

SVT, EPREUVE SUR SUPPORT DE DOCUMENTS
BIOLOGIE

Durée : 2 heures

L'usage d'abaques, de tables, de calculatrice et de tout instrument électronique susceptible de permettre au candidat d'accéder à des données et de les traiter par les moyens autres que ceux fournis dans le sujet est interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre. Chaque candidat est responsable de la vérification de son sujet d'épreuve : pagination et impression de chaque page. Ce contrôle doit être fait en début d'épreuve. En cas de doute, il doit alerter au plus tôt le chef de centre qui vérifiera et éventuellement remplacera son sujet.

LE 'BIG SPERM PARADOX' : spermatozoïdes géants et compétition sexuelle chez les drosophiles

• Vous répondrez aux questions posées en construisant méthodiquement votre argumentation sur l'analyse des documents proposés et sur vos connaissances et en adéquation avec les **consignes explicites** propres à chaque question. Les réponses seront **précises, concises, et structurées**.

• L'**annexe** sera complétée et obligatoirement rendue avec la copie.

• **Le sujet comporte 3 thèmes qui ne sont pas indépendants**. Il est conseillé de traiter les questions dans l'ordre du sujet. Les numéros des questions et des documents étudiés seront clairement indiqués.

• Aucune introduction, ni conclusion ni schéma bilan ne sont demandés.

• L'abréviation "spz" pour "spermatozoïde(s)" est autorisée.

Les barres verticales sur les graphes et histogrammes représentent l'écart type ou l'erreur standard à la moyenne. On admettra que les résultats sont différents si les barres d'erreurs ne se chevauchent pas. 'UA' signifie 'unité arbitraire'.

Références bibliographiques

Lüpold S <i>et al.</i> (2016) Nature 533 (535)	Vielle A <i>et al.</i> (2016) Evolution 70 (2485)
Manier MK <i>et al.</i> (2013) Current biology 23 (1853)	Bjork A <i>et al.</i> (2006) Nature 441 (742)
Joly D <i>et al.</i> (2003) Insectes 128	Miller GT <i>et al.</i> (2002) Science 298 (1230)
Pitnick S <i>et al.</i> (2001) Proc. R. Soc. Lond. B 268 (1071)	Civetta A (1999) Current biology 9 (841)
Pitnick S (1996) The American Naturalist 148 (57)	Joly D <i>et al.</i> (1995) Insectes 97

Introduction

Ces informations importantes sont à prendre en compte pour répondre aux questions des 3 thèmes.

Chez les drosophiles, les femelles peuvent s'accoupler **successivement** avec **plusieurs mâles**, lors d'un même cycle de reproduction. Lors d'un accouplement, les spermatozoïdes émis par les mâles sont déposés dans l'**organe de dépôt** des femelles.

Après un ou plusieurs accouplements successifs, **les spermatozoïdes peuvent être** :

- **transférés** depuis l'**organe de dépôt** vers l'**organe de stockage**
- **stockés** dans l'organe de stockage, le réceptacle séminal, pour une durée variable allant jusqu'à une dizaine de jours, et pendant laquelle de nouveaux accouplements sont possibles
- **déplacés** depuis l'organe de stockage vers l'organe de dépôt
- **expulsés** depuis l'organe de dépôt

Ce comportement reproducteur particulier exerce une pression de sélection sur les individus mâles, appelée **sélection post-accouplement**, en lien avec une forte **compétition sexuelle entre mâles**.

Les documents montrent des résultats obtenus chez **différentes espèces** du genre *Drosophila*. On admettra qu'un résultat mis en évidence chez une espèce de drosophiles est **généralisable aux autres espèces** du genre.

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

Partie 1-1 : La sélection post-accouplement chez les drosophiles

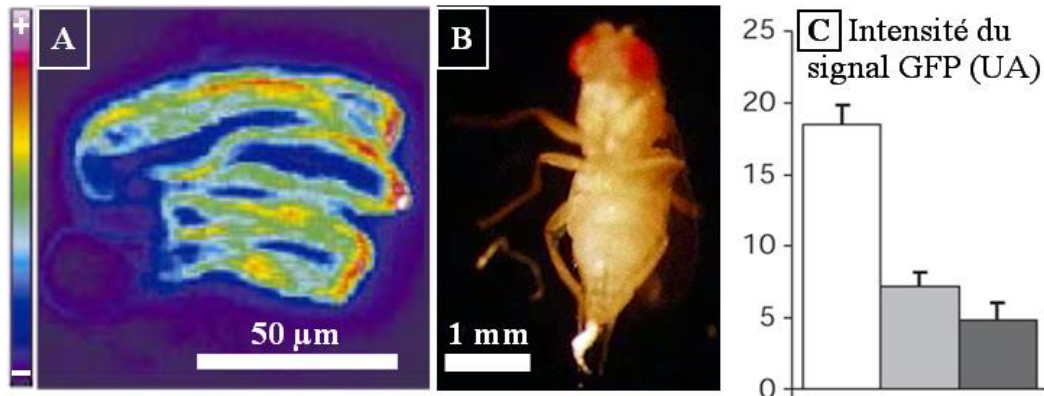
Document 1 :

Des accouplements sont réalisés entre des drosophiles *D. melanogaster* femelles sauvages et des mâles transgéniques aux spermatozoïdes fluorescents (GFP, *green fluorescent protein*).

A : Intensité du signal GFP dans l'organe de stockage d'une femelle, après accouplement avec un mâle transgénique.

B : Drosophile femelle expulsant une masse de sperme après deux accouplements successifs, d'abord avec un mâle transgénique puis avec un mâle non transgénique (observation de la fluorescence, sous faible exposition aux UV).

C : Intensité moyenne du signal GFP dans l'organe de stockage de femelles après un accouplement avec un mâle transgénique (barre blanche), ou après accouplement avec un mâle transgénique puis avec un mâle non transgénique (deux lignées différentes de mâles ont été utilisées pour le deuxième accouplement : barres gris clair et gris foncé respectivement).

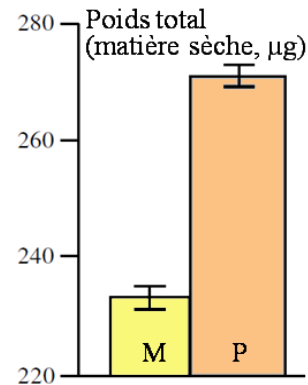


Question 1 : Commentez les résultats présentés dans le document 1 et justifiez l'emploi du terme de **sélection post-accouplement**, en lien avec la **compétition sexuelle** entre les individus mâles.

Document 2 :

Deux lignées sont générées à partir d'une même population initiale de *D. melanogaster* sauvages. Dans la lignée 'monogame' (M), les femelles se reproduisent avec un mâle choisi au hasard dans la lignée M. Dans la lignée 'polygame' (P), les femelles peuvent se reproduire avec 3 mâles choisis au hasard dans la lignée P. Après 81 générations, les individus adultes sont pesés.

Question 2 : **Interprétez** les résultats du document 2. Une réponse succincte est attendue.



Document 3 :

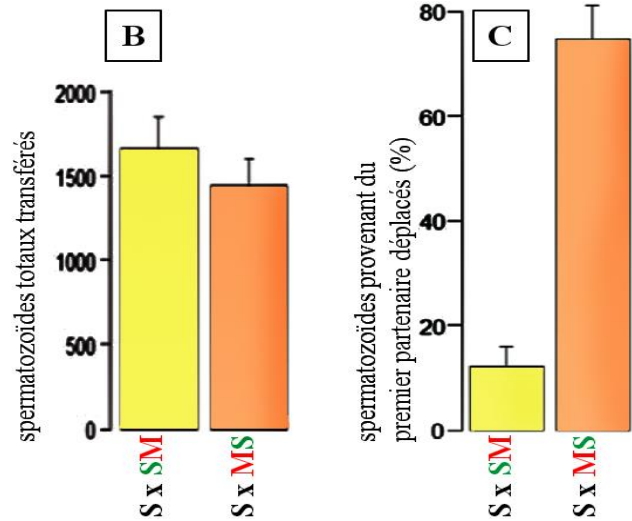
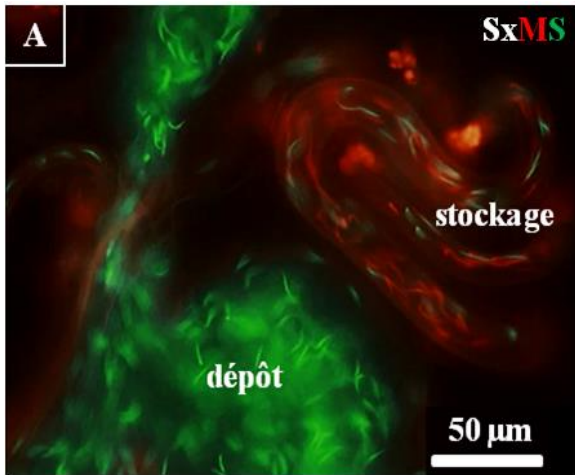
D. simulans (espèce notée S) et *D. mauritiana* (espèce notée M) sont **deux espèces différentes** de drosophiles ayant divergé il y a 260 000 ans, mais chez qui des **accouplements interspécifiques** sont encore observés. Les chercheurs disposent de lignées transgéniques GFP (*green fluorescent protein*) ou RFP (*red fluorescent protein*), chez qui les spermatozoïdes sont fluorescents, dans le vert ou dans le rouge, respectivement. Des protocoles de double - accouplement sont réalisés :

- Protocole **S x SM** : des femelles sauvages **S** s'accouplent avec des mâles **S GFP**, puis avec des mâles **M RFP**

- Protocole **S x MS** : des femelles sauvages **S** s'accouplent avec des mâles **M RFP**, puis avec des mâles **S GFP**.

A : Observation de l'organe de dépôt et de l'organe de stockage au microscope à fluorescence, 1 heure après le deuxième accouplement, dans le cadre du protocole **S x MS** (ce document n'est pas à interpréter).

B-C : Pendant 72 heures à partir du deuxième accouplement, on dénombre les spermatozoïdes totaux (issus des deux partenaires) **transférés** depuis l'organe de dépôt vers l'organe de stockage (**B**), ainsi que le pourcentage de spermatozoïdes provenant du **premier** partenaire **déplacés** depuis l'organe de stockage vers l'organe de dépôt (**C**).



Question 3 : Après avoir défini les notions d'espèce et de spéciation, interprétez les résultats du document 3.

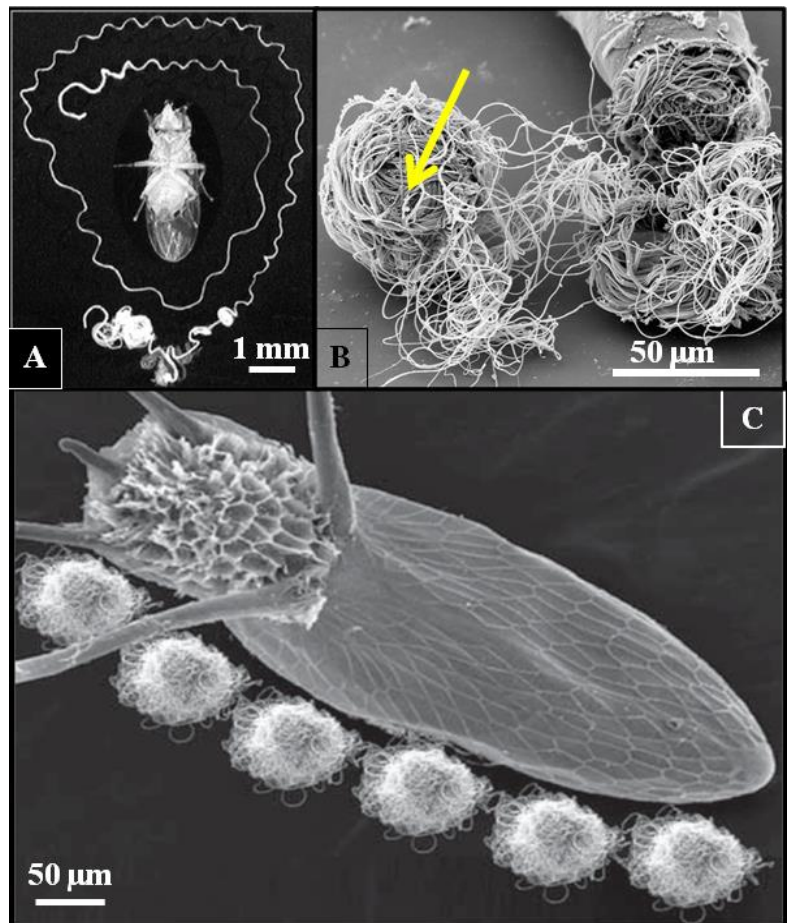
Partie 1-2 : Les spermatozoïdes géants chez les drosophiles

Document 4 :

A : Un individu mâle de l'espèce *D. bifurca* et son appareil reproducteur disséqué, vue ventrale.

B : Vésicule séminale ouverte (la flèche jaune indique un spermatozoïde géant - *D. bifurca*, MEB)

C : Montage montrant un gamète femelle et un spermatozoïde extrait d'une vésicule séminale, copié et collé 6 fois à l'identique par les auteurs (*D. bifurca*, MEB).

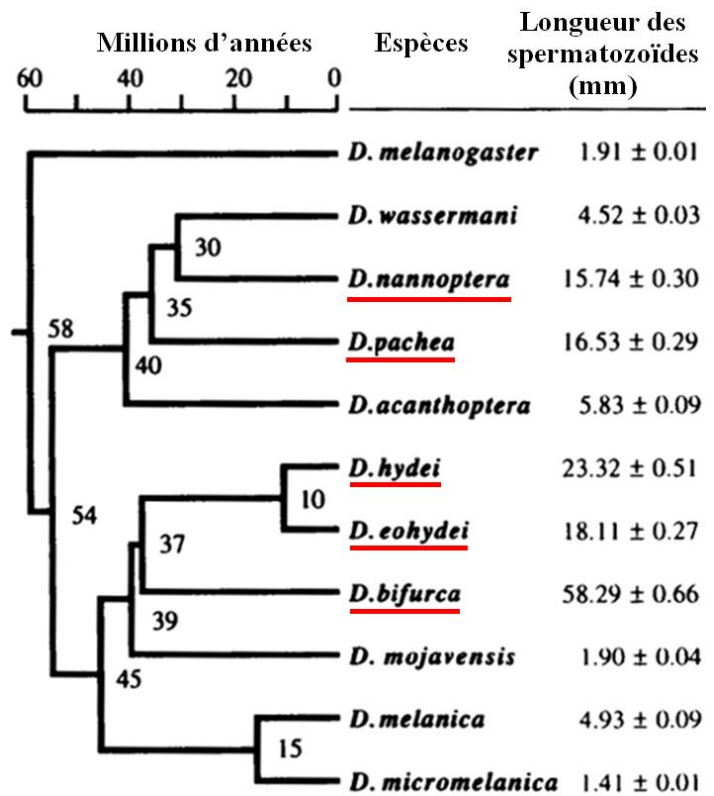


Question 4 : Sous forme d'annotations et de légendes claires directement sur les clichés du document 4 reproduit dans l'annexe, commentez la taille relative des gamètes mâle et femelle chez *D. bifurca*, en référence aux modèles animaux que vous connaissez.

Aucun texte explicatif n'est attendu, en dehors des annotations et des légendes sur le document 4 de l'annexe, qui est à compléter et à rendre avec la copie.

Document 5 :

Arbre phylogénétique de 11 espèces de drosophiles. La longueur moyenne des spermatozoïdes est indiquée pour les différentes espèces. Les noms des 5 espèces produisant des spermatozoïdes géants sont soulignés en rouge.



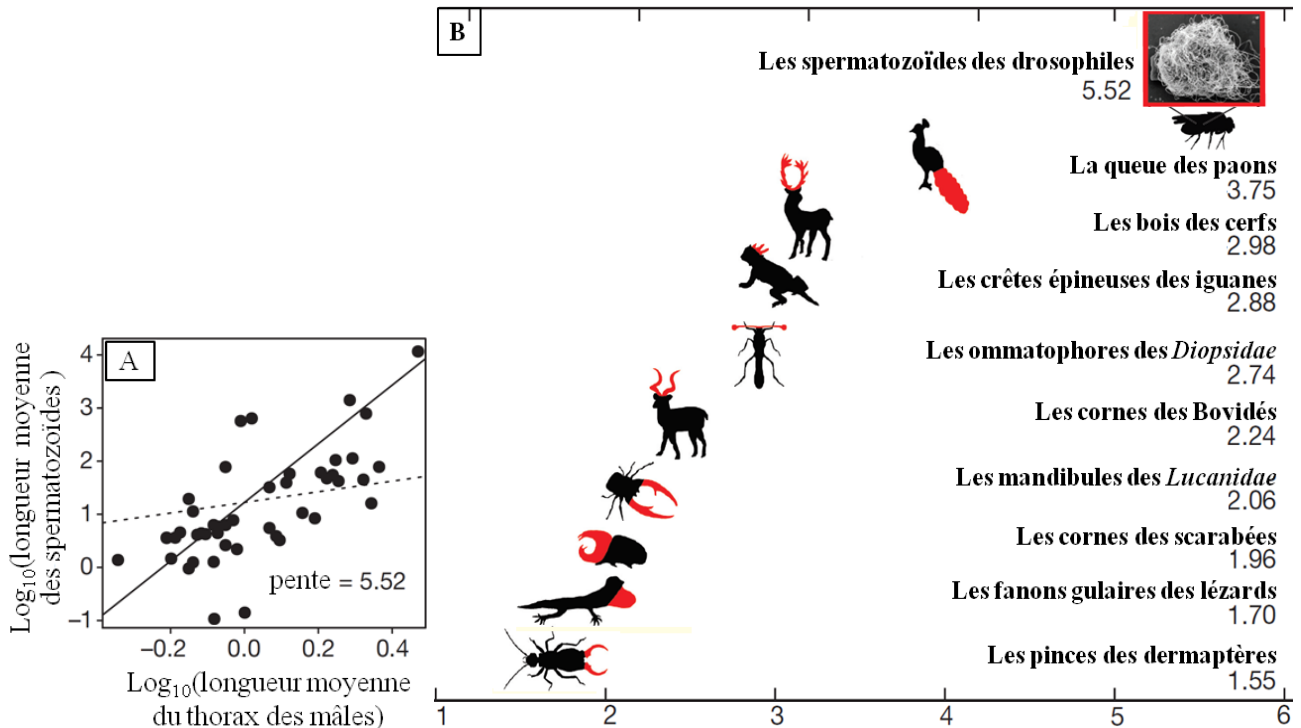
Question 5 : Exploitez cet arbre phylogénétique pour discuter de l'état 'géant' du caractère 'taille du spermatozoïde'. Cet état relève-t-il d'une homologie ou d'une homoplasie (justifiez) ?

Le document 5 est reproduit dans l'annexe : une annotation pertinente et justifiée de l'arbre y est attendue.

Document 6 :

A : Longueur moyenne des spermatozoïdes en fonction de celle du thorax, chez 46 espèces de drosophiles (1 point = 1 espèce). La pente, d'une valeur de 5,52, est appelée le **taux d'allométrie** de la longueur des spermatozoïdes chez ces 46 espèces de drosophiles. En pointillé : résultats attendus si la pente était égale à 1 (isométrie).

B : Comparaison de ce taux d'allométrie (5,52) avec des taux d'allométrie particulièrement spectaculaires dans la nature, quasiment tous relatifs à des attributs spécifiques des individus mâles.



Question 6 : Après avoir expliqué l'intérêt du calcul du taux d'allométrie (document 6A), interprétez succinctement le document 6B.

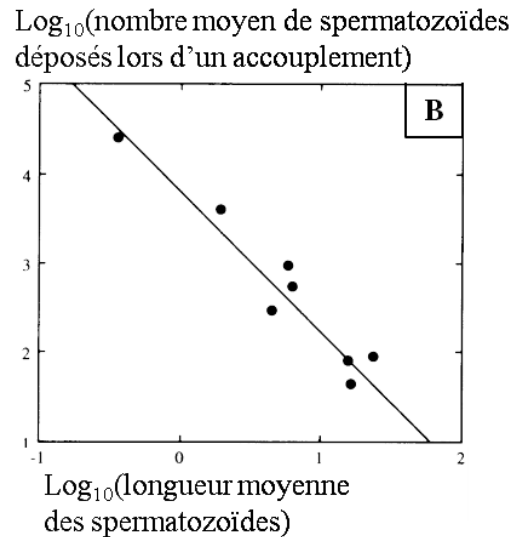
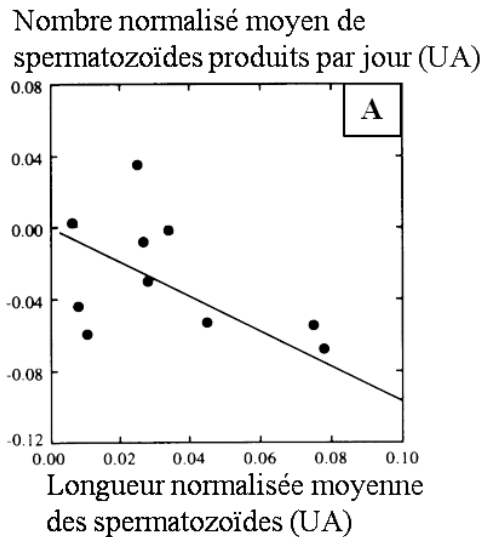
Thème 2 : Le 'big sperm paradox'

L'objectif de ce thème est de montrer que la production de spermatozoïdes géants procure plusieurs **désavantages sélectifs** : c'est le 'big sperm paradox'. La question 11 fait office de bilan de ce thème 2.

Document 7 :

A : Nombre moyen de spermatozoïdes produits par jour (normalisé par rapport à la masse moyenne des testicules, UA), en fonction de la longueur moyenne des spermatozoïdes (normalisée de la même manière, UA), chez 10 espèces de drosophiles (1 point = 1 espèce ; $r^2 = 0,55$).

B : Logarithme décimal du nombre moyen de spermatozoïdes déposés dans l'appareil génital femelle lors d'un accouplement en fonction du logarithme décimal de la longueur moyenne des spermatozoïdes, chez 8 espèces de drosophiles (1 point = 1 espèce ; $r^2 = 0,90$).



Question 7 : Interprétez le document 7.

Document 8 :

Différents traits quantitatifs liés à la reproduction chez deux espèces de drosophiles, dont *D. bifurca* qui présente des spermatozoïdes géants, sont présentés. Tous les résultats sont des moyennes correspondant à des mesures réalisées sur un nombre très élevé d'individus.

	<i>D. melanogaster</i>	<i>D. bifurca</i>
Longueur des spermatozoïdes (mm)	1,9 mm	58,3 mm
Durée moyenne entre accouplement(s), ponte et disponibilité pour de nouveaux accouplements	quelques heures	5 jours
Poids des testicules par rapport au poids total du mâle, indicateur de l'investissement énergétique alloué au fonctionnement des testicules	5 %	10 %
Nombre moyen de spermatozoïdes dans les vésicules séminales d'un mâle :		
Juste après un accouplement	810	80
6 heures après un accouplement	1250	130
S = nombre de spermatozoïdes produits par jour	1800	220
O = nombre d'ovocytes produits par jour	60	40
Rapport S/O	à calculer	à calculer

Question 8 : Dégagez des **désavantages sélectifs** liés à la production de spermatozoïdes géants chez *D. bifurca* :

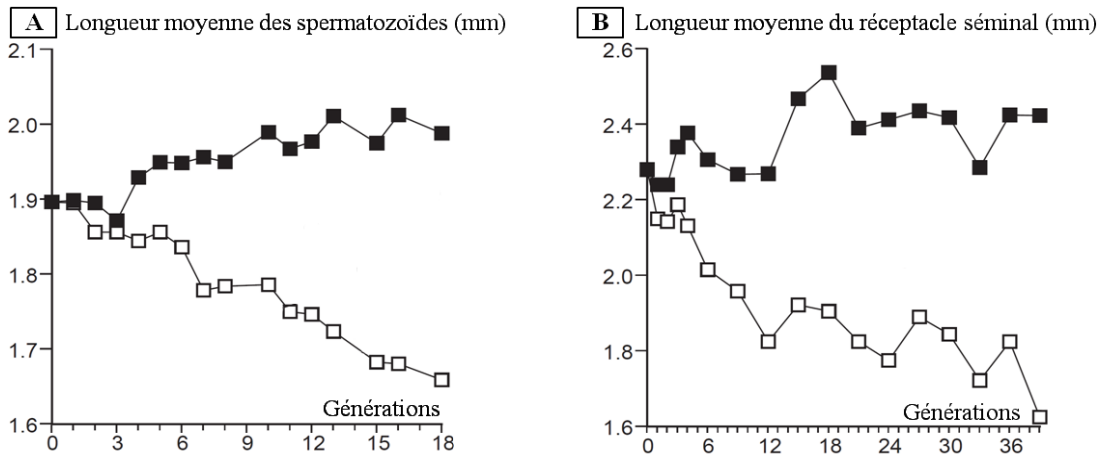
- en calculant le rapport S/O pour les deux espèces
- en interprétant les données du tableau
- en formulant des hypothèses dans le cadre des accouplements multiples et de la compétition sexuelle entre mâles, chez les deux espèces.

Document 9 :

4 populations expérimentales de drosophiles (*D. melanogaster*) sont générées et entretenues par un **protocole de sélection** complexe. Tout se passe comme si à chaque génération, les géniteurs (reproducteurs) étaient sélectionnés sur le critère de la taille des spermatozoïdes ou de la taille du réceptacle séminal, qui est l'organe de stockage des spermatozoïdes dans l'appareil reproducteur femelle.

A : Evolution de la longueur moyenne des spermatozoïdes produits par les mâles, chez la population sélectionnée sur le critère 'grande taille des spermatozoïdes' (carrés noirs) ou 'petite taille de spermatozoïdes' (carrés blancs).

B : Evolution de la longueur moyenne du réceptacle séminal des femelles chez la population sélectionnée sur le critère 'grande taille du réceptacle séminal' (carrés noirs) ou 'petite taille du réceptacle séminal' (carrés blancs).

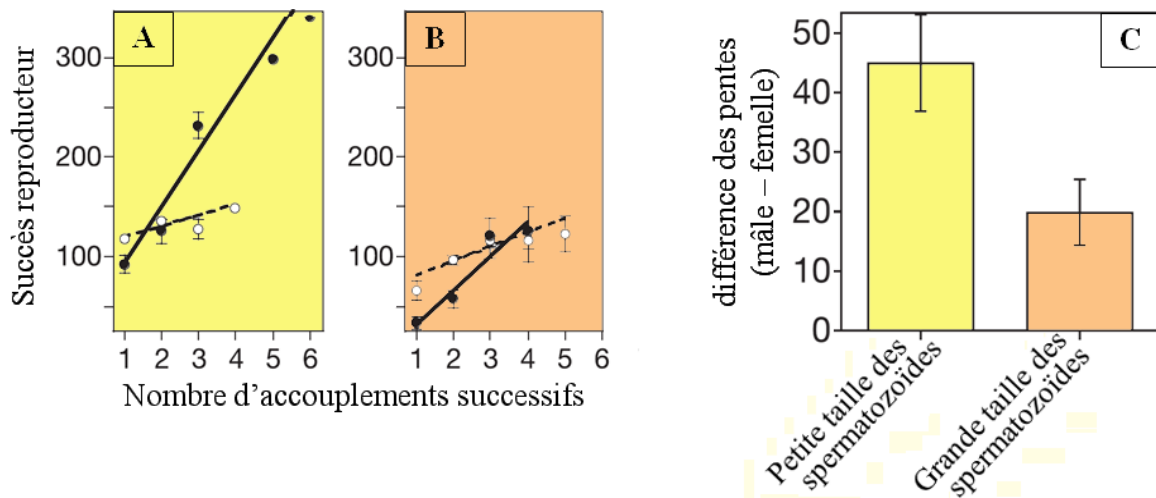


Question 9 : **Interprétez** le document 9. Comment qualifier le mode de **sélection** ici mis en évidence ?

Document 10 :

- Le **succès reproducteur** (fitness) est évalué en fonction du nombre total d'accouplements successifs, chez les mâles (ronds noirs) et chez les femelles (ronds blancs). Les mesures sont faites sur des individus issus des populations expérimentales de *D. melanogaster* sélectionnées sur le critère de la petite taille (A) ou la grande taille (B) des spermatozoïdes des mâles.

- Dans les deux populations expérimentales, la **différence des pentes** (la pente obtenue chez les mâles "moins" la pente obtenue chez les femelles) est calculée (C). Les chercheurs ont validé ces résultats en observant que chez les populations **naturelles** de différentes espèces de drosophiles, la **différence des pentes** est effectivement inversement proportionnelle à la longueur des spermatozoïdes produits par les mâles (résultat non montré).



Question 10 :

- Pourquoi la pente obtenue chez les femelles est-elle systématiquement bien plus faible que chez les mâles (justifiez) ?
 - **Interprétez** les différences de pentes dans les deux populations expérimentales testées dans le document 10, en lien avec une **compétition sexuelle potentielle** entre les mâles plus ou moins poussée. Quel désavantage sélectif semble être procuré, chez les mâles, par la production de spermatozoïdes géants ?

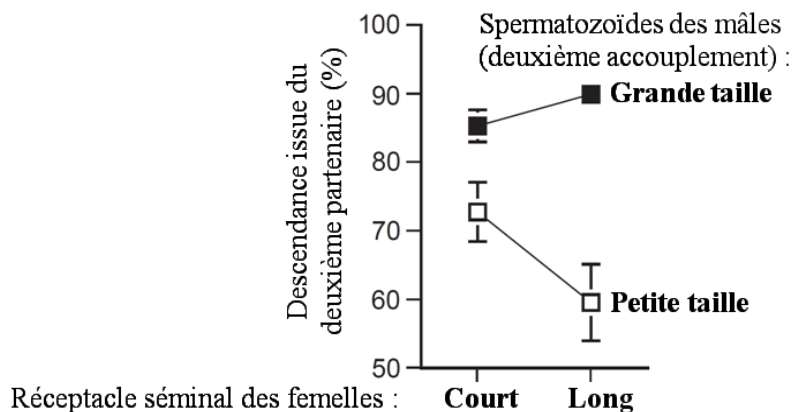
Question 11 (bilan du thème 2) : **Récapitulez** les différents désavantages sélectifs liés à la production de spermatozoïdes géants vus dans ce thème. Pourquoi peut-on bien parler de 'big sperm paradox' ? *NB : Il n'y a pas de document 11*

Thème 3 : La résolution du 'big sperm paradox'

L'objectif de ce thème est de montrer que la production de spermatozoïdes géants procure des avantages sélectifs, aussi bien chez les mâles que chez les femelles, et ainsi de résoudre le 'big sperm paradox'. La question 15 fait office de bilan de ce thème 3.

Document 12 : Une expérience de **compétition sexuelle** est réalisée sur des individus issus des populations expérimentales présentées dans le document 9 :

- Des femelles issues de la population expérimentale sélectionnée sur le critère de la petite taille (court) ou de la grande taille (long) du réceptacle séminal sont accouplées avec un mâle standard (population sauvage standard, taille moyenne des spermatozoïdes), portant une mutation à effet dominant sur la couleur des yeux.
- Un deuxième accouplement est ensuite réalisé, avec un mâle issu de la population expérimentale sélectionnée sur le critère de la grande taille (carrés noirs) ou de la petite taille (carrés blancs) des spermatozoïdes.
- Le pourcentage de descendants issu du deuxième partenaire est calculé, d'après la couleur de leurs yeux. Les résultats correspondent aux moyennes obtenues chez 1044 femelles et 43 031 descendants (!).



Question 12 :

- **Interprétez** le document 12.
- Identifiez un avantage sélectif probable lié à la production de spermatozoïdes géants.

Document 13 :

La longueur moyenne des spermatozoïdes produits par les **mâles** *D. melanogaster* est mesurée chez :

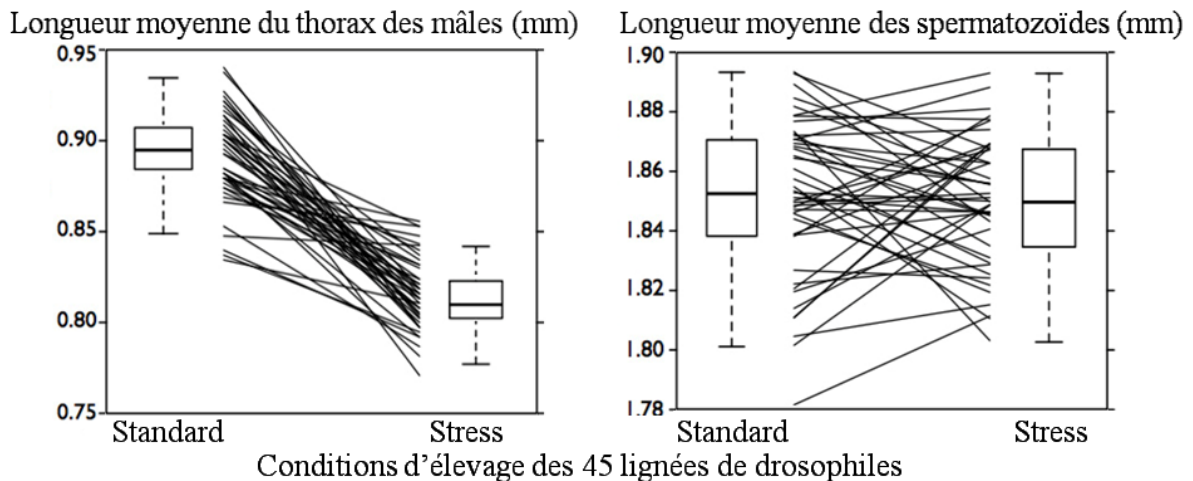
15 mâles issus d'une population standard sauvage	1,83 ± 0,01 mm
15 mâles issus de la population expérimentale sélectionnée sur le critère de la grande taille du réceptacle séminal des femelles	1,96 ± 0,02 mm
15 mâles issus de la population expérimentale sélectionnée sur le critère de la petite taille du réceptacle séminal des femelles	1,84 ± 0,01 mm

Question 13 : **Interprétez** le document 13.

Hypothèse H : La grande taille des spermatozoïdes est un avantage sélectif pour les individus mâles et femelles dans le sens où la grande taille des spermatozoïdes est un marqueur fiable de la 'bonne santé' du mâle reproducteur, pouvant guider le 'choix' des spermatozoïdes, triés et sélectionnés dans l'appareil génital des femelles après plusieurs accouplements successifs.

Document 14 :

Des individus mâles et femelles appartenant à 45 lignées différentes de *D. melanogaster* sont élevés dans un environnement standard ou stressant (très limité en ressources diverses). Après plusieurs générations, la longueur moyenne du thorax et la longueur moyenne des spermatozoïdes sont évaluées chez les mâles, pour les 45 lignées, dans les deux conditions. Chaque trait noir relie les moyennes obtenues pour chacune des 45 lignées élevées dans les deux conditions. Les boîtes à moustache représentent la médiane (trait horizontal épais) et les quartiles (traits horizontaux fins) pour chaque variable. La barre verticale représente l'erreur standard.



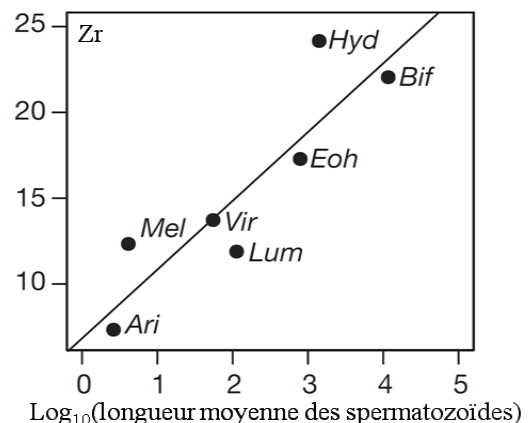
Question 14 : En interprétant le document 14, expliquez pourquoi l'hypothèse H n'est pas du tout plausible, chez le modèle *D. melanogaster* (justifiez, discutez, chez les mâles et chez les femelles).

Document 15 :

Zr quantifie, pour une espèce donnée, la **qualité de la corrélation** statistique entre la valeur sélective des mâles et la longueur de leur thorax. Cette corrélation est toujours positive, mais plus ou moins bonne selon les espèces. Un Zr élevé indique une bonne corrélation statistique entre la valeur sélective et la longueur du thorax. Un Zr faible indique que la corrélation statistique entre la valeur sélective et la longueur du thorax est mauvaise.

Les valeurs de Zr obtenues chez 7 espèces de drosophiles sont reportées en fonction de la longueur moyenne des spermatozoïdes (*D. arizonae*, *D. melanogaster*, *D. virilis*, *D. lummei*, *D. eohydei*, *D. hydei* et *D. bifurca*).

Ce graphe synthétise un volume considérable de données expérimentales et de méta-analyses statistiques.



Question 15 (bilan du thème 3) :

- **Interprétez** le document 15.
- **Résolvez** le 'big sperm paradox' : quels sont les avantages sélectifs, pour les mâles et pour les femelles, liés à la production de spermatozoïdes géants (justifiez) ?