

Dans la peau de Syms Covington

Une séquence du projet *Esprit scientifique, Esprit critique* – Tome 2

Résumé

L'objectif de la séquence est de comprendre la nature des théories scientifiques, ce qui les rend fiables et les distingue de simples opinions – dans le cas spécifique de la théorie de l'évolution. Les élèves exploitent du matériel ou des documents pour montrer les similitudes existant entre des espèces d'oiseaux et d'autres espèces actuelles ou fossiles, et l'interprétation possible que l'on peut en faire en termes de liens de parenté. Ensuite, ils exploitent des modélisations par des jeux de cartes pour appréhender concrètement la notion du rôle du hasard dans la théorie de l'évolution par la sélection. Enfin, ils découvrent une expérience historique et exploitent un jeu de cartes pour la comprendre, élaborer les prédictions associées à deux théories opposées et argumenter en faveur de l'une des deux. Les élèves ont besoin des fiches imprimées et des cartes découpées pour le déroulement des activités (le prévoir à l'avance). Le message principal à retenir est le suivant : la validation d'une théorie ne se fait pas par le seul scientifique qui a formulé l'hypothèse. Au contraire, c'est une communauté de scientifiques (parfois de plusieurs domaines) qui travaille pour parvenir à un consensus. Pour ce faire, les scientifiques réalisent des études et voient si elles fournissent ou non des arguments à la théorie. Si un faisceau d'arguments s'accumule en faveur de la théorie, celle-ci est progressivement acceptée. Vouloir confirmer une prise de position, en sciences comme dans la vie de tous les jours, est une tendance naturelle. Ce travail en communauté, lent et progressif, est une méthode qui permet de lutter contre cette tendance et d'assurer ainsi la fiabilité des connaissances scientifiques. Pour l'évaluation de la capacité des élèves à remobiliser les compétences travaillées, se référer à la fiche globale d'évaluation « Argumenter ».

Savoir-faire 3 : Comprendre la nature des théories scientifiques

Niveau 3 : Reconnaître la spécificité d'une bonne théorie scientifique

3 activités

CE QUE VOUS ALLEZ TROUVER DANS CETTE SÉQUENCE :

- ▶ Des activités de : SVT
- ▶ Des activités de type : Jeux de cartes
- ▶ Des activités sur le thème de : Classification, Fossiles, Dinosaures à plumes, Coucous, Modélisation

Activité 1: Aux origines des oiseaux

Objectif: Être capable de comprendre le caractère erroné des arguments fixistes	
Résumé	Les élèves exploitent du matériel ou des documents pour montrer les similitudes existant entre des espèces d'oiseaux et d'autres espèces actuelles ou fossiles et l'interprétation possible que l'on peut en faire en termes de liens de parenté.
Matériel	Documents fournis qui peut-être substitué par du matériel s'il est disponible (notamment les squelettes de trois vertébrés) ou par une sortie dans un musée d'histoire naturelle.
Notions mobilisées	Relier l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants, et l'évolution; Mettre en évidence des faits d'évolution des espèces et donner des arguments en faveur de quelques mécanismes de l'évolution.
Compétences mobilisées	Identifier par l'histoire des sciences et des techniques comment se construit un savoir scientifique; Interpréter des résultats et en tirer des conclusions.
Production	Fiche enquête remplie.
Durée	2 heures (1 heure classe entière + 1 heure demi-groupe).
Message à emporter	
<p>La validation d'une théorie ne se fait pas par le seul scientifique qui a formulé l'hypothèse. Au contraire, c'est une communauté de scientifiques (parfois de plusieurs domaines) qui travaille pour parvenir à un consensus. Pour ce faire, les scientifiques réalisent des études et voient si elles fournissent ou non des arguments à la théorie. Si un faisceau d'arguments s'accumule en faveur de la théorie, celle-ci est progressivement acceptée.</p> <p>Vouloir confirmer une prise de position, en sciences comme dans la vie de tous les jours, est une tendance naturelle. Ce travail en communauté, lent et progressif, est une méthode qui permet de lutter contre cette tendance et d'assurer ainsi la fiabilité des connaissances scientifiques.</p>	

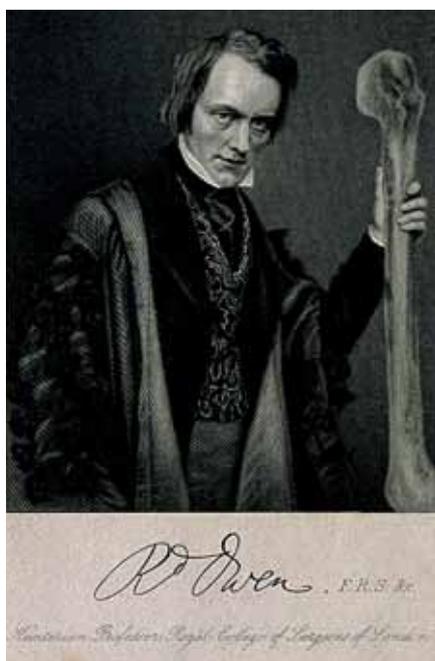
Clés pour la mise en œuvre

La théorie de l'évolution est encore source de confusions, et les débats qu'elle anime ne sont pas toujours bien fondés. Les activités de cette séquence permettent d'analyser des mécompréhensions concernant la théorie de l'évolution et ses mécanismes explicatifs.

Comme pour les autres activités de la Séquence 4, celle-ci a pour but de fournir une réponse à deux objections: une sur le fond scientifique et une sur le fond épistémologique.

Le premier objectif de cette activité est de placer l'élève dans la capacité à réfuter, par une approche scientifique, un argumentaire erroné. En l'occurrence, c'est contre une vision fixiste de l'histoire du vivant que s'oriente l'activité. Elle remobilise des prérequis de classification découverts en fin de cycle 3. L'enseignant pourra décider de faire des rappels lors d'un cours en classe entière précédent la séquence ou profiter de l'activité pour évoquer ces rappels. Pour contrer l'argument fixiste, nous proposons comme c'est souvent le cas de s'appuyer sur des similitudes observées entre les êtres vivants, servant à concevoir la notion de lien de parenté et ainsi d'ascendance commune. Cet argument de similitude n'est pour autant pas décisif et il nous a semblé pertinent de l'associer à un raisonnement prédictif: si cette hypothèse d'ascendance évolutive est vraie, on peut s'attendre à observer dans les archives paléontologiques des fossiles qui témoignent de cette histoire. C'est ce qui sera fait dans la suite de l'activité (phase 2).

Le second objectif est relatif au travail du scientifique lui-même. Celui-ci ne travaille pas de façon isolée, en cherchant à vérifier lui-même ses propres convictions. Même si une idée est émise par un scientifique, elle est ensuite validée collectivement dans une approche collaborative qui améliore ou rejette des aspects inexacts de la théorie. Les élèves découvrent ici cet aspect par le travail de plusieurs scientifiques issus de disciplines différentes (même si ce sont souvent différents experts d'un même domaine qui évaluent le travail d'un scientifique).



1. Richard Owen, adversaire de Darwin. Il acheta un fossile d'*Archæopteryx* pour le British Museum.
2. Thomas Henry Huxley, on l'appela le « bulldog de Darwin » pour sa manière de défendre les thèses darwiniennes. Il a comparé les squelettes (fossiles) de *Archæopteryx* et de *Composagnatus* et a défendu la thèse selon laquelle les oiseaux descendent d'un certain groupe de dinosaures.

Déroulé possible de l'activité

Contexte: Le troisième argumentaire à l'encontre de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle vient de se terminer. Contrairement aux adversaires précédents, l'orateur a utilisé des objections attaquant aussi bien le fond scientifique (les espèces actuelles ont été créées ainsi et n'ont jamais évolué) que la méthode (les scientifiques font tout pour se convaincre de leurs théories).

Objectif: Il faut donc identifier les erreurs de compréhension aussi bien sur le fond scientifique que sur la méthode scientifique qui a mené à cette théorie.

Organisation: Par groupes de 2.

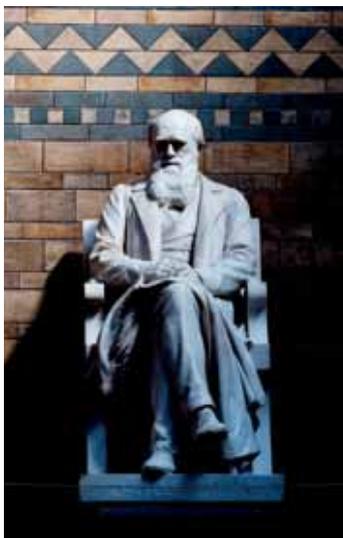
Matériel:

- Tableau des similitudes.
- Fiches anatomiques de 3 animaux actuels (ou des échantillons s'ils sont disponibles).
- Rappel sur la classification des espèces.
- Arbres phylogénétiques.
- Fiche anatomique de l'*Archæoptéryx*.
- Fiche anatomique du *Microraptor*, un dinosaure à plume.
- Carte Validation collective d'une théorie.

	Chat domestique	Lézard des murailles	Pigeon ramier
Présence d'un squelette osseux avec des vertèbres			
Présence de 4 membres locomoteurs			
Membres en 2 parties (constituées d'1, de 2 puis d'un second, etc.)			

Règles: Réaliser une étude d'anatomie comparée entre les oiseaux et d'autres espèces actuelles et fossiles pour déterminer des hypothèses sur leurs liens de parenté avec le reste du vivant.

L'enseignant explique: « Vous allez travailler sur des données récoltées par des collègues de Darwin, issus d'autres disciplines que lui. Ces données renferment des faits qui pourront vous aider à comprendre la théorie de l'évolution et les erreurs des adversaires de Darwin! »



Statue de C. Darwin au National History Museum, Londres



Présentation générale de l'activité

- L'activité se déroule en trois phases, les deux premières permettant d'apporter chacune un argument supplémentaire à la théorie de l'évolution. Ces deux arguments sont en réalité reliés entre eux, le premier permettant de faire une prédiction, renforçant la valeur du second (c'est l'image des pièces du puzzle qui se combinent). Ces deux arguments s'appuient sur des disciplines différentes, illustrant *in fine* le caractère collaboratif de la construction des connaissances scientifiques (objet de la Phase 3).
- Dans cette activité, les élèves travaillent sur deux arguments à la fois. Ces deux arguments sont de nature différente: le premier porte sur le fond scientifique («les espèces n'évoluent pas»). Le second est de nature épistémologique («la science est un processus solitaire et les idées des scientifiques ne sont pas contrôlées»). Nous proposons de focaliser l'activité sur le fond scientifique, plus complexe. Le message «esprit scientifique» viendra dans l'analyse finale.
- Les élèves commencent donc par chercher à vérifier l'allégation suivante (Phase 1): **Les oiseaux sont des animaux qui ne ressemblent à aucun autre.** Dans son argumentaire, l'adversaire n° 1 présente en effet les oiseaux comme une entité définie et stable, sans lien possible avec les autres espèces actuelles ni avec d'autres espèces du passé. Il balaye l'existence de ressemblances et considère au contraire le groupe *Oiseaux* d'un point de vue essentialiste. Dans ce cadre, l'origine des oiseaux ne peut se comprendre que comme le résultat d'une création ou d'une génération spontanée. Si la première se place en dehors du cadre de la science, la seconde est réfutée par la science.
- Puis, dans la Phase 2, les élèves s'attaquent à l'objection selon laquelle: **Les espèces sont telles qu'elles ont été créées, sans lien entre elles. Il n'y a pas de fossiles qui montrent des évolutions.** On aborde alors l'étude de fossiles qui pourront aller ou non dans le sens des prédictions faites par la théorie de l'évolution au sens large (cadre non fixiste). La découverte historique d'*Archæoptéryx* et son interprétation à la lumière de la théorie de l'évolution par sélection naturelle a été au cœur d'un passionnant antagonisme entre deux grands noms de la biologie: Richard Owen et Thomas Huxley. Les élèves sont invités à se placer dans ce cadre historique et à tenter d'interpréter le fossile d'*Archæoptéryx* dans un cadre évolutionniste. À la fin de l'activité, on présente un nouveau fossile: celui d'un dinosaure à plumes. Il s'agit à nouveau de proposer des faits en faveur de la théorie d'une évolution depuis un ancêtre commun avec le lézard jusqu'aux oiseaux.
- Enfin, dans la Phase 3, les élèves s'attaquent à l'affirmation selon laquelle: **Les scientifiques ne deviennent plus capables de voir autre chose et font tout pour se convaincre du bien-fondé de leur théorie.**

Phase 1: Le regard de l'anatomiste

Objectif détaillé: Attaquer l'objection «Les oiseaux sont uniques, sans lien avec les autres espèces actuelles»



■ **L'enseignant explicite aux élèves l'affirmation erronée qu'ils étudient ici : *Les oiseaux sont des animaux qui ne ressemblent à aucun autre.*** Dans ce début d'activité on veut savoir, pour vérifier l'affirmation ci-dessus, si le pigeon ramier partage une quelconque ressemblance avec le chat domestique ou le lézard des murailles, et si oui avec lequel il en partage le plus (la réponse qui viendrait peut-être si on la posait aux élèves serait : « aucun des deux ! »). Pour cela, les élèves sont invités à remplir un tableau de comparaison (matrice de caractères) à partir de documents (ou, le cas échéant, d'échantillons à disposition).

■ **L'enseignant met à disposition des élèves des stands où sont disponibles les échantillons et les Fiches anatomiques imprimées qui les remplacent sinon.** Il laisse les élèves compléter les tableaux et progresser à leur rythme dans l'activité. Il veillera à donner des aides orales ou écrites pour débloquer les élèves (notamment au moment du choix de l'arbre phylogénétique car c'est ici qu'il peut faire ressortir certaines préconceptions des élèves).

■ **Pour terminer la séance, l'enseignant invite les élèves à choisir entre deux arbres phylogénétiques** (deux hypothèses d'histoire évolutive) **celui qui est cohérent par rapport à la matrice remplie**, en supposant que ces ressemblances sont effectivement héritées d'un ancêtre commun.

Note : il n'est pas indispensable de faire les mêmes choix que ceux présentés ici en termes d'espèces et l'enseignant pourra s'adapter selon le matériel à sa disposition. Une visite dans un musée peut, dans l'idéal, permettre de remplacer une étude documentaire. Par la suite nous parlerons de lézard pour lézard des murailles et de pigeon pour pigeon ramier même si l'étude phylogénétique travaillera d'abord sur des espèces (avant de généraliser).

De même, il n'est indispensable de choisir les mêmes caractères que ceux présentés ici, tant que le tableau est suffisant pour argumenter en faveur du regroupement des pigeons et des lézards.

Conseils de mise en place et éléments de correction

- Lors de la construction du tableau, certains termes posent quelques difficultés (parfois le terme de « membre locomoteur » par exemple). Pensez à expliciter ces termes si besoin.
- Attention à la difficulté également pour certains élèves de jongler entre les cases « présence » et « absence ». Il n'est pas possible d'homogénéiser le tableau et l'on doit conserver les termes de « présence » ou « absence » (pour mettre en évidence des caractères dérivés partagés). Il faut bien dire aux élèves de cocher la case quand l'affirmation de la première colonne est vraie (je coche s'il y a présence de plumes et je coche s'il y a absence de griffes).
- Un exemple de tableau rempli :

	Chat	Lézard	Pigeon
Présence d'un squelette osseux avec des vertèbres	X	X	X
Présence de 4 membres locomoteurs	X	X	X
Membre en 3 parties	X	X	X
(1, 2 puis ensemble d'os)		X	X
Présence d'écailles soudées		X	X
Ponte d'œufs protégés par une coquille calcaire			X

Présence d'un membre antérieur transformé en aile			X
Présence de plumes qui recouvrent le corps			X
Premier orteil orienté vers l'arrière			X
Présence d'un bec sans dents			X
Absence de griffes aux pattes antérieures			X
Absence d'une queue longue avec vertèbres			

• Les élèves doivent conclure à partir du tableau que le chat et le lézard ont 3 caractères partagés, le lézard et le pigeon 5 et le chat et le pigeon 3. Le lézard et le pigeon sont donc les deux espèces les plus proches dans ce trio. Il est important d'accompagner cette étape et de lui accorder un temps suffisant pour que les élèves fassent ressortir leurs représentations et leurs difficultés à comprendre ce type de document. Voici quelques erreurs récurrentes :

- Les élèves négligent souvent l'axe du temps et recherchent parmi les ancêtres communs des animaux actuels (le lézard ancêtre du pigeon par exemple).
- Les élèves proposent aussi de placer le pigeon à part, parce qu'il a « plus de caractères ». Il est important alors de rappeler qu'il ne s'agit pas de compter un nombre absolu de caractères, celui-ci n'étant influencé que par le choix arbitraire des caractères étudiés, mais qu'il s'agit de retrouver le plus grand nombre de caractères partagés par deux espèces pour les regrouper en premier.
- Enfin, certains élèves proposent de compter également comme ressemblances l'absence d'un caractère. Il faudra rappeler que seuls les groupes sont fondés sur des caractères nouvellement acquis chez une ancêtre commun pour retracer les liens de parenté (on pourra l'illustrer par l'absurde en suggérant que l'on ne va pas regrouper le chêne et la fourmi car tous deux n'ont pas de vertèbres).

Conseils de mise en place et éléments de correction

- Pour réaliser le choix de l'arbre phylogénétique, les élèves trouveront un court texte dans la Fiche Elève résumant la méthodologie de choix de l'arbre mais un temps plus long doit certainement être consacré ici par l'enseignant pour expliciter cette méthodologie si c'est la première fois que les élèves étudient ces notions. Des questions intermédiaires peuvent débloquent les élèves qui ne sauraient comment s'y prendre pour exploiter le tableau : *Combien y-a-t-il de ressemblances exclusives (c'est-à-dire propres à eux deux) entre le chat et le lézard ? Entre le lézard et le pigeon ? Entre le pigeon et le lézard ?*
- Pour rappel, les trois animaux choisis ici appartiennent au groupe monophylétique des amniotes tandis que pigeon et lézard appartiennent au groupe monophylétique des diapsides (inclus dans le précédent). Rappelons aussi que le terme « reptile » (dans sa définition classique) renvoie à un groupe paraphylétique. L'usage du mot reptile n'est pour autant pas interdit et il fait en l'occurrence

référence de façon indifférente à un lézard, à un lézard ou à une tortue car il n'est pas indispensable d'avoir recours au lézard dans l'activité. De plus, le mot est connu par les élèves et il ne semble pas pertinent de s'interdire de l'utiliser tant qu'il ne nuit pas à la compréhension des mécanismes de l'évolution. On pourra également préciser en fin d'activité pourquoi, s'il reste un mot d'usage courant, il ne définit pas un groupe pertinent quand il s'agit de classer les êtres vivants en fonction de leurs liens de parenté.

- L'enseignant doit guider les élèves dans la bonne compréhension de la méthode du choix de l'arbre. Puis dans ce qui nous servira de transition vers la phase 2. Dans le cadre d'une vision non fixiste, puisque le lézard et le pigeon partagent le plus grand nombre de caractères dérivés, les oiseaux seraient apparentés aux lézards plus qu'à aucun autre groupe parmi ceux étudiés. Ils partageraient donc avec ces derniers un ancêtre commun relativement récent duquel ils auraient hérité un ensemble de caractères. Le constat des caractères partagés par les oiseaux et les autres animaux actuels est une pièce de plus pour notre puzzle (la théorie en cours de construction). Non seulement cela nous conforte d'être sur la bonne voie, mais nous avons maintenant des pistes pour la recherche de pièces supplémentaires. Nous pouvons par exemple nous mettre à la recherche de fossiles d'oiseaux et de reptiles anciens pour vérifier notre scénario évolutif (les faits mènent à de nouvelles prédictions qui motivent de nouvelles observations).
- Nous avons déjà signalé que le passage du constat de caractères partagés à la notion de parenté et donc d'ascendance n'est pas immédiat. Il peut cependant être appuyé en soulignant le fait que ces espèces partagent des caractères communs alors qu'elles vivent dans des milieux différents. Darwin s'était lui-même étonné du fait que les espèces des îles volcaniques ressemblaient plus à celles des continents proches qu'à celles d'autres îles aux conditions écologiques comparables. Cela semblait aller à l'encontre d'une création indépendante des espèces. Ainsi, ce fait est un argument qui va dans le sens de la théorie.
- Si les ressemblances constatées dans l'analyse anatomique pourraient s'interpréter comme un argument en faveur d'une transformation des espèces à partir d'espèces ancestrales communes, le choix de l'arbre ne constitue pas un argument supplémentaire en faveur de la théorie. Il a été construit dans le cadre de l'hypothèse de transformation des espèces. Il constitue plutôt une explicitation de l'hypothèse et permet de faire la prédiction suivante : si notre hypothèse est vraie (et si on a la chance de trouver certains fossiles), on peut s'attendre à trouver des formes fossiles qui attesteraient d'un lien de parenté entre oiseaux et reptiles.

Phase 2: Le regard du paléontologue

Objectif détaillé: *Attaquer l'objection « les espèces sont telles qu'elles ont été créées, sans lien entre elles. Il n'y a pas de fossiles qui montrent des évolutions »*

- L'enseignant explicite aux élèves l'affirmation erronée qu'ils étudient ici: **Les espèces sont telles qu'elles ont été créées, sans lien entre elles. Il n'y a pas de fossiles qui montrent des évolutions.**
- L'enseignant présente le contexte de l'activité donné dans la Fiche Elève: un fossile d'oiseau ancien (*Archæoptéryx*) vient d'être découvert et l'enquête va se poursuivre par son étude.
- L'enseignant demande aux élèves de compléter la matrice de caractères obtenue dans la Phase 1 par une nouvelle colonne correspondant au fossile retrouvé.

■ **Dans la suite de l'activité, l'enseignant fournit les documents relatifs à un nouveau fossile: un dinosaure à plumes, *Microraptor*.** Il s'agit à nouveau de présenter des faits en faveur de la théorie d'une évolution depuis un ancêtre commun avec le lézard jusqu'aux oiseaux.

■ **L'enseignant demande aux élèves de terminer de compléter le tableau de la Phase 1 par une dernière colonne pour ce nouveau fossile.**

Conseils de mise en place et éléments de correction

- L'étude du fossile va montrer qu'il est constitué (comme tous les organismes) d'une mosaïque de caractères, certains étant ancestraux (et le rapprochant donc des autres reptiles ou des dinosaures) et d'autres étant dérivés (et le rapprochant donc des oiseaux). On peut parler d'intermédiaire structural pour désigner ce caractère mosaïque (cf. infra). En adoptant le même raisonnement qu'au-dessus, le pigeon et *Archæoptéryx* partagent un ancêtre commun encore plus récent que le pigeon et le lézard. Autrement dit, ils sont plus proches parents et leurs similitudes supplémentaires s'expliquent par un héritage issu de cet ancêtre commun. Cela appuie la lecture par un cadre non fixiste des faits observés.
- On veillera à ne pas véhiculer l'image d'un fossile comme chaînon manquant entre deux groupes. S'il est tentant d'interpréter les fossiles comme des ancêtres pour s'aider à visualiser l'histoire évolutive derrière les arbres phylogénétiques, il est important de se rappeler qu'aucun argument ne pourrait permettre de valider l'idée qu'un fossile donné est bien l'ancêtre commun à l'origine d'un groupe. La phylogénie, contrairement à la généalogie, ne cherche pas à identifier des ancêtres mais à déterminer les liens de parenté entre individus. Bien sûr, elle fournit des renseignements partiels sur les caractéristiques de ces ancêtres mais ceux-ci restent des hypothèses et aucun élément concret ne pourrait attribuer à un individu fossile découvert le titre d'ancêtre commun.
- Les élèves reprennent le tableau commencé dans la Phase 1. Dans les deux premières colonnes, ils colorent en vert les cases indiquant un caractère présent chez les deux animaux, en jaune celles relatives aux caractères propres au pigeon et en bleu celles relatives aux caractères propres au lézard (cette fois on ne distingue plus les caractères dérivés des autres). Dans un second temps, ils colorent, dans les colonnes correspondant aux fossiles, en vert les caractères partagés par le fossile, le lézard et l'oiseau, en jaune ceux qu'ils partagent uniquement avec le pigeon et laisse en blanc ceux qu'ils partagent uniquement avec le lézard. Ce tableau permet de montrer que les fossiles sont des intermédiaires structuraux (avec d'autres critères, ça serait le cas aussi pour les espèces actuelles). Cette mosaïque de caractères, révélée par le jeu de couleurs dans le tableau, est celle qu'on attend dans le cadre d'une transformation des espèces avec acquisition graduelle de nouveaux caractères.

	Lézard	Pigeon	<i>Archæoptéryx</i>	<i>Microraptor</i>
Présence d'un squelette osseux avec des vertèbres	X	X	X	X
Présence de 4 membres locomoteurs	X	X	X	X
Membre en 3 parties (1, 2 puis ensemble d'os)	X	X	X	X

Présence d'écailles soudées	X	X	X	X
Ponte d'œufs protégés par une coquille calcaire	X	X	?	?
Présence de plumes qui recouvrent le corps		X	X	X
Premier orteil orienté vers l'arrière		X	X	X
Présence d'un bec sans dents		X		
Absence de griffes aux pattes antérieures		X		
Absence d'une queue longue avec vertèbres		X		

Conseils de mise en place et éléments de correction

- Tous les faits relevés depuis le début de l'activité tendent à montrer que les oiseaux ne sont pas des organismes complètement à part dans le règne animal. Ils semblent au contraire partager un ensemble de caractères qui en fait d'eux des vertébrés. Plus précisément, au sein des vertébrés, on pourrait les regrouper avec des lézards, crocodiles et tortues dans un même groupe. Si on affinait cette classification, on devrait même les intégrer au sein des dinosaures (voire éclairage scientifique sur la page dédiée au projet sur le site *La Main à la Pâte*). Certains fossiles d'oiseaux associant des caractères classiquement attribués uniquement aux oiseaux (comme la plume) avec d'autres caractères classiquement exclus des oiseaux (comme la présence de dents, ou d'une queue) permettent d'attester d'un héritage évolutif récent commun avec les « reptiles ».
- Attention ici à ne pas induire l'idée d'une direction de l'évolution vers les oiseaux. D'autres caractères auraient également montré des acquisitions de nouveaux caractères dans la lignée crocodylienne.
- Attention également à ne pas laisser croire qu'*Archæopteryx* est un intermédiaire entre les lézards et les oiseaux ! Il s'agit d'un oiseau, il est donc apparenté aux autres oiseaux. Par contre, étant plus ancien, il a conservé plus d'états de caractère communs avec l'ancêtre des oiseaux et des lézards.
- Notons que l'ensemble de ces arguments peut ne pas suffire à réfuter l'idée d'un fixisme des espèces. Une vision créationniste pourrait réinterpréter l'ensemble de ces observations. Tout comme une hypothèse d'une « génération spontanée » des espèces. Une discussion en classe pourrait préciser que l'hypothèse de la génération spontanée a été historiquement réfutée par des faits scientifiques. En revanche, invoquer un argument créationniste est clairement en dehors du cadre de la science.

- À notre connaissance, aucun fossile d'œuf d'*Archæopteryx* ni de *Microraptor* n'ont été découverts mais il semble évident, par rapport à d'autres arguments, que ces espèces poussaient des œufs. De plus, *Microraptor* ne possédait pas d'hallux retourné (même si les documents ne permettent pas de le mettre en évidence).

Phase 3 : Un travail en solitaire ?

Objectif détaillé : *Attaquer l'objection « A force de s'enfermer dans leurs idées, les scientifiques ne deviennent plus capables de voir autre chose et font tout pour se convaincre du bien-fondé de leur théorie ».*

■ **L'enseignant explicite aux élèves l'objection erronée qu'ils étudient ici :** *Les scientifiques ne deviennent plus capables de voir autre chose et font tout pour se convaincre du bien-fondé de leur théorie.*

■ **L'enseignant distribue la suite de la Fiche élève et demande aux élèves de compléter** la Carte Validation collective d'une théorie, en listant les disciplines apportant un argument en faveur de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle. L'enseignant précise que certains arguments peuvent avoir été donnés dans les activités précédentes ou seront donnés dans les activités futures (si la suite de la Séquence 4 est réalisée par l'enseignant). Parmi les experts, nous citerons donc « le biologiste » (ou le « naturaliste ») de la Séquence 3, « l'anatomiste » de la phase 1 et « le paléontologue » de la phase 2. Chaque expert a apporté une pièce au puzzle. Ces pièces s'agencent pour former un ensemble cohérent, plus fort qu'un message porté par un seul scientifique. On peut résumer les messages de chacun des scientifiques convoqués :

- « certains caractères héréditaires rendent des individus plus aptes à survivre et à se reproduire que d'autres dans le même milieu » ;
- « il existe des ressemblances entre espèces différentes – même vivant dans des milieux différents » ;
- « des espèces fossiles montrent une évolution des formes biologiques au cours des temps géologiques ».

■ **À la fin de la séance, l'enseignant rappelle aux élèves de remplir leur Carte Enquête finale : reconnaissance d'une bonne théorie.**

Pour nourrir la discussion à l'issue de l'activité

■ La mise en commun débute par un résumé (pouvant être fait par les élèves) des différentes étapes de leur réflexion : l'étude comparée des 3 animaux actuels a montré des similitudes entre espèces éloignées puis permis de faire une nouvelle prédiction : si l'hypothèse de la théorie est vraie, alors on s'attend à trouver un fossile avec des caractéristiques particulières. Par la suite, ils ont étudié des fossiles et validé cette prédiction, donnant encore plus de poids à la théorie. Les élèves doivent comprendre que cet ensemble d'éléments constitue une preuve à l'encontre de l'argument fixiste avancé par l'adversaire de Darwin.

■ L'enseignant peut maintenant mettre en relation les faits établis dans cette activité avec ceux de la Séquence 3. Darwin a postulé un mécanisme, la sélection naturelle. Celle-ci implique fondamentalement un principe d'évolution des espèces depuis des formes ancestrales communes. Les données paléontologiques confirment une évolution des formes biologiques et les données anatomiques

permettent de rassembler des espèces qui partagent un grand nombre de caractères dérivés dans des groupes de parenté.

■ L'enseignant explique que l'élaboration des théories scientifiques est analogue à la construction d'un puzzle ou à la résolution d'une enquête: les observations préalables ont permis de proposer un cadre explicatif (les premières étapes de la construction ou l'identification de suspect). À partir de ces observations, ils ont réalisé des prédictions qui les guident dans leurs observations ultérieures: recherche de la pièce manquante ou de preuve ultérieure. Si ces éléments sont retrouvés, ils viennent valider le cadre préalable. Plus le nombre d'arguments convergents et complémentaires augmente, et plus la confiance dans la théorie augmente.

■ Un élément fondamental du fonctionnement de la science est le suivant: la construction de la connaissance scientifique est le fruit d'une collaboration entre plusieurs chercheurs voire plusieurs laboratoires de disciplines différentes: la science est une entreprise collaborative. Ce travail d'équipe évite de tomber dans ce que l'on nomme le biais de confirmation, qui nous amène à trouver inévitablement la pièce encore manquante qui validerait notre théorie! Au contraire, cette entreprise menée de front par de nombreux chercheurs assure une validité des théories établies. Il aurait été par exemple peu rassurant que toute la théorie de l'évolution ait été énoncée par le seul Charles Darwin et que celui-ci se base sur ses seules observations. C'est plutôt un faisceau d'arguments qui appuie cette théorie, justifiant le fait qu'aujourd'hui, tous les scientifiques experts de la biologie sont convaincus du bien-fondé de cette connaissance.

■ Nous pouvons illustrer cela par un exemple contemporain en évoquant les sciences du climat. Un organisme, le GIEC (groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a été créé pour étudier l'ensemble des recherches relatives au réchauffement climatique et produire ponctuellement des rapports de synthèse pour communiquer sur l'état des connaissances à un instant donné. Plus généralement, avant même sa publication, toute connaissance scientifique est évaluée dans un processus dit d'évaluation par les pairs pour en garantir la justesse. La science s'est donc munie de système de contrôle communautaire de la fiabilité de l'information.

■ Dans notre vie quotidienne, nous devons régulièrement nous forger une opinion sur un sujet. Même si cela n'est pas équivalent à la construction d'une connaissance, la même exigence dans notre attitude est requise: vouloir trouver à tout prix la preuve à notre opinion présente un risque, celui de ne plus rester objectif! On peut même se convaincre à tort qu'un élément est une preuve en faveur de ce que l'on pense, sans que ce soit fondé. Dans ce genre de situations, demander à quelqu'un d'autre de vérifier notre raisonnement, discuter, échanger... peut être une solution à ce risque. L'enseignant invite les élèves à retrouver des situations dans laquelle ils agissent ainsi! Par exemple, un élève voulant convaincre ses parents de l'innocuité de l'utilisation tardive de son téléphone sur son sommeil (voir Séquence 2), pourra attendre d'avoir une bonne note au contrôle du lendemain pour prouver sa thèse! D'autres exemples peuvent être proposés. Dans tous les cas, confronter son regard à celui de quelqu'un d'indépendant serait forcément bénéfique et permettrait de vérifier la légitimité de sa pensée.

Phase 2: Le regard du paléontologue

Contexte :

En novembre 1861, une nouvelle intrigante émerge dans le monde de la paléontologie. On raconte qu'un docteur allemand, un certain Haberlein, aurait acquis un fossile incroyable. Un fossile d'oiseau très vieux, peut-ˆtre le plus vieux qu'on n'ait jamais trouve, datant du jurassique. De façon encore plus ˆtrange, on raconte que Monsieur Owen, directeur du muséum d'histoire naturelle de Londres et l'un des premiers opposants ˆ votre théorie, se serait empresse de faire une proposition très élevée au docteur pour s'en emparer. Comme si ce fossile possédait un secret ˆ vite enfouir...

Matériel :

- Tableau des similitudes (ˆ remplir avec les Fiches anatomiques)
- Fiche anatomique de l'Archeopteryx (pour vous aider ˆ remplir le Tableau)
- Fiche anatomique du Microraptor, un dinosaure ˆ plumes (pour vous aider ˆ remplir le Tableau)

	Chat domestique	Leard des marais	Pigeon ramier
Présence d'un squelette osseux avec des vertèbres			
Présence de 4 membres locomoteurs			
Membres en 3 parties (constitues d'1, de 2 puis d'un ensemble d'os)			



Règles : Une autre objection opposée par l'adversaire n 3 est la suivante: **Les espèces sont telles qu'elles ont été crées, sans lien entre elles. Il n'y a pas de fossiles qui montrent des évolutions car tout ceci n'est qu'une vision imaginaire.** Maintenant que vous avez suppose un scénario évolutif, vous pouvez imaginer ˆ quoi ressemblerait le fossile qui apporterait une preuve ˆ ce scénario. Et ainsi trouver un argument pour lever cette objection.

Mission : Vous allez étudier ce fossile pour déterminer en quoi il peut ˆtre un argument en faveur de l'existence de formes de transition (depuis l'ancêtre commun entre les leards et les oiseaux, jusqu'aux oiseaux d'aujourd'hui)

- ▶ **Consigne 1 :** Reprenez votre tableau de comparaison des caractères anatomiques et complétez-le avec les données du fossile.
- ▶ **Consigne 2 :** Complétez le tableau suivant :
 - coloriez ou surlignez en vert les cases associées ˆ un caractère présent chez les deux animaux ;
 - coloriez ou surlignez en jaune les cases associées ˆ un caractère propre au pigeon ;
 - coloriez ou surlignez en bleu les cases associées ˆ un caractère propre au leard.

Dans les colonnes Archeopteryx et Microraptor :

- coloriez ou surlignez en vert les cases associées ˆ un caractère présent chez le fossile et les deux autres animaux ;
- coloriez ou surlignez en jaune les cases associées ˆ un caractère présent chez le fossile et le pigeon ;
- coloriez ou surlignez en bleu les cases associées ˆ un caractère présent chez le fossile et le leard.

- ▶ **Consigne 3 :** Justifiez en quoi les fossiles découverts sont un argument en faveur du fait que les oiseaux actuels partagent un ancêtre commun avec les leards et qu'ils possèdent aujourd'hui des caractères herites de cet ancêtre.

Phase 3: Un travail solitaire ?

Matériel :

- Carte Validation collective d'une théorie.



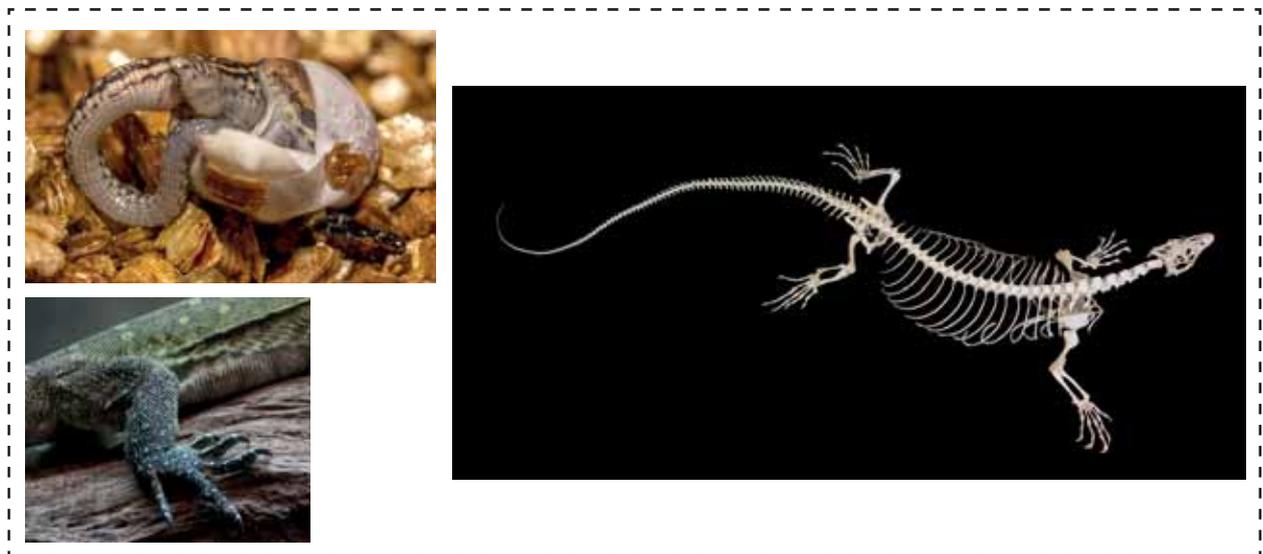
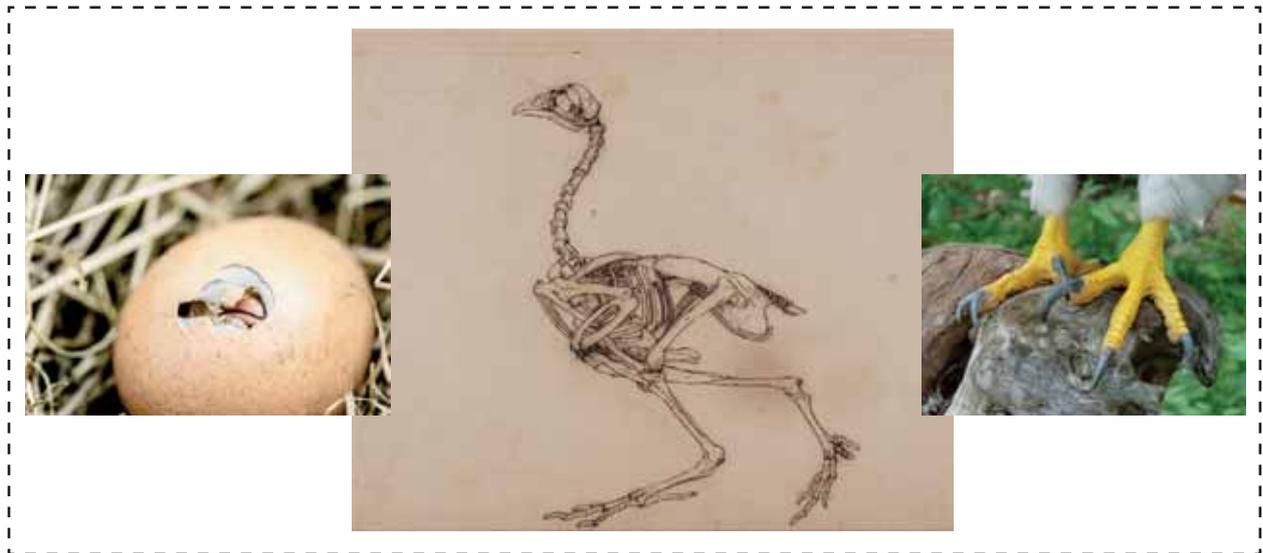
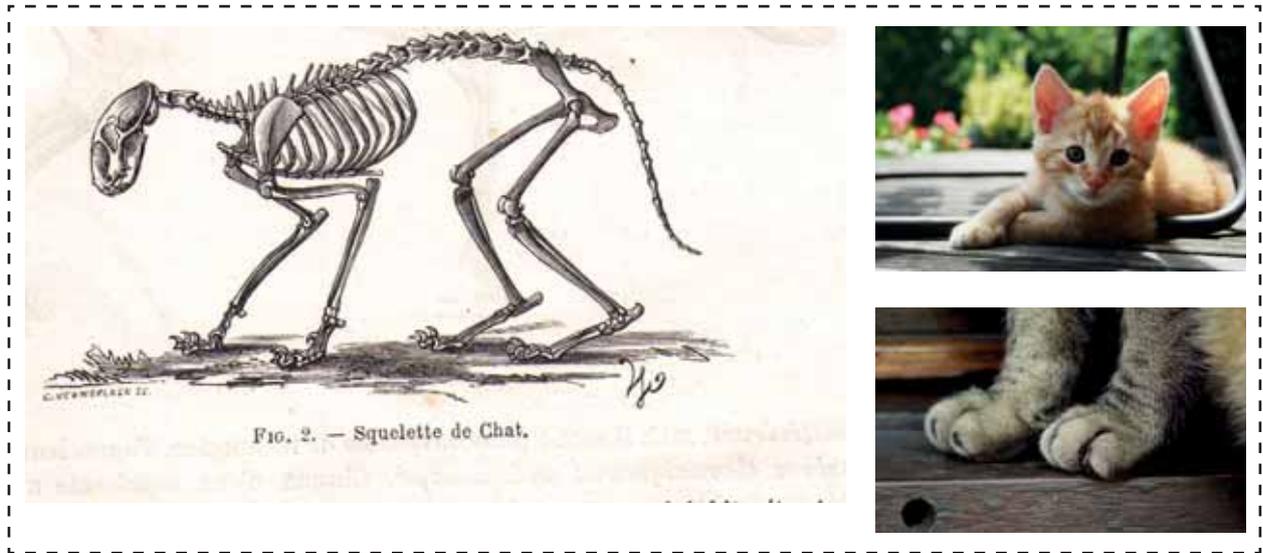
Règles : Pour répondre à l'argument **« à force de s'enfermer dans leurs idées, les scientifiques ne deviennent plus capables de voir autre chose et font tout pour se convaincre du bien-fondé de leur théorie »**, remplissez la Carte Validation collective.

Aux origines des oiseaux (fiche matériel)

- Tableau des similitudes

	Chat domestique	Lézard des murailles	Pigeon ramier
Présence d'un squelette osseux avec des vertèbres			
Présence de 4 membres locomoteurs			
Membre en 3 parties (constituées d'1, de 2 puis d'un ensemble d'os)			
Présence d'écailles soudées			
Ponte d'œufs protégés par une coquille calcaire			
Présence d'un membre antérieur transformé en aile			
Présence de plumes qui recouvrent le corps			
Premier orteil orienté vers l'arrière			
Présence d'un bec sans dents			
Absence de griffes aux membres locomoteurs antérieurs			
Absence d'une queue longue avec vertèbres			

• Fiches anatomiques de 3 animaux actuels



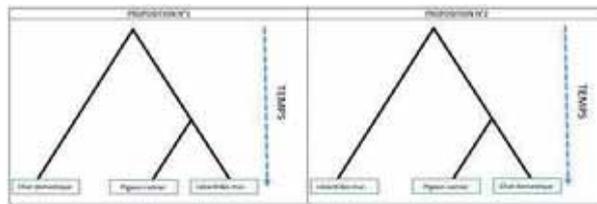
• Rappel sur la classification des espèces

RAPPEL

Dans la théorie de l'évolution, les espèces évoluent à partir d'ancêtres communs. On s'attend à retrouver des ressemblances chez des espèces qu'on estimera apparentées, même si elles ne vivent pas dans des milieux similaires. Par exemple, on suppose que tous les vertébrés partagent des vertèbres car ils descendent tous d'une espèce ancestrale qui vivait quelques centaines de millions d'années auparavant, qui possédait déjà un squelette à colonne vertébrale, et qui a transmis ce caractère aux espèces actuelles qui descendent de cet ancêtre.

Ainsi, plus les espèces partagent de ressemblances, et plus elles sont proches l'une de l'autre (elles partagent donc un ancêtre commun d'autant plus récent dans le temps).

• Arbres phylogénétiques



• Fiches anatomiques de 3 animaux actuels



• **Fiche anatomique du *Microraptor*, un dinosaure à plumes**

Archæoptéryx ne sera finalement pas la plus étonnante et percutante preuve de la théorie de l'évolution appliquée aux origines des oiseaux. Un incroyable fossile a été découvert en Chine. C'est celui d'un petit dinosaure nommé *Microraptor*.



• **Carte Validation collective d'une théorie**

6 points

ENQUÊTE 3: VALIDATION COLLECTIVE D'UNE THÉORIE

Élaborez la liste des scientifiques (leur domaine d'expertise) pouvant apporter un argument en faveur de la théorie et un résumé de l'argument (2 points par argument).

-
-
-
-

THÉORIE DE L'ÉVOLUTION DES ESPÈCES
PAR LA SÉLECTION NATURELLE

Activité 2: Le jeu de la sélection et du hasard

Objectif: Comprendre le rôle du hasard dans la théorie de l'évolution

Résumé	Les élèves exploitent des modélisations par des jeux de cartes pour appréhender concrètement la notion du rôle du hasard dans la théorie de l'évolution par sélection.
Matériel	Attention: Jeux de cartes à constituer, à imprimer et éventuellement plastifier avant le cours.
Notions mobilisées	Mettre en évidence des faits d'évolution des espèces et donner des arguments en faveur de quelques mécanismes de l'évolution.
Compétences mobilisées	Identifier par l'histoire des sciences et des techniques comment se construit un savoir scientifique; Identifier un modèle simple pour mettre en œuvre une démarche scientifique.
Production	Fiche enquête remplie.
Durée	2 à 3 heures environ.

Message à emporter

Parfois, certaines théories scientifiques paraissent aller à l'encontre du bon sens: elles deviennent alors difficiles à comprendre et à accepter. Dans ce cas, nous avons tendance à rester convaincus par nos intuitions ou à nous retourner vers des croyances. Les scientifiques doivent faire l'effort de mettre de côté leurs intuitions et croyances au moment où ils élaborent leurs théories. En effet, pour qu'une théorie explique de façon correcte le monde, elle doit se baser sur des faits.

Clés pour la mise en œuvre

Comme pour les autres activités de la Séquence 4, cette activité a pour but de fournir une réponse à deux objections: une sur le fond scientifique et une sur le fond épistémologique.

Le premier objectif de cette activité est donc une nouvelle fois de placer l'élève dans la capacité à réfuter, par une approche scientifique, un argumentaire erroné. En l'occurrence, c'est contre la confusion autour du hasard et la vision finaliste (panglossienne) de l'évolution que s'oriente l'activité.

Le second objectif est relatif au travail du scientifique lui-même. Celui-ci fait l'effort d'avoir une approche fondée sur des observations et des expérimentations (comme vu dans les séquences précédentes), et en mettant de côté intuitions et croyances. Ce n'est pas l'hypothèse la plus « immédiate » qui s'impose, mais celle qui explique le mieux notre monde.

L'activité repose sur un jeu qui nécessite un temps de prise en main. Finalement, les élèves s'emparent assez vite du jeu et, si du temps y est consacré, de nombreuses remarques et interrogations émergent et permettent une réflexion et un questionnement en profondeur de la théorie de l'évolution.



Déroulé possible de l'activité

Contexte : Le quatrième argumentaire à l'encontre de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle vient de se terminer. Comme le précédent, cet orateur a utilisé des objections attaquant aussi bien le fond scientifique que la méthode. Sur le plan scientifique, il imagine une explication alternative à la sélection naturelle, bien plus satisfaisante selon lui (les caractères s'expliquent par un but précis, sans faire appel au hasard). Sur le plan épistémologique, l'objection avancée est la suivante : **la théorie est bien compliquée, et il vaut mieux se fier à ses intuitions.**

Objectif : Il faut une nouvelle fois identifier les erreurs de compréhension aussi bien sur le fond scientifique que sur la méthode scientifique qui a mené à cette théorie.

Organisation : Par groupes de 2.

Matériel :

Pour la Phase 1 :

- Exemples de cartes (il faut produire des cartes similaires avec toutes les lettres pour constituer le paquet complet).
- Plateau support pour poser les cartes (les cartes sont posées de gauche à droite puis recouvrent les précédentes).
- Tableau de valeur des cartes (une carte avec une « valeur plus élevée » remplace une carte préexistante sinon elle est défaussée).

Pour la Phase 2 :

- Des observations naturalistes (qui constituent le point de départ de la réflexion).
- Carte État initial (précise les états initiaux des œufs et des compétences de discrimination de l'hôte).
- Cartes Mutations œufs du parasite (paquet de cartes que le joueur coucou pourra piocher).
- Cartes Mutations vision de l'hôte (paquet de cartes que le joueur hôte pourra piocher).
- Carte Nid final (pour dessiner l'œuf du coucou, en cas de victoire de celui-ci).
- Plateau pour le coucou (permet de poser les cartes pour le joueur coucou).
- Plateau pour l'hôte (permet de poser les cartes pour le joueur hôte).

Pour la Phase 3 :

- Carte Abandonner les intuitions (à remplir en fin d'activité).

Règles : La théorie de l'évolution étant difficile à expérimenter en classe, des petites expériences de pensée, sous la forme de jeu, vont permettre de mieux appréhender le rôle du hasard dans la théorie de l'évolution. Réaliser les simulations proposées puis, dans un deuxième temps, expliciter le rôle du hasard dans l'évolution et en quoi l'argument de l'adversaire est erroné.

Tableau de valeur des cartes :

Position de la carte	LETTRES LES MIEUX ADAPTEES	LETTRES LES MOINS BIEN ADAPTEES
1	P C M S T B A F L	
2	A O E R I U S N	
3	I R T L N O E U	
4	E S I A T R N	

Plateau pour le coucou :

MUTATIONS ŒUF DU COUCOU			
Règle : On ne choisit pas les cartes qu'on pose. Toute nouvelle mutation remplace la précédente (sauf la carte qui donne le nid de l'hôte qui est forcément défaussée).			
COULEUR	FORME	TAILLE	MOTIF

ENQUÊTE 4 : ABANDONNER LES INTUITIONS

6 points

Rapportez les deux visions expliquant les caractéristiques des œufs de coucou (intuitive et basée sur la théorie) et leur prédiction respective.

VISION INTUITIVE	VISION BASÉE SUR LA THÉORIE
PREDICTION	PREDICTION

L'enseignant explique: « Cet adversaire de Darwin postule qu'il n'y a pas de place pour le hasard dans l'évolution, tout a l'air si bien fait! Pour lui prouver le contraire, vous allez utiliser des jeux de hasard (une forme de « machine à sous » de l'évolution qui produit des caractères et un jeu de cartes) et montrer comment celui-ci peut participer à faire apparaître des êtres vivants adaptés à leur environnement! »

Présentation générale de l'activité

- Dans le quatrième argumentaire, ce sont les arguments de complexité et de perfection qui sont attaqués. L'argument consiste à dire qu'il n'y a rien d'aléatoire dans les êtres vivants, mais que tout est finement pensé. Cet argument est une vision finaliste qui est associée à une intentionnalité. L'objection épistémologique **Tout ce que je raconte, c'est l'évidence même. Tout le monde le voit, le sait. Pourquoi s'embêter à le nier?** concerne un point clé de la compréhension par le public des théories: même si nos intuitions et croyances sont très présentes à notre esprit, et apparaissent parfois comme solides tant elles sont ancrées en nous, une connaissance qui reposerait sur elle ne serait pas fondée. L'activité se découpe en trois phases.

- La Phase 1 consiste à bien replacer le rôle du hasard dans la théorie de l'évolution. Elle s'attaque à l'objection: **Cette complexité chez l'oiseau s'explique par le but précis de voler, et ne peut résulter du hasard.** Il est incorrect de dire que cette théorie postule que le hasard est à l'origine des adaptations observées chez les êtres vivants. En revanche, le hasard est indispensable car c'est lui qui, par le biais des mutations, est à l'origine de la diversité observée chez les êtres vivants (les différents allèles d'un gène et donc les différents états d'un caractère étudié, à l'intérieur d'une population). Il s'agit donc de bien délimiter les rôles respectifs du hasard et de la sélection naturelle dans la théorie de l'évolution.

- Dans la Phase 2 de l'activité, nous allons montrer qu'une théorie de l'évolution qui prend en compte le hasard explique mieux certaines observations qu'une théorie purement finaliste. Pour cela, nous utilisons le cadre du parasitisme entre les coucous et leurs hôtes pour illustrer des exemples où l'on s'éloigne des attendus d'une hypothèse d'un processus intentionnel et ainsi étayer le caractère aveugle de l'évolution.

Ceci permet d'affronter un autre argument de l'adversaire: c'est le caractère apparemment parfait des choses. Complexité et apparente perfection sont en effet les deux éléments qui rendent difficile l'acceptation d'un mécanisme évolutif graduel et impliquant partiellement le hasard. L'objection est formulée ainsi: **On n'observe que des oiseaux parfaitement adaptés à leur environnement, car ils ont été ainsi faits** (par une Nature bienveillante, par une intelligence prévoyante...). C'est un autre aspect de l'argument d'intentionnalité. Il est vrai qu'un processus « aveugle » comme celui postulé dans la théorie darwinienne de l'évolution (couple mutation – sélection) devrait conduire à des éléments moins parfaits que s'il était le résultat d'un processus intentionnel. L'exemple choisi dans l'activité révèle de tels cas.

- Enfin, la Phase 3 demande aux élèves de montrer le passage d'une explication basée sur des intuitions vers une explication basée sur une théorie confirmée par des faits. Ils réalisent cela en remplissant la Carte Abandonner les intuitions.

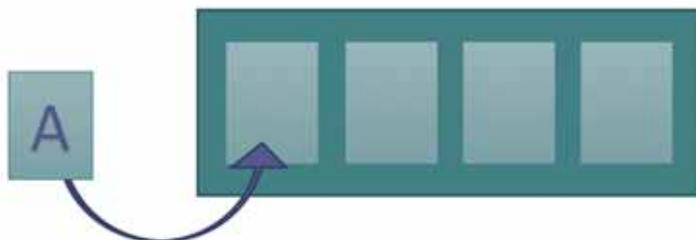
- **L'enseignant présente aux élèves le contexte et l'objectif de l'activité.**

Phase 1 : Vous avez dit hasard ?

Objectif détaillé : Bien replacer le rôle du hasard dans la théorie de l'évolution

- **L'enseignant explicite aux élèves l'objection erronée qu'ils étudient ici : Cette complexité chez l'oiseau s'explique par le but précis de voler, et ne peut résulter du hasard.** Cette objection postule qu'il est impossible de rendre compte des adaptations des êtres vivants en faisant intervenir le hasard. L'enseignant explique que l'on va d'abord travailler avec un modèle, avant de s'intéresser à nouveau au vivant.

- **L'enseignant présente le matériel à disposition des groupes de 2 élèves et l'objectif du jeu :** ils disposent d'un paquet de cartes, chaque carte représentant une lettre (Nous avons choisi de mettre 4 cartes des lettres courantes, 3 des autres lettres et d'enlever le H, le K, le Q, le W, le X, le Y et le Z, de manière à augmenter la probabilité d'apparition d'un mot). Les cartes sont mélangées et disposées face cachée. Les élèves doivent commencer par tirer au sort 4 cartes et les poser face visible de façon alignée sur chacune des cases, comme pour former un mot (ils se servent du plateau fourni).



Conditions de victoire : dès qu'un mot de 4 lettres apparaît (on acceptera aussi les noms propres et les verbes conjugués!), le jeu s'arrête. On compte le nombre de cartes utilisées pour y parvenir. Le groupe qui a utilisé le moins de cartes gagne ! Attention, on considère qu'une fois le paquet épuisé (ou au bout de 30 cartes pour aller plus vite), le jeu est perdu !

Note : ce jeu s'apparente à une « machine à sous » qui distribue par pur hasard des combinaisons.

– **Mode 1 : Que du hasard**

Règle du jeu : Une fois les quatre premières cartes posées, les élèves poursuivent le tirage au sort. Chaque carte tirée est placée et posée sur une case (de la position 1 vers la position 4 et ainsi de suite).

– **Mode 2 : Hasard et sélection**

- Le jeu est réalisé plusieurs fois par groupe. **Au bout d'un certain temps, l'enseignant initie une discussion avec les élèves.** Ceux-ci ont dû constater qu'il est très difficile de voir un mot apparaître dans ces conditions. L'enseignant leur demande de repenser à la simulation faite sur les pinsons de Darwin : où le hasard intervient-il ? Le hasard est-il supposé être la seule force à l'œuvre ? En fait, le hasard agit au début du scénario, en créant la variabilité. Ensuite, certaines formes peuvent être sélectionnées si elles donnent un avantage. Les élèves peuvent proposer de modifier une règle pour ajouter l'effet de la sélection. L'enseignant propose ensuite de modifier la règle du jeu (les conditions de victoire restent les mêmes).

Règle du jeu : Une fois les quatre premières cartes posées, les élèves poursuivent le tirage au sort. Chaque carte tirée peut-être placée, ou non, sur une case (en allant toujours de la position 1 vers

la position 4). Pour savoir si la carte tirée remporte la compétition avec la carte déjà en place, on se réfère au tableau suivant où les cartes sont classées en fonction de leur position (à gauche les cartes les plus « adaptées », à droite les moins « adaptées »). Si une carte est plus « adaptée » qu'une autre, elle la remplace immédiatement, sans choix possible.

Note : l'enseignant rappelle la notion d'adaptation. De même que certains becs conféraient un avantage pour se nourrir dans un environnement donné, on considère que certaines cartes sont « mieux adaptées » que d'autres. C'est une modélisation de la réalité, il n'y a pas de sens à chercher à cette analogie.

Conseils de mise en place et éléments de correction

- Dans la première modalité, les élèves devraient avoir du mal à obtenir un mot. Dans la suivante, cela devrait aller plus vite. Le défi entre les groupes (pour obtenir le mot le plus rapidement) n'est qu'un prétexte pour motiver les élèves à renouveler l'expérience dans les deux conditions. Ils devraient réaliser que l'élément décisif, qui permet de faire apparaître des formes organisées après l'action du hasard, est le mécanisme de sélection.
- Il est important de demander aux élèves d'explicitier de façon très précise le parallèle entre ce jeu et la théorie de l'évolution par la sélection naturelle. Ceci peut-être fait de façon plus ou moins autonome. Si l'enseignant souhaite laisser les élèves faire eux-mêmes le lien, il peut leur donner les coups de pouce indiqués ci-dessous. Dans tous les cas, l'enseignant remobilise l'Activité 1 de la Séquence 3 pour montrer où et comment intervient le hasard dans cette simulation et donc plus largement dans la théorie de l'évolution. Il s'agit de guider les élèves dans l'idée que le hasard est à l'origine de la diversité mais qu'il ne représente pas la force évolutive qui mène seule à l'adaptation. Les mutations aléatoires précèdent la sélection. Si, sur le long terme, une impression de « direction » est créée par ce mécanisme (les becs des pinsons évoluent dans le sens d'une capacité à prélever de la nourriture et même se spécialisent), elle n'est que le résultat de ce jeu couplé de la mutation et de la sélection à plus court terme.
- Voici des coups de pouce que nous proposons pour aider les élèves à tirer des conclusions de l'activité :
 - 1) Commencez par comparer les résultats obtenus dans le jeu, avec hasard seulement et avec hasard et sélection. Dans quelles conditions apparaissent des mots bien organisés ?
 - 2) Faites le parallèle entre la modélisation et la théorie de l'évolution par la sélection naturelle. Où intervient le hasard dans la théorie ? La théorie de l'évolution postule-t-elle vraiment que la complexité s'explique par le hasard ?

■ **L'enseignant peut finalement proposer à ses élèves de lire un extrait de *De l'origine des espèces*** dans lequel Charles Darwin expose sa vision des choses. Les connaissances en génétique de l'époque étant quasiment nulles (les lois de Mendel ne seront connues de la communauté scientifique que 40 ans plus tard), Darwin évoque de façon imprécise l'idée d'un « hasard ». Vous trouverez un extrait sur la page dédiée du site *La Main à la Pâte*.

Phase 2: La course aux œufs

Objectif détaillé : Donner des éléments de réponse à l'objection finaliste selon laquelle la perfection de la nature (des adaptations parfaites) ne peut pas être expliquée par le « hasard » : montrer que les adaptations ne sont pas « parfaites »

■ **L'enseignant explicite aux élèves l'objection erronée qu'ils étudient ici: *On n'observe que des oiseaux parfaitement adaptés à leur environnement, car ils ont été ainsi faits.***

– **Mode 1: Pas de hasard?**

■ **L'enseignant présente le contexte du parasitisme de couvée du coucou et le mimétisme de certains œufs en s'appuyant sur la Fiche élève.** De nombreuses vidéos sur internet permettent de rendre vivante cette introduction. L'enseignant commencera par n'illustrer que des cas où le mimétisme semble parfait. Il peut projeter ou distribuer les observations naturalistes suivantes.



■ **L'enseignant distribue un jeu de cartes «œufs coucou», «état initial», «mutation» et «parasites» par groupe de 2 élèves.** Il explique que chaque carte correspond à une modification (ou mutation si le terme est connu). Au point de départ, l'œuf du coucou est petit, blanc, arrondi et uni. L'œuf de l'hôte est bien différent: grand, bleu, pointu et tacheté. Nous nous plaçons ici, comme l'adversaire de Darwin, dans le cadre d'une Nature ayant créé les animaux pour atteindre leur but. Dans cette hypothèse, le but du coucou est de produire des œufs qui se camouflent de sorte que l'hôte ne pourra pas les distinguer des siens et les éliminer. Le but de l'hôte est au contraire de discriminer les œufs du coucou pour pouvoir les éliminer. Puisque dans cette hypothèse, les êtres vivants sont vus comme des objets créés pour remplir une fonction, les élèves étudient leur jeu de cartes «œufs de coucou» et choisissent 4 cartes pour réaliser au mieux leur objectif: devenir dissimulés aux yeux d'un hôte prêt à tout pour les éliminer! Cette phase permet aux élèves de s'approprier ce premier jeu de cartes.

■ **Une fois les choix réalisés, l'enseignant commente rapidement les choix effectués et l'allure des œufs du coucou ainsi créés.** Dans ce cas, tous les œufs sont parfaitement adaptés!

L'enseignant illustre ensuite des cas où le mimétisme est moins net, voire complètement absent. L'enseignant amène les élèves à soulever la problématique qui motivera la suite de l'investigation: Parfois, les œufs semblent en effet parfaitement adaptés. Dans d'autres, ce n'est pas du tout l'impression que ça donne! Comment expliquez la diversité de ces cas?

Il précise aux élèves qu'ils vont chercher à expliquer l'ensemble des cas observés par un jeu. Ce jeu se base sur un paquet de cartes dont les élèves possèdent déjà la moitié du paquet (les mutations du coucou). L'autre moitié du paquet concerne des modifications qui permettent à l'hôte d'éliminer les œufs qu'il reconnaît comme n'étant pas les siens!

Note: ce jeu correspond à une expérience de pensée. Les scientifiques et les philosophes peuvent avoir recours à des expériences de pensée pour illustrer leur raisonnement et ainsi progresser dans la résolution d'un problème. L'enseignant est libre de présenter ou non cette idée.



Note scientifique : Il est important de préciser d'emblée que l'évolution que les élèves modélisent ne concerne pas un individu, mais une lignée d'individus qui se transmettent des caractères ! Les mutations ne concernent pas des modifications dans la vie d'un individu mais l'histoire évolutive d'une population. De même, les « affrontements » réalisés ne sont là que pour le jeu et peuvent correspondre dans la réalité à la rencontre de deux individus qui sont le résultat d'une lignée mais on ne doit pas interpréter une défaite comme l'extinction d'une espèce.

– Mode 2: Hasard et sélection

■ **L'enseignant explique aux élèves qu'ils jouent maintenant dans l'hypothèse d'un processus « aveugle »** comme l'a postulé Charles Darwin, c'est-à-dire avec création de diversité au hasard puis sélection naturelle parmi cette diversité. Une discussion peut permettre de faire émerger quelques règles. On peut évoquer le jeu de la Phase 1 pour guider la réflexion des élèves. Il s'agira donc de tirer les cartes successivement et de façon aléatoire (face cachée).

■ À l'issue d'une phase de discussion, l'enseignant résume :

- **Conditions de victoire :** Les élèves s'affrontent par groupe de 4, deux jouant la population « coucou », deux autres la population « hôte ». Le jeu va durer au plus 6 tours. Un tour se déroule ainsi : le joueur « hôte » pose une carte tirée au hasard puis le joueur « coucou » fait de même. Si à la fin des 6 tours le joueur « hôte » n'est pas capable de repérer les œufs du coucou, c'est le joueur « coucou » qui gagne ! Dès que l'hôte est capable de discriminer les œufs du coucou, le joueur « coucou » perd.

- **Règles de jeu :**

- L'hôte acquiert la capacité à discriminer les œufs sur la base d'un critère lorsqu'il possède toutes les cartes relatives à ce critère (2 cartes pour les critères de taille et de forme et 3 pour les critères de couleur et de motif).

Par exemple, si le joueur « hôte » récupère 3 cartes « couleur », il devient capable d'éliminer tous les œufs qui ne sont pas de la bonne couleur et il remporte donc la partie.

- Le coucou ne conserve pas une mutation qui l'élimine immédiatement (on la considère contre-sélectionnée). Dans ce cas, il la défusse et le jeu se poursuit. Par contre, il ne peut pas choisir d'éliminer une mutation parce qu'il prédit qu'elle lui sera mauvaise par la suite. La sélection n'anticipe pas, même si ça va à l'encontre de la logique du joueur.

Par exemple, si le joueur « coucou » possède des œufs bleus (donc mimétique) et qu'il tire une carte qui donne à ses œufs une couleur différente du bleu ET que l'hôte a déjà 3 cartes couleurs, il défusse la carte et conserve les œufs bleus. En revanche, si l'hôte n'a que deux cartes couleurs, le coucou doit changer sa couleur, même si la partie devient mal engagée pour lui ! La sélection n'anticipe pas...

- Dans le cas où le coucou « gagne », les élèves doivent dessiner le nid correspondant à la situation. Voici un exemple possible :



Note: il existe d'autres exemples qui montrent le caractère aveugle de la sélection naturelle. Vous en trouverez sur la page dédiée au projet sur le site *La Main à la Pâte*.

■ **En fin de séance, l'enseignant invite les élèves à discuter en classe entière de leurs résultats:** certains ont obtenus des cas où la sélection a créé des œufs de coucous « parfaits », d'autres fois les œufs de coucou ont été éliminés. D'autres fois encore, les coucous ont survécu alors que leurs œufs étaient franchement reconnaissables mais les hôtes non plus ne sont pas parfaits! Tous ces cas existent dans la nature, c'est la preuve d'un système aveugle! Le mode sans hasard (mode 1) ne permettait pas d'obtenir ces cas. Cela réfute l'objection de l'adversaire de Darwin.

Règle optionnelle (pour niveau expert)

Voici une règle complexe mais plus réaliste (à réserver à des élèves avancés): Les mutations étant neutres, elles ne sont pas obligatoirement conservées par le coucou. Après avoir tiré sa carte, l'élève lance un dé. Pour un résultat de 1 ou 2, la mutation n'est pas conservée. Dans le cas contraire elle est conservée (on considère la dérive génétique particulièrement forte car on est dans une petite population!).

Phase 3: Un travail en solitaire?

Objectif détaillé: Attaquer l'objection « Tout ce que je raconte, c'est l'évidence même. Tout le monde le voit, le sait. Pourquoi s'embêter à le nier? »

■ **L'enseignant explicite aux élèves l'objection erronée qu'ils étudient ici: *Tout ce que je raconte, c'est l'évidence même. Tout le monde le voit, le sait. Pourquoi s'embêter à le nier?***

■ **L'enseignant propose aux élèves de remplir la Carte Abandonner les intuitions.** Les élèves doivent réaliser que nos intuitions et préconceptions ont la vie dure! Pas facile de les laisser de côté au profit d'une vision plus éclairée. C'est pourtant ce que s'évertuent à faire les scientifiques. Les élèves doivent ici rappeler la différence entre la version intuitive (finaliste) et la version issue de la théorie, les prédictions faites par chacune (uniquement des œufs mimétiques dans le cas de la version intuitive, une diversité de possibilités sinon), et valider la seconde en confrontant les prédictions avec les observations (cf. Les quatre nids présentés dans l'introduction).

■ À la fin de la séance, l'enseignant rappelle aux élèves de remplir leur Carte Enquête finale: reconnaissance d'une bonne théorie.

Pour nourrir la discussion à l'issue de l'activité

■ La mise en commun commence par un rappel des conclusions scientifiques de l'activité. Les élèves auront réalisé qu'ils ont des intuitions pour expliquer les formes vivantes: « celles-ci possèdent des organes conçus pour les rendre adaptés à leur environnement ». Le mécanisme passif et aveugle de la sélection naturelle est contre-intuitif et difficile à mobiliser. Pourtant, des exemples particuliers (comme les nids des hôtes contenant des œufs de coucou non mimétiques) restent inexplicables par cette vision des choses.

■ Les scientifiques ne sont pas différents de nous à la base, et ils possèdent les mêmes a priori. Mais la méthode scientifique les dote d'outils pour mettre sous contrôle leurs intuitions premières. Même si cela est difficile, la méthode donne des garanties pour réfréner, au moins en partie, ces explications intuitives et pour parvenir à formuler des hypothèses plus satisfaisantes et plus cohérentes avec les faits.

■ Nous nous laissons souvent guider par ces intuitions, ces a priori, ces préjugés, et ces préconceptions. Elles se déclenchent automatiquement dans notre esprit et souvent sans que l'on s'en rende compte.

Dans des situations complexes, ils mènent à des prises de position ou des décisions erronées. Prendre conscience de ces réflexes est la première étape pour pouvoir les bloquer.

- L'enseignant demande aux élèves de repérer certaines explications intuitives qu'ils mobilisent. Il pourra également évoquer certaines erreurs persistantes comme par exemple le recours à la distance Terre-Soleil pour expliquer les saisons. Chaque fois, il faut apprendre à bloquer ses intuitions pour acquérir et stabiliser un nouveau savoir.



Le jeu de la sélection et du hasard (fiche élève)

Objectif: Reconnaître la spécificité d'une bonne théorie scientifique.

Mission: Montrez à votre adversaire que hasard ne veut pas dire désordre!

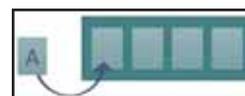
Phase 1 : Vous avez dit hasard ?

Contexte :

Les argumentaires des adversaires de Darwin deviennent de plus en plus difficiles. Comprendre le rôle du hasard dans la théorie de l'évolution n'est pas une chose aisée. Pour guider votre réflexion, vous utilisez une simulation sous la forme de jeux de cartes. En espérant pouvoir contrer cet adversaire tenace!

Matériel :

- Paquet de cartes (lettres qui servent à faire un mot de 4 lettres).
- Plateau support pour poser les cartes (les cartes sont posées de gauche à droite puis recouvrent les précédentes).
- Tableau de valeur des cartes (une carte avec une « valeur plus élevée » remplace une carte préexistante sinon elle est défaussée).



Position de la carte	LETTRES LES MIEUX ADAPTEES LETTRES LES MOINS BIEN ADAPTEES									
1	P	C	M	S	T	B	A	F	L	
2	A	O	E	R	I	U	S	N		
3	L	R	T	L	N	O	E	U		
4	E	S	I	A	T	R	N			

Règles : Une objection classique qui a été opposée par l'un des adversaires de Darwin est la suivante : **Cette complexité chez l'oiseau s'explique par le but précis de voler, et ne peut résulter du hasard.** L'argument consiste à dire qu'il n'y a rien d'aléatoire dans les êtres vivants, mais que tout est finement pensé. Cet argument semble vraiment remettre en cause la théorie : est-ce réellement le cas ?

Ces questions sont difficiles et recourir à des simulations se révèle souvent utile. On va utiliser un paquet de cartes et tirer au hasard des lettres, pour former des combinaisons de 4 lettres, jusqu'à obtenir un mot. Les cartes sont donc mélangées face cachée puis posées une à une, de gauche à droite, dans les 4 cases correspondantes sur le plateau. Ensuite, on continue à les poser en recouvrant les cartes déjà présentes dans les cases. Comptez le nombre de cartes que vous posez jusqu'à obtenir un mot.

► **Conditions de victoire :** Dès qu'un mot de 4 lettres apparaît (on acceptera aussi les noms propres et les verbes conjugués!), le jeu s'arrête. On compte le nombre de cartes utilisées pour y parvenir. Le groupe qui a utilisé le moins de cartes gagne ! Attention : on considère qu'une fois le paquet épuisé, le jeu est perdu !

► **Règle du jeu :** Une fois les quatre premières cartes posées, poursuivez le tirage au sort. Chaque carte tirée est placée et posée sur une case (de la position 1 vers la position 4 et ainsi de suite). Le jeu est joué plusieurs fois selon deux modes successifs, pour atteindre le meilleur résultat.

• Mode 1 : Que du hasard

Cette version s'apparente à une « machine à sous » qui distribue par pur hasard des combinaisons.

• Mode 2: Du hasard et de la sélection

Essayez de former un mot avec du hasard et de la sélection. On recommence le même jeu mais cette fois, vous posez la carte uniquement si elle est mieux « adaptée » que celle déjà en place. Pour savoir si une carte est mieux « adaptée » qu’une autre, utilisez le Tableau de valeurs des cartes. Toutes les cartes ne figurant pas dans le tableau sont équivalentes et donc ne remplacent pas une carte déjà établie.

Consigne finale: En fin de partie, formulez une réponse à l’objection soulevée en début de séance en appuyant votre argumentaire sur la simulation réalisée.

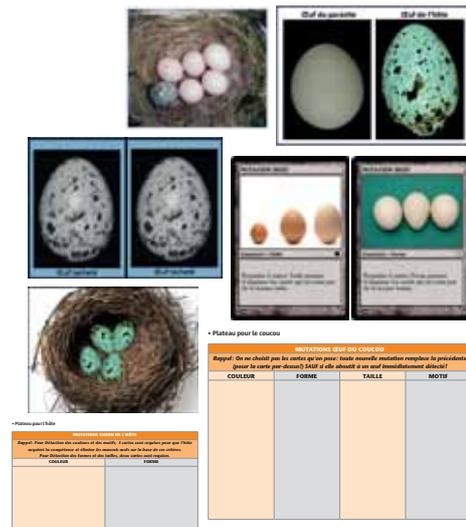
Phase 2: La course aux œufs

Contexte:

Une étude naturaliste vous intrigue. Les femelles de l’espèce coucou gris pondent leurs œufs dans le nid d’une autre espèce, dite parasitée. Ce comportement permet au coucou d’économiser l’énorme quantité d’énergie qu’il faut pour élever des oisillons. Mais pour l’espèce parasitée, cela représente une perte de temps et d’énergie très importante. D’autant que l’œuf du coucou éclot avant ceux des hôtes et que le jeune coucou, aussitôt né, éjecte hors du nid les œufs.

Matériel:

- Des observations naturalistes (qui constituent le point de départ de la réflexion).
- Carte État initial (précise les états initiaux des œufs et des compétences de discrimination de l’hôte).
- Cartes Mutations œufs du parasite (paquet de cartes que le joueur coucou pourra piocher).
- Cartes Mutations vision de l’hôte (paquet de cartes que le joueur hôte pourra piocher)
- Carte Nid final (pour dessiner l’œuf du coucou, en cas de victoire de celui-ci).
- Plateau pour le coucou (permet de poser les cartes pour le joueur coucou).
- Plateau pour l’hôte (permet de poser les cartes pour le joueur hôte).



Règles: Une objection classique qui a été opposée par l’un des adversaires de Darwin est la suivante: la preuve que les êtres vivants ont été façonnés dans un «but» est la suivante: **On n’observe que des oiseaux parfaitement adaptés à leur environnement, car ils ont été ainsi faits** (par une Nature bienveillante, par une intelligence prévoyante...). Une fois encore, votre esprit scientifique vous amène à vouloir confirmer cette hypothèse à l’aide de données tangibles.

• Mode 1: Pas de hasard?

Mettez-vous dans la peau d’un coucou! Quelle apparence doivent avoir vos œufs pour échapper à leur élimination par l’hôte? Utilisez le paquet de cartes à votre disposition. Choisissez quatre modifications pour devenir le meilleur œuf possible!

Confrontez vos résultats avec les observations naturalistes que vous montre l'enseignant!

• **Mode 2: Hasard et sélection**

Pour comprendre ces observations, comme dans la phase 1, vous allez vous baser sur une simulation pour mieux visualiser votre réflexion.

Vous disposez d'un jeu de cartes constitué de deux paquets :

- l'un représente l'ensemble des modifications que peut connaître l'œuf du coucou ;
- l'autre représente l'ensemble des modifications que peut connaître l'oiseau parasité dans sa capacité à discriminer les œufs.

Rappelez-vous que l'évolution que vous allez observer ne concerne pas un individu, mais une lignée d'individus qui se transmettent des caractères!

Le jeu va commencer. Choisissez votre camp (coucou ou hôte) et préparez-vous à un duel l'un contre l'autre! Ensuite, déroulez l'évolution, observez les résultats qui apparaissent et comparez-les avec ceux observés dans la nature.

► **Situation au début du jeu**

Les caractéristiques des deux œufs au début du jeu sont résumées dans la Carte État initial. Le parasite n'est pour l'instant pas capable de reconnaître un œuf qui ne serait pas de la bonne couleur, forme, taille ou possédant le bon motif.

► **Déroulement du jeu** : Formez deux équipes de deux. Chaque équipe décide si elle joue le rôle du coucou ou de l'hôte et récupère le paquet de cartes correspondant. Les cartes sont mélangées et posées face cachée. Chaque équipe tire une carte par tour, à tour de rôle, et la place sur son plateau.

► **Paquets de carte** : L'hôte dispose de 2 cartes taille, 2 cartes forme, 3 cartes couleur et 3 cartes motif. Le coucou dispose de 10 cartes aussi, modifiant chacune un des aspects de ses œufs (taille, forme, couleur, motif).

► **Conditions de victoire** : Le jeu va durer au plus 6 tours. Si à la fin des 6 tours l'hôte n'est pas capable de repérer les œufs du coucou, c'est le coucou qui gagne! Dès que l'hôte est capable de discriminer les œufs du coucou, le coucou perd.

► **Règles de jeu** :

– L'hôte devient capable d'éliminer les coucous qui pondent des œufs non camouflés sur la base d'un critère donné lorsqu'il possède toutes les cartes relatives à ce critère : il faut donc avoir toutes les cartes taille pour éliminer un œuf qui n'est pas grand comme celui de l'hôte (il y a besoin de 2 cartes pour les critères de taille et de forme et de 3 pour les critères de couleur et de motif).

– Le coucou ne conserve pas une carte qui l'élimine immédiatement. Dans ce cas, il la défusse et le jeu se poursuit. Par contre, il ne peut pas choisir d'éliminer une carte parce qu'il prédit qu'elle lui sera mauvaise par la suite. La sélection n'anticipe pas!

– À la fin d'une partie, complétez votre nid en cas de victoire du coucou. Déterminez à quelle situation réelle présentée dans les photos correspond votre nid. Vous pouvez recommencer plusieurs parties jusqu'à obtenir le nid survivant le plus étrange!

Consigne finale : Formulez une réponse à l'objection soulevée en début de séance en appuyant votre argumentaire sur les observations réalisées et votre expérience de pensée.

Phase 3: Un travail en solitaire?

Matériel :

- Carte Abandonner les intuitions.

Règles : Répondre à l'argument **Tout ce que je raconte, c'est l'évidence même. Tout le monde le voit, le sait. Pourquoi s'embêter à le nier?**

4 points

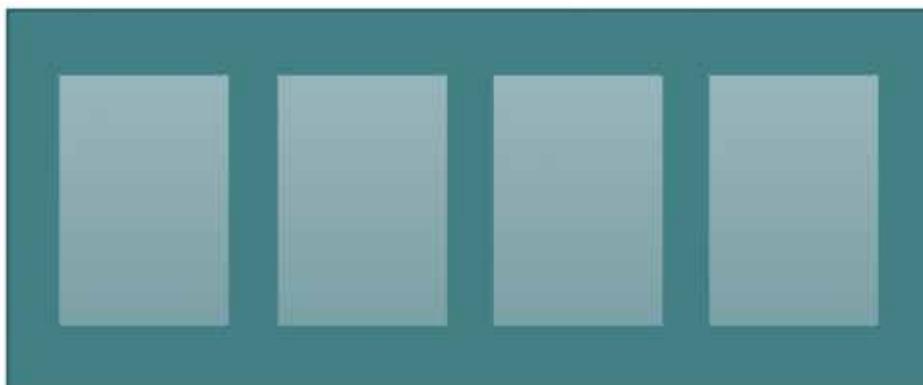
ENQUÊTE 4 : ABANDONNER LES INTUITIONS

Apprenez les deux visions expliquant les caractéristiques des outils de calcul (intuitif et basé sur la théorie) et leur prédiction respective

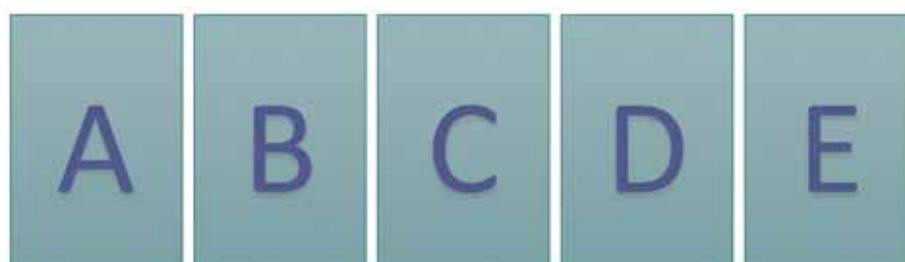
VISION INTUITIVE	VISION BASÉE SUR LA THÉORIE
PREDICTION	PREDICTION

Le jeu de la sélection et du hasard (fiche matériel)

- Plateau support pour poser les cartes



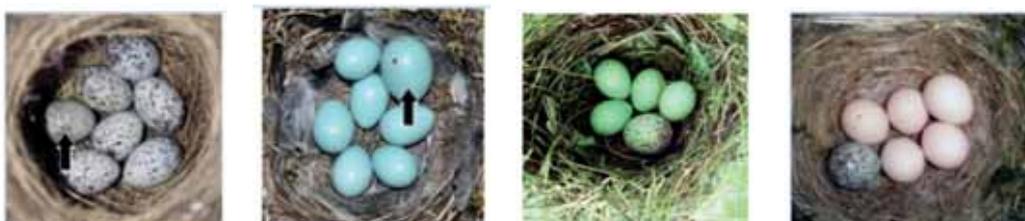
- Exemples de cartes



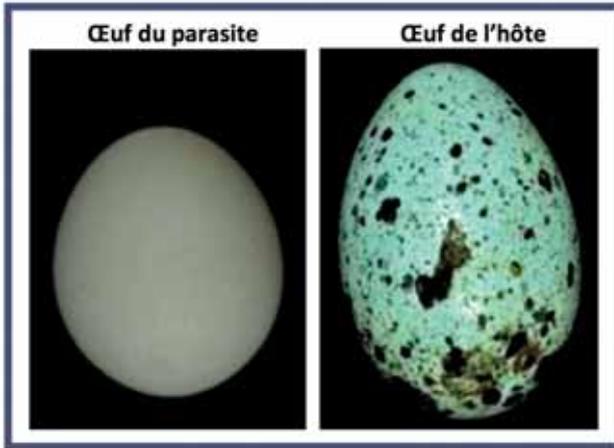
- Tableau de valeur des cartes

Position de la carte	LETTRES LES MIEUX ADAPTÉES → LETTRES LES MOINS BIEN ADAPTÉES									
	1	P	C	M	S	T	B	A	F	L
2	A	O	E	R	I	U	S	N		
3	I	R	T	L	N	O	E	U		
4	E	S	I	A	T	R	N			

- Des observations naturalistes



• Carte État initial



Capacités de reconnaissances de l'hôte

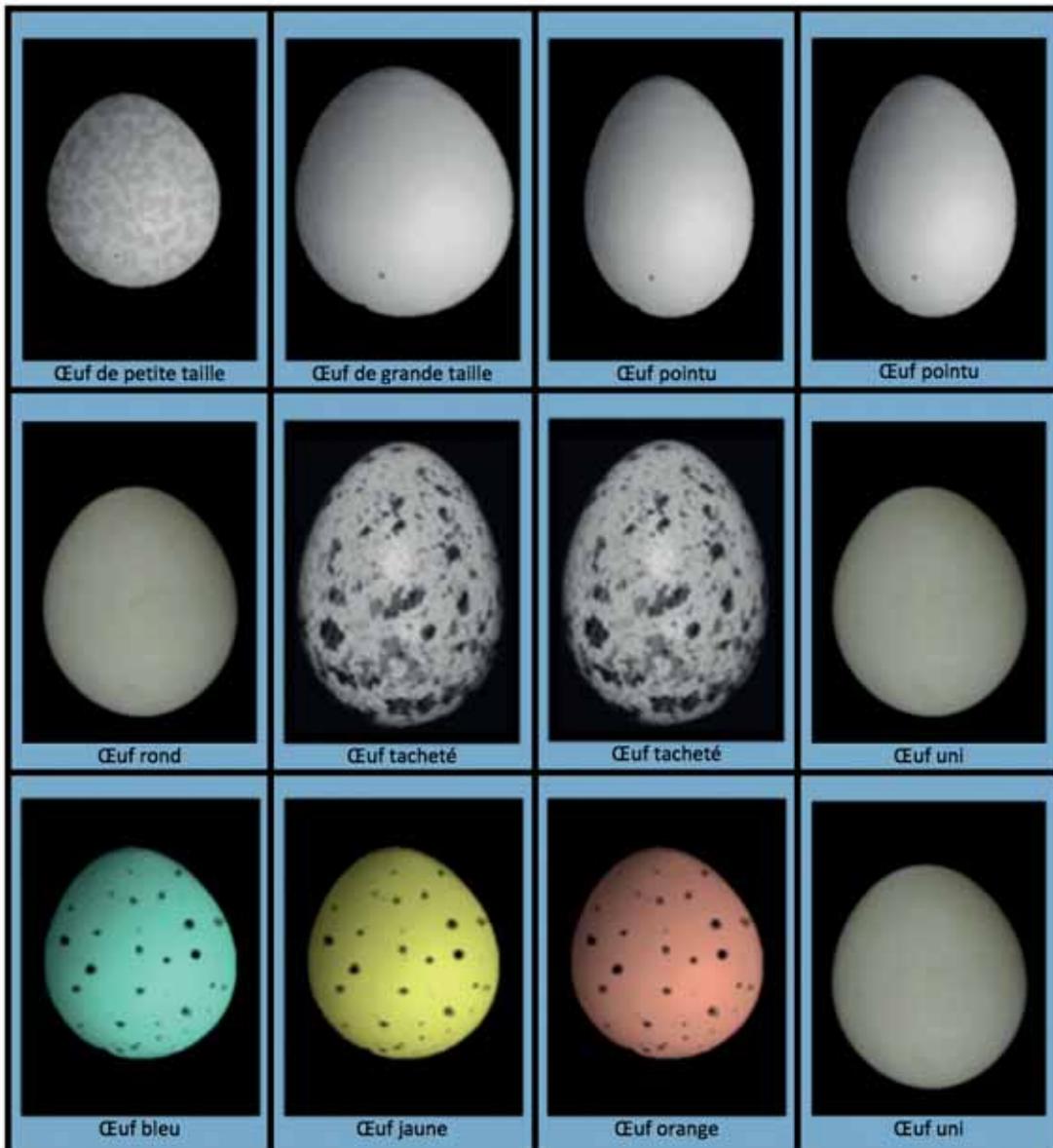
- **Couleur**: absente
- **Forme**: absente
- **Taille**: absente
- **Motif**: absente

Caractéristiques des œufs

Œuf du coucou: blanc, rond, petit, uni

Œuf de l'hôte: bleu, pointu, grand, fortement tacheté

• Cartes Mutations œufs du parasite



- **Cartes Mutations vision de l'hôte**

Pour constituer le paquet, mélanger 3 exemplaires de chaque.



- **Carte Nid final**



• Plateau pour le coucou

MUTATIONS ŒUF DU COUCOU			
<i>Rappel: On ne choisit pas les cartes qu'on pose: toute nouvelle mutation remplace la précédente (poser la carte par-dessus!) SAUF si elle aboutit à un œuf immédiatement détecté!</i>			
COULEUR	FORME	TAILLE	MOTIF

• Plateau pour l'hôte

MUTATIONS VISION DE L'HÔTE	
<i>Rappel: Pour Détection des couleurs et des motifs, 3 cartes sont requises pour que l'hôte acquiert la compétence et élimine les mauvais œufs sur la base de ces critères. Pour Détection des formes et des tailles, deux cartes sont requises.</i>	
COULEUR	FORME
DÉTECTION DES FORMES	DÉTECTION DES TAILLES

• Carte Validation collective d'une théorie

6 points

ENQUÊTE 4: ABANDONNER LES INTUITIONS

Rappelez les deux visions expliquant les caractéristiques des œufs de coucou (intuitive et basée sur la théorie) et leur prédiction respective

<u>VISION INTUITIVE</u>	<u>VISION BASÉE SUR LA THÉORIE</u>
<u>PRÉDICTION</u>	<u>PRÉDICTION</u>

Activité 3 : Bactéries, chouettes, girafes

Objectif : Comprendre le rôle du hasard dans la théorie de l'évolution	
Résumé	Les élèves découvrent une expérience historique et exploitent un jeu de cartes pour la comprendre, élaborer les prédictions associées à deux théories opposées et argumenter en faveur d'une des deux théories.
Matériel	Attention : Jeux de cartes à imprimer et éventuellement plastifier.
Notions mobilisées	Mettre en évidence des faits d'évolution des espèces et donner des arguments en faveur de quelques mécanismes de l'évolution.
Compétences mobilisées	Identifier par l'histoire des sciences et des techniques comment se construit un savoir scientifique ; Identifier un modèle simple pour mettre en œuvre une démarche scientifique.
Production	Fiche enquête remplie.
Durée	1 à 2 heures pour l'activité. Attention : un temps supplémentaire doit être prévu pour permettre la conclusion des Séquences 3 et 4.
Message à emporter	
<p>Lorsque de nouveaux faits sont apportés, les théories scientifiques évoluent. La connaissance scientifique est une construction progressive qui s'enrichit de nouvelles découvertes, d'avancées techniques...</p> <p>Dans la vie quotidienne, il faut être prêt à abandonner une prise de position qui paraissait jusque-là satisfaisante quand de nouvelles raisons le justifient.</p>	

Clés pour la mise en œuvre

Comme pour les autres activités de la Séquence 4, cette activité a pour but de fournir une réponse à deux objections : une sur le fond scientifique et une sur le fond épistémologique.

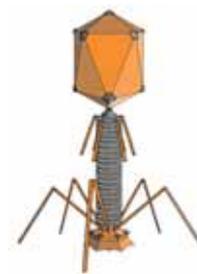
Le premier objectif de cette activité est donc une nouvelle fois de placer l'élève dans la capacité à réfuter, par une approche scientifique, un argumentaire erroné. En l'occurrence, c'est contre la vision finaliste de l'évolution, largement répandue dans l'esprit des élèves, que s'oriente l'activité.

Le second objectif est relatif au fonctionnement de la science. Celle-ci n'est pas dogmatique et, quand les nouveaux faits recueillis l'exigent, les théories évoluent.

Lors de l'activité, une approche expérimentale permet d'une part de revenir sur le mécanisme de la théorie darwinienne et d'autre part d'explicitier la vision finaliste (lamarckienne) de l'évolution, encore répandue de nos jours car plus intuitive. L'intérêt de cette expérience est qu'elle exige de préciser les attendus de chacune des hypothèses. On peut ainsi montrer la correspondance entre les résultats attendus par l'hypothèse darwinienne et ceux effectivement observés (c'est un rappel du message développé dans l'Activité 2 de la Séquence 3). Une explicitation de la vision finaliste et un renforcement de la vision darwinienne de l'évolution pourront permettre de favoriser une compréhension en profondeur de la théorie de l'évolution.

Notons bien qu'il ne s'agit pas de dénigrer les apports de Lamarck dans la biologie et valoriser la théorie darwinienne en rejetant toute la théorie lamarckienne. Au contraire, cet exemple de l'histoire des sciences

montre la construction progressive des théories et leur enrichissement. Lamarck a contribué à dépasser la théorie fixiste grâce à sa théorie de la transformation généralisée, même si le mécanisme qu'il a proposé était erroné. Darwin a renforcé cette théorie de l'évolution en proposant un mécanisme qui s'est révélé correct. En fait, en sciences, on observe plus souvent une continuité entre les théories scientifiques que des réelles ruptures.



Déroulé possible de l'activité

Contexte : Le quatrième argumentaire à l'encontre de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle vient de se terminer. Comme le précédent, cet orateur a utilisé des objections attaquant aussi bien le fond scientifique que la méthode. Dans ce cas, c'est la théorie finaliste lamarckienne qui est avancée. Du point de vue épistémologique, c'est une réflexion sur la capacité de la science à évoluer qui est questionnée.

Objectif : Il s'agit donc de montrer d'une part les limites de la théorie lamarckienne (plus précisément, les êtres vivants évoluent sous la pression de l'environnement). Et d'autre part une capacité de la science à faire progresser les théories au gré des découvertes.

Organisation : Par groupes de deux.

Matériel :

Phase 1

- Cartes chouettes (recto-verso).
- Dés à 6 faces.



Numéro de la culture	Nombre de colonies survivantes
1	1
2	4
3	0
4	0
5	12
6	0
7	0
8	9
9	120
10	0

Phase 2

- Résultats expérimentaux.



Phase 3

- Carte Faire évoluer la théorie.

ENQUÊTE 4 : FAIRE ÉVOLUER LA THÉORIE

Entourez ce qui s'applique en deux théories parmi les 4 faits suivants et justifiez l'adoption progressive par la communauté scientifique de la vision darwinienne.

Vision finaliste	Vision darwinienne
<ul style="list-style-type: none"> • Similitudes entre espèces et leur parents • La comparaison des espèces fossiles et actuelles valide la transformation des espèces • Adaptation à l'environnement • Résultats expérimentaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Similitudes entre espèces et leur parents • La comparaison des espèces fossiles et actuelles valide la transformation des espèces • Adaptation à l'environnement • Résultats expérimentaux

Règles : Dans un premier temps, il faut

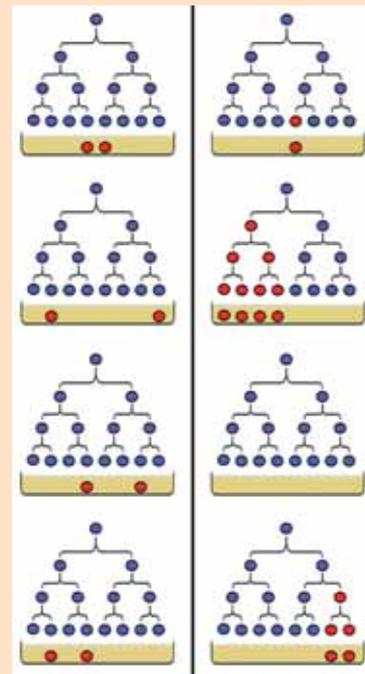
s'approprier une expérience scientifique. Ensuite, on utilise une simulation pour comprendre les prédictions de l'expérience auxquelles on peut s'attendre selon la théorie darwinienne ou lamarckienne. Enfin, on peut comparer les résultats de l'expérience historique aux prédictions et ainsi se donner les moyens de répondre à l'argumentaire de l'adversaire.

L'enseignant explique : « Une théorie de l'évolution qui s'appuie sur un mécanisme différent de la sélection naturelle a été énoncée quelques années avant que Darwin ne propose sa vision des choses. Cette théorie est difficile à contrer car elle nous apparaît plus facile à imaginer. Une expérience a pourtant été imaginée pour départager les deux théories. À vous d'exploiter les résultats et de montrer la supériorité de la vision de Darwin ! »

Conseils de mise en place et éléments de correction

- Les élèves attaquent l'objection scientifique ainsi formulée par l'adversaire de Darwin : **les êtres vivants subissent des changements sous la pression de leur environnement pour s'adapter à celui-ci.** L'activité se déroule en trois phases.

- Dans la Phase introductive, les élèves découvrent une expérience historique racontée par l'enseignant. Celle-ci permet de comparer le pouvoir explicatif de l'hypothèse des mutations aléatoires avec l'hypothèse de mutations guidées par l'environnement.
- Dans la Phase 1 la même comparaison est proposée à l'aide d'un jeu de cartes permettant de mieux s'approprier l'idée de mécanisme aléatoire, donc de comprendre le rôle du hasard dans la sélection naturelle.
- Dans la Phase 2 on revient sur l'expérience historique, grâce à la simulation effectuée dans la Phase 1, pour montrer qu'une approche expérimentale permet de valider l'hypothèse Darwinienne par rapport à une hypothèse Lamarckienne.
- Dans la Phase 3, les élèves sont amenés à comparer les deux théories et à répondre à l'objection suivante : **Ce que je me demande seulement, c'est si vous êtes prêts à entendre raison ! En sciences comme ailleurs, tout semble écrit dans la pierre et les prises de position ne changent pas, quels que soient les arguments.** Cette phase se termine par le remplissage de la Carte Faire évoluer la théorie qui illustre le point suivant : les deux théories (lamarckienne et darwinienne) permettent d'expliquer un certain nombre de points, mais la théorie de Darwin en explique plus (notamment l'expérience étudiée ici) et fournit un mécanisme correct pour l'évolution.
- Finalement, dans la partie « Conclusion de l'aventure de Syms Covington », les élèves sont invités à terminer la Carte Enquête finale. L'enseignant procède au comptage des points et il désigne le groupe vainqueur du défi. Une réflexion se met ensuite en place pour résumer les caractéristiques d'une bonne théorie scientifique.
- Dans cette activité, les élèves s'intéressent à un type d'argument finaliste différent de celui rencontré dans l'activité précédente. L'adversaire ne prône pas ici un finalisme d'intentionnalité, mais un finalisme du besoin. De façon grossière, cela correspond au transformisme développé par Lamarck. Dans cette vision, le caractère aléatoire et spontané des mutations est négligé. L'organisme se modifie en retour à une pression du milieu. Pour survivre dans son environnement, l'organisme utilise certains organes qui se retrouvent développés et façonnés, alors que d'autres, inutiles, régressent. Ce sont donc les individus (et non les populations) qui varient et cette variation est consécutive aux efforts physiques. Cette vision de l'évolution est très présente encore dans l'esprit de beaucoup de personnes et il est difficile d'aller contre car elle est plus intuitive. Nous tentons de montrer qu'elle aboutit à des prédictions erronées, contrairement à celles faites par la vision darwinienne. Bien évidemment, les élèves ne pourront pas retenir la démonstration. Il s'agit de leur montrer la logique des deux théories, de pointer du doigt leurs différences, en espérant au final renforcer la vision darwinienne.
- L'activité s'appuie sur une expérience historique réalisée en 1943 par deux chercheurs : Salvador Luria et Max Delbrück. Voici une illustration des résultats attendus pour chacune des deux hypothèses dans le cadre de l'expérience de Luria et Delbrück (à gauche les mutations sont induites par l'environnement, à droite elles sont spontanées). Dans ce schéma, les cercles représentent des cultures de bactéries. En rouge apparaissent les cultures mutantes



(mutations induites à gauche, spontanées à droite). En jaune est représentée la mise en contact avec la pression de sélection (le phage). 4 scénarios sont représentés pour chaque hypothèse. Cette expérience historique fondamentale a permis de montrer que les mutations aléatoires précédaient l'action de la sélection naturelle et qu'il fallait rejeter l'hypothèse lamarckienne d'une modification des individus sous la contrainte de leur environnement.

■ **L'enseignant présente aux élèves le contexte et l'objectif de l'activité.**

Phase d'introduction : Des bactéries aux chouettes

Objectif détaillé : Accompagner l'élève dans sa compréhension d'une expérience historique

■ **L'enseignant rappelle que les élèves se focalisent pour l'instant sur l'objection scientifique.** Ils cherchent à contrer l'argument suivant : **les êtres vivants subissent des changements sous la pression de leur environnement pour s'adapter à celui-ci.**

■ **Pour préparer les élèves à la Phase 1, l'enseignant présente de façon explicite l'expérience Luria - Delbrück.** L'idée est que les élèves comprennent le cadre de l'expérience. Il existe deux hypothèses alternatives :

– Soit les modifications des organismes dépendent de l'environnement, auquel cas elles n'arrivent que sous une contrainte environnementale précise (quand l'organisme a besoin de s'adapter à son environnement) : c'est la version proposée par l'adversaire de Darwin. Plus précisément : c'est en réponse à l'environnement que l'organisme produit une variation (un « effort ») qui lui est favorable. Ainsi les variations qui apparaissent sont favorables à leur porteur.

– Soit les modifications des organismes apparaissent aléatoirement et sont ensuite triées. C'est la vision darwinienne. Ainsi, les variations qui apparaissent sont indépendantes des besoins du porteur.

■ Pour départager ces deux hypothèses, on soumet des bactéries à un virus. On veut observer l'évolution des populations de bactéries, et leur capacité à se défendre contre ce virus. Les deux hypothèses permettent de faire deux prédictions différentes :

– Si les modifications dépendent de l'environnement, les bactéries ne devraient acquérir la capacité à se défendre contre le virus qu'une fois mises en contact avec celui-ci : « elles développeraient un mécanisme de défense pour pouvoir survivre ».

– Si les modifications apparaissent au hasard, certaines bactéries devraient déjà posséder la capacité à se défendre contre le virus, avant même de le rencontrer : « les bactéries qui possèdent ce caractère vont survivre au moment où elles vont être mis en contact avec le virus, les autres vont mourir ».

■ Les deux scientifiques ont donc réalisé l'expérience et ont comparé leurs observations avec chacune des deux prédictions pour savoir quelle hypothèse était la bonne. Ils vont confirmer que l'hypothèse darwinienne est l'hypothèse correcte. On cherche maintenant à savoir comment ils y sont parvenus.

■ L'enseignant explique que cette expérience étant difficile et malheureusement impossible à faire dans le cadre du collège, on va utiliser une simulation pour percevoir plus concrètement les deux hypothèses et les conséquences de chacune d'elles sur l'évolution de populations. Pour simplifier les choses, on va prendre un exemple plus parlant que les bactéries résistantes ou non à un virus : des chouettes de pelage clair et foncé.

Note: même s'il est ambitieux d'exposer cette expérience à des élèves de cycle 4 ou de seconde, sa présentation sous la forme d'une simulation est de nature à faciliter sa compréhension et de travailler sur le caractère prédictif des hypothèses et la méthodologie de réfutation d'une hypothèse. Nous n'attendons pas de cette activité qu'elle soit l'élément clé qui assoie la compréhension définitive de la théorie darwinienne. Nous pensons qu'elle est un bon moyen d'exposer clairement le contenu de chaque théorie, de mettre en œuvre de façon explicite le mécanisme présent derrière chacune d'elles, et de montrer que les prédictions qu'elles font ne sont pas identiques. Elle permet également d'aborder des arguments de nature expérimentale, ce qui est rarement fait dans le cadre de l'exposition de cette théorie, et mène à des objections fausses sur le caractère prétendument invisible de l'évolution.

Phase 1 : Jeu de cartes chouettes

Objectif détaillé: *Utiliser une simulation pour favoriser l'appropriation de l'expérience présentée et parvenir à formuler des résultats attendus pour chaque hypothèse.*

■ **Dans un premier temps, l'enseignant présente aux élèves le cadre du jeu des chouettes, qui repose sur une analogie avec l'expérience de Luria-Delbrück.**

– Les chouettes que l'on étudie peuvent être de deux types: « plumage foncé » ou « plumage clair ». Ces chouettes vivent sur un sol blanc mais, en l'absence de prédateurs, ce critère n'est pas soumis à la sélection naturelle. On peut poser les cartes sur une feuille blanche pour représenter l'environnement.



– Au départ, la population est constituée d'un seul couple de deux chouettes foncées. Une carte représente un couple (ou l'individu femelle du couple, et on considère que les deux individus sont identiques).

– Chaque individu ne se reproduit qu'une fois puis disparaît (on ne laisse que les cartes des descendants).

– Lors d'une reproduction, une femelle produit un nombre d'œufs égal au résultat d'un dé à 6 faces.

– Puisque la couleur du plumage est héréditaire, les descendants sont de la même couleur que la mère.

Note: cette règle va être modifiée dans le cadre de la théorie de Darwin! Une partie des descendants peuvent être différents, et ce de façon aléatoire! L'enseignant n'a pas à préciser cela ici.

– Quand la population atteint ou dépasse le nombre de 16 individus, c'est le dernier tour de jeu.

Note: ce nombre est choisi arbitrairement et dépend du nombre de cartes et du temps à disposition.

– Au dernier tour, un prédateur arrive (l'Homme ou une espèce qu'il a introduite). Ce prédateur repère et élimine toutes les chouettes foncées sur le sol blanc.

■ **L'enseignant présente le matériel à disposition:** les groupes de 4 élèves reçoivent un jeu de cartes représentant sur le recto un œuf prêt à éclore et sur le verso une chouette de plumage clair ou sombre. Ils reçoivent également un dé, qui permettra d'introduire le hasard.



■ **L'enseignant demande alors aux élèves d'utiliser le matériel à disposition pour convertir les éléments du modèle en règles de jeu opérationnelles.** Après une phase de réflexion en groupes, on pourra se mettre d'accord et l'enseignant distribue l'encadré suivant (ou s'adapte aux propositions des élèves):

RÈGLES DU JEU

- Au départ, un couple de chouettes vit sur un sol blanc. Elles sont foncées et se portent très bien en l'absence de prédateurs.
- À chaque tour: 1 chouette femelle donne 1D6 chouettes femelles de la même couleur (dans l'activité, seules les femelles sont représentées) et arrête de se reproduire (on la retire du plateau). Pour chaque portée, ajouter le nombre de cartes correspondantes sur le plateau.
- Quand le nombre de chouettes dépasse 16, le jeu se termine à la fin du tour.
- Après le dernier tour, l'Homme exerce une prédation et tue toutes les chouettes qui sont visibles sur le sol clair.
- On calcule la proportion de chouettes qui ont survécu.

■ **L'enseignant demande enfin de rajouter une règle supplémentaire pour distinguer les deux hypothèses**: celle de l'adversaire (mutations qui apparaissent sous la pression de l'environnement) et celle de Darwin (mutations aléatoires puis sélection naturelle). Il rappellera que c'est ainsi que l'on procède: on utilise les hypothèses pour réaliser des prédictions. On confronte ensuite ces prédictions à des observations ou des expérimentations pour valider ou non les hypothèses de départ (cf. Séquence 3 Activité 2). Après réflexion (plus ou moins dirigée par l'enseignant selon le niveau des élèves), on pourra arriver à:

– Dans le cadre de l'hypothèse **darwinienne**, les mutations sont aléatoires. Pour représenter cela, les élèves pourront proposer de glisser quelques chouettes claires (nous suggérons 3) dans le paquet de chouettes foncées, et inversement. Puis on mélangera et on tirera les cartes faces cachées. Cela représente le caractère aléatoire de la mutation. Certains élèves proposent de tirer un dé au sort pour savoir s'il y a eu une mutation.

– Dans le cadre de l'hypothèse **lamarckienne**, les mutations sont dirigées par l'environnement. Pour représenter cela, on pourra tirer un dé à la fin du dernier tour mais avant l'action du prédateur. Sur un résultat de 1, chaque chouette mute et devient adaptée à son environnement, c'est-à-dire blanche.

Note: Ce point de l'activité rejoint les précédentes: il est demandé aux élèves de simuler deux hypothèses et de confronter les résultats aux prédictions de chacune pour déterminer laquelle est la bonne. L'enseignant pourra souligner cette approche scientifique classique ici s'il le souhaite.

■ **L'enseignant laisse les élèves «jouer», c'est-à-dire exploiter le modèle**. Les élèves vont donc recommencer plusieurs fois à partir de la même situation initiale et pour chacune des hypothèses à dérouler le scénario évolutif. À chaque partie, l'enseignant demande aux élèves de bien noter les résultats. Il pourra les motiver en expliquant qu'on va comparer les taux de survie obtenus par chaque groupe. L'enseignant pourra décider de répartir les groupes, chacun testant une hypothèse ou demander aux groupes de gérer leur temps de travail pour tester les deux hypothèses. A la fin de l'activité, les élèves construisent ensemble un tableau qui résume l'ensemble des résultats. Ils doivent arriver, avec l'aide du professeur, aux conclusions suivantes:

– Dans l'hypothèse darwinienne, les proportions de survie sont très variables. Cela est dû au fait qu'une mutation peut intervenir tôt au tard dans le «scénario».

– Dans l'hypothèse lamarckienne, les proportions de survie sont peu variables car la mutation ne dépend que de l'arrivée du prédateur et c'est la même à chaque fois.

Phase 2: Retour à l'expérience Luria-Delbrück

Objectif détaillé: *Valider, par comparaison entre résultats attendus et obtenus, une hypothèse. Montrer qu'une approche expérimentale permet de valider l'hypothèse Darwinienne par rapport à une hypothèse Lamarckienne.*

■ **L'enseignant rappelle la méthodologie suivie:** Dans l'expérience Luria-Delbrück comme dans la simulation, nous avons deux hypothèses qui nous ont permis de réaliser deux prédictions différentes. Nous devons maintenant confronter les prédictions à l'expérimentation et ainsi valider l'une des deux hypothèses.

■ **L'enseignant distribue le Tableau des résultats de l'expérience Luria-Delbrück.** Il ne faut pas hésiter à se montrer de nouveau explicite: les bactéries correspondent aux chouettes; la pression de sélection, en l'occurrence le virus, correspond au prédateur; le caractère de résistance au virus correspond à la coloration du plumage.

Note: Les résultats sont donnés pour une analyse sur 108 bactéries par cultures de 1 ml inoculées par 103 bactéries.

■ **Après un temps de réflexion au sein des groupes, l'enseignant initie une correction commune:** On s'attend à ce que les élèves concluent sur le fait que les résultats sont en concordance avec ceux attendus sous l'hypothèse darwinienne et donc que cette expérience est une preuve expérimentale de plus en faveur de la théorie.

Phase 3: La science est prête à évoluer

Objectif détaillé: *Attaquer l'objection « En sciences comme ailleurs, tout semble écrit dans la pierre et les prises de position ne changent pas, quels que soient les arguments ».*

■ **L'enseignant explicite aux élèves l'objection erronée qu'ils étudient ici:** **Ce que je me demande seulement, c'est si vous êtes prêts à entendre raison! En sciences comme ailleurs, tout semble écrit dans la pierre et les prises de position ne changent pas, quels que soient les arguments.**

■ **L'enseignant demande aux élèves de remplir la Carte Faire évoluer la théorie.** Les élèves doivent réaliser que la théorie de Lamarck (portée par l'adversaire) permet d'expliquer un certain nombre d'éléments (les trois premiers: Similitudes entre espèces et lien de parenté; Espèces fossiles montrant une évolution; Adaptation à l'environnement) mais la théorie darwinienne la dépasse, notamment parce qu'elle explique les résultats expérimentaux présentés dans l'activité.

Pour nourrir la discussion à l'issue de l'activité

■ La mise en commun commence avec un rappel de la démarche suivie. On a comparé les prédictions faites par deux théories concurrentes: la vision darwinienne et celle de son adversaire. La première permet d'expliquer des éléments supplémentaires par rapport à la seconde, et notamment les résultats de l'expérience présentée dans l'activité.

■ La théorie darwinienne étant plus satisfaisante, c'est elle qui sera retenue par la communauté scientifique. Ainsi, la science évolue! Lamarck a permis une avancée scientifique mais Darwin a fait évoluer la théorie de l'évolution en déterminant le mécanisme sous-jacent. Les connaissances scientifiques ne sont pas gravées dans le marbre mais évoluent au gré des nouveaux faits. Cela ne veut pas dire que tout peut être remis en question. Certains noyaux de connaissances sont maintenant

largement validés par le grand nombre d'observations et d'expérimentations qui les soutiennent. C'est le cas du cœur du mécanisme de la sélection naturelle, même s'il a été depuis lui-même peaufiné et amélioré.

■ Ainsi, les scientifiques doivent en permanence revoir les théories invalidées et prendre en compte les nouveaux faits. C'est ainsi qu'au cours de l'histoire, des théories incomplètes ou partiellement erronées ont été remplacées par des théories plus satisfaisantes. D'autres théories ont évolué de la même façon : Alfred Wegener a proposé la théorie de la dérive des continents mais de nouveaux faits ont permis d'aboutir à la théorie de la tectonique des plaques.

■ Notre perception des théories scientifiques est souvent éloignée de la réalité, et nous pousse à ne pas avoir confiance en elles. On les imagine parfois rigides, incapables de tenir compte de ce que l'on considère comme importants. Ou au contraire très incertaine, et tout le temps remises en question. En réalité, la connaissance scientifique évolue en permanence. Elle s'enrichit de nouveaux résultats et de nouvelles questions. Mais de nombreuses théories sont maintenant très largement prouvées et les scientifiques leur accordent une grande confiance.

■ Parfois, il y a un décalage entre le ressenti des citoyens et la réalité scientifique : quasiment tous les scientifiques spécialistes de la théorie de l'évolution, de la théorie de la tectonique des plaques et de celle du réchauffement climatique sont d'accord sur l'essentiel de la connaissance scientifique de ces domaines. Ils continuent à travailler sur des problématiques d'experts. Pourtant, cette confiance ne se répercute pas forcément dans la population : de très nombreux faits ont prouvé depuis près de 150 ans la supériorité de la théorie de Darwin pour expliquer les formes vivantes et l'hypothèse de Lamarck ne repose pas sur un mécanisme biologique existant... mais cela n'empêche pas cette dernière de persister ! De plus, beaucoup de gens sont convaincus qu'un débat persiste entre pro et anti darwinien ou entre convaincus du réchauffement climatique et climato-sceptiques mais cela ne correspond pas à une réalité dans le monde des experts du domaine.

Conclusion de l'aventure de Syms Covington

Objectif détaillé : Résumer les caractéristiques d'une bonne théorie.

■ L'enseignant propose aux élèves, pour conclure la Séquence, de terminer de remplir la Carte Reconnaissance d'une bonne théorie à l'issue de l'activité. Ils auront ainsi du résumer qu'une bonne théorie scientifique se caractérise par les points suivants : elle est constituée d'hypothèses fondées sur des faits (observations et expérimentations) ; ses hypothèses permettent d'élaborer des prédictions que l'on peut vérifier et qui permettent de la valider (ou non) ; elle est le résultat d'un processus collaboratif lent qui en assure la fiabilité ; elle s'appuie uniquement sur des faits, et met donc de côté intuitions, croyances et intérêts privés, n'ayant pour objectif que la recherche d'une vérité fondée ; elle est fiable mais elle n'est pas figée et s'améliore au gré des nouvelles découvertes.

Note : cette carte pourra être réutilisée dans la Séquence 5.

Bactéries, chouettes, girafes (fiche élève)

Objectif : Reconnaître la spécificité d'une bonne théorie scientifique.

Mission : Répondez à l'argument de votre adversaire !

Phase introductive : présentation d'une expérience historique

Dans un laboratoire, deux scientifiques réalisent une expérience spectaculaire pour trancher entre les deux hypothèses. Pour cela, ils ont cultivé des bactéries dans plusieurs boîtes en parallèle. Au bout d'un certain temps, ils injectent un virus qui tue toutes les bactéries qui ne sont pas résistantes. Ils comptent ensuite le nombre de bactéries restantes dans chaque boîte. Ils estiment qu'en comparant le taux de survie dans chaque boîte, ils vont arriver à prouver laquelle des deux hypothèses est vraie... Mais comment ?

Résumons l'expérience :

- Au départ, considérons qu'il n'y a qu'une seule bactérie dans la boîte. Une bactérie non résistante.
- À chaque intervalle de temps (disons toutes les demi-heures), chaque bactérie se multiplie et donne deux bactéries.
- Quand le nombre de bactéries atteint une certaine taille de population, ce nombre reste fixe.
- Au bout d'un certain temps d'expérience (disons 3 heures), on introduit le virus.
- Le virus détruit toutes les bactéries non résistantes.

Comment départager les deux hypothèses ?

- Lamarck suppose que les modifications se font sous la pression de l'environnement. Ici, cela voudrait dire que c'est la présence du virus qui induit l'apparition de la résistance. Donc, en présence du virus, toutes les bactéries auraient une certaine chance de s'en sortir.
- Darwin suppose que ces modifications apparaissent au hasard. Ensuite, la sélection naturelle trie. Ici, cela voudrait dire que la mutation pourrait apparaître au hasard à chaque multiplication. À la fin, les bactéries chanceuses, qui ont muté ou qui descendent d'une bactérie ayant eu la mutation survivent. Les autres meurent.

Avez-vous déjà une idée de la façon dont on pourrait déterminer quelle hypothèse est juste ? Vous êtes encore dans le brouillard, et vous préférez les oiseaux aux bactéries quasi invisibles ! Vous allez donc simplement changer d'exemple pour vous aider à mieux comprendre l'expérience de ces deux scientifiques.

Phase 1 : Jeu de cartes chouette

Contexte :

On vous a parlé d'une expérience qui pourrait vous permettre de répondre à votre dernier adversaire ! Mais celle-ci est compliquée. Pour vous guider, vous imaginez une population de chouettes et son évolution au cours du temps. Vous allez comparer son devenir selon l'hypothèse de votre maître (hasard + sélection naturelle) et celui de votre adversaire (adaptation sous l'effet de l'environnement).

Matériel :

- Paquet de Cartes chouettes (recto-verso) pour vous aider à mettre en place votre expérience de pensée. Au recto, un œuf prêt à éclore et au verso, la chouette qu'il deviendra (claire ou sombre).
- Un dé à 6 faces



Règles :

Au départ, la population est constituée d'un seul couple de chouettes foncées. Quand elle se reproduit, une femelle donne naissance à un nombre variable de descendants (disons le résultat d'un dé à 6 faces). Normalement, ces descendants sont de la même couleur que la mère (sauf dans l'hypothèse d'une mutation). Précisons qu'on considère qu'on ne représente que les femelles, pour simplifier (donc une carte = une chouette femelle, ou un couple de chouettes de la même couleur si vous préférez).

On va considérer ici que la population maximale est atteinte pour 16 individus environ. Quand vous dépassez ce nombre, vous finissez le tour de jeu et ensuite le prédateur (l'Homme) arrive. L'Homme va chasser toutes les chouettes foncées sur le sol blanc.

► **Consigne 1 :** Énoncez un ensemble de règles qui permettront de faire évoluer la population de chouettes selon les éléments donnés dans le paragraphe précédent.

► **Consigne 2 :** Proposez une règle supplémentaire pour prendre en compte l'hypothèse de Darwin puis une autre règle supplémentaire pour prendre en compte l'hypothèse de Lamarck.



2 variants chez la chouette harfang, l'un nettement moins visible que l'autre (Pascal Perreault ©)

Phase 2: Retour à l'expérience Luria-Delbrück

Contexte:

Votre modélisation est fin prête. Il faut maintenant l'utiliser plusieurs fois et comparer le devenir de la population de chouettes selon que l'on se place dans l'hypothèse de Darwin (hasard puis sélection) ou celle de Lamarck (adaptation à la contrainte environnementale). Grâce à cette modélisation, nous allons pouvoir énoncer les prédictions de chacune des deux hypothèses.

Matériel:

- Paquet de Cartes chouettes (recto-verso) et règles établies dans la phase 1
- Tableaux des résultats de l'expérience historique (à demander après avoir énoncé les prédictions de chaque hypothèse donc pour répondre à la consigne 2).



Règles: Exploitez votre expérience de pensée et les données réelles pour expliquer en quoi ces données fournissent un argument décisif en faveur de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle proposée par Charles Darwin.

► **Consigne 1:** Comment varie le nombre de chouettes survivantes d'une fois sur l'autre dans le cadre de l'hypothèse de Darwin? Comment varie ce même nombre dans le cadre de l'hypothèse de Lamarck? Énoncez votre prédiction.

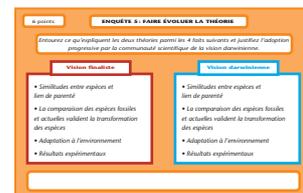
► **Consigne 2:** L'expérience n'a pas été effectuée pour les chouettes mais elle l'a été pour les bactéries. A partir des résultats obtenus dans le tableau, justifiez en quoi les résultats valident l'hypothèse de Darwin.

Phase 3: La science est prête à évoluer

Matériel:

- Carte Faire Évoluer la théorie.

Règles: Répondre à l'argument **Tout ce que je raconte, c'est l'évidence même. Tout le monde le voit, le sait. Pourquoi s'embêter à le nier?**

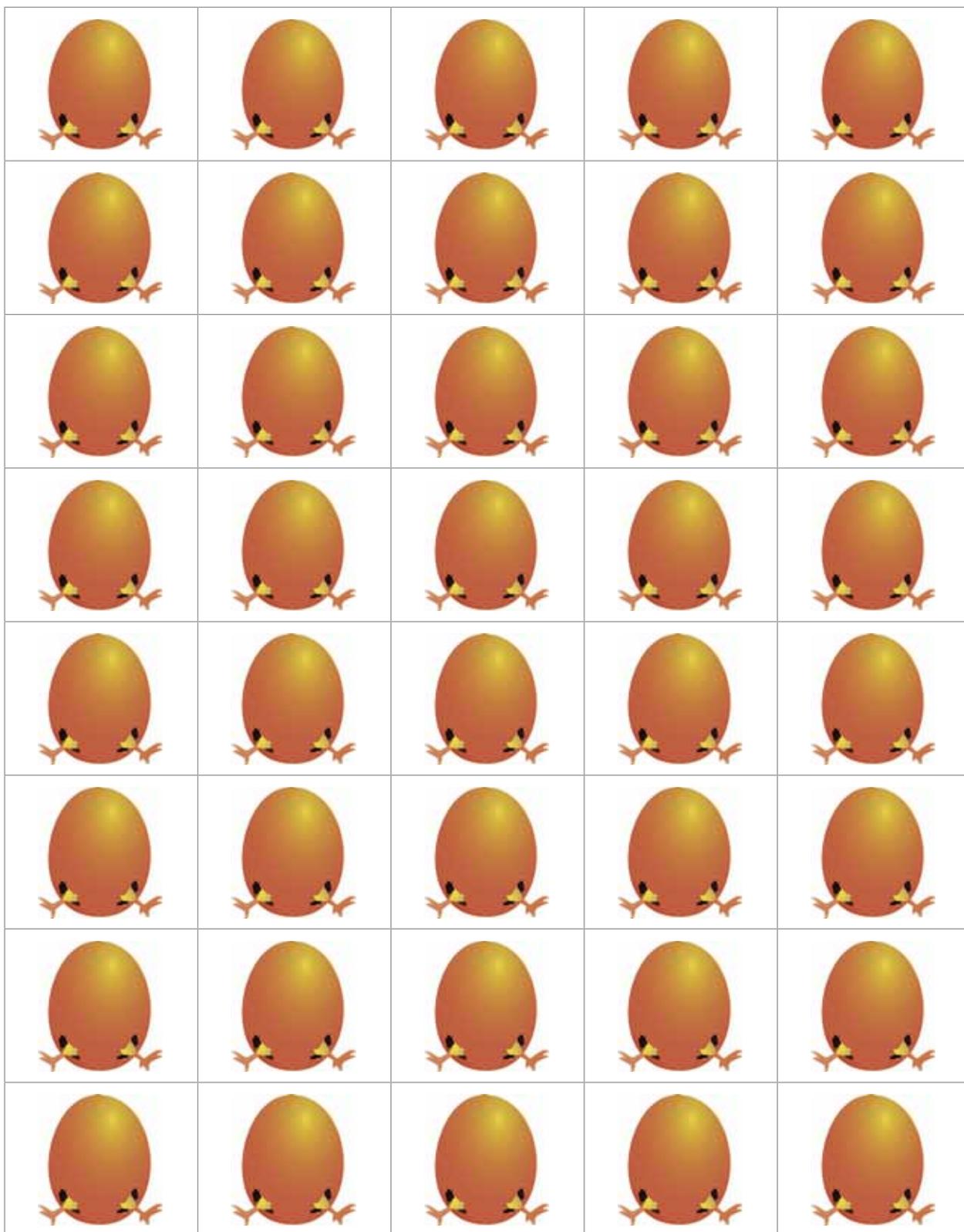


Bactéries, chouettes, girafes (fiche matériel)

• Cartes chouettes (verso)

• Cartes chouettes (recto)



• Tableau des résultats expérimentaux

Numéro de la culture	Nombre de colonies survivantes
1	1
2	4
3	0
4	0
5	12
6	0
7	0
8	9
9	120
10	0

• Carte Validation collective d'une théorie

6 points

ENQUÊTE 5 : FAIRE ÉVOLUER LA THÉORIE

Entourez ce qu'expliquent les deux théories parmi les 4 faits suivants et justifiez l'adoption progressive par la communauté scientifique de la vision darwinienne.

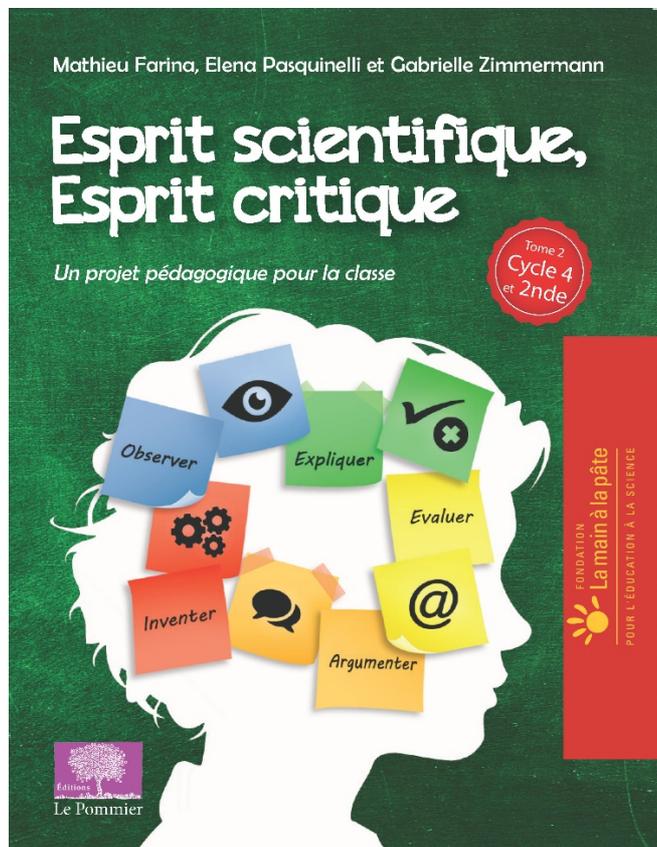
Vision finaliste

- Similitudes entre espèces et lien de parenté
- La comparaison des espèces fossiles et actuelles valident la transformation des espèces
- Adaptation à l'environnement
- Résultats expérimentaux

Vision darwinienne

- Similitudes entre espèces et lien de parenté
- La comparaison des espèces fossiles et actuelles valident la transformation des espèces
- Adaptation à l'environnement
- Résultats expérimentaux

Cette ressource est issue du projet thématique *Esprit scientifique, Esprit critique – Tome 2*, paru aux Éditions Le Pommier.



Retrouvez l'intégralité de ce projet sur : <https://www.fondation-lamap.org/projets-thematiques>.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes
75006 Paris
01 85 08 71 79
contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org



FONDATION
La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE