, quelle serait la fréquence des allèles de la génération suivante?
5. On définit parfois l'*évolution* comme étant un changement dans la fréquence des allèles dans le pool génique d'une population. Qu'est-ce que cela veut dire?



ANNEXE 19 : Le principe Hardy-Weinberg – Réponses

Analyse et conclusions

1. Quelle est la fréquence des allèles qui influent sur la capacité de rouler la langue en forme de « U » chez les élèves de la classe? *(Les réponses vont varier.)*
2. a. Est-ce que q , la fréquence de l'allèle récessif, est plus ou moins élevée que la fréquence des personnes qui présentent le trait récessif? *(La fréquence de l'allèle récessif $[q]$ est plus élevée que la fréquence des personnes qui présentent le trait récessif $[q^2]$.)*
b. Selon toi, pourquoi est-ce le cas? *(Si une personne a un exemplaire de l'allèle récessif et un exemplaire de l'allèle dominant, [c.-à-d. est hétérozygote pour ce trait], elle présentera le trait dominant. Une personne doit avoir deux exemplaires de l'allèle récessif pour présenter le trait récessif. Par conséquent, la fréquence de q comprend des personnes hétérozygotes et des personnes homozygotes récessives pour le trait.)*
3. Si tu demandais à 10 000 personnes d'essayer de rouler leur langue en forme de « U », penses-tu que la fréquence des génotypes chez cette population serait la même que dans la classe? Explique. *(Il est peu probable que la fréquence des génotypes soit la même. Un plus grand échantillon fournirait une meilleure représentation du pool génique.)*
4. Si toutes les conditions du principe Hardy-Weinberg étaient réunies, quelle serait la fréquence des allèles de la génération suivante? *(La fréquence des allèles resterait la même. La population serait en équilibre génétique.)*
5. On définit parfois l'évolution comme étant un changement dans la fréquence des allèles dans le pool génique d'une population. Qu'est-ce que cela veut dire? *(Cela veut dire que quand les types de gènes et leur fréquence dans le pool génique changent au fil du temps, on assiste au phénomène de l'évolution.)*



ANNEXE 20 : Étude de cas – Goulot d'étranglement dans une population (espèce menacée)

Introduction

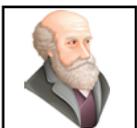
La grue blanche est une espèce en voie de disparition qui niche dans le parc national Wood Buffalo des Territoires du Nord-Ouest. Les populations de grue blanche n'ont jamais été très nombreuses, mais le nombre d'individus a diminué rapidement au début des années 1900 à cause de la chasse et de la destruction de leurs habitats au profit de l'agriculture. En 1941, il n'y avait plus qu'une quinzaine de grues blanches dans le monde. Durant les années 1940, divers organismes du Canada et des États-Unis ont uni leurs efforts pour éviter l'extinction de cet oiseau.

Les réserves fauniques et les parcs nationaux protègent maintenant les aires de nidification estivales de la grue blanche dans les T.N.-O. et les aires d'hivernage au Texas. Des programmes de reproduction en captivité sont mis en œuvre dans certains zoos (comme celui de Calgary). À l'hiver 2004-2005, le nombre de grues blanches avait grimpé à 472, y compris les grues en captivité et les grues sauvages, dont 217 nichent dans le parc national Wood Buffalo.

Ces efforts de conservation sont entravés par un certain nombre de facteurs. Environ 15 % des œufs pondus en pleine nature ne sont pas fécondés, peut-être à cause d'une trop grande consanguinité. Le taux de succès d'envol des petits des couples nicheurs est d'environ 50 %. La maladie est un problème dans certaines populations se reproduisant en captivité. Des épisodes marqués par des conditions climatiques rigoureuses, comme des ouragans au Texas et les tempêtes de neige à la fin du printemps dans les T.N. O., peuvent déboucher sur un taux de mortalité élevé. Le nombre de grues blanches a augmenté grâce aux efforts de conservation, mais ces oiseaux seront toujours menacés d'extinction.

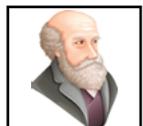
Questions

1. La grue blanche est un exemple d'une espèce en voie de disparition qui a passé par un « goulot d'étranglement » de sa population. Explique comment ce genre de goulot d'étranglement peut altérer la variation dans le pool génétique d'une espèce.
2. Décris l'effet d'un goulot d'étranglement de population sur la capacité de la grue blanche de s'adapter à des changements environnementaux et d'évoluer.
3. Comment le goulot d'étranglement dans une population peut-il influencer sur la capacité de la grue blanche de se rétablir après avoir frôlé l'extinction?
4. Pourquoi devrait-on se préoccuper de protéger et de conserver une espèce menacée de disparition?



ANNEXE 21 : Goulot d'étranglement dans une population (espèce menacée) – Réponses

1. En situation de goulot d'étranglement, le nombre d'individus d'une population est tellement peu élevé que seulement quelques individus fournissent des gènes pour toute la population future de l'espèce. Une grande partie de la variation génétique est perdue et la fréquence des allèles change énormément dans le pool génétique résiduel.
2. Le manque de variation génétique diminue la capacité de la grue blanche de s'adapter à des changements dans l'environnement. Il se produit peu de variations pouvant enclencher une sélection naturelle.
3. Quel que soit le nombre de grues blanches dans la population, l'espèce sera toujours menacée d'extinction. L'homogénéité génétique de cette population la rend vulnérable à la maladie et aux conditions génétiques associées à la consanguinité.
4. Les réponses peuvent varier, incluant des points comme les suivants :
 - La population de grues blanches a diminué à cause des chasseurs et de la destruction de leurs habitats par les humains.
 - À cause de nos actions, le patrimoine génétique de la grue blanche a été réduit à une fraction de son potentiel initial.
 - Les humains sont devenus si nombreux et consomment tellement de ressources qu'ils poussent leurs voisins (les animaux) loin de leurs habitats.
 - Nous devrions adopter des pratiques de bon gardiennage et préserver notre planète pour les générations futures.



ANNEXE 22 : La vitesse de l'évolution

Le gradualisme correspond à une évolution lente et graduelle sur une longue période. Lentement, les populations se différencient les unes des autres en raison de diverses pressions sélectives. Ces changements débouchent sur des formes transitoires observées dans les fossiles. Comme exemple d'évolution par rapport aux fossiles, mentionnons celui des trilobites.

L'équilibre intermittent décrit le profil de longues périodes de stabilité, où les espèces ne changent presque pas. Ces périodes sont interrompues (ponctuées) par de courtes périodes d'évolution rapide entraînant bientôt la formation d'une nouvelle espèce. L'évolution est stimulée par un changement soudain dans l'environnement. Les études sur les fossiles montrent que des extinctions massives ont souvent été suivies par des poussées soudaines d'évolution (p. ex., l'extinction des dinosaures au Crétacé, qui a précédé l'augmentation rapide d'espèces mammifères).

Discuter avec les élèves du fait que la théorie de l'évolution continue d'être peaufinée et enrichie à mesure que nos connaissances en biologie s'accumulent. Le débat sur le gradualisme par opposition à l'équilibre intermittent n'est qu'un exemple de « l'évolution » de la théorie de l'évolution.

La nouvelle synthèse moderne de la théorie de l'évolution (parfois appelée néo-darwinisme) présente des constatations tirées d'observations en génétique, en biologie des populations, en paléontologie et plus récemment, en biologie évolutive et développementale (évo-dévo). Parmi les principaux chercheurs à l'origine de ce mouvement, mentionnons les suivants :

- Theodosius Dobzhansky (1900-1975) est l'un des biologistes ayant forgé la théorie moderne de l'évolution, qui combine génétique et évolution. Son travail se distingue par la définition d'évolution comme étant une variation de la fréquence d'un allèle dans un pool génétique. Ce biologiste est célèbre pour avoir déclaré que : « Rien n'a de sens en biologie, si ce n'est à la lumière de l'évolution » (1973).
- Ernst Mayr (1904-2005) fait partie des biologistes à l'origine de la théorie moderne de l'évolution intégrant génétique et évolution. Parmi ses réalisations, mentionnons l'élaboration du concept d'espèce biologique et d'un mécanisme de spéciation péripatrique.
- Niles Eldredge (1943-présent) et Stephen Jay Gould (1941-2002) ont proposé la théorie de l'équilibre intermittent, selon laquelle les changements observés chez une espèce peuvent survenir assez rapidement, séparés par de longues périodes sans changement important (équilibre).

