

## **L'évolution biologique : concepts, mécanismes et applications**

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère [devenirenseignant.gouv.fr](https://devenirenseignant.gouv.fr) à l'adresse suivante :

[https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/capes\\_externe/86/3/s2021\\_capes\\_externe\\_svt\\_2\\_1394863.pdf](https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/capes_externe/86/3/s2021_capes_externe_svt_2_1394863.pdf)

**Le sujet comporte trois parties auxquelles sont associées 10 annexes contenant des documents.**

L'évolution, en tant que théorie scientifique, fournit le cadre explicatif à la diversification et aux modifications du vivant. Ce sujet propose d'étudier les principaux mécanismes de l'évolution, de questionner la construction des concepts tant dans l'histoire que dans les classes et d'interroger les apports des concepts de l'évolution à certains enjeux contemporains.

### **PARTIE 1**

Etude des mécanismes de l'évolution  
Annexes 1, 2 et 3

*Durée approximative conseillée : 1h30*

### **PARTIE 2**

Approches historique et didactique de la construction des concepts en évolution  
Annexes 4, 5, 6 et 7

*Durée approximative conseillée : 1h30*

### **PARTIE 3**

L'évolution comme grille de lecture du monde  
Annexes 8, 9 et 10

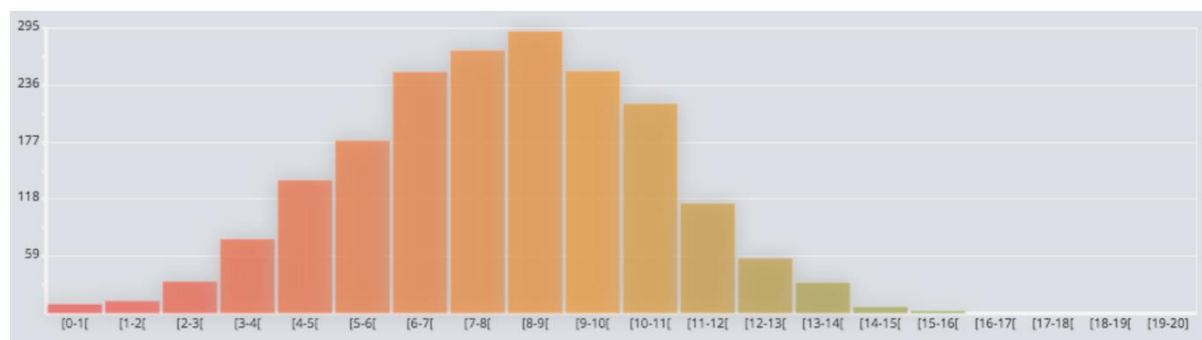
*Durée approximative conseillée : 1h00*

## **1. Introduction générale sur le sujet**

L'objectif du sujet était d'étudier quelques mécanismes de l'évolution biologique, en questionnant certains aspects de la construction des concepts en évolution tant dans l'histoire que dans les classes. Ce thème permettait en outre d'interroger les apports de la connaissance des mécanismes de l'évolution à certains enjeux éducatifs contemporains, comme la santé humaine.

Les documents proposés, constitués de supports de nature variée, permettaient aux candidats de mettre en œuvre et de valoriser une large gamme de savoirs et savoir-faire fondamentaux, attendus de futurs enseignants en sciences de la vie et de la Terre en lycée et collège. Les différentes questions permettaient d'évaluer la maîtrise des notions scientifiques et épistémologiques, la précision et la rigueur de la démarche et du discours mis en œuvre, ainsi que l'aptitude à les mobiliser pour construire des réponses pertinentes à des questions pédagogiques, en se plaçant dans une posture d'enseignant de SVT.

Le graphique suivant illustre la distribution des notes. Sur 1945 copies corrigées, la moyenne de cette épreuve est de 7,91/20 et l'écart-type de 2,57. La note maximale est 15,82/20.



## **2. Remarques générales concernant les réponses des candidats et résultats généraux**

Les candidats ont très souvent fini le sujet.

Les réponses des candidats ont fait apparaître plusieurs constats et le jury tient à souligner particulièrement les points suivants :

- **Le respect des consignes :** Les verbes d'action des consignes ne sont pas toujours suffisamment compris, ce qui provient souvent d'une lecture partielle ou peu attentive des consignes. Par exemple peu de candidats réalisent des comparaisons identifiant des points communs et des différences lorsqu'on leur demande de comparer. De même lorsqu'un schéma est demandé, il est maladroit d'expliquer ce schéma par un texte associé.
- **La description et l'analyse des documents :** S'il est nécessaire que le candidat réalise pour lui-même une description exhaustive des résultats, celle réalisée à l'écrit doit être succincte et efficace. L'analyse doit être prépondérante. Or de nombreux candidats produisent des réponses où la paraphrase des documents prédomine par rapport aux éléments d'analyse.
- **La cohérence des réponses :** Au sein d'une même copie, il n'est pas rare de trouver des incohérences. Ainsi des candidats mettent bien en évidence des propos finalistes à certains moments (Q2.3) mais en produisent eux-mêmes, par exemple dans la partie 3.
- **Le ciblage des réponses :** Les candidats doivent déduire de la consigne la portée de la réponse attendue. Parfois une réponse générale est attendue (définition ou concept) mais des candidats développent un ou des exemples (Q2.2, Q2.6) ; ou inversement, une réponse contextualisée aux documents fournis est demandée, mais les candidats développent un argumentaire en apportant des éléments supplémentaires (Q2.3).
- **La rigueur scientifique :** Il s'agit d'une compétence non négligeable pour un enseignant en sciences de la vie et de la Terre.
- **La rédaction des réponses :** Les qualités rédactionnelles, l'orthographe, le soin apporté dans la communication écrite sont fondamentaux. Le jury a noté des copies très majoritairement bien tenues.

## PARTIE 1 : Etude des mécanismes de l'évolution

### La diversification des êtres vivants

**Question 1.1 : Les mutations sont à l'origine de la diversité génétique. Définissez ce qu'est une mutation et ses conséquences possibles sur le phénotype.**

*Le jury attendait non seulement une définition générale de la mutation en tant que modification de la séquence d'ADN, mais également une évocation de la diversité des types de mutation à toutes les échelles (du nucléotide au chromosome), ainsi que la diversité des conséquences des mutations sur le phénotype. Si la quasi-totalité des candidats ont traité cette question, beaucoup ne ciblent que les notions de mutation ponctuelle, et négligent ou omettent les mutations à plus grande échelle, ou encore la diversité des conséquences phénotypiques de ces mutations. Lorsque cette dernière notion est abordée, elle l'est parfois de façon caricaturale, en se limitant à l'évocation d'exemples quelque peu stériles, comme la couleur des yeux chez l'espèce humaine. Les relations de dominance/récessivité, ainsi que la diversité des effets fonctionnels en fonction de la région génique affectée par les mutations (perte/modification de fonction, vs. mutation régulatrice affectant le niveau d'expression) ont été bien plus rarement traitées par les candidats.*

*Certaines maladroresses et erreurs sont récurrentes et parfois préoccupantes : confusion mutations faux-sens et non-sens, la mutation définie comme une « modification du code génétique »...*

Une mutation est une **modification de la séquence d'ADN**, support de l'information génétique.

Différents phénomènes peuvent conduire à cette modification de la séquence d'ADN :

- Les **mutations ponctuelles** qui conduisent à la modification d'une base azotée dans la séquence : **substitution** d'une base par une autre, **insertion ou délétion** d'une base de la séquence
- Les mutations peuvent également toucher **de plus grandes régions du génome** : translocation ou délétion de fragments chromosomiques, insertion d'éléments transposables.

Les mutations ont des effets variables sur le phénotype :

- elles sont dites **silencieuses** si elles n'affectent pas la fonction de la protéine codée, par exemple du fait de la redondance du code génétique (un aa peut-être codé par plusieurs codons, dits synonymes)
- elles sont dites **faux-sens** si elles conduisent au remplacement d'un aa par un autre, par modification d'un codon (mutation non synonyme) : la fonction de la protéine peut alors être affectée
- elles sont dites **non-sens** si elles conduisent à une modification complète de la séquence ou à sa troncature, du fait d'un décalage du cadre de lecture : la fonction de la protéine est alors le plus souvent abolie.

L'impact d'une mutation sur le phénotype peut aussi varier en fonction des relations de **dominance ou de récessivité** (phénotype d'une mutation récessive ne s'exprimera qu'à l'état homozygote) ou de la **région génique** concernée par la mutation (altération ou perte de fonction de la protéine si c'est la séquence codante qui est impactée, mutation fonctionnelle affectant par exemple le niveau d'expression du gène si la mutation affecte par exemple une séquence régulatrice du gène)

Le document 1 (Annexe 1) est une phylogénie moléculaire des gènes des PFT (*Pore-Forming Toxins*) à l'échelle du vivant.

**Question 1.2 : Cette phylogénie établie à partir des gènes des PFT vous semble-t-elle cohérente avec les parentés classiquement établies au sein du vivant ? Justifiez votre réponse en vous appuyant sur deux exemples précis.**

*Beaucoup de candidats se sont limités à une simple réponse négative à la question, suivie du relevé de deux exemples maladroitement « piochés » dans la phylogénie. D'autres le font en omettant de répondre à la question de la cohérence de la phylogénie. Au-delà du seul constat évident d'une incohérence topologique, il était attendu des candidats qu'ils l'expliquent au moyen d'un raisonnement explicitement basé sur l'histoire des séquences des gènes des PFT, qui semble en partie distincte de l'histoire des organismes porteurs de ces gènes. Assez souvent, les candidats ont conclu au fait que les séquences des gènes des PFT ne sont pas adaptées afin de reconstruire les relations phylogénétiques au sein du vivant : certes, mais cela ne répondait nullement à la question posée.*

*Cette question, ainsi que la suivante, a été l'occasion d'évaluer la capacité des candidats à exploiter des phylogénies afin d'élaborer des scénarios évolutifs simples. A cet égard, rares sont les candidats qui le font avec suffisamment de rigueur, et on lit souvent des réponses maladroites, qui révèlent une maîtrise limitée dans la manipulation des principes de base d'une classification phylogénétique (notion de taxons mono-, para- ou polyphylétiques).*

La phylogénie moléculaire des gènes des PFT est en **incohérence avec l'arbre phylogénétique du vivant**.

**Exemples possibles :**

- 1) Les séquences des Métazoaires forment 3 clades distincts, tous nichés au sein des séquences eubactériennes.
- 2) Les séquences d'Angiospermes sont scindées en deux ensembles : la séquence du gène d'*Enterolobium* (une Fabacée) est éloignée phylogénétiquement des autres séquences de PFT d'Angiospermes, assemblées en un clade.
- 3) Les séquences fongiques ne forment pas un ensemble monophylétique frère des Métazoaires, mais au contraire un ensemble paraphylétique au sein duquel se branchent les séquences d'Angiospermes.

**Question 1.3 : Proposez un mécanisme permettant d'expliquer le constat établi à la question 1.2.**

Seul le mécanisme de **transfert génétique horizontal** (TGH) pouvait raisonnablement être invoqué afin d'expliquer les incohérences relevées à la question précédente. Or moins de la moitié des candidats proposent ce mécanisme dans leur réponse à cette question, les autres évoquant souvent maladroitement un mécanisme de **convergence évolutive**, qui semble pourtant trop peu parcimonieux et insuffisant afin d'expliquer la distribution, et surtout l'homologie des séquences des gènes PFT à une échelle taxonomique aussi vaste.

L'incohérence mise en évidence à la question précédente entre la phylogénie moléculaire des gènes des PFT et la phylogénie du vivant s'explique par le fait que **l'histoire évolutive des gènes des PFT est différente et en partie indépendante de l'histoire évolutive des organismes qui expriment ces gènes.**

Afin d'expliquer ce constat, on évoque un mécanisme de **transferts génétiques horizontaux des séquences des PFT**, dans ce cas multiples et successifs, entre phylums non nécessairement apparentés.

Une possibilité pour expliquer ce constat est que les gènes PFT des eucaryotes aient été acquis au cours de plusieurs événements distincts indépendamment de la parenté. Par exemple, des transferts horizontaux de gènes bactériens, et/ou -dire une intégration de gènes bactériens au génome d'un eucaryote (après phagocytose par exemple), pourraient avoir eu lieu plusieurs fois (comme par exemple entre *Bacillus* et *Hydra*, entre *Vibrio* et *Isodes*, ou encore entre *Aeromonas* et *Enterobolium*).

**Question 1.4 : En utilisant vos connaissances, citez et décrivez brièvement quatre autres mécanismes de diversification du vivant (2 à 3 lignes par mécanisme cité).**

*Etaient attendus des exemples de mécanismes de diversification du vivant, c'est-à-dire des mécanismes à l'origine d'un polymorphisme, qui conduisent à la formation d'individus différents dans les populations. Rares sont les candidats pour qui cette notion de mécanisme de diversification semble claire, ce qui a amené nombre d'entre eux à évoquer les mécanismes de spéciation, ou encore à lister de manière quelque peu automatique les « quatre forces évolutives » que sont la sélection naturelle, la migration, la dérive génétique et la mutation. Or parmi ces dernières, seule la mutation est source de polymorphisme, et peut donc effectivement être vue comme un mécanisme de diversification (mais elle était déjà traitée à la question 1.1) ; à l'inverse, la dérive génétique étant toujours modératrice du polymorphisme, elle ne saurait avoir un effet diversifiant, et l'évoquer à cette question constituait un contresens majeur.*

**Exemples de mécanismes possibles :**

Au sens le plus large, on entend par « diversification du vivant » la formation à une génération donnée d'individus différents des individus de la génération précédente (diversification « verticale »), soit la formation d'individus différents des autres au sein d'une même génération (diversification « horizontale »).

De nombreux mécanismes peuvent être évoqués, mais étaient attendus d'autres mécanismes que la mutation (Q.1.1) et le TGH (Q.1.3) : par exemple (liste non exhaustive) :

**Modifications à l'échelle génomique**

- **Phénomènes chromosomiques** : crossing-over, duplications, translocations ou élimination de régions chromosomiques (ex duplication du gène des opsines, à l'origine de l'opsine rouge et de la vision trichromatique chez les singes de l'Ancien Monde, ainsi que chez certains singes du Nouveau Monde)
- **Phénomènes de recombinaison** : acquisition de la résistance aux antibiotiques chez des souches sensibles de bactéries pathogènes au contact de souches résistantes, par intégration des allèles résistants sous l'effet de plasmides recombinants (proche des transferts horizontaux)
- **Insertion génomique d'éléments transposables** : séquences auto-répliquatives capables d'insertion autonome dans le génome, et pouvant modifier la fonction des gènes dans lesquels ils s'intègrent (cf grains de maïs bariolés de B. McClintock)
- **Phénomènes de polyploïdisation**, dus à la formation de gamètes non réduits féconds (auto-polyploïdisation), ou liée à des phénomènes d'hybridation intra- ou interspécifique (allo-polyploïdisation)
- **Phénomènes de brassage aléatoires associés à la méiose et à la fécondation**
- **Endosymbiose**

**Modifications épigénétiques** liées à des phénomènes de méthylation de l'ADN

**Modifications non héréditaires liées à l'environnement**

Phénomènes de plasticité phénotypique réversible sous l'effet d'une pression environnementale : Expérience de Bonnier de transplantation de *Leucanthemopsis* entre plaine et altitude...

**Modifications non génomiques à transmission culturelle** : liées aux comportements et à l'apprentissage chez certains animaux : chant des oiseaux, comportement de lavage des patates douces à l'eau de mer chez les macaques de l'île de Kojima au Japon...



### **Mutations et pressions de sélection**

Le document 2 (Annexe 2) présente la technique et le protocole des répliques de cultures de J. & E. LEDERBERG (1952).

**Question 1.5 : Décrivez, interprétez et expliquez les résultats expérimentaux présentés dans le document 2b. Concluez sur la relation entre mutation et pression de sélection.**

*De nombreux candidats ne relèvent que le faible nombre de colonies résistantes, réduisant ainsi leur analyse à une simple évocation de la mutation comme phénomène susceptible d'expliquer l'acquisition d'un phénotype résistant au bactériophage. Or, comme la formulation de la question suggérait de le faire, ces résultats permettaient d'aller plus loin : le fait que les colonies résistantes sont en même nombre et situées au même emplacement dans l'ensemble des cultures répliquées permettait de démontrer que l'acquisition de la résistance au bactériophage précédait, et n'était pas induite par l'exposition des bactéries au virus, et donc de conclure à l'indépendance de la relation entre mutation et pression de sélection.*

*Cette question a été révélatrice des capacités des candidats à interpréter des résultats expérimentaux simples de façon rigoureuse, et surtout complète.*

Sur les  $10^7$  colonies initiales, seules quelques colonies sont retrouvées sur les boîtes infectées par le virus : on en déduit qu'il s'agit de colonies résistantes à l'infection par le virus. Hypothèse : cette résistance a été acquise par mutation.

Dans les 6 cultures répliquées :

- on observe exactement le même nombre de colonies (5) ;
- la distribution spatiale de ces 5 colonies est rigoureusement identique/superposable.

Grâce à la technique des répliques sur velours, la totalité  $10^7$  colonies présentes dans la culture mère ont été répliquées à l'identique sur les 6 boîtes.

Le fait que l'on obtienne toujours le même nombre de colonies résistantes, distribuées à l'identique, sur toutes les cultures répliquées, permet de faire l'hypothèse qu'elles dérivent toutes des mêmes clones, présents au même emplacement dans la culture-mère.

**La résistance au phage T1 a donc été acquise indépendamment chez 5 clones de la culture-mère, préalablement à toute exposition au virus.**

**Les mutations sont des événements rares, spontanés et aléatoires, qui apparaissent indépendamment des pressions de sélection auxquels les individus sont exposés.**



On remarque que les 6 répliques de la culture mère après incubation 24h à 37°C sur les milieux gélosés infectés par le bactériophage T1 sont identiques. En effet seuls 5 colonies sont présentes et au même endroit sur les 6 boîtes de petri infectées. Or les 6 boîtes de petri ont été produites par réplique veuleurs et sont donc identiques à la culture mère. On en conclut que les colonies bactériennes présentes sont résistantes au bactériophage T1 mais également que cette résistance était présente avant l'application sur les milieux de culture infectés par le bactériophage T1. Les 5 colonies résistantes ont subi une mutation (aléatoirement) leur procurant une résistance au bactériophage T1 (du fait qu'elle se trouve au même endroit sur les 6 boîtes).

→ La mutation survient aléatoirement et précède la pression de sélection.

## La sélection naturelle et la dérive génétique

### Question 1.6 : Définissez la sélection naturelle.

*Cette question et la suivante demandaient au candidat de formuler des définitions générales de la sélection naturelle et de la dérive génétique. Ces deux questions se sont avérées révélatrices des difficultés de certains candidats pour conceptualiser les grands processus biologiques.*

*Ainsi, en guise de définition de la sélection naturelle, beaucoup de candidats choisissent de répondre seulement à partir d'un exemple (souvent, celui de la phalène du bouleau !), plus ou moins adroitement détaillé, mais en omettant alors de définir les invariants du concept dont on demande la définition.*

*Lorsque des mécanismes généraux sont exprimés, ils le sont souvent de façon maladroite et/ou circulaire, la pression de sélection étant alors réduite à un agent externe au processus qui « sélectionne » les individus, sans plus d'explications. On relève fréquemment des discours finalistes et/ou essentialistes, qui réduisent la sélection naturelle à une « meilleure adaptation (de l'espèce) aux contraintes du milieu », ou encore déplacent le concept de survie différentielle tantôt à l'échelle de l'espèce (« la sélection naturelle permet la survie de l'espèce »), tantôt à l'échelle d'un seul individu, sur une seule génération.*

La sélection naturelle est la variation de génération en génération des fréquences des variants d'une population qui se produit dès que 3 conditions sont remplies :

- il existe des variants dans la population ;
- ces variations sont au moins en partie hérissables ;
- ces variations phénotypiques sont corrélées avec des variations du succès reproducteur.

Cela signifie que certains individus, avantagés par rapport aux autres, vont se reproduire davantage et laisser plus de descendants (soit parce qu'ils vivent plus longtemps, soit parce qu'ils ont plus accès à la reproduction). Les caractères avantageux sont alors de plus en plus représentés dans la population au fil des générations, car ils sont au moins en partie hérissables.

### Question 1.7 : Définissez la dérive génétique.

*Plus grandes encore sont les difficultés manifestées par les candidats à cette question, dont les réponses révèlent souvent une profonde méconnaissance des invariants de la dérive génétique. Au mieux, seules les manifestations et certaines conditions de la dérive sont évoquées (fluctuation des fréquences alléliques dans les petites populations), mais sans en expliquer les causes (phénomènes stochastiques lors de la méiose et de la fécondation). Lorsque le hasard est évoqué comme cause de la dérive, il est souvent réduit au seul hasard des mutations. Le jury tient à souligner deux erreurs particulièrement répandues dans les copies :*

- Un mélange notionnel entre les processus de dérive génétique, de spéciation allopatrique par vicariance, et d'isolement reproducteur. La fixation ou l'élimination d'allèles par dérive sera d'autant plus rapide que l'effectif de la population est réduit, et ce indépendamment du phénomène à l'origine de cette réduction d'effectif (barrière géographique ou autre). En elle-même, la dérive ne peut en aucun cas être assimilée à un processus de spéciation.
- Si la dérive est la seule force susceptible d'occasionner des fluctuations de la fréquence d'allèles sélectivement neutres, en revanche il est faux de considérer que la dérive agit exclusivement sur des allèles sélectivement neutres. Dans une population d'effectif réduit, la dérive peut tout à fait occasionner l'élimination d'allèles favorables, tout comme l'augmentation en fréquence, voire la fixation d'allèles défavorables dans la population.

La dérive génétique désigne le phénomène de **fluctuation aléatoire et impossible à prévoir** de la fréquence des allèles dans une population au fil des générations, indépendamment d'autres forces évolutives comme la sélection, la mutation ou la migration.

Elle est causée par des phénomènes **stochastiques/aléatoires**, en particulier le hasard de distribution des allèles lors de la formation et de la rencontre des gamètes, qui ne vérifient plus la loi\* des grands nombres lorsque ces phénomènes surviennent dans des populations d'effectif fini et faible.

**\*Loi des grands nombres :** dans les petites populations, la **probabilité** de tirage des allèles portés par les gamètes formant la génération suivante par fécondation, ne peut pas être estimée par la **fréquence** de ces allèles dans la population parentale, comme on peut le faire dans une population de très grand effectif.

Le document 3 (Annexe 3) présente des observations et des résultats obtenus dans le cadre d'une étude portant sur la relation entre l'Angiosperme *Roscoea purpurea* et son insecte pollinisateur exclusif, le Diptère *Philoliche longirostris*.

**Question 1.8 : Décrivez et analysez les résultats du document 3b.**

*De nombreux candidats parviennent à établir de façon relativement rigoureuse la relation de corrélation entre les deux variables considérées. Néanmoins, certains candidats, au lieu de se limiter à la formulation d'une hypothèse de causalité à partir de ces résultats, passent directement à une affirmation péremptoire d'une relation de causalité entre les deux variables, le constat de la corrélation étant considéré suffisant pour conclure à un processus de coévolution entre les deux espèces considérées.*

On observe une corrélation positive significative entre longueur du tube floral dans les populations de *Roscoea* et la longueur de la trompe dans les populations de *Philoliche* en interaction.

On peut alors formuler l'hypothèse d'une causalité entre les variables : toute variation de longueur du tube corollaire dans les populations de *P. longirostris* est liée à une variation équivalente de longueur de la trompe dans les populations de *R. purpurea*.

**Question 1.9 : Expliquez la différence entre une relation de corrélation et une relation de causalité.**

*Une confusion entre les deux notions est fréquemment relevée, de même que de nombreuses tentatives de définitions confuses, employant des notions floues (par exemple un « lien » entre deux « choses », ou deux « éléments »). Certains candidats méconnaissent complètement le fait que le mot « relation » fait ici référence à des relations logiques entre variables, et proposent alors des définitions fantaisistes dans lesquelles corrélation et causalité deviennent deux catégories distinctes de relations interspécifiques... A cette question également, de nombreux candidats montrent des difficultés pour formuler des définitions générales, se raccrochant fréquemment à un exemple, dans une tentative d'illustrer ou de clarifier une définition confuse. A ce titre, le jury rappelle aux candidats que si le recours à des exemples concrets est souvent utile en biologie afin de construire les notions scientifiques, ils n'ont pas vocation à se substituer totalement à ces dernières.*

Deux variables sont en corrélation lorsque leurs valeurs varient dans le même sens (corrélation positive) ou dans le sens opposé (corrélation négative).

Il existe une relation de causalité entre deux variables lorsque l'on peut mettre en évidence que les variations de l'une des variables sont la conséquence des variations de l'autre variable.

**Question 1.10 : Justifiez en quoi la mesure du nombre de grains de pollen déposés sur le stigmate des fleurs, d'une part, et la mesure du pourcentage de nectar consommé par le diptère lors de la visite, d'autre part, permettent d'estimer les valeurs sélectives de la plante et du diptère en interaction.**

*Etait attendu un raisonnement rigoureux basé sur la notion de fitness, ou valeur sélective individuelle, usuellement estimée grâce à deux traits d'histoire de vie, la fécondité ou fertilité (nombre de descendants par individu) et la viabilité ou survie (probabilité pour un zygote d'atteindre l'âge adulte reproducteur). Hélas, cette question intermédiaire, qui était censée aider les candidats à construire leur réponse à la question suivante, a souvent été mal comprise, et donc mal traitée. Si beaucoup de candidats connaissent les estimateurs de la valeur sélective, qui est souvent exprimée de façon quelque peu automatique par la formule « fitness = survie x fécondité », plus rares sont ceux qui parviennent à la mettre au service d'un raisonnement causal simple à l'échelle des individus dans les populations de chacune des deux espèces en interaction. Certaines erreurs trahissent une profonde incompréhension de la notion de fitness, et plus largement, des mécanismes de la sélection naturelle : en témoignent les raisonnements entachés d'un finalisme débridé et basés à l'échelle de l'espèce (« plus il y a de nectar prélevé, meilleure sera la survie de l'espèce »).*

**Exemple de réponse :**

La mesure de ces paramètres permet une estimation indirecte de la **fitness/valeur sélective** des individus en interaction dans les populations de *R. purpurea* et de *P. longirostris*, respectivement.

En effet :

- plus le nombre de grains de pollen déposés sur le stigmate d'une fleur est important, plus le nombre d'ovules fécondés, et donc de graines produites, sera important : donc ce paramètre estime la fitness via la composante fécondité ;
- plus la quantité de nectar consommé par le diptère est importante, meilleure sera sa nutrition : donc ce paramètre estime la fitness via la composante viabilité (mais également fécondité, en particulier s'il s'agit d'une femelle).

**Question 1.11 : Après avoir décrit et analysé les résultats du document 3c, proposez un mécanisme évolutif explicatif.**

*Le jury déplore chez de trop nombreux candidats l'emploi d'un discours au finalisme parfois décomplexé, inadmissible de la part de futurs enseignants en Sciences de la Vie et de la Terre : « Pour survivre, le diptère adapte la longueur de son proboscis pour pouvoir aller le prélever malgré la profondeur du tube floral », « le diptère au cours des générations va muter son gène codant la longueur du proboscis afin qu'il devienne plus long ». Comme rappelé dans pratiquement tous les rapports d'épreuves en biologie, il est indispensable que les candidats se présentent au concours en ayant intégré les quelques éléments épistémologiques qui leur permettent de comprendre la nécessité de bannir tout discours finaliste en biologie, notamment le fait que l'évolution biologique est un processus sans direction ni but prédéfinis. Les résultats du document 3C permettaient de démontrer la notion de coévolution, grâce à un raisonnement basé sur la réciprocité des pressions de sélection. Malheureusement, les candidats qui avaient affirmé de façon péremptoire la notion de coévolution, souvent dès la question 1.8, ont rencontré des difficultés pour démontrer le processus de coévolution à partir des résultats du document 3C, en se limitant très souvent à une description confuse et maladroite des résultats.*

**Exemple de réponse :**

LTF-LP matérialise le différentiel de longueur entre le tube floral et le proboscis du pollinisateur : plus la valeur est forte, plus le tube floral est long par rapport au proboscis du pollinisateur.

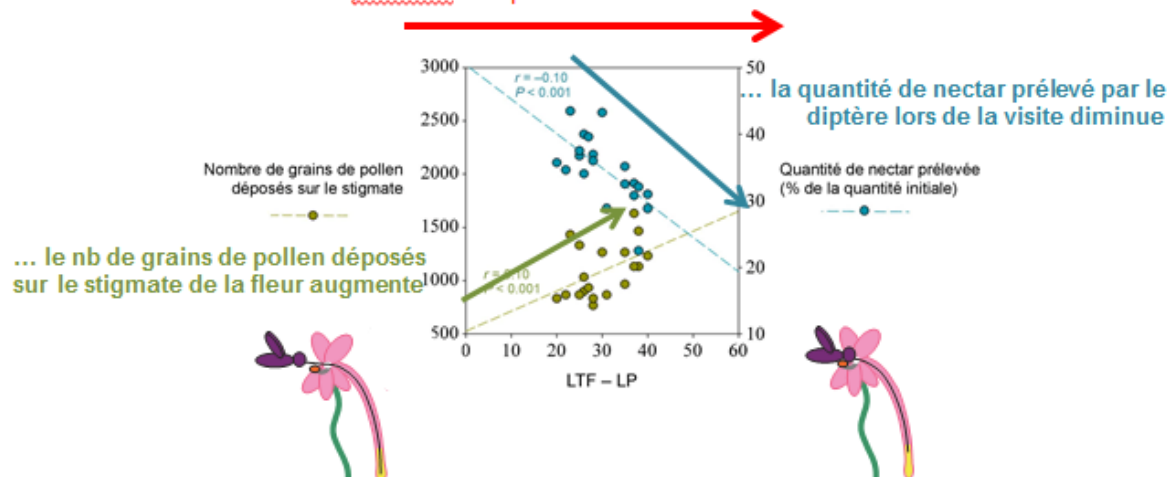
Dans les populations de *R. purpurea*, toute augmentation relative de la longueur moyenne du tube floral (soit, une augmentation de LTF-LP) engendre un différentiel de fitness entre individus dans la population de diptères, et donc une pression de sélection, qui tend à favoriser les individus aux proboscis les plus longs.

Réciproquement, dans les populations de diptères, toute augmentation relative de la longueur moyenne du proboscis (soit, une diminution de LTF-LP) engendre un différentiel de fitness entre individus dans la population de *R. purpurea*, et donc une pression de sélection, qui tend à favoriser les individus aux tubes floraux les plus longs.

L'existence de pressions de sélection réciproques permet de démontrer l'existence d'un processus de coévolution entre les populations du diptère et celles de *R. purpurea*. C'est ce mécanisme qui permet d'expliquer la corrélation observée entre LTF et LP dans les populations (augmentation concertée avec écart constant).



Lorsque LTF-LP augmente, i.e. lorsque le tube de la fleur visitée est de plus en plus long par rapport au proboscis du diptère visiteur...



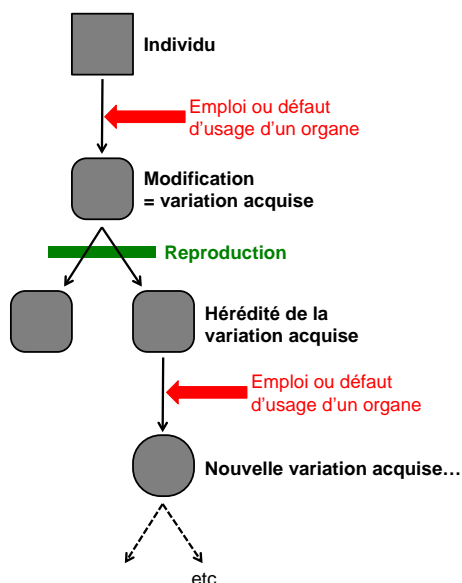
## **PARTIE 2 : Approches historique et didactique** **de la construction des concepts en évolution**

**Question 2.1 : Traduisez sous forme de schémas les propos de Lamarck et Darwin présentés dans le document 4 (Annexe 4) et comparez-les.**

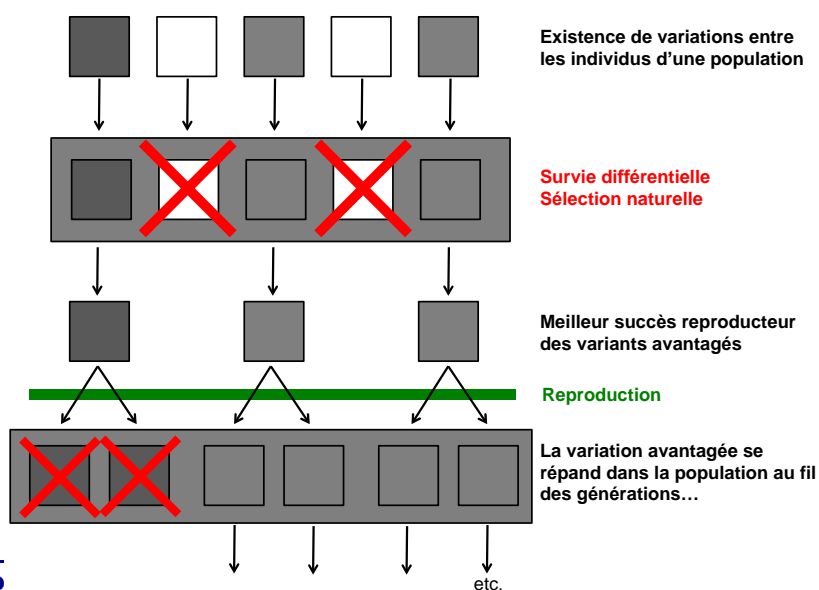
Comme l'énoncé de la question le demandait explicitement, il fallait non seulement traduire graphiquement les théories lamarckienne et darwinienne, mais également les comparer, que ce soit de façon graphique ou textuelle. Or beaucoup de productions se limitent aux deux schémas demandés, présentés successivement, et au mieux suivis de deux paragraphes juxtaposés, consistant en une simple paraphrase de chacune des deux théories, sans aucun élément de comparaison explicite.

Les schémas produits restent très souvent au niveau de l'exemple : de très nombreuses copies proposent ainsi un mécanisme explicatif de l'allongement du cou chez les girafes, mais sans parvenir à généraliser au niveau conceptuel. Par ailleurs, les schémas produits sont rarement complets, le processus étant très souvent réduit à l'échelle d'une seule génération, sans aucune idée d'itération générationnelle.

### **Exemple de schéma pour la théorie lamarckienne**



### **Exemple de schéma pour la théorie darwinienne**



#### **Points communs**

- envisagent la modification (sans proposer de mécanisme biologique pour expliquer cette hérédité)
- reposent sur l'hérédité des variations lors de la reproduction (sans proposer de mécanisme biologique pour expliquer cette hérédité)

#### **Différences entre les deux théories :**

- La **pensée populationnelle** est absente chez Lamarck (l'individu se modifie au cours de sa vie), mais présente chez Darwin (les espèces se modifient parce que certains individus variants transmettent plus leur variation que d'autres à la génération suivante)
- La **place de la variation** dans le processus décrit : elle en est la **conséquence** chez Lamarck, tandis que chez Darwin elle en est le **fait premier**.

Les différences entre Lamarck et Darwin sont :

- Lamarck est à l'échelle de l'individu au contraire de Darwin qui est à l'échelle de la population
- Lamarck considère une transformation des organes de part leur utilisation. Darwin avance plutôt une apparition de caractères sans en donner une cause précise.
- Darwin considère l'existence d'une pression de sélection, d'une sélection naturelle agissant comme un filtre décomposant les caractères permettant la survie et les caractères ne permettant pas la survie.
- Lamarck n'envisage pas l'existence de l'une pression de sélection autre que celle de l'utilisation ou pas de l'organe.

Les points communs entre Darwin et Lamarck sont :

- L'existence d'un transfert de caractères à la génération suivante : l'hérédité des caractères acquis.
- L'existence de variations du vivant au cours du temps.
- Une vision évolutionniste de l'histoire du vivant.



**Question 2.2 : On parle de la théorie lamarckienne et de la théorie darwinienne de l'évolution. Expliquez ce qu'est une théorie scientifique.**

*Le jury attendait que les candidats dégagent les grandes caractéristiques d'une théorie scientifique. Les candidats ont globalement bien répondu à cette question. Certains ont contextualisé leur réponse aux théories de l'évolution (parfois à d'autres théories comme la théorie cellulaire) perdant parfois de vue les concepts généraux. Les réponses les moins satisfaisantes sont celles qui présentent une démarche scientifique ou celles qui partent d'une définition commune et confondent théorie scientifique et hypothèse.*

Une théorie scientifique est un ensemble construit de modèles, de lois et de principes qui permet d'expliquer un phénomène naturel.

Une théorie scientifique doit répondre à plusieurs critères :

- Correspondance entre la théorie et les phénomènes observés
- Compatibilité avec des nouveaux faits décrits qui n'étaient pas connus au moment de la proposition de la théorie
- Capacité à prédire des phénomènes non encore connus ou observés

Avec l'accumulation des connaissances, une théorie peut devenir de plus en plus robuste. Elle peut être partiellement remise en cause par de nouvelles connaissances et être adaptée pour les prendre en compte. Elle peut enfin être totalement remise en cause par des connaissances, elle est alors abandonnée.

Les documents de l'annexe 3 (Document 3) ont été fournis aux élèves d'une classe de Terminale. Lors de la séance, la question 1.11 (Partie 1) leur a été posée.

Le document 5 (Annexe 5) est une production écrite d'un·e élève de Terminale en réponse à cette question, suite à l'analyse des documents 3b et 3c.

**Question 2.3 : Relevez deux erreurs de l'élève dans sa manipulation des concepts évolutifs, et pour chacune d'elles proposez une piste de remédiation adaptée.**

*Les candidats devaient identifier dans la production de l'élève des indices permettant d'identifier deux erreurs dans la manipulation des concepts évolutifs. Certains candidats n'en ont identifié qu'une seule ; d'autres identifient des erreurs non liées aux concepts évolutifs (erreurs de forme ou de lecture du graphique) ; de façon plus inquiétante, certains enfin affirment que la production est tout à fait satisfaisante.*

*Pour chaque erreur, une piste de remédiation adaptée devait être proposée. Chaque piste pouvait convoquer des données scientifiques articulées à des modalités pédagogiques d'exploitation. Certains candidats proposent des pistes de remédiation dont les formulations sont encore plus finalistes que celles de l'élève.*

➤ **Les erreurs dans la manipulation des concepts évolutifs déductibles de la production de l'élève :**

1) L'approche populationnelle n'est pas appréhendée : Le raisonnement de l'élève porte sur un individu unique ou sur des relations d'un individu à un autre, il manque donc une approche populationnelle : « la mouche a la même longueur que le tube des fleurs »

2) Le raisonnement déployé relève du lamarckisme : Dans cette production élève, la modification est vue comme provoquée par la pression de sélection : « ça provoque chez la mouche un allongement de sa trompe pour pouvoir aller récupérer plus de nectar ». Dans cette explication, le tube floral profond provoque une modification d'habitude chez le diptère (« oblige la mouche à enfoncer sa trompe plus profond dans le tube pour aller récupérer plus de nectar »), qui provoque à son tour une modification corrélée de l'organe (« ça provoque chez la mouche un allongement de sa trompe »)

3) La modification est envisagée comme volontaire : « la fleur a mis en place une technique d'allongement »

4) Une expression finaliste et une approche téléonomique de l'évolution sont exprimées : Le processus est envisagé comme un moyen d'atteindre l'optimalité (perfection). L'élève témoigne d'une vision de l'évolution dirigée de façon auto-déterminée (« la fleur a mis en place une technique d'allongement ») vers une finalité de progrès, de perfectionnement (« pour pouvoir être plus pollinisée »)

### ► Des éléments pour des pistes de remédiation :

Selon les erreurs identifiées, il serait envisageable de :

- 1) Demander une formulation prenant en compte la diversité intraspécifique au sein d'une population et partir des individus
- 2) Faire expliciter les variations phénotypiques et la corrélation avec une variation de succès reproducteur et les conséquences de génération en génération
- 3) Bannir toutes les formulations qui impliquent une volonté mais exprimer des mécanismes
- 4) Travailler sur la distinction entre perfection et adaptation
- 5) Utiliser des modélisations analogiques pour appréhender le mécanisme à l'échelle populationnelle
- 6) Utiliser des exemples d'évolution simplifiante (exemple : perte des ailes adaptatives chez les insectes des îles Kerguelen, perte de l'hémoglobine chez les « poissons des glaces » de l'océan Antarctique)

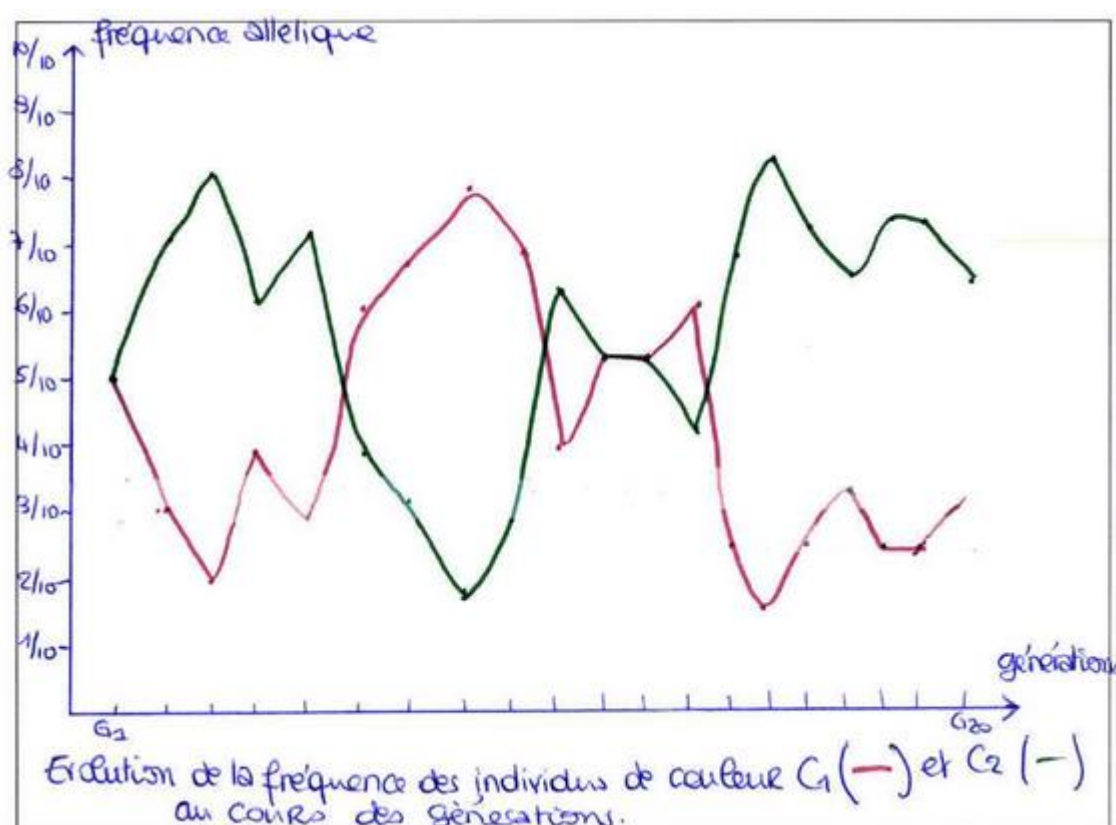
### L'intérêt des modélisations

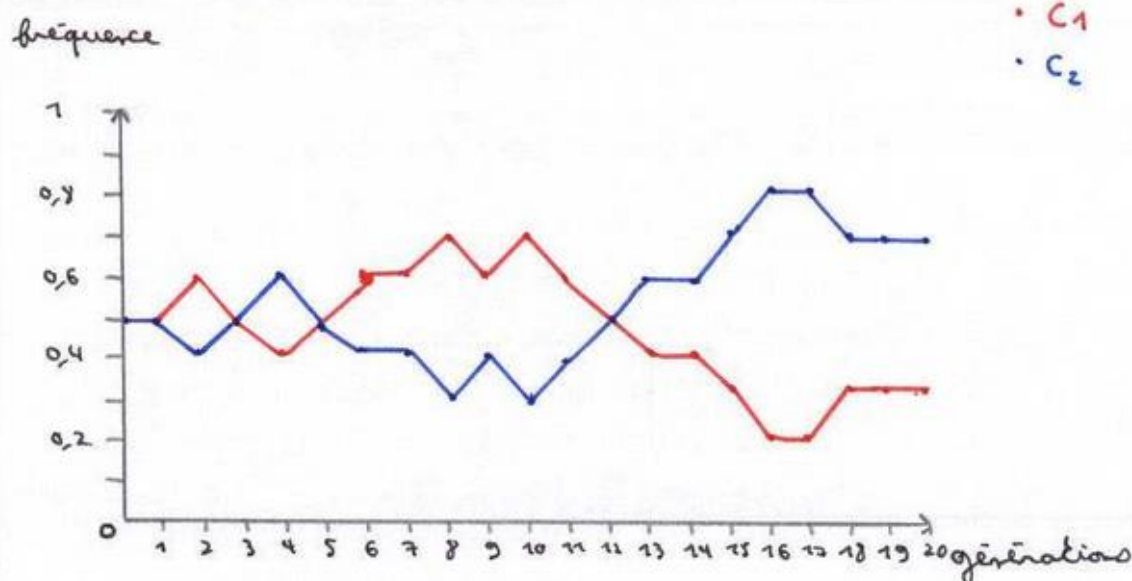
Les modélisations sont souvent utilisées en classe pour aider les élèves à construire les concepts concernant les mécanismes évolutifs. Le document 6 (Annexe 6) présente une modélisation analogique réalisée dans le cadre d'une activité en classe.

**Question 2.4 : Représentez un exemple de graphique que pourrait obtenir un binôme d'élèves à la fin de l'activité présentée dans le document 6.**

*Il était attendu un graphique avec un titre adapté, des noms d'axes pertinents (fréquences des allèles avec des valeurs allant de 0 à 1 et générations avec des valeurs allant de 1 à 20), deux courbes (celle pour la couleur C1 et celle pour la couleur C2) et une légende. Il était également attendu que la somme des 2 fréquences à chaque génération soit de 1. De nombreux candidats présentent des pourcentages ou des nombres d'individus. Ils sont également nombreux à placer des points de manière approximative de telle sorte que la somme des deux fréquences n'est pas exactement de 1. Quelques candidats choisissent des valeurs de fréquences fixes à 0,5. Même si cette situation est théoriquement possible, elle est très improbable et ne rend pas compte des événements stochastiques liés à la dérive, ce qui illustre mal le concept travaillé.*

**Exemples de graphiques satisfaisants produits par des candidats :**





Évolution de la fréquence des individus de couleur C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> au cours des générations

**Question 2.5 : Imaginez et décrivez une modélisation analogique permettant de travailler sur la sélection naturelle.**

*Il était attendu des candidats qu'ils proposent un modèle avec :*

- des éléments physiques dont certains modélisent les individus d'une population et les variations phénotypiques,
- une corrélation entre variants et succès reproducteur (certains variants se reproduisent plus que d'autres),
- une explicitation pertinente du processus permettant de passer d'une génération à la suivante.

*Très peu de candidats proposent une réponse complète. De nombreuses propositions sont calquées sur la modélisation du document 6, mais celle-ci étant basée sur des tirages aléatoires, elle n'était pas pertinente pour modéliser la sélection naturelle. Certains candidats proposent d'utiliser un modèle numérique ou d'expérimenter sur un modèle biologique, ne semblant alors pas comprendre ce qu'est un modèle analogique.*

**Un exemple de réponse présentant une modélisation analogique permettant d'étudier la sélection naturelle :**

L'exemple de la modélisation proposé ici repose sur la prédation des confettis avec un avantage aux confettis bleus moins visibles que les rouges sur le tissu coloré dans les tons bleus. On s'attend donc à ce que les confettis bleus mieux camouflés soient moins prédatés, se reproduisent plus et soient donc de plus en plus présents au cours des générations.

**Matériel :**

- tissu coloré dans les tons bleus
- 20 confettis bleus et 20 confettis rouges
- chronomètre

Situation de départ :

Poser sur le tissu 20 confettis : 10 rouges et 10 bleus

Pour passer de la génération  $n$  à la génération  $(n+1)$  :

## ➤ Etape de la prédation :

Pendant 20 secondes, prélever le plus de confettis possibles

## ➤ Etape de la reproduction :

- Récupérer les confettis restant sur le tissu.

- Pour chaque confetti ramassé, en poser 2 de la même couleur sur le tissu jusqu'à ce que tous les confettis soient « traités » ou que 20 confettis soient à nouveau présents sur le tissu.

Répéter pendant 10 générations.

Reporter dans un tableau les nombres de confettis rouges et bleus par génération.

Représenter graphiquement les résultats.

La modélisation numérique présentée dans le document 7 (Annexe 7) permet d'étudier les effets de la sélection naturelle et de la dérive génétique, soit séparément, soit conjointement.

**Question 2.6 : Présentez les principaux avantages et les principales limites de l'utilisation en classe de modèles analogiques et de modèles numériques.**

*Il était attendu des candidats qu'ils énoncent au moins deux avantages et deux limites à l'utilisation en classe des modèles analogiques et/ou des modèles numériques. Certains candidats ont abordé les avantages et les limites des modèles en général, d'autres on proposé une réponse en différenciant les modèles analogiques et les modèles numériques. Les deux types de réponses étaient possibles. Il s'agissait toutefois ici de l'utilisation de modèles en lien avec les thématiques abordées dans les programmes de SVT du secondaire, non uniquement des modèles ayant trait aux processus évolutifs. De nombreux candidats ont fait le choix pertinent de présenter leur réponse sous forme de tableau.*

Exemple d'éléments de réponse :

Un modèle analogique est une représentation simplifiée du réel qui utilise des objets physiques. Un modèle numérique est une représentation simplifiée du réel qui utilise des mathématiques et de l'informatique.

➤ Des avantages d'utiliser des modèles en classe :

L'utilisation de modèles en classe :

- Permet une mise en activité favorable à l'implication des élèves et favorable aux apprentissages.
- Permet de se représenter mentalement et de manipuler pour mieux comprendre.
- Permet d'expérimenter pour mieux expliquer.
- Si l'utilisation des modèles est associée à une approche épistémologique, leur utilisation peut contribuer à une meilleure connaissance de ce qu'est la science et de comment elle se construit.
- est souvent simple, ludique, rapide, peu coûteux.
- permet de faire travailler les élèves par groupe.

➤ Des avantages de l'utilisation de modèles analogiques :

La manipulation d'objets concrets peut aider à construire une représentation mentale et donc à comprendre, mémoriser, utiliser (exemple de modélisation de chromosomes, de gènes et d'allèles).

➤ Des avantages de l'utilisation de modèles numériques :

Les modèles numériques peuvent présenter une grande qualité de représentation qui n'est pas toujours possible avec des objets concrets (exemple modélisation 3D de structures cellulaires ou anatomiques).

Ils permettent d'explorer un grand nombre de cas possibles (exemple de modélisation sur la régulation en physiologie, sur les mécanismes évolutifs), de répliquer un grand nombre de fois une même expérience, ou de manipuler un grand nombre d'objets (exemple de travail sur des grandes populations).

### ➤ Des limites de l'utilisation des modèles :

Si l'écart à la réalité est mal appréhendé par les apprenants, le risque est de construire une représentation erronée de la réalité.

Les éléments qui peuvent être problématiques sont en particulier les échelles d'espace et de temps, les matériaux utilisés.

L'aspect ludique peut parfois « cacher » les objectifs d'apprentissage visés.

### ➤ Des limites de l'utilisation de modèles analogiques

En classe, les objets physiques utilisés sont souvent très éloignés des caractéristiques physiques des éléments réels et donc les modèles sont souvent très éloignés de la réalité (modélisation de l'effet de serre, modèles tectoniques analogique de convergence ou divergence utilisant de la farine,). Difficulté du retour au réel.

### ➤ Des limites de l'utilisation de modèles numériques

Les modèles numériques fonctionnent souvent avec des algorithmes non accessibles ; ces boîtes noires peuvent être des obstacles à la compréhension.

Pour les utiliser facilement, il est nécessaire d'avoir accès à un parc numérique suffisant (c'est souvent le cas en lycée, mais pas encore toujours en collège).

**Question 2.7 : Imaginez que vous utilisez en classe le modèle numérique présenté dans le document 7 (Annexe 7). Indiquez quelles situations vous souhaiteriez faire explorer aux élèves pour qu'ils étudient les effets relatifs de la sélection naturelle et de la dérive génétique sur l'évolution d'une population.**

*Souvent sélection naturelle et dérive génétique sont étudiées séparément. Ici la question portait sur l'utilisation d'un modèle numérique pour étudier conjointement les deux mécanismes évolutifs et envisager les effets relatifs de la sélection et de la dérive sur l'évolution d'une population. Le modèle permettait ainsi d'envisager au moins quatre situations comparables deux à deux : situation a) petite population (donc forte dérive) et niveau de sélection faible, situation b) petite population (donc forte dérive) et niveau de sélection forte, situation c) grande population (donc faible dérive) et niveau de sélection faible et situation d) grande population (donc faible dérive) et niveau de sélection forte. Très peu de candidats ont proposé une telle approche. La majorité des candidats s'est contenté d'expliquer comment le modèle permettait d'étudier soit la sélection naturelle soit la dérive génétique.*

### Exemple de réponse :

Le modèle permet de faire varier la force de la dérive génétique en faisant varier la taille de la population et la force de la sélection naturelle en faisant varier la probabilité de survie des individus.

Pour étudier les effets relatifs de la sélection naturelle et de la dérive génétique, 4 situations sont à explorer :

- Population petite et sélection faible
- Population petite et sélection forte
- Population grande et sélection faible
- Population grande et sélection forte



## PARTIE 3 : L'évolution comme grille de lecture du monde

### Un regard évolutif sur l'espèce humaine

**Question 3.1 : Rappelez l'organisation anatomique d'un cœur humain et schématisez la circulation sanguine en plaçant le cœur, les poumons, un muscle, l'intestin grêle.**

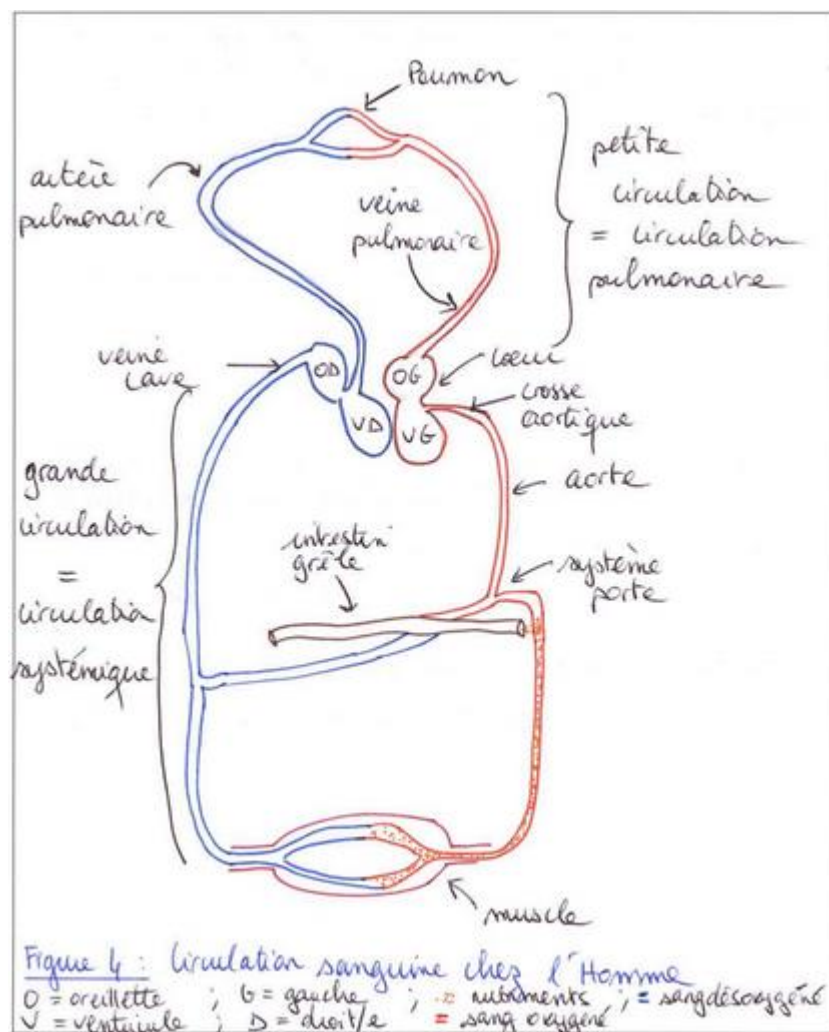
*Cette question interroge des connaissances de base que tout candidat se destinant à devenir professeur de SVT devrait maîtriser parfaitement. Force est de constater que c'est loin d'être le cas. Certaines réponses sont bien en deçà de ce qui est attendu d'un élève de cycle 4. Les règles élémentaires de communication (titre, légendes) sont également mal maîtrisées.*

*Il était attendu un texte rappelant l'anatomie d'un cœur humain, puis un schéma clair, légendé et titré présentant la circulation pulmonaire et la circulation systémique impliquant un muscle et l'intestin grêle. Alternativement, les rappels d'organisation anatomique du cœur pouvaient être intégrés au schéma sous forme graphique, mais cela imposait alors de porter sur le schéma une légende fonctionnelle suffisamment précise.*

Le cœur est un muscle creux composé de 2 parties : le cœur droit et le cœur gauche. Chaque partie présente un ventricule et une oreillette. Des structures appelées valvules contribuent à la circulation du sang à sens unique.

Le sang arrive au cœur par les veines (caves ou pulmonaires), entre dans les oreillettes (droite ou gauche), passe dans les ventricules (droit ou gauche) et sort par une artère (pulmonaire ou aorte).

**Exemples de schémas satisfaisants produits par des candidats :**







Le résultat est une population dans laquelle les individus présentent un cœur gauche à paroi musculaire épaisse et un cœur droit à paroi musculaire fine. Ce sont deux adaptations liées aux fonctions de ces deux cœurs.

**Question 3.3 : En vous appuyant sur deux autres exemples liés à l'espèce humaine, illustrez le fait que les adaptations évolutives ne sont pas seulement anatomiques.**

*Il était attendu la présentation de deux exemples pour lesquels il existe bien une adéquation entre la forme ou l'organisation et la fonction. Ces exemples pouvaient concerner des mécanismes moléculaires ou physiologiques ou encore des éléments culturels.*

**Pistes pour des réponses :**

Possibilité de présenter des adaptations de fonctionnement, physiologiques ou culturelles

Exemple en physiologie : la régulation du débit sanguin lors d'un effort physique

Exemple sur du fonctionnel : les déroulements des divisions cellulaires

Exemple culturel : utilisation d'outils, apprentissages,...

**Des thérapies innovantes contre les cancers**

**Question 3.4 : Analysez les résultats expérimentaux des deux expériences présentées dans le document 8b (Annexe 8).**

*Les descriptions des résultats proposées par la plupart des candidats sont confuses. Elles manquent souvent de rigueur (les noms des paramètres sont approximatifs) et de précision. Une conclusion générale sur ce que nous apprennent ces résultats n'est pas toujours présente.*

**Exemple de réponse :**

Ces études présentent le volume moyen de la tumeur (en mm<sup>3</sup>) en fonction des jours depuis l'injection des cellules cancéreuses. Trois groupes de souris sont étudiés : le groupe témoin, le groupe ayant bénéficié de la thérapie classique et le groupe ayant bénéficié de la thérapie adaptative.

Les résultats de l'expérience 1 et de l'expérience 2 sont différents.

Dans l'expérience 1 :

- toutes les souris du groupe témoin sont mortes.
- les volumes des tumeurs des souris du groupe « thérapie classique » augmentent vite alors que les volumes des tumeurs des souris du groupe « thérapie adaptative » augmentent doucement.

Dans l'expérience 2 :

- Les volumes des tumeurs des souris du groupe témoin et du groupe « thérapie classique » augmentent vite.
- Les volumes des tumeurs des souris du groupe thérapie adaptative n'augmentent pas.

Dans les deux cas, les évolutions des tumeurs sont plus favorables pour les souris du groupe « thérapie adaptative » que pour les deux autres groupes.

**Question 3.5 : Identifiez une limite importante des protocoles et des résultats expérimentaux de l'étude présentée dans le document 8 (Annexe 8)**

*Deux éléments majeurs pouvaient être identifiés par les candidats. Un seul était attendu.*

**Eléments de réponse :**

La principale limite des protocoles est le nombre particulièrement faible d'individus composant les groupes : 4 souris.

Aucune information sur la variabilité des résultats n'est présentée.

**Question 3.6 : Indiquez ce qu'apporte la seconde expérience de l'étude du document 8 (Annexe 8) par rapport à la première.**

*Deux éléments principaux étaient attendus et cette question a été relativement bien réussie.*

**Exemple de réponse :**

Les apports de la seconde expérience sont les deux suivants :

- Une augmentation des informations sur les variabilités interindividuelles ;
- Un ajustement beaucoup plus fin des doses de médicaments administrées : l'expérience 1 était la première expérience et donc les doses de médicaments intéressantes n'étaient pas connues ; les connaissances construites au cours de cette expérience 1 ont été utilisées pour mener l'expérience 2, l'ajustement des doses de médicament a été plus fin et la régulation du volume des tumeurs a également été plus efficace.

**Question 3.7 : En utilisant les documents 8 (Annexe 8) et 9 (Annexe 9), expliquez le principe des thérapies adaptatives contre les cancers en utilisant le concept de pression de sélection.**

*Les documents 8 et 9 ont généralement été bien utilisés pour construire les réponses. Néanmoins celles-ci utilisent peu le concept de pression de sélection comme demandé dans la consigne. Il était en effet attendu que la dose de chimiothérapie utilisée soit identifiée comme la pression de sélection principale. La compétition entre les cellules résistantes et les cellules sensibles était une autre source de pression de sélection.*

**Exemple de réponse :**

Une tumeur cancéreuse est constituée de plusieurs clones cellulaires présentant des mutations différentes. Ces clones cellulaires sont en compétition. On peut différencier les cellules sensibles à la chimiothérapie et celles qui y sont résistantes.

Dans une thérapie dite classique, la dose maximale de médicament est utilisée. Celle-ci tue toutes les cellules sensibles, ne laissant que les cellules résistantes. Le résultat est l'obtention de tumeurs constituées uniquement de cellules résistantes qui échappent alors au traitement.

Dans une thérapie dite adaptative, le principe consiste à utiliser une dose de médicament suffisamment forte pour contrôler la taille de la tumeur mais assez faible pour ne pas tuer toutes les cellules sensibles. Les cellules sensibles et résistantes sont ainsi en compétition. Cette compétition empêche les cellules résistantes de prendre le dessus et la tumeur reste ainsi contrôlable.

La dose de chimiothérapie utilisée est à l'origine d'une pression de sélection. En jouant sur le niveau de cette pression de sélection, on joue sur la sélection ou pas d'un type cellulaire et on intervient différemment sur le devenir de la tumeur.

Les cellules sensibles constituent également une pression de sélection sur les cellules résistantes pour l'accès aux nutriments, à l'espace disponible, aux réseaux sanguins.

**Question 3.8 : Parmi les éléments du modèle présenté dans le document 9 (Annexe 9), relevez ceux qui sont confirmés, ceux qui manquent de précision et ceux qui ne sont pas abordés par l'étude du document 8 (Annexe 8).**

*Cette question a été globalement très bien réussie par les candidats. Ils ont su identifier dans les éléments du modèle du document 9 au moins un élément confirmé, un élément manquant et un élément non abordés par l'étude du document 8. De nombreux candidats ont même identifié plusieurs éléments pour chaque catégorie. Là encore une présentation sous forme de tableau s'est avérée efficace et pertinente.*

**Exemple de réponse :**

➤ **Des informations présentes dans le modèle du doc 9 et confirmées par l'étude du doc 8 :**

- Diminution transitoire de la taille des tumeurs dans les thérapies classiques
- Augmentation au final de la taille des tumeurs dans les thérapies classiques
- Stagnation de la taille des tumeurs dans les thérapies adaptatives

➤ **Des informations présentes dans le modèle du doc 9 et manquant de précision dans l'étude du doc 8 :**

- La notion de dose maximale tolérée de chimiothérapie
- La notion maximale efficace de chimiothérapie

➤ **Des informations présentes dans le modèle du doc 9 et non abordés dans l'étude du doc 8 :**

- L'existence de cellules sensibles et résistantes
- La proportion des deux types de cellules dans les différentes tumeurs et...
- ... l'évolution de cette proportion selon le type de thérapie
- Une information sur l'avantage compétitif relatif d'un type cellulaire par rapport à l'autre, en fonction de la période (traitement ou non-traitement)

**Une histoire du vivant abordée en enseignement scientifique**

**Question 3.9 : Présentez brièvement un exemple, autre que ceux étudiés dans ce sujet, permettant de remplir les objectifs d'enseignement décrits dans l'extrait de programme présenté dans le document 10 (Annexe 10). Expliquez la pertinence de votre choix.**

*Cette dernière question du sujet a souvent été bâclée, les réponses étant alors très superficielles. Il était attendu du candidat qu'il développe un autre exemple utilisable en classe avec des élèves en lien avec les objectifs du programme d'enseignement scientifique qui était fourni. Les exemples choisis sont souvent pertinents mais rares sont les candidats qui établissent de manière explicite un ou des liens avec les objectifs expliquant ainsi la pertinence du choix.*

**Pistes pour les réponses :**

Il était possible de proposer d'étudier des cas liés aux pratiques agricoles (par exemple l'utilisation des pesticides et la gestion des résistances à ces produits phytosanitaires) ou des cas liés à d'autres pratiques médicales (résistance aux antibiotiques). Ces exemples sont permettant de viser l'objectif : « Les concepts de variation et de sélection naturelle éclairent des pratiques humaines (médicales et agricoles) et certaines de leurs conséquences ».

Les exemples plus classiques comme l'étude de la phalène du bouleau et des pinsons des Galápagos pouvaient permettre au contraire d'atteindre l'objectif : « Ces exemples permettent de comprendre l'anatomie comme le résultat d'une longue histoire évolutive, faite d'adaptations, de hasard, de contingences et de compromis. »