

# Sciences de la vie et de la Terre, épreuve sur support de documents

## Présentation générale de l'épreuve et des sujets

L'épreuve de SVT sur support de documents, d'une durée de 4 heures, comprend un sujet de géologie et un sujet de biologie, avec égalité de traitement entre les deux.

Le sujet de géologie est structuré autour de questions précises, permettant l'évaluation des acquis fondamentaux du programme *via* des questions de cours, ainsi que des capacités d'analyse *via* l'interprétation de documents originaux en lien direct avec le programme. Des réponses claires, concises et argumentées sont attendues. L'autonomie, l'initiative et la réflexion du candidat peuvent aussi être testées par une question plus ouverte, sollicitant à la fois connaissances personnelles et exploitation de plusieurs documents.

Le sujet de biologie, distribué aux candidats au début de la troisième heure d'épreuve, était structuré en trois thèmes, autour de questions soit précises et permettant de centrer les objectifs et de guider le candidat, soit plus ouvertes (« interprétez »).

Plusieurs questions visent à évaluer le socle de connaissances des candidats, en géologie (par exemple : « définissez la notion de lithosphère »). En biologie, ce type de question est rare et forcément en lien direct avec l'interprétation d'un document et afin d'aider aussi le candidat dans sa réflexion ; par exemple à la question 3 : « Après avoir défini les notions d'espèce et de spéciation, interprétez les résultats du document »... document montrant justement une spéciation, ce qui a échappé à pratiquement tous les candidats. Les informations hors-programme nécessaires à l'analyse de certains documents sont apportées. Comme annoncé dans le rapport 2017, le sujet était plus court que ceux des sessions antérieures (10 pages en géologie, 8 pages en biologie). Cette tendance sera maintenue.

Dans ces sujets, des **questions explicites et systématiques** sont associées aux documents. Les candidats doivent veiller à **bien lire les consignes** propres à chaque question, les **respecter** et y **répondre** explicitement. En particulier, des questions de type « Décrivez » ou « Interprétez » les résultats présentés dans tel document correspondent à des **consignes** et donc des **attendus** différents. En particulier en biologie, dans le cas le plus fréquent d'une question de type « **Interprétez les résultats** présentés dans tel document », le candidat veillera naturellement à réellement **interpréter** les résultats (c'est à dire réfléchir aux causes, aux mécanismes impliqués, aux conséquences, aux liens avec les autres documents, formuler des hypothèses explicatives), et les observations seront très concises. **Le jury attire de nouveau l'attention des futurs candidats et de leurs préparateurs sur ce point crucial**, car dans les précédentes sessions, et encore cette année, la totalité des candidats commence systématiquement par une longue description (par exemple : en 10 lignes) plus ou moins pertinente des résultats puis interprète et conclut de manière lapidaire et incomplète (par exemple : en 2 lignes). Pour une question explicite de type « **Interprétez les résultats** », c'est le **dosage inverse** qui est préconisé : il s'agit donc pour les candidats non pas de paraphraser les documents, mais bien de réfléchir davantage à leurs interprétations.

Concrètement, il faut dans un premier temps saisir de manière concise les informations pertinentes d'un document, en les quantifiant. Dans un second temps, il s'agit de les **interpréter** : **nommer** les phénomènes mis en évidence (par exemple : « je vois un panache mantellique », « c'est la subsidence thermique », « il s'agit d'une spéciation sympatrique », « nous avons des résultats d'évolution expérimentale », ...), réfléchir aux **causes**, aux **conséquences**, formuler des **hypothèses explicatives**, par exemple sur les mécanismes impliqués, si besoin en **lien explicite** avec le ou les document(s) précédents.

Enfin, et à partir de cette session, les copies étant dématérialisées, il est interdit de découper des documents et de les coller sur sa copie. En conséquence, en géologie comme en biologie, une **annexe** (au format A3) est fournie avec le sujet. Cette annexe contient les documents ou figures à annoter, légender ou compléter, conformément aux consignes explicites des questions correspondantes. Cette annexe est obligatoirement à rendre avec sa copie.

Le sujet de géologie était cette année centré sur l'**océan Atlantique**, sollicitant des acquis capitalisés dans plusieurs parties du programme de cours et de TP de BCPST 1 et 2 : « I-A Structure de la planète Terre », « I-B Dynamique des enveloppes terrestres », « V Le magmatisme », « VIII-A L'océan ».

Le sujet de biologie, original car sans aucune expérience de biologie moléculaire ni schéma bilan, abordait quelques aspects du **big sperm paradox** chez les drosophiles. Il était précisé que les trois thèmes de ce sujet n'étaient pas indépendants et qu'il était conseillé de traiter les questions dans l'ordre du sujet. Après avoir décrit la compétition sexuelle et les spermatozoïdes géants (thème 1), il s'agissait d'identifier des désavantages (thème 2) puis les avantages sélectifs (thème 3) liés à leur production.

Les points du barème restent distribués sur 6 groupes de compétences spécifiques :

<b>A</b> : Recueillir des informations, analyser et hiérarchiser
<b>B</b> : Mobiliser des connaissances scientifiques pertinentes pour résoudre un problème, structurer un raisonnement et maîtriser les relations de causalité
<b>C</b> : Exercer son esprit critique, identifier un problème, remettre en cause un modèle
<b>D</b> : Présenter graphiquement les conclusions des analyses réalisées
<b>E</b> : Maîtriser les techniques de communication écrite dans le cadre de la construction d'un argumentaire
<b>E1</b> : Structure, qualité de l'expression (syntaxe, précision, concision)
<b>E2</b> : Soin, orthographe et présentation

Ces compétences sont décrites et commentées dans le rapport de la session 2015 (pages 14, 15 et 16), disponible sur le site du concours Agro-Véto. Ces compétences ne sont pas toutes systématiquement mises en œuvre dans chaque question. Leur prise en compte se fait selon un système de curseur (0 ; 0,33 ; 0,66 ; 1). La compétence E est évaluée globalement sur l'ensemble de la copie. Un extrait de grille de correction vierge est indiqué ci-dessous (le total des points par question apparaît dans la colonne de droite, avant d'avoir réalisé le calcul ramenant la note sur 20 points).

	A		B		C		D		Points obtenus	Total
	Curseur	Points	Curseur	Points	Curseur	Points	Curseur	Points		
Géologie - Question 1.1a		0	0	2		0		0	0	2
Géologie - Question 1.1b	0	1		0		0		0	0	1
Géologie - Question 1.1c		0	0	1		0		0	0	1
Géologie - Question 1.2	0	1	0	1		0		0	0	2
Géologie - Question 1.3		0		0	0	3		0	0	3
Géologie - Question 1.4		0		0		0	0	3	0	3
Biologie - Question 1	0	1	0	2		0		0	0	3
Biologie - Question 2	0	1	0	1		0		0	0	2
Biologie - Question 3	0	1	0	4		0		0	0	5
Biologie - Question 4		0		0		0	0	2	0	2
Biologie - Question 5		0		0		0	0	4	0	4
Biologie - Question 6	0	1	0	1		0		0	0	2

## Observations générales sur les copies

### Sur la forme (compétence E)

La grande majorité des copies sont claires et agréables à lire. Les consignes sont bien respectées en géologie, mais la concision doit être de mise dans l'exploitation des documents en biologie. L'orthographe doit être surveillée avec davantage de vigilance et **les éléments importants des réponses doivent être mis en valeur**, par exemple en les soulignant. L'emploi de **couleurs** (stylos ou feutres fins) est autorisé et conseillé, notamment sur les annexes pour une meilleure lisibilité. Les réponses doivent être **structurées** en paragraphes si nécessaire. Les productions graphiques sur la copie et les annotations des annexes doivent être réalisées avec davantage de soin ; un titre est obligatoire pour chaque production graphique. En géologie comme en biologie, les derniers thèmes n'ont été que peu souvent abordés ou mal traités, la paraphrase des documents, en particulier en biologie, ayant probablement fait perdre du temps aux candidats.

### En géologie

Le niveau général est significativement plus faible que celui de l'année dernière. Plusieurs documents pourtant très proches du cours sont mal traités, en particulier dans le thème 2. Les questions de cours sont toujours très inégalement réussies, et de ce fait particulièrement discriminantes. La diversité des questions a permis à tous les candidats de s'exprimer et de réussir le plus souvent au moins une partie du sujet, variable selon les candidats. Quelques tendances se dégagent toutefois :

- Le vocabulaire doit être plus précis et rigoureux.
- Dans les documents relatifs aux techniques géophysiques du programme (tomographie et gravimétrie), les candidats repèrent très bien les anomalies, mais leurs interprétations sont mauvaises, quand elles sont présentes.
- Il faut éviter de répondre au hasard, ou de proposer des réponses dépourvues de toute justification. Il faut justifier sa réponse, argumenter les hypothèses faites, ou tout simplement sauter la question.
- Les réponses aux questions du thème 4 ont révélé une méconnaissance totale des courants océaniques, alors que les attentes du jury étaient modestes.
- Les petits calculs (taux d'expansion, épaisseur de la lithosphère) sont souvent justes.
- Les annotations des documents de l'annexe ont été pauvres, ternes et dépourvues de titre.

### En biologie

Cette année encore, pratiquement tous les candidats ont encore perdu beaucoup trop de temps à décrire, souvent avec exhaustivité, les résultats visibles dans les documents. Cette activité fait perdre énormément de temps, mais ne rapporte aucun point. Le jury s'étonne de ne voir aucune évolution sur cette façon de faire depuis 2015, alors qu'elle ne «marche pas»! L'observation d'un document doit se restreindre à la simple saisie quantifiée des données pertinentes permettant de justifier ses interprétations. Dans le thème 1, les documents sont bien compris, mais les interprétations sont très incomplètes, souvent par manque de vocabulaire : les notions de valeur sélective, de compétition, de sélection et de spéciation sont peu et mal utilisées. Dans le thème 2, les désavantages sélectifs liés à la production de spermatozoïdes géants sont très bien identifiés, mais là encore mal justifiés par manque de recul et de vocabulaire. Les notions d'évolution expérimentale, de sélection directionnelle ou de compromis (*trade-off*) ne sont pas apparues, alors qu'elles figurent au programme. Le traitement du thème 3 nécessitait plus de recul de la part des candidats. Quand elles ont été traitées, les réponses aux dernières questions étaient souvent pertinentes (montrant alors une bonne compréhension de la part des candidats), quoique trop brièvement justifiées, probablement par manque de temps.

## Commentaire sur les différentes parties du sujet

### **GÉOLOGIE : Quelques aspects de la géologie de l'Océan Atlantique**

#### **Thème 1 : Structure et nature de la lithosphère océanique Atlantique**

1.1a) La lithosphère est l'enveloppe superficielle de la Terre interne. D'environ 100 km d'épaisseur, elle comprend la croûte terrestre et une partie du manteau supérieur. La base de la lithosphère peut être délimitée de manière thermique par l'isotherme 1300°C, ou de manière sismique par la LVZ. La lithosphère est rigide, cassante et découpée en plaques lithosphériques en première approximation indéformables.

*De trop nombreux candidats ne maîtrisent pas la définition de la lithosphère. Le niveau scientifique ayant été très variable selon les candidats, cette première question a été discriminante.*

1.1b) La vitesse de propagation des ondes sismiques augmente avec la profondeur : le milieu traversé, toujours solide (vitesse non nulle des ondes S), est de plus en plus dense. Cette augmentation est non linéaire : on observe des sauts de vitesse (par exemple à 2 km de profondeur, la vitesse de propagation des ondes S augmente de 1 km.s<sup>-1</sup>), qui correspondent à des discontinuités (chimique ou mécanique) en profondeur.

*La notion de discontinuité était attendue, ainsi qu'une quantification. Beaucoup de candidats proposent que la température diminue avec la profondeur, ce qui est une erreur grave (la notion de géotherme est au programme). Aucune information sur le lien plus complexe qui existe entre vitesse de propagation des ondes et densité du matériau traversé n'était attendue.*

1.1c) On peut faire l'hypothèse que les différentes couches proposées par Raitt correspondent aux différentes roches présentes dans la lithosphère océanique. Ainsi, la couche la moins profonde correspond certainement à du basalte (0-2 km sous les sédiments), la couche intermédiaire à du gabbro (2-7 km) et la couche la plus profonde à de la péridotite.

*La réponse à cette question a été satisfaisante, quand lithologie et enveloppe n'étaient pas confondues.*

1.2) On observe la présence de verre et de microlithes. Il s'agit donc d'une roche volcanique. L'association de clinopyroxènes et de plagioclases dans une texture microlithique montre qu'il s'agit d'un basalte.

*Cette question a été globalement bien traitée.*

1.3) Au vu des vitesses de propagation des ondes sismiques, la couche la plus superficielle peut correspondre à du basalte, mais aussi à de la dolérite. La proposition des lithologies réalisées à la question 1.1c est donc pertinente même s'il est difficile de faire la différence entre ces deux roches sur ce seul critère. Pour la couche intermédiaire, les vitesses mesurées correspondent à celle mesurées en laboratoire dans du gabbro, mais aussi dans des péridotites hydratées. Il n'est donc pas possible d'affirmer que la couche n°2 n'est constituée que de gabbro. Enfin la couche n°3 correspond aux vitesses mesurées dans les péridotites sans minéraux hydratés. Au bilan, la proposition de lithologie du 1.1c peut être précisée ainsi 1) basalte et/ou dolérites, 2) gabbros et/ou péridotites contenant 10-40 % de minéraux hydratés, 3) manteau péridotitique dont l'hydratation est inférieure à 10 %.

*Cette question a été diversement réussie. De nombreux candidats n'ont pas réussi à critiquer leur modèle de façon pertinente mais certains candidats qui ont répondu faux à la question 1.2c) se sont avérés capables de remettre en question, ce qui est un bon point. Le fait que la couche n°2 puisse correspondre à une intrication de gabbros et de manteau hydraté est rarement envisagé.*

1.4) Était attendue une coupe de lithosphère océanique, faisant apparaître une couche mince de basalte en coussins, une couche de gabbro fine avec des poches de manteau hydraté et un manteau lithosphérique non hydraté, avec mention des profondeurs et/ou du Moho (sismique et/ou lithologique). La lithosphère océanique Atlantique présente de nombreuses différences avec la lithosphère océanique Pacifique : variations dans les épaisseurs, complexe filonien, nature de la péridotite, discontinuité de l'apport magmatique, présence d'un rift central, etc.

*Le schéma (log) attendu n'a pas toujours été produit. Le jury rappelle qu'une échelle ainsi qu'un titre et une légende sont indispensables pour un schéma réussi, et que l'emploi de couleurs est autorisé.*

## **Thème 2 : Origine et mobilité de la lithosphère Atlantique**

2.1a) On observe que la profondeur augmente en s'éloignant de l'axe de la dorsale (2 km au niveau de l'axe de la dorsale, 4,5 km à 1000 km de l'axe). On observe également un rift axial large d'une trentaine de km et d'une profondeur de 1 km, bordé par des blocs surélevés au centre de la dorsale.

*Cette question se voit souvent limitée à une simple description du document sans quantification. Le rift central, pourtant caractéristique de l'océan Atlantique, est rarement vu.*

2.1b) L'anomalie de Bouguer correspond à la différence entre la pesanteur mesurée en un point puis corrigée et la pesanteur calculée par rapport à un ellipsoïde de référence.

*Cette question est souvent ratée, avec une confusion très fréquente entre anomalie et correction, voire entre gravimétrie et tomographie.*

2.1c) - On observe tout d'abord que l'anomalie de Bouguer est globalement positive sur tout le profil (+200 mgal à +380 mgal) ce qui traduit un excès de masse : la croûte océanique est plus dense que la croûte continentale et étant plus mince, le manteau, plus dense, est moins profond.

- Plus on s'approche de la dorsale, plus l'anomalie est faible (+ 200 mgal) : l'excès de masse est moins important sous la dorsale. En effet sous la dorsale, le manteau asthénosphérique, proche du plancher océanique, est l'objet d'une fusion partielle qui diminue la densité. Le manteau asthénosphérique moins dense que le manteau lithosphérique remonte, ce qui diminue l'excès de masse (doc 2.1c).

*L'anomalie positive n'est pas repérée. La diminution de l'anomalie positive est très bien repérée, mais rarement interprétée. Cette question est globalement mal réussie, alors que le document avait été jugé classique.*

2.1d) D'après les documents 2.1a et 2.1b, les zones les plus profondes du plancher océanique sont associées à une forte densité de la lithosphère océanique (anomalie de Bouguer très positive). Inversement, les zones surélevées du plancher océanique sont associées à une faible densité. Plus la lithosphère océanique s'éloigne de la dorsale, plus elle se refroidit, sa densité augmente et elle s'enfonce : c'est la subsidence thermique. La morphologie de la lithosphère océanique Atlantique est donc contrôlée par sa densité.

Cette question a souvent été ratée. Le terme de subsidence thermique, au programme mais très rarement lu dans les copies, n'était pas obligatoire si les explications étaient claires.

2.2a) La tomographie sismique exploite les enregistrements de séismes naturels et permet de cartographier les anomalies de vitesse de la propagation des ondes sismiques en profondeur. La vitesse de propagation des ondes est calculée en comparant les temps d'arrivée des différentes ondes au niveau de différentes stations. Ces vitesses sont alors soustraites à celles prévues dans le modèle de référence appelé le modèle PREM.

Le principe de la tomographie n'est pas toujours compris : les vitesses ne sont pas mesurées mais calculées à partir des temps d'arrivée des ondes enregistrées par différentes stations sismiques, confusions avec les techniques de sismique réflexion ou de sismique réfraction

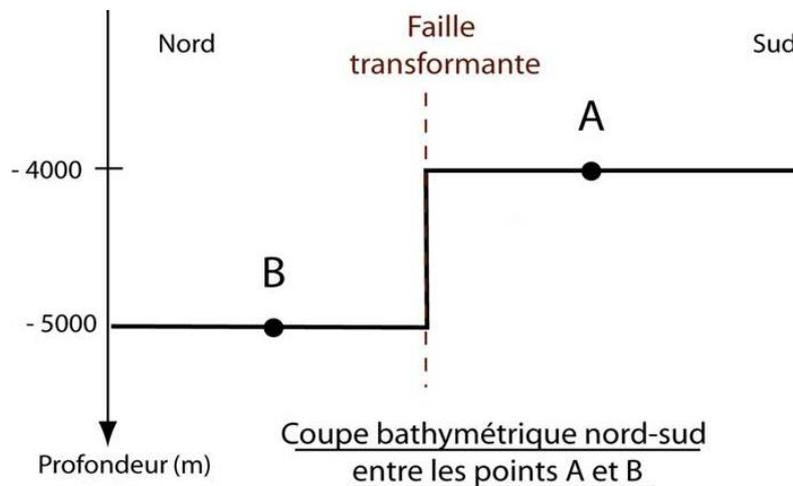
2.2b) On observe sous l'Islande une anomalie négative très nette (de -1 à -1,4%) dans la vitesse de propagation des ondes, enracinée jusqu'à 670 km de profondeur, correspondant à la limite entre le manteau supérieur et le manteau inférieur. Cette anomalie négative, signifiant un ralentissement des ondes, peut être interprétée comme du matériel anormalement chaud jusqu'à 670 km. Cette anomalie ne peut pas simplement être le résultat du magmatisme de la dorsale (la dorsale est visible sur la coupe A, son ancrage est superficiel) mais correspond très certainement à un panache mantellique. Le magmatisme islandais a donc très probablement une double origine et correspondrait à un magmatisme de dorsale associé à un magmatisme de point chaud ancré, d'après ce document, à 670 km.

Cette question a elle aussi été mal traitée par les candidats : peu identifient le point chaud ou le panache mantellique (tout autre terme équivalent et juste était accepté), beaucoup invoquent une subduction, une couche D+ à 670 km...

2.3a) et b) On observe sur le doc.2.3c une profondeur de 4 km à 500 km de la dorsale. Cette profondeur correspond à environ 20 Ma (doc 2.3b). Calcul du demi-taux d'expansion =  $500 \cdot 10^3 / 20 \cdot 10^6 = 2,5$  cm/an, soit un taux d'expansion total de 5 cm/an. Cette dorsale est donc une dorsale lente.

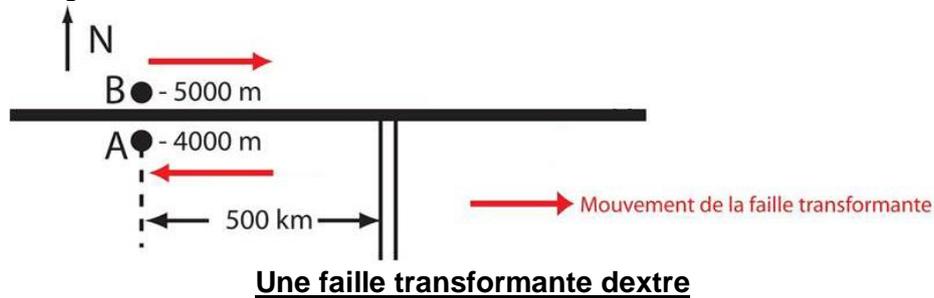
Beaucoup de candidats sont capables d'établir un calcul crédible en respectant l'unité demandée, mais très peu ont pensé à multiplier le résultat par 2 pour obtenir un taux d'expansion total. Un calcul doit être clair et justifié, ce qui n'a pas toujours été le cas.

2.4a)



Cette question a été globalement bien traitée, mais les candidats doivent faire attention à la lisibilité de leur coupe et à sa présentation (soin, titre, orientation, ...).

2.4b et c) Sans faille transformante, la profondeur aux points A et B devrait être la même, ce qui n'est pas le cas. De plus, sans transformante, le point B (plus profond, donc plus vieux) devrait se trouver plus à l'ouest par le jeu unique des failles normales à la dorsale. Ainsi il doit exister une faille transformante, qui a ramené le point B et le tronçon nord de la dorsale vers l'est : il s'agit d'une faille transformante dextre.



*Cette question a été assez peu, et inégalement traitée. Quel que soit le raisonnement du candidat, une attention particulière a été apportée à la cohérence des réponses aux questions 2.4b et 2.4c.*

2.5) Le point A est situé à une profondeur de 4 km ce qui correspond à un âge de 20 Ma, soit une épaisseur de l'ordre de 40 km. Pour le point B, l'âge est de 60 Ma et l'épaisseur est de l'ordre de 70 km.

*De très nombreux candidats ont réussi leur calcul.*

2.6a) En s'éloignant de la dorsale, la lithosphère océanique se refroidit ce qui se traduit par un enfoncement de l'isotherme 1300 °C, qui marque la frontière entre la lithosphère et l'asthénosphère. Ainsi le manteau de la lithosphère océanique s'épaissit en vieillissant, l'épaisseur de la croûte océanique restant constante.

*Cette question est globalement bien traitée.*

2.6b) La partie affectée par la variation d'épaisseur est le manteau lithosphérique.

*Lorsque la question 2.6a) était bien traitée, cette question ne posait aucune difficulté aux candidats.*

### **Thème 3 : Interactions physiques entre lithosphère océanique Atlantique et eau de mer**

3.1a) Le flux de chaleur théorique est très élevé au niveau de la dorsale puis diminue fortement entre 0 et 5 Ma, avant de se stabiliser aux alentours de  $10 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}^2$ . Le flux de chaleur observé est inférieur au flux théorique jusqu'à 20 Ma, particulièrement entre 0 et 5 Ma. Il est relativement constant autour de  $10 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}^2$ .

*Les descriptions proposées sont rarement pertinentes et se limitent à de la paraphrase non quantifiée du document.*

3.1b) Le flux théorique est calculé à partir d'un modèle purement conductif. Les différences observées avec le profil observé sont probablement liées à un autre mode de transport de la chaleur au voisinage de la dorsale : la convection. En effet, au niveau des dorsales, l'eau de mer s'infiltre dans la lithosphère océanique, au niveau des failles. Cette eau est alors transportée dans la lithosphère, qu'elle refroidit : c'est l'hydrothermalisme.

*Cette question a été inégalement traitée par les candidats.*

3.2a) Avant 400 °C, la masse volumique et la viscosité chutent avec la température : en chauffant, l'eau devient de moins en moins dense et visqueuse. Après 400°C, la masse volumique continue de diminuer mais la viscosité augmente : au-delà de 400°C, en chauffant, l'eau est moins dense mais devient de plus en plus visqueuse. Avant 400°C, une augmentation de la température de l'eau de mer par hydrothermalisme est *a priori* favorable à sa convection. Au-delà, celle-ci est *a priori* moins facile, à cause de la viscosité.

*Cette question, plus difficile, nécessitait pour être réussie d'avoir quelques idées autour du nombre de Rayleigh (masse volumique au numérateur, viscosité au dénominateur), dont l'expression n'était pas attendue. La plupart des candidats ont simplement décrit le document, en comparant la masse volumique et la viscosité, ce qui n'a pas de sens puisqu'il ne s'agit pas des mêmes grandeurs. Le lien avec la possibilité ou non d'une convection de l'eau de mer chauffée est rarement fait.*

3.2b) En supposant la convection possible, entre 0 et 200 °C, la masse volumique encore forte favorise un transport convectif descendant de l'eau de mer (dans la lithosphère océanique). Entre 200°C et 400°C, l'eau devient nettement moins dense, ce qui favorise un mouvement convectif ascendant (vers la surface).

*Cette question a été mieux réussie que la précédente. La remise des conclusions de ce document dans leur contexte naturel (circulation hydrothermale, fumeurs) n'était pas exigée, mais les quelques candidats qui l'ont fait ont été valorisés.*

#### **Thème 4 : L'Océan Atlantique, un acteur essentiel du système climatique**

4.1a) - Quelle que soit la latitude, la concentration en CFC est la plus forte en surface, ce qui est logique puisqu'il s'agit d'un gaz d'origine anthropique récemment introduit dans l'atmosphère.

- En surface, la concentration des traceurs étudiés est 1,5 à 2 fois plus élevée au niveau des hautes latitudes de l'hémisphère nord (CFC :  $3-4 \cdot 10^{-12} \text{ mol.kg}^{-3}$ ,  $\text{O}_2$  : 200-300 mL.L<sup>-1</sup>) qu'au niveau de l'équateur (CFC :  $1-2 \cdot 10^{-12} \text{ mol.kg}^{-3}$ ,  $\text{O}_2$  : 100-200 mL.L<sup>-1</sup>). Ceci s'explique par le fait que les gaz sont plus solubles dans les eaux froides.

- Vers 60°N, les fortes concentrations en CFC et en  $\text{O}_2$  rencontrées dans les eaux de surface sont également observables jusqu'à 3000 m de profondeur. La propagation de ce signal vers les eaux profondes sous-jacentes témoigne d'un transport des eaux de surface vers les eaux profondes.

*Beaucoup de candidats évoquent la meilleure solubilité des gaz dans les eaux froides. D'autres paraphrasent le document, sans interprétation.*

4.1b) et 4.1c) La répartition des traceurs vers 60°N semble indiquer un transport des eaux de surface vers les profondeurs, qui serait gouverné par la plongée des eaux froides et salées, donc denses, au niveau du pôle Nord. Ces eaux froides et denses subduisent initiant la circulation thermohaline.

*Cette question est globalement mieux traitée. Le terme de circulation thermohaline n'apparaissant pas explicitement au programme, il n'était pas exigé. Certains candidats parlent également de downwellings.*

4.2) On observe que les concentrations en  $\text{CO}_2$  d'origine anthropique sont globalement supérieures dans les hautes latitudes ( $75 \text{ mol.m}^{-2}$ ) que dans les basses latitudes ( $35 \text{ mol.m}^{-2}$ )

<sup>2</sup>), ce qui s'explique par une meilleure solubilité des gaz dans les eaux froides, ainsi que par la subsidence des eaux froides au niveau des hautes latitudes, qui absorbent fortement le CO<sub>2</sub> atmosphérique (naturel et anthropique). Ce CO<sub>2</sub> est ensuite redistribué latitudinalement par les courants profonds.

La comparaison entre l'Atlantique et le Pacifique montre que la répartition de la concentration en CO<sub>2</sub> ne peut pas s'expliquer par les activités humaines (grandes villes, pollution, etc.), car on n'observe pas une telle augmentation au niveau de la Chine, de l'Inde ou du Japon.

*Cette question a rarement été traitée. La plupart des candidats ne pensent pas à faire une comparaison entre l'Atlantique et le Pacifique, ce qui leur aurait évité d'interpréter les concentrations élevées dans l'Atlantique par les activités humaines locales.*

*4.3) Cette question, rarement abordée, a été très peu réussie, alors que les attentes du jury étaient très modestes. On pouvait figurer au moins un courant de surface en le nommant (Gulf Stream, courant du Labrador, courant couplé aux alizés), ce qui n'a pratiquement jamais été fait, ainsi que la circulation profonde avec l'écoulement des eaux provenant des hautes latitudes nord. D'autres éléments ont aussi été acceptés : gyres, upwelling, etc., mais pratiquement jamais rencontrés dans les copies.*

## **BIOLOGIE : Le *Big Sperm Paradox*, spermatozoïdes géants et compétition sexuelle chez les drosophiles**

### **Thème 1 : La sélection post-accouplement ; les spermatozoïdes géants**

1) Les deux images permettaient d'observer (A) la présence de spermatozoïdes fluorescents (signal GFP jaune-orange-rouge) dans l'organe de stockage d'une drosophile femelle, dans lequel ils ont été transférés après leur émission dans son organe de dépôt par un mâle transgénique ; (B) l'expulsion par une femelle d'une masse de sperme fluorescent reçu d'un premier accouplement avec un mâle transgénique suite à un second accouplement avec un mâle non transgénique : on illustre ainsi le devenir possible du sperme déposé, qui est stocké, et peut éventuellement être expulsé suite à un autre accouplement (cf. les informations apportées par l'introduction). Le diagramme permet de quantifier ce phénomène. Après un accouplement avec un mâle transgénique, un signal GFP moyen d'environ 18 UA est mesuré dans l'organe de stockage, il est d'environ 7,5 ou 4,5 UA après un second accouplement avec un mâle non transgénique (deux lignées différentes ont été utilisées). Les différences moyennes constatées étant toutes significatives, on peut en déduire qu'une expulsion de l'ordre des deux-tiers du sperme déposé lors du premier accouplement a eu lieu, et que ce taux d'expulsion varie selon les caractéristiques du second mâle. Il y a bien une compétition sexuelle entre les mâles s'accouplant successivement avec une même femelle : leurs spermatozoïdes coexistent dans les voies génitales de celle-ci, et sont donc concurrents pour l'accès aux gamètes femelles. Il ne s'agit pas ici d'une compétition qui aurait lieu entre mâles cherchant à s'accoupler avec une même femelle, mais d'un tri avec expulsion sélective des spermatozoïdes hors de l'organe de stockage après leur dépôt : il s'agit donc d'une sélection post-accouplement.

*Certains candidats n'étudient pas tous les documents, ou ne répondent pas à la totalité de la question posée. Cette question permettait de mettre en place le cadre de l'étude menée ensuite, avec la séquence accouplement/dépôt-stockage-expulsion.*

2) Après 81 générations, la masse moyenne d'une drosophile adulte est d'environ 230 µg en matière sèche pour la lignée M, et de plus de 270 µg pour la lignée P (+ 20 %). Ces différences significatives révèlent que la compétition sexuelle entre mâles permet à terme

l'obtention d'individus en moyenne plus lourds (lignée P) que lorsque celle-ci n'est pas permise (un seul accouplement par femelle pour la lignée M). La sélection post-accouplement semble favoriser la production d'une descendance présentant une meilleure *fitness*. On rappelle qu'à l'origine les individus des deux lignées proviennent d'une seule et même population. On peut faire l'hypothèse que les spermatozoïdes des mâles les plus gros parmi les trois s'étant accouplés avec la même femelle prennent part plus fréquemment à des fécondations (car ils sont moins expulsés) ; c'est bien l'intérêt de la compétition post-accouplement qui est étudié ici, puisque ces trois mâles sont choisis de façon aléatoire. Remarque : on suppose ici que la masse corporelle est un caractère au moins en partie héréditaire, ce qui est une hypothèse raisonnable.

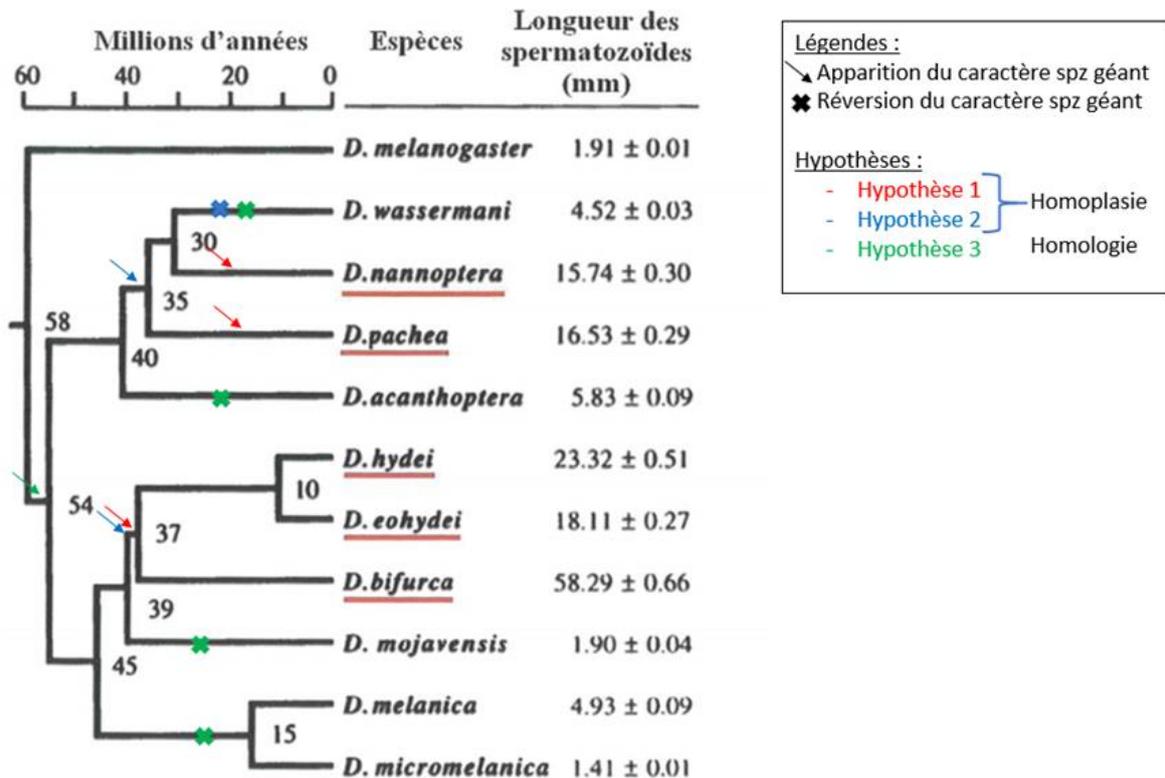
*Il ne s'agissait pas de la masse de tous les individus d'une lignée après 81 générations ! Attention, l'axe des ordonnées ne commence pas à zéro. Il fallait faire l'hypothèse de l'existence d'un avantage sélectif pour les individus plus lourds.*

3) Pour la définition de « espèce », il était suffisant de rappeler une définition biologique (critère d'interfécondité et de fertilité de la descendance), la plus pertinente ici, en rappelant qu'il en existait d'autres. La demande de la définition de « spéciation » permettait d'orienter la réflexion des candidats pour le reste de la question. Le diagramme B montrait que la quantité totale de spermatozoïdes stockée après deux accouplements était la même quel que soit l'ordre des accouplements (intra- puis inter-spécifique, ou le contraire) ; le document C permettait de voir que la proportion de chaque spermatozoïde (S ou M) dans la population de gamètes mâles stockée n'était pas la même, suite à une expulsion plus ou moins importante du sperme du premier mâle. Seuls un peu plus de 10 % en moyenne des spermatozoïdes déposés par le premier mâle sont expulsés après un second accouplement lorsqu'ils appartiennent à un individu de la même espèce que la femelle (*D. simulans*) ; plus de 70 % de ceux déposés par un mâle d'une autre espèce (*D. mauritiana*) le sont. Cette différence est significative. La femelle élimine donc la majorité des spermatozoïdes déposés par un premier mâle qui n'est pas de son espèce : il s'agit d'une barrière reproductrice interspécifique qui limite les fécondations inter-espèces. C'est ce type d'isolement reproducteur que l'on peut observer lors d'une spéciation sympatrique.

*Les définitions phylogénétique, écologique, etc. « d'espèce » n'avaient que peu d'intérêt ici. La spéciation n'est pas la « création » d'une nouvelle espèce ; elle a souvent été définie de manière peu satisfaisante, et n'a que trop peu été utilisée pour l'interprétation du document C. L'intérêt du diagramme B n'a souvent pas été compris. La notion de spéciation est parfois apparue, mais quelle soit sympatrique, jamais (ce terme est pourtant au programme).*

4) Une copie des clichés à légender était fournie en annexe. Des candidats oublient une partie de la question (comparaison avec les modèles mammifère ou amphibien au programme), ou identifient les gamètes de façon erronée.

5) Cinq taxa (soulignés en rouge) présentent l'état « géant+ » du caractère « taille de spermatozoïde ». En supposant qu'il s'agit d'un état dérivé de ce caractère, plusieurs histoires évolutives sont envisageables pour expliquer la présence de gamètes géants chez ces cinq espèces.



**Arbre phylogénétique de 11 espèces de drosophile montrant les différentes hypothèses évolutives pour le caractère spz géant**

Dans les hypothèses 1 & 2, l'état « géant » est apparu à plusieurs reprises de façon indépendante : il s'agit là de cas d'homoplasie. Au contraire, dans l'hypothèse 3, cet état est apparu une seule fois, et a été hérité ou perdu (réversion) par la suite par les différentes espèces du groupe monophylétique constitué de toutes les espèces considérées ici, sauf *D. melanogaster* : il s'agit là d'un cas d'homologie. Pour choisir l'hypothèse la plus vraisemblable, on peut faire appel au principe de parcimonie, après comptage des pas évolutifs pour chacune des trois hypothèses (sans pondération entre l'apparition de spermatozoïdes géants, et la réversion à des spermatozoïdes de taille « normale »). Les deux hypothèses impliquant l'homoplasie sont plus parcimonieuses (3 pas) que celle impliquant l'homologie (5 pas) : il est donc plus probable que l'apparition de spermatozoïdes géants se soit faite de façon convergente dans plusieurs lignées au sein du genre *Drosophila*, ce qui est un indice du fait que ceux-ci constituent un avantage sélectif.

*Une seule hypothèse était suffisante, pourvu qu'elle soit justifiée. Une grande partie des raisonnements proposés sont incohérents, tautologiques (« il y a convergence, donc il s'agit d'une homoplasie ») ou incomplets (pas de recours au principe de parcimonie). Certains candidats confondent homologie et homoplasie. De nombreux candidats cherchent à entourer des groupes d'espèces pour répondre à la question posée (groupes monophylétiques, paraphylétiques, polyphylétiques... souvent avec des erreurs) : cette démarche n'était pas pertinente. D'autres, enfin, ont répondu en considérant deux clades séparés : on était alors en situation d'homologie pour l'un (*D. hydei*, *D. eohydei*, *D. bifurca* et leur dernier ancêtre commun), et d'homoplasie pour l'autre (*D. wassermani*, *D. nanoptera*, *D. packea* et leur dernier ancêtre commun).*

6) Comparer la taille d'un attribut chez toutes ces espèces (taille des spermatozoïdes, des bois des cerfs...) n'a de sens que si on normalise à la taille du corps. Le taux d'allométrie de 5,52 pour les spermatozoïdes des drosophiles est très élevé (en comparaison la queue du

paon est de 3,75). Beaucoup d'attributs envisagés dans ce document sont liés à la sélection sexuelle (parades nuptiales, choix du reproducteur par les femelles...). En lien avec les documents précédents, on peut alors émettre l'hypothèse d'un avantage sélectif de ces spermatozoïdes, en lien avec de la sélection sexuelle et de la compétition entre mâles.

*Très peu de candidats ont compris l'intérêt du calcul du taux d'allométrie dans une logique comparative. L'idée de sélection sexuelle, ou de compétition entre mâles, n'est pas souvent apparue.*

## **Thème 2 : Le *Big Sperm Paradox***

7) Le nombre normalisé moyen de spermatozoïdes produits par jour n'est pas impacté par la longueur des spermatozoïdes ( $r^2 = 0.55$ ). En revanche, il y a une diminution du nombre moyen de spermatozoïdes déposés lors d'un accouplement avec l'augmentation de la longueur moyenne des spermatozoïdes, la corrélation négative est assez bonne ( $r^2=0.9$ ). Ainsi le caractère « spermatozoïdes géant » semble conférer un désavantage sélectif sur le nombre de spermatozoïdes déposés lors d'un accouplement, un compromis (*trade-off*) est mis en évidence. Ce caractère n'est donc *a priori* pas favorable à la reproduction, or ce caractère est apparu plusieurs fois lors de l'évolution ce qui semble contradictoire d'où l'idée d'un *big sperm paradox*.

*Le document 7-B a été bien compris et traité, mais les candidats n'ont su que faire du nuage de points présenté dans le document 7-A.*

8) Ce document montre beaucoup d'autres désavantages sélectifs liés à la production de spermatozoïdes géants chez les drosophiles, chez les mâles et chez les femelles :

- Les femelles restent plus longtemps (quelques jours) indisponibles pour de nouveaux accouplements, ce qui ne favorise pas la sélection post-accouplement et la compétition sexuelle entre mâles.
- Chez les mâles, l'investissement énergétique alloué au fonctionnement des testicules est deux fois plus fort (10 %). Il ne reste que 10 fois moins de spermatozoïdes dans les vésicules séminales, après un accouplement, et la recharge est très lente (6 heures après un accouplement, 50 nouveaux spermatozoïdes sont accumulés dans les vésicules séminales contre 440 chez *D. melanogaster*). Un nouvel accouplement aboutirait donc au dépôt de moins de spermatozoïdes, ce qui ne favorise pas non plus la sélection post-accouplement et la compétition sexuelle entre mâles.
- Le rapport S/O est de 5,5 contre 30 chez *D. melanogaster*. Ainsi chez les espèces produisant des spermatozoïdes géants et pratiquant des accouplements multiples, il y a moins de spermatozoïdes déposés par ovocyte, et donc la compétition sexuelle est moins marquée.

Finalement, la compétition sexuelle est sans doute moins forte pour les espèces produisant des spermatozoïdes géants : moins d'accouplements successifs, moins de spermatozoïdes déposés dans les voies femelles, moins de spermatozoïdes en compétition pour féconder le gamète femelle. Les spermatozoïdes géants semblent ainsi limiter la compétition sexuelle et la sélection post-accouplement. Or c'est un processus favorable à long terme, d'après le document 2.

*Plusieurs désavantages sélectifs ont été très correctement identifiés chez les mâles. Les raisonnements sur les femelles ont été plus rares. Le rapport S/O a été calculé mais non discuté en terme de compétition sexuelle. Le lien avec les documents du thème 1 n'est que très rarement fait.*

9) Ce document, qui rapporte des résultats d'évolution expérimentale sur 18 générations de drosophiles dans 4 populations expérimentalement isolées, montre tout simplement que le

protocole de sélection fonctionne. En effet, une évolution significative des caractères phénotypiques dans le sens choisi par les expérimentateurs est constatée. Par exemple, dans la population sélectionnée sur le critère des petits spermatozoïdes, une diminution de la taille de ceux-ci est observée au fil des générations (de 1,9 mm à 1,65 mm en 18 générations). A chaque génération, la valeur sélective (fitness) des individus est modifiée par l'expérimentateur puisque les géniteurs sont choisis sur tel ou tel critère. Cela a orienté, à chaque génération, un tri orienté des phénotypes et donc des allèles impliqués. On reconnaît ici un cas de sélection directionnelle.

*Le document a été paraphrasé sans réflexion sur les mécanismes évolutifs impliqués. La réponse attendue relative au mode de sélection était « sélection directionnelle » (terme au programme). Étaient également acceptés les termes de : sélection artificielle, divergente, voire diversifiante ou disruptive. En revanche, "sélection naturelle" ou "dérive" n'étaient pas des réponses validées.*

10) La pente obtenue chez les femelles est systématiquement plus faible que chez les mâles car :

- Plus un mâle pratique d'accouplements successifs, plus les occasions de distribuer ses abondants spermatozoïdes sont nombreuses, et plus les événements de fécondation sont élevés : la descendance est plus nombreuse en cas d'accouplements successifs.
- Pour une femelle, la production de gamètes est moindre et le nombre d'ovocytes est de toute façon limité. Il s'agit surtout de sélectionner le géniteur, donc le nombre d'accouplements importe moins en termes de nombre de descendants. Pour une femelle, les accouplements multiples favorisent la sélection post-accouplement, mais ne multiplient pas beaucoup les événements de fécondation, car le nombre d'ovocytes est limitant.

Pour les espèces produisant de grands spermatozoïdes, la différence de pente entre les deux sexes est moins marquée : elle est deux fois plus faible (différence significative). Cela signifie que chez ces mâles, le nombre d'accouplements successifs n'augmente pas tant que ça leur succès reproducteur. En lien avec le document 8, c'est parce que le nombre de spermatozoïdes est ici limité, un peu comme chez les femelles. Cela confirme que les grands spermatozoïdes procurent un désavantage sélectif dans le sens où ils réduisent et limitent la sélection post-accouplement exercée par les femelles. De grands spermatozoïdes, déposés en faible nombre, sont moins performants pour une sélection post-accouplement. La compétition pour l'accès au gamète femelle est moindre. Il s'agit d'un désavantage sélectif car la sélection post-accouplement est réduite, or il s'agit d'un mécanisme bénéfique à long terme d'après le document 2.

*La première partie de la question est généralement correctement comprise et bien traitée. La deuxième partie de la question n'a pas été comprise, dans la plupart des copies. Le lien avec les documents précédents est rarement fait.*

11) Chez les femelles, le cycle de reproduction est allongé et il y a moins de compétition entre spermatozoïdes dans les voies femelles, donc moins de possibilités de sélection post-accouplement. Chez les mâles, la production de gros spermatozoïdes est plus coûteuse et plus lente. De plus, il y a moins de spermatozoïdes déposés : ils ont donc moins de chances de « gagner la course » à la fécondation.

On peut parler de paradoxe car la formation de spermatozoïdes géants procure beaucoup de désavantages sélectifs et diminue la fitness : cela aurait dû être contre-sélectionné, éliminé au cours de l'évolution. Or la sélection post-accouplement est bénéfique à long terme (document 2) et le caractère « spermatozoïdes géants » est apparu plusieurs fois dans l'évolution (doc 5) : c'est le *big sperm paradox*.

*Plusieurs désavantages sont correctement identifiés chez les mâles. La réflexion chez les femelles est moins satisfaisante. La notion de paradoxe est maladroitement justifiée.*

### **Thème 3 : La résolution du *Big Sperm Paradox***

12) - Tous les résultats sont supérieurs à 50 %. Cela signifie que quel que soit le contexte, la probabilité de fécondation est ici toujours plus élevée pour le dernier partenaire sexuel.

- Si le deuxième partenaire produit de plus grands spermatozoïdes que la taille standard, il gagne mieux encore la compétition. La différence est maximale dans un réceptacle séminal de grande taille (90 % de réussite).

- Si le deuxième partenaire produit de plus petit spermatozoïdes que la taille standard, il gagne mieux la compétition dans un réceptacle séminal court (70 % de réussite).

L'ensemble de ces résultats suggère que les individus produisant de grands spermatozoïdes ont une meilleure aptitude à gagner la compétition. La tendance est que les grands spermatozoïdes éliminent mieux les autres spermatozoïdes dans les voies femelles, ou ont un accès facilité au gamète femelle, en particulier dans le cas où le réceptacle séminal est lui aussi de grande taille. Un tri orienté est exercé par les femelles, qui sélectionnent les spermatozoïdes sur le critère de la taille, en lien avec la longueur de leur réceptacle séminal.

*Ce document a été très mal analysé, et globalement non compris.*

13) Il n'y a pas de différence significative dans la longueur moyenne des spermatozoïdes produits dans la population standard et dans la population expérimentale sélectionnée sur la petite taille du réceptacle séminal des femelles. En revanche, il y a une augmentation significative par rapport à la population standard pour la population sélectionnée sur la grande taille du réceptacle séminal des femelles (1,96 mm contre 1,84 mm).

Cela signifie qu'à chaque génération, les femelles reproductrices sont sélectionnées sur le critère de la grande taille de leur réceptacle séminal et la taille du réceptacle séminal des descendantes augmente (cf. document 8). Chez les descendants mâles de cette même population, la taille moyenne des spermatozoïdes a également augmenté, ce qui signifie qu'à chaque génération, les femelles à long réceptacle séminal ont sélectionné les grands spermatozoïdes. Il y a donc eu compétition sexuelle par sélection post-accouplement exerçant une sélection directionnelle sur la taille des spermatozoïdes (en accord avec le document 11). Il y a donc coévolution des deux traits. Cela est en accord avec le document précédent qui évoquait déjà l'idée d'un tri par adéquation des tailles des spermatozoïdes et du réceptacle séminal.

*La coévolution entre la taille du réceptacle séminal des femelles et la taille des spermatozoïdes des mâles n'a pas été vue. Quelques candidats parviennent toutefois à évoquer que les grands réceptacles séminaux ont favorisé la sélection des spermatozoïdes de grande taille.*

14) Il y a une bonne corrélation négative entre la longueur du thorax des mâles et les conditions d'élevage. Cette expérience témoin vérifie qu'un environnement stressant a naturellement un effet négatif sur la croissance et donc la « bonne santé » des mâles.

En revanche, et de manière surprenante, il n'y a aucune corrélation entre l'environnement stressant et la taille des spermatozoïdes. Cela signifie qu'après plusieurs générations, les mâles en « mauvaise santé » parviennent quand même à produire des spermatozoïdes de « bonne taille ». Leur production représentant un fort coût énergétique (document 8), cette stratégie aurait pu apparaître comme risquée en contexte de carence. Puisque des mâles stressés ou « en mauvaise santé » parviennent à produire des spermatozoïdes de bonne taille, il ne s'agit pas d'un bon indicateur pour les femelles : l'hypothèse H est clairement réfutée pour les femelles. Pour les mâles, l'hypothèse H ne resterait plausible que dans une logique de tricheurs : de grands spermatozoïdes seraient les marqueurs biaisés d'une « bonne santé », alors même que la « qualité » du mâle est mauvaise.

*Quand cette question a été traitée, elle a globalement été bien réussie. L'invalidation argumentée de l'hypothèse H chez les femelles uniquement pouvait suffire pour obtenir tous les points.*

15) Plus les spermatozoïdes sont grands, meilleure est la qualité de la corrélation statistique entre la valeur sélective du mâle et la longueur de son thorax (Zr). C'est-à-dire que l'hypothèse H est finalement vraie, mais uniquement chez les espèces qui produisent de grands spermatozoïdes. Pour les femelles, sélectionner de grands spermatozoïdes est la garantie de choisir un géniteur à bonne valeur sélective, avec une bonne corrélation statistique entre grands spermatozoïdes et bonne valeur sélective du père (document 15) et donc de propager ses propres allèles via une descendance performante.

Pour les mâles, les grands spermatozoïdes éliminent mieux les autres spermatozoïdes dans les voies femelles (document 12) : la compétition sexuelle est remportée par les grands spermatozoïdes qui fécondent mieux le gamète femelle. On a finalement résolu le *big sperm paradox* : il y a des avantages sélectifs liés à la production de spermatozoïdes géants, en lien avec la compétition sexuelle entre mâles et la sélection post-accouplement par les femelles.

*Les réponses rares et succinctes à cette question ont été valorisées tant que l'idée générale était présente. L'argumentation était lapidaire, probablement par manque de temps. Quelques rares candidats ont toutefois su exprimer un excellent niveau de compréhension de l'ensemble et résolu le big sperm paradox.*