

Banque BCPST Inter-ENS/ENPC/Mines - Session 2024

Rapport relatif à l'épreuve écrite de biologie

- **Écoles partageant cette épreuve :**

ENS Paris-Saclay, ENS (Paris), ENS de Lyon, ENPC, Mines de Paris

- **Coefficients** (en pourcentage du total d'admission de chaque concours) :

– ENS PARIS-SACLAY : 12,3%

– ENS DE LYON :

* Option Bio : 3.2%

* Option ST: 6.6%

– ENS (Paris) :

* Option Bio : 4.8%

* Option ST: 2.7%

– ENPC/MINES : 3,8 %

- **Membres du jury :**

Guillaume Barthole, Laure Bernard, Léonard Dupont, Benoît Maffei, Anne-Charlotte Marsollier, Mathias Penot-Raquin, Déborah Prévôt, Stéphane Rety, Elena Rondeau et Alice Williard.

Présentation générale

L'épreuve écrite de biologie de la session 2024 avait pour thème "*Les variations du comportement à différentes échelles de temps*". Elle était classiquement divisée en deux sous-épreuves : un exercice de synthèse de connaissance (durée conseillée 2h, comptant pour 1/3 de la note) sur le thème des "forces évolutives" et une étude de documents (ED ; durée conseillée 4h, comptant pour 2/3 de la note). La moyenne finale de l'épreuve était de 8,08 avec un écart type de 3,45. Les notes étaient comprises entre 0,5/20 et 17,2/20.

L'étude de documents explorait une variation spécifique du comportement chez certains Métazoaires : l'apprentissage conditionnel pavlovien, étudié ici chez l'abeille domestique (*Apis mellifera*). Cette étude de documents était subdivisée en quatre parties : deux premières dépendantes et deux dernières parties indépendantes entre elles. Elle était conçue pour aborder un large éventail de disciplines de la biologie (neurosciences, biologie moléculaire, biologie cellulaire, écologie, modélisation...) ainsi que diverses stratégies expérimentales et techniques.

Le jury salue l'ampleur avec laquelle le sujet a été traité, puisqu'une grande proportion des copies a abordé l'ensemble des parties avec peu de *boycott* – y compris pour la partie IV de l'ED, pourtant plus originale – ce qui est une stratégie payante. Les synthèses montrant une prise de recul sur le sujet ont balayé une grande partie des notions attendues et ont été valorisées. Pour l'étude de documents, le barème de l'épreuve était conçu pour discriminer d'un côté des analyses superficielles, peinant à analyser des phénomènes à travers les échelles biologiques, et de l'autre des copies démontrant des raisonnements rigoureux. Le jury salue la qualité de certains rendus qui ont su à la fois faire preuve d'un esprit de synthèse et de rigueur méthodologique et scientifique.

Sur l'ensemble des copies, la quasi-totalité des points attendus dans le barème furent attribués au moins une fois, preuve que les candidats es possédaient les ressources nécessaires pour traiter le sujet dans l'intégralité de ses aspects.

Remarques générales sur les copies et sur la méthodologie

Une majorité des copies font preuve d'une maîtrise correcte des concepts biologiques et méthodologiques de base attendus en fin de BCPST, ce qui démontre leurs qualités générales de jeunes scientifiques. Néanmoins, le jury souhaite attirer l'attention sur plusieurs problèmes récurrents qui nuisent à la qualité des productions et diminuent les notes obtenues :

- *Lecture des énoncés* : certaines informations cruciales sont présentes dans les énoncés, les titres ou les légendes. Les omettre mène *a fortiori* à de mauvaises interprétations. Dans le cas extrême (environ 3% des copies), c'est le thème général de l'épreuve "*les variations du comportement à différentes échelles de temps*" qui fut traité à la place du sujet de synthèse.

- *Organisation des idées* : dans la synthèse, les plans proposés sont souvent trop restreints, mal adaptés (car trop généraux). Il est également souhaitable d'avoir une progression logique qui permet d'éviter les répétitions et de clarifier le raisonnement. De même dans l'analyse de documents, les réponses pourraient être plus structurées et mieux séparer les étapes d'observation, d'interprétation et de conclusion.

- *Précision dans les conclusions* : dans l'étude de documents, les conclusions doivent dépasser la simple description et tirer des leçons des analyses effectuées pour proposer des hypothèses ou faire le lien avec les énoncés introductifs. Le jury s'est souvent retrouvé face à des analyses relativement bonnes, mais suivies de conclusions partielles ou imprécises.

- *Mise en œuvre et rigueur de la démarche expérimentale* : celle-ci est valorisée dans la synthèse, dans les cas où des expériences sont présentées (par des phrases ou des schémas légendés) et expliquées dans le but d'illustrer et de démontrer une notion ou un concept important. Dans l'étude de documents, elle est essentielle pour une bonne analyse et une bonne compréhension des expériences et des phénomènes étudiés.

Le jury rappelle qu'une expérience ne se fait pas « au hasard ». Elle vise à tester une hypothèse et à répondre à une question posée par l'expérimentateur·ice, formulée à partir de faits, et non pas à simplement produire des observations. Il est donc nécessaire d'avoir une prise de recul systématique face à une expérience afin de la comprendre puis l'analyser. *Pourquoi réalise-t-on l'expérience ? Avec quelle méthode ? Pourquoi ce choix de méthode ? Que savions-nous avant de faire l'expérience ? Quels sont les témoins ? Peut-on comparer les résultats entre eux ? Qu'observe-t-on ? Est-ce que les résultats sont cohérents avec ce que l'on attend, ou ce que l'on sait ? Quelles nouvelles informations apportent-ils ?* Une fois cette démarche réalisée au brouillon ou mentalement, il est possible de construire des réponses claires et pertinentes sur un modèle observation-interprétation-conclusion. Une expérience s'articule toujours avec d'autres, et les sujets de ce concours sont construits de manière progressive : il est donc nécessaire de garder à l'esprit les résultats précédents pour pouvoir avancer dans la compréhension du sujet (au sein d'une même partie, ou entre deux parties dépendantes).

Enfin, les épreuves de biologie ont la particularité d'évaluer les qualités scientifiques des candidat·es à partir d'exercices de rédaction – lors d'une synthèse, et lors de réponses à des questions - ce qui les rend d'autant plus exigeantes. Ainsi, pour que la lecture de la copie n'empêche pas l'évaluation de son contenu, il est nécessaire de privilégier des phrases courtes (sujet, verbe, complément), avec une orthographe rigoureuse et un vocabulaire précis. Le saut de ligne est grandement encouragé, en particulier pour les personnes ayant une écriture dense. L'utilisation d'abréviations autres que celles classiquement utilisées (ADN, RubisCO, PCR, etc.) ainsi que les styles télégraphiques ou les listes de tirets sont à proscrire.

Partie 1 : synthèse

Les forces évolutives

Une réflexion est attendue sur les principes et les effets des forces évolutives à travers diverses échelles dans l'espace et le temps.

Le sujet de synthèse était relativement classique, dans la mesure où il faisait appel à des notions assez circonscrites et présentait peu d'ambiguïtés. Néanmoins, il nécessitait d'avoir (i) une définition correcte et complète des forces évolutives, (ii) une compréhension fine avec un recul sur ces notions, ainsi que (iii) des exemples maîtrisés et bien présentés pour illustrer les concepts.

En outre, le jury a particulièrement prêté attention aux tournures finalistes (extrait : "(...) le milieu aquatique porteur et visqueux a obligé les forces évolutives à agir pour que les échanges selon la loi de Fick soient optimisés."). Un malus a été attribué en fonction de la récurrence du déterminisme dans la copie considérée. Bien qu'il soit contre-intuitif pour des êtres doués de volonté de "*concevoir l'optimalité sans concepteur ni intention*" (G. Lecointre, [vidéo ici](#)) ou l'absence d'optimalité, il n'est pas acceptable que des candidat·es présentent les mécanismes de l'évolution en faisant référence à une volonté suprême et invisible. Fort heureusement, le jury a été agréablement surpris par la faible quantité de copies faisant preuve d'un finalisme écrasant.

1. Méthode et structure

Introduction

La quasi-totalité des copies présente une introduction, explicitement valorisée dans le barème. Le jury a cependant observé qu'un grand nombre d'introductions pouvant également faire office de conclusion, ce qui est contre-productif : pourquoi écrire une synthèse si toutes les réponses sont données dès les premières lignes ? Il est attendu que l'introduction contienne une accroche, une délimitation du sujet et des définitions des termes importants, une problématisation ainsi qu'une annonce du plan. La construction d'une bonne introduction est un travail payant car elle permet de mieux cerner les attendus, d'orienter le développement dans des directions pertinentes et d'éviter les hors-sujets.

Délimitation du sujet

Comme toujours, la délimitation du sujet était centrale afin de le traiter dans son entièreté. Un nombre étonnamment faible d'introductions (environ 30%) citent correctement les quatre forces évolutives (mutation, migration, dérive, sélection) ; en oubliant parfois une, voire deux ; en rajoutant parfois d'autres (ex : spéciation). De la même manière, relativement peu de copies prennent le temps de définir l'évolution à l'échelle d'une population comme les mécanismes à l'origine des variations de fréquences alléliques. Ces approximations et oublis dès l'introduction débouchaient régulièrement sur des points ignorés ou des développements bancals. Les définitions de population, d'allèles ou de caractères (attendues pour contextualiser le sujet) étaient assez rarement présentes.

La précision "*à différentes échelles d'espace et de temps*" s'est souvent manifestée au travers d'un plan par échelles (temps court/long, individu/population/espèce), qui pouvait être pertinent mais permettait difficilement de balayer l'ensemble du sujet. Ce sous-titre avait pour but d'appeler à la réflexion sur les objets et les conséquences des forces évolutives pour mieux en expliquer le fonctionnement : une force évolutive s'exerce sur un individu au cours de sa vie (une combinaison d'allèles transmis à la descendance) mais a des conséquences sur une population au fil des générations (une fréquence d'allèles qui varie au cours du temps).

La délimitation et la définition du sujet pouvaient s'effectuer de cette manière :

- Évolution : en biologie, on parle d'évolution pour désigner la modification de caractères héréditaires au sein d'une population, conduisant à de nouvelles distributions alléliques.
- Forces évolutives : ensemble des processus qui sous-tendent les variations de fréquences alléliques et leur dynamique. On en distingue quatre : les mutations, la migration, la sélection et la dérive génétique.
- Allèle : version d'une séquence nucléotidique d'ADN.
- Population : groupe d'individus d'une même espèce liés par des flux génétiques (échange d'allèles).
- Caractère : trait phénotypique observable chez un individu, à toute échelle (moléculaire, histologique, anatomique, morphologique).

Problématisation : Les forces évolutives s'exercent simultanément, à l'échelle de l'individu, sur un temps court (vie de l'organisme). Cependant les résultats de leurs actions s'observent à l'échelle de la population et sur un temps long (plusieurs générations). De plus, leurs intensités varient au cours du temps. De quelle manière les forces évolutives contribuent-elles à la variation de la distribution des caractères ? Quelles sont les conséquences de leur action à l'échelle du vivant ?

Le jury rappelle qu'une problématisation consiste en l'élaboration de questions ouvertes, qui ne se contentent pas de mettre l'énoncé du sujet sous forme interrogative. ("Quelles sont les forces évolutives et comment fonctionne-t-elle à différentes échelles dans l'espace et le temps ?"). Elle appelle à soulever plusieurs questions biologiques et à être développée au sein d'un plan logique et cohérent.

Développement et plan

La présence d'un plan répondant à la problématique et proposant des titres informatifs (*i.e.*, synthétiques mais avec des idées formulées explicitement) est valorisée. Il en est de même pour la présence de transitions entre les grandes parties, qui permettent de faire un lien logique entre elles (plus qu'un simple résumé de ce qui a été écrit). Le jury attendait des candidat·es trois grandes idées générales, qui pouvaient d'ailleurs aisément servir de squelette au développement :

- (1) Certaines forces évolutives introduisent une diversité allélique dans la population.
- (2) Certaines forces évolutives trient cette diversité initiale, de manière directionnelle ou non.
- (3) Les conséquences de ces forces sont multiples, visibles à différentes échelles (du génome aux écosystèmes) et à l'origine de l'arbre du vivant tel que nous le connaissons actuellement.

Conclusion

La quasi-totalité des copies présente une conclusion, de nouveau valorisée dans le barème. En revanche, les conclusions constituent trop souvent des redites de l'introduction, donnant ainsi la mauvaise impression que le développement n'a servi à rien et que les questionnements initiaux n'ont pas été traités. Pourtant, de nombreuses copies montrent un raisonnement et des connaissances scientifiques solides, mais qui peinent à être synthétisés et mis en valeur. Le jury félicite les copies qui ont réussi à faire ressortir leur bonne compréhension du sujet à l'issue de leur synthèse.

L'ouverture permet d'orienter la réflexion sur d'autres processus biologiques en lien avec ce qui a été abordé durant le développement. Dans l'idéal, elle ne doit pas se réduire à une formule stéréotypée « *on pourrait ensuite parler de ...* », mais consister en un rapide développement scientifique faisant lien avec la synthèse. Cette année, des ouvertures sur la vitesse d'adaptation des organismes face à la crise climatique, sur la plasticité phénotypique ou sur les applications en sciences médicales pouvaient être valorisées. Si les ouvertures peu intéressantes ne sont pas sanctionnées, elles laissent la lecture se terminer sur une note qui peut nuire à l'appréciation globale de la copie.

2. Maîtrise des connaissances

Notions attendues

Nous proposons ci-dessous un aperçu des notions attendues dans chacune de ces trois parties (Tableau 1). Les observations du jury concernant des points spécifiques sont référencées par des numéros en rouge ((X), Tableau 2).

Tableau 1 : proposition de plan pour l'épreuve de synthèse « *Les forces évolutives* »
Les numéros en rouge font référence aux commentaires du jury, visibles dans le tableau 2.

I.	Introduction de diversité génétique au sein d'une population : mutation et migration
I.A.	L'équilibre de Hardy-Weinberg et ses prédictions (1) Selon les hypothèses de Hardy-Weinberg, les fréquences alléliques sont à l'équilibre, et tout écart à l'équilibre est dû à des hypothèses non vérifiées comme l'action de forces évolutives.
I.B.	L'apparition de nouveaux allèles est un phénomène aléatoire (2) Les mutations peuvent avoir diverses origines, fluctuent au cours du temps et apparaissent de manière aléatoire (expérience de Luria-Delbrück).
I.C.	Les variations génotypiques génèrent une diversité phénotypique (2) Les mutations peuvent avoir différents effets (dépendant de leur nature, du contexte génétique, des cellules concernées, ...) générant de la diversité transmise ou non à la descendance (3) .
I.D.	Les processus migratoires importent et exportent de nouveaux allèles (4) Les migrations brassent les allèles dans l'espace et dans le temps, favorisant la diversité allélique, les homogénéisant à grande échelle et à long terme en l'absence d'autres forces évolutives. L'introgression pouvait être mentionnée.

II.	Tri de la diversité génétique : dérive, sélection et interactions entre forces évolutives
II.A.	La dérive génétique réalise un tri isotrope de la diversité allélique : principe, force et conséquences (5)
	La dérive mène à une variation aléatoire des fréquences alléliques, dépendante de la taille de l'effectif efficace et est renforcée par les effets d'échantillonnage.
II.B.	La sélection réalise un tri directionnel de la diversité allélique : notion de valeur sélective (6)
	La valeur sélective (<i>fitness</i>) est la moyenne du nombre de descendants d'un génotype, elle résulte de l'interaction entre un phénotype et son environnement. La variation interindividuelle est à l'origine d'une variation de valeur sélective, sous l'influence de facteurs biotiques et abiotiques appelés pressions de sélection.
II.D.	Différents régimes de sélection existent (6)
	Il existe différents régimes de sélection (6) (balancée, directionnelle, disruptive, fréquence dépendante (7), ...) pouvant aboutir à la spécialisation des populations.
II.E.	L'interaction entre les traits et les forces complexifie le tri allélique
	Il peut exister des « conflits » entre les pressions de sélection, entre migration et sélection, entre sélection et dérive, impactant le tri de la diversité allélique et aboutissant à un compromis évolutif (<u>ex</u> : queue du paon).
III.	Conséquences des forces évolutives à travers les échelles du vivant
III.A.	Convergence évolutive
	L'action de pressions de sélection similaires peut favoriser une évolution convergente (spécialisation) face à des contraintes similaires.
III.B.	Spéciation
	La spéciation est sous l'influence des 4 forces évolutives en interactions, elle peut être allopatrique ou sympatrique.
III.C.	Compétition et déplacement de niche
	La compétition interspécifique comme pression de sélection peut modifier la niche écologique d'une espèce (réduction ou colonisation d'autres niches)
III.D.	Interdépendance entre espèces et populations
	Il existe des modes de vie plus ou moins spécialisés (parasitisme, symbiose, prédation, commensalisme), et des préférences écologiques. La distribution et l'assemblage des espèces au sein des écosystèmes sont à la fois des pressions de sélection et le résultat de l'action des forces évolutives.
III.E.	Coévolution
	L'interaction étroite entre deux espèces génère une pression de sélection qui permet leur évolution de manière interdépendante.
III.F.	Pluralité des échelles du vivants où s'observent l'action des FE (8)
	A l'échelle des génomes, des cellules, des individus, des espèces.

Tableau 2 : remarques du jury sur les notions attendues et traitées

(1)	Le principe de Hardy-Weinberg a été peu mentionné et lorsqu'il l'est, il lui manque souvent la formalisation des fréquences alléliques. Toutefois, lorsque ces éléments sont présents, cette notion est bien traitée et comprise.
(2)	Il est crucial de rappeler que la seule source d'innovation allélique connue à ce jour est la mutation, la migration étant une exception possible pour une (méta)population. Le brassage intrachromosomique lors de la méiose peut être source de mutations, mais le brassage interchromosomique et la fécondation sont des processus contribuant à la ségrégation aléatoire des allèles, c'est-à-dire à la dérive génétique. Il est à noter que, bien que le taux de mutation d'un génome puisse être augmenté sur une période donnée (par exemple, sous l'effet d'un agent mutagène comme les UV), le caractère aléatoire de ces variations de la séquence d'ADN reste inchangé. S'il est préoccupant que la mutation ne soit pas toujours considérée comme une force évolutive dans certaines copies, le jury a été agréablement surpris de constater que peu de synthèses se sont égarées dans la description des différents types de mutations et de leurs mécanismes d'apparition.
(3)	La notion d'héritabilité d'un trait était rarement mentionnée, alors qu'elle est fondamentale pour que les forces évolutives puissent s'appliquer.
(4)	La migration est souvent uniquement mentionnée parce qu'elle est apprise comme étant une force évolutive, mais sans en comprendre réellement le mécanisme. Il y a aussi de fréquentes confusions entre la migration en tant que force évolutive et l'effet fondateur, qui peut résulter d'une émigration d'individus. La migration comme force évolutive désigne un flux d'individus entre deux (méta)populations, entraînant une homogénéisation des fréquences alléliques et un apport de nouveaux allèles. L'effet fondateur n'est pas une force évolutive, mais un phénomène souvent utilisé pour expliquer les effets de la dérive génétique dans des populations de faible effectif efficace récemment formées, ce qui conduit à une évolution rapide vers un état absorbant.
(5)	Concernant la dérive génétique, il est important de clarifier qu'elle n'est pas synonyme de sélection de caractères neutres, ni d'accumulation de mutations au fil du temps – malgré l'interprétation intuitive du terme "dérive". La dérive génétique est une force évolutive qui s'applique à tous les allèles, neutres ou non, ce que bon nombre de copies ne semblent pas comprendre pleinement et qui témoigne d'un manque de recul sur les mécanismes impliqués. Lorsque l'expérience de Buri est mentionnée, il est rare de lire que la couleur des yeux des mouches n'affecte pas la valeur sélective des individus : ce choix vise à exclure les effets de la sélection naturelle dont la taille d'effet camouflerait l'effet de la dérive. Les concepts de goulot d'étranglement et d'effet fondateur sont souvent confondus, sans lien explicite avec la réduction de la taille de la population ni l'augmentation du poids des phénomènes aléatoires due à la loi des grands nombres. De plus, la dérive ne s'exerce pas uniquement sur des temps courts, et elle n'est pas nécessairement un phénomène de réduction de la diversité, pas plus que la sélection naturelle.
(6)	Même si le concept de sélection naturelle et son fonctionnement sont souvent bien compris et correctement expliqués, il est essentiel de rappeler qu'elle ne sélectionne pas les individus "les plus adaptés", mais ceux dont la valeur sélective est supérieure à celle des autres individus : la sélection se fait par reproduction différentielle.
(7)	Les notions d'homo et d'hétérogamie ont souvent été abordées, de même que les concepts d' <i>heterosis</i> et d'hyperdominance, sans que ces phénomènes ne soient reliés aux forces évolutives.
(8)	Il est très positif de constater que de nombreuses copies font mention des transferts horizontaux de gènes et des endosymbioses, souvent bien mis en lien avec le sujet. Cependant, il est à rappeler que la théorie endosymbiotique n'est plus une simple hypothèse mais bien un fait démontré et accepté par la communauté scientifique.

Remarque : l'adaptation par sélection naturelle, à l'échelle d'une population, peut-être vue comme une descente de gradient vers un optimum local (contraint par l'histoire évolutive), soit une forme d'apprentissage. Il y a un ensemble d'essais (exploration de l'espace génotypique par mutations aléatoires) avec un signal d'erreur (variations dans la valeur sélective, donc le nombre de descendants). Bien-sûr, l'interaction entre la sélection et les autres forces évolutives complique cette descente de gradient. Mais on pouvait néanmoins tisser l'analogie.

Expériences historiques et mises en évidence expérimentales

Le sujet se prêtait bien à l'utilisation d'expériences historiques et de mises en évidence expérimentales afin d'illustrer et d'expliquer les notions attendues. La présence et la bonne utilisation d'une démarche hypothético-déductive est évaluée dans les copies, et celles présentant ainsi des expériences ou des exemples biologiques pour accompagner des notions théoriques sont ainsi valorisées. Le jury tient à faire quelques retours sur les différentes expériences historiques les plus fréquemment présentées et les difficultés rencontrées.

- *L'expérience de Luria-Delbrück* est très souvent évoquée, et la plupart du temps bien expliquée. Elle illustre la notion de mutation aléatoire et indépendante des pressions de sélection rencontrées par l'organisme (grande variance d'apparition de la résistance au phage). Dans un faible pourcentage de cas, elle a cependant été mal utilisée ou mal comprise, voire interprétée à l'envers.

- *Lorsque l'expérience de Buri* est présentée, il est assez rare de lire explicitement que la couleur des yeux n'affecte pas la valeur sélective des individus. Cependant, les notions de dérive génétique et de fixation d'allèles dû au hasard sont très souvent explicitées (voir Tableau 2, point (5)).

- *L'expérience de Gause* n'a pas été mentionnée, ce qui est à mettre en lien avec le fait que de très rares copies évoquent la notion de sélection par compétition interspécifique.

- Le jury tient à saluer les efforts de mises en évidence expérimentales visibles dans une grosse moitié des copies. Cependant, il y a souvent beaucoup d'approximations dans les expériences présentées, avec des erreurs qui vont du simple *lapsus*, comme appeler le morphe sombre de la phalène du bouleau "carbonara" (à la manière de la fameuse recette italienne), jusqu'à des confusions plus graves, comme mélanger ou inventer différents exemples pour illustrer la coévolution.

- Il est conseillé de n'utiliser qu'un seul exemple pour illustrer une notion, un exemple de sélection stabilisante pour parler DES régimes de sélection (bien qu'il faille quand même mentionner les autres régimes de sélection existant) est suffisant.

Illustrations

La qualité et la pertinence des illustrations sont des compétences évaluées et valorisées dans l'épreuve de synthèse. De manière générale, les schémas sont utilisés à bon escient, bien qu'étant parfois un peu trop simplistes. La forme attendue des schémas est trop peu souvent respectée (titre, orientation, légende, échelle, lisibilité), et leur utilisation est parfois insatisfaisante. Les illustrations annotées sont considérées comme équivalentes à un texte explicatif : il n'est pas nécessaire de développer une notion ou d'expliquer une expérience si celles-ci sont déjà explicitement compréhensibles dans un schéma, et

encore moins de décrire le schéma en détails. En revanche, une copie comprenant beaucoup de schémas sans introduction et avec très peu de texte aura du mal à être cohérente et explicative. Aussi, le jury tient à rappeler quelques points :

- Attention à utiliser des couleurs contrastées (pas de bleu et noir seuls, ou de bleu et violet).
- Utiliser des exemples concrets plutôt que des formes de couleur dans un rectangle (pour illustrer la migration ou l'effet fondateur notamment).
- Légender les axes : les graphiques présentant les différents régimes de sélection ne comportaient que très rarement des légendes pour les abscisses et les ordonnées.
- Privilégier des schémas aérés et de taille raisonnable (un tiers de page).

Extrait du barème

L'évaluation de la synthèse reposait cette année sur un barème dont un extrait est présenté ci-dessous (Tableau 3). Pour chaque notion attendue, des points sont attribués avec une gradation en fonction de la qualité et de la précision des explications. Le/les exemples sont valorisés, tout comme les illustrations. Nous tenons à rappeler que la valeur de ce barème est relative à l'épreuve de la session 2024 ; le jury adapte chaque année le système de notation à l'épreuve.

Tableau 3 : un exemple de barème pour le point I.D de la synthèse.

I.D	Les processus migratoires important et exportent de nouveaux allèles	Pts
	Les migrations brassent les allèles dans l'espace et dans le temps, favorisant la diversité allélique, les homogénéisant à grande échelle et à long terme en l'absence d'autres forces évolutives. L'introgession pouvait être mentionnée.	
	Notion évoquée	1
	<i>Précision de l'explication</i> : rien (0) / embryon d'explication (1) / explication moyenne (2) / bonne explication mais incomplète (3) / explication complète (4) /	4
	Détail <i>a minima</i> un exemple en lien et relié au sujet : pas d'exemple (0) / exemple sous-exploité (1) / exemple bien exploité (2)	2
	Figure illustrative pertinente	1
	Bonus pour tout élément non-prévu au barème (élargissement, variation d'échelle, recul scientifique, etc.)	1

Partie 2 : Étude de documents

L'étude de documents était subdivisée en quatre parties :

- **Partie I : le saccharose a une odeur de cannelle.** Cette partie introduisait l'abeille domestique *Apis mellifera* comme espèce modèle en partant de son anatomie générale. L'étude se focalisait ensuite sur le mécanisme d'apprentissage associatif de l'abeille, au cours duquel une odeur de cannelle devient substituable à la présence d'eau sucrée pour déclencher l'extension du proboscis de l'insecte. La découverte des mécanismes neurologiques en cause était ensuite explorée grâce à des expériences d'électrophysiologie faisant intervenir la méthode du patch-clamp.

- **Partie II : trouver sa voie octopaminergique.** Dans cette partie directement dépendante de la première, l'action du neurone VM et de son neurotransmetteur l'octopamine étaient étudiés, principalement par des approches de biologie moléculaire. Les documents permettaient d'identifier les structures cérébrales de l'abeille vers lesquelles projette le neurone VM, puis de déterminer l'implication de ces structures dans la mémorisation de l'apprentissage associatif et d'étudier le récepteur membranaire en cause.

- **Partie III : effets secondaires d'un insecticide.** Cette partie, indépendante des deux précédentes, visait à explorer les conséquences de l'exposition à un insecticide néonicotinoïde répandu, l'imidaclopride, sur la biologie des abeilles. Les documents faisaient appel à des notions utilisées en écologie (effet seuil et dose-réponse, analyse de résultats de modélisation, suivis temporels) et à quelques aspects naturalistes. Dans cette partie, il était demandé de proposer des protocoles expérimentaux, et de pousser la réflexion à plusieurs échelles biologiques (individus, populations, écosystème).

- **Partie IV : une approche théorique du conditionnement.** Cette dernière partie, indépendante des précédentes et relativement inédite, proposait de manipuler un modèle mathématique simple de l'apprentissage associatif. Une mise en situation autour de l'abeille, de l'odeur et de la présence de nectar chez deux fleurs, permettait de découvrir le fonctionnement du modèle et de faire le lien avec des phénomènes biologiques abordés dans d'autres parties.

La diversité du type de questions (questions de connaissances pures ; analyses de graphiques, documents à légender ; schéma-bilan ; formulation de protocole), l'originalité du thème et la pluridisciplinarité des thématiques abordées (neurosciences, écologie, biologie moléculaire, physique, mathématiques...) avaient pour but de valoriser des profils de scientifiques complets. Généralement, une très large partie du sujet a été traitée dans les copies, et il le fut assez fréquemment dans son intégralité.

1. Remarques sur l'analyse des documents

Dans les questions d'analyse de documents, une part importante du barème est attribuée à la qualité de l'analyse. Ci-dessous, le jury revient donc sur les points faibles des copies concernant la méthodologie de l'analyse d'une expérience.

Méthode

Bien qu'un effort de description soit généralement présent, l'interprétation est souvent absente, ce qui est parfois le signe d'une mauvaise compréhension du document. De manière générale, la distinction et l'articulation entre description, interprétation, conclusion est peu marquée, avec des copies où ces trois étapes semblent presque identiques (et donc répétées dans la réponse). L'on rappelle qu'une conclusion n'est pas un résumé des observations, mais une synthèse de ce qui a été appris durant l'interprétation. Par ailleurs, les hypothèses doivent être formulées clairement, et ne doivent pas être fondues dans la conclusion (ex : le fait de posséder des récepteurs ne permet pas de conclure que la cellule est sensible au neurotransmetteur).

Démarche expérimentale

Le principe de la démarche expérimentale est parfois mal maîtrisé : certain-es candidat-es ne comprennent ou ne se demandent pas pourquoi une expérience a été réalisée. La distinction entre la nécessité expérimentale et la réalité biologique est parfois floue dans certaines copies (ex : penser qu'on utilise l'odeur de cannelle parce que certaines fleurs produisent cette odeur ; ou que les abeilles sont attirées par les pâtisseries). Il est également nécessaire de réutiliser les résultats obtenus pour analyser les expériences suivantes, les sujets étant généralement construits de manière linéaire.

Importance des témoins

De manière assez inquiétante, l'identification des contrôles, l'analyse des témoins et des résultats négatifs ne sont presque jamais réalisées – de même que la réflexion sur la normalisation des résultats (par exemple, le témoin de charge dans un *western blot*, ou la normalisation de la fluorescence par la masse). Le jury note une tendance à simplement noter une différence avec le contrôle, sans description ni quantification, alors qu'il s'agit là d'une étape fondamentale pour construire une analyse rigoureuse.

Significativité

Le jury rappelle ici que "pas significativement différent" ne signifie pas "pas différent" ou "non exploitable". Certaines copies se focalisent uniquement sur les barres d'erreur et n'analysent rien si les résultats ne sont pas significatifs, ignorant même parfois la dynamique temporelle des variables.

Lecture et description des documents

Tout élément non explicité dans les textes ou les légendes doit être expliqué dans les copies. Par exemple : le lien de *proxy* entre l'excitation M17 et l'extension du proboscis ; le rôle de l'antagoniste ; ou l'importance des témoins positifs et négatifs étaient des éléments attendus dans le barème. *A contrario*, une tendance à l'invention de données ou à la prise de raccourcis est parfois observée dans le but de rediriger les résultats dans le sens désiré (ex : une structure cérébrale qualifiée de « sous-œsophagienne »/ « optique »/ « antennaire » ne signifie pas forcément qu'elle contrôle (*resp.*)

l'œsophage/ la vue/ le mouvement des antennes). Il est crucial de rappeler que le terme "évolution de la variable X" ne constitue pas une description quantifiée, comme le sont "augmentation" et "diminution". Il est cependant important de préciser qu'un réel effort de quantification (absolu ou relatif) est trouvé dans la plupart des copies, ce qui est valorisé.

Extrait du barème

Afin d'illustrer l'importance de toutes ces notions dans la notation, nous incluons l'extrait du barème pour la question 12.a. : « Analysez la figure 10 » (Tableau 4). Une nouvelle fois, nous tenons à rappeler que la valeur de ce barème est spécifique à l'épreuve de la session 2024.

Tableau 4 : exemple du barème utilisé pour l'étude de documents (question 12A).

Analyse figure 10A	Points
Eau pure et solvant de dissolution de l'imidaclopride : témoins négatifs (0.5), la survie des larves n'est pas modifiée et reste proche de 100% (0.5). Le protocole n'affecte pas l'éclosion et les résultats suivants sont dus à l'effet du pesticide (0.5).	1.5
<i>Bonus</i> : si remarque qu'il n'y a pas de contrôle sans aucun traitement permettant d'avoir un taux d'éclosion sans manipulation	0.5
0.4, 24 et 200ng/larve : taux de survie autour de 75% (0.5), avec une légère augmentation de mortalité pour 200ng/larve (0.5). 0.4 et 24ng/larve ne sont pas significativement différent du contrôle (0.5).	1.5
À partir de 2000ng/larve : chute brutale du taux de survie (0.5)	0.5
Pour 4000ng/larve et plus : stabilisation entre 0 et 5% d'éclosion (0.5)	0.5
Conclusion : courbe dose-réponse avec un effet seuil (1) entre 200 et 2000ng/larve (0.5) au-delà duquel le pesticide empêche la survie des larves (0.5)	2
<i>Bonus</i> : si interrogation sur la comparabilité entre ces doses et celles d'exposition en milieu naturel	0.5
Analyse figure 10B	Points
Analyse des témoins négatifs (0.5) : l'eau pure et le solvant n'affectent pas la dynamique d'apprentissage par rapport au contrôle (0.5), les barres d'erreurs se recoupent (0.5). Les résultats suivants sont donc issus de l'effet du pesticide et non du protocole (0.5).	2
Quantification : apprentissage rapide convergeant vers un taux de succès à ~ 60%	0.5
0.0004ng et 0.004ng/larve : pas d'effet (0.5) significatif car les barres d'erreurs recoupent celles du solvant (0.5)	1
0.04 et 0.4ng/larve : pas significativement différents l'un de l'autre (0.5) et significativement différents du contrôle (0.5). Diminution de l'efficacité d'apprentissage (0.5) de 60% (0.5).	2
Ces doses sont plus faibles que celles testées pour la survie des larves (0.5) : on teste un effet chez l'adulte et se placer à des doses empêchant l'éclosion n'a pas de sens (1)	1.5
Conclusion 1 : pour l'apprentissage, effet seuil (0.5) entre 0.004 et 0.04ng/larve (0.5) au-delà duquel le pesticide impacte fortement les capacités d'apprentissage (0.5).	1.5
Conclusion 2 : des doses qui n'affectent pas l'éclosion peuvent mener au développement d'adultes aux capacités d'apprentissage nettement réduites.	1

Schéma-bilan

Les schémas-bilans manquaient souvent d'éléments et de cohérence globale, en raison des difficultés des candidat·es à bâtir des ponts entre les différentes figures et questions. Cela reflète un manque d'approfondissement et une compréhension superficielle du sujet, ou un oubli des différents éléments démontrés au cours de l'analyse. Dans le cas où un schéma bilan est attendu à l'issu d'une ED, le jury conseille aux candidat·es de noter les conclusions au fur et à mesure et de chercher à les relier entre elles. Ici, la difficulté à intégrer les différentes échelles (moléculaire, cellulaire, anatomo-physiologique et écologique) était récurrente. Les échelles étaient souvent mélangées ou, dans le cas des aspects écologiques, totalement absente. Nous laissons ci-dessous un exemple (certes, ambitieux) de schéma bilan pour la question 11 (Figure 1).

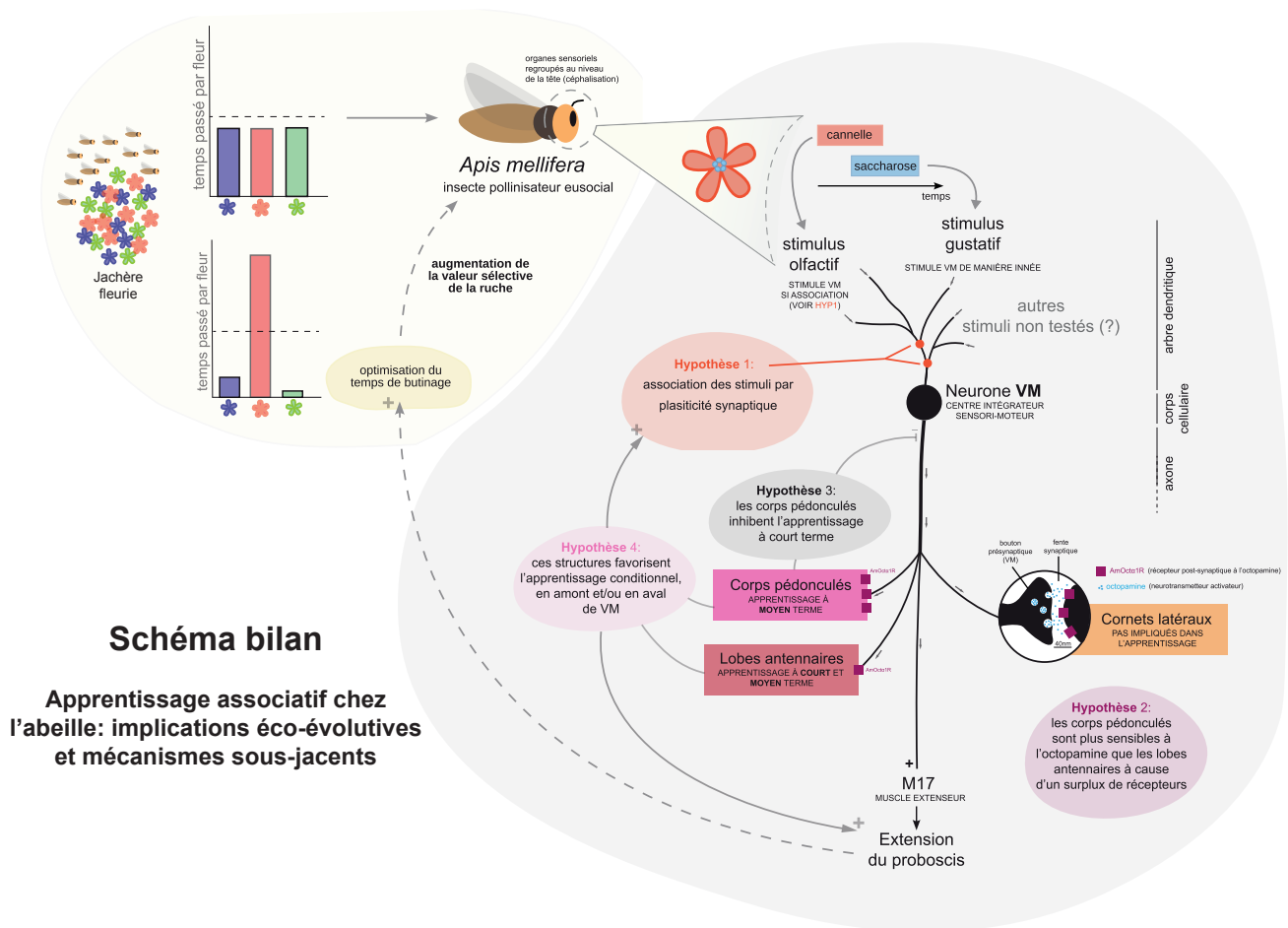


Figure 1 : proposition de schéma bilan pour la question 11.

2. Maîtrise des méthodes expérimentales

Le sujet proposait l'analyse de résultats obtenus par des méthodes expérimentales classiques. De manière très surprenante, le jury a pu constater une difficulté redondante pour l'analyse de ces documents dans une majorité des copies.

Patch-clamp

Le principe du patch-clamp est souvent mal compris, notamment la configuration *whole-cell* qui implique une continuité entre la cellule et le cytoplasme (la membrane a été brisée à l'aide d'un petit *pulse* d'aspirations). Certains candidats n'arrivent pas à distinguer le bruit de fond du vrai signal, particulièrement dans les figures montrant l'activité des différents neurones. De plus, l'application d'un courant visant à dépolariser la membrane est parfois remplacée à tort par l'injection d'ions Na^+ *via* la pipette.

Interférence par l'ARN

Le mécanisme d'interférence par l'ARN n'a quasiment jamais été identifié. Pourtant, la formulation, le contexte d'utilisation et la question posée aurait dû permettre de comprendre la technique utilisée ici (ce qui a été le cas dans de rares copies). Au lieu de cela, les conclusions se concentrent sur les ARNdb plutôt que sur la validation de l'importance du récepteur concerné. Il a même été proposé de (trop) nombreuses fois que l'ARN double-brin était traduit en protéine. L'on peut supposer que l'utilisation de cette technique, couplée à celle du *western blot* (également très mal traitée, voir ci-dessous), a beaucoup perturbé les candidat·es.

Western blot

Cette méthode expérimentale classique se retrouve très régulièrement dans les sujets de concours. Cette année, elle a étonnamment été très mal traitée, peut-être à cause d'une mauvaise compréhension du rôle des anticorps. Très peu de copies mentionnent la spécificité des anticorps, la saturation de leurs sites par les peptides, et donc leur incapacité à se fixer sur le récepteur durant l'incubation. Au lieu de cela, il a souvent été proposé que les anticorps empêchent la traduction du récepteur, ce qui expliquait la faible intensité de la bande. Le jury en conclut, à regret, que l'analyse d'un *western blot* par les candidat·es relève d'un automatisme scolaire plus que d'une réelle compréhension mécanistique du protocole.

Le témoin de charge a très rarement été pris en compte, et a été encore plus rarement utilisé dans l'analyse. Le jury tient à rappeler que le témoin de charge permet de révéler une protéine de concentration supposée constante dans le système étudié, et ainsi de s'assurer que la variation de la quantité de protéine d'intérêt est une réalité biologique - pas un artefact expérimental. Il permet ainsi des comparaisons semi-quantitatives entre deux échantillons, ou au sein d'un même échantillon.

Phylogénie moléculaire

La lecture de l'arbre de phylogénie moléculaire était ambitieuse et a effectivement posé problème. Le vocabulaire permettant de décrire l'arbre n'est souvent pas maîtrisé (racine, branche, nœud, clade, feuilles). Le jury a conscience de la difficulté que représente l'analyse d'un tel arbre, et salue les copies qui ont su l'interpréter convenablement. Pour rappel, un arbre moléculaire représente des protéines appartenant parfois au même organisme, et que les convergences évolutives multiples (souvent évoquées) ne sont pas les explications les plus parcimonieuses. L'évènement de spéciation à l'origine de la divergence entre Protostomiens et Deutérostomiens permettant d'expliquer l'homologie systématique entre les différents types de récepteurs à l'octopamine et l'adrénaline n'a quasiment jamais été identifié.

Détection de molécules

Lorsque la question du suivi du trajet de l'imidaclopride au sein de la plante était posée, beaucoup de copies ont proposé un marquage radioactif de la molécule. Ce n'est pas une mauvaise idée en soi, mais cela montre un biais en faveur de méthodes de biologie moléculaire obsolètes. Une alternative plus moderne aurait pu être la détection de la molécule par chromatographie puis spectrométrie de masse, ou par dosage (en supposant qu'il existe un protocole de dosage spécifique à cette molécule).

Modélisation en dynamique des populations

La modélisation de l'évolution de l'effectif de la ruche a posé de gros problèmes de compréhension, avec parfois des contresens. Très peu de copies ont fait le lien avec les documents précédents :

- 1 L'insecticide provoque une baisse du taux d'éclosion,
- 2 Qui abaisse le taux de natalité en diminuant la valeur de P,
- 3 Ainsi que des non-retours à la ruche chez les ouvrières.
- 4 En retour, cela augmente le paramètre de mortalité.

- 1 L'état d'équilibre est atteint lorsque la natalité et la mortalité se compensent,
- 2 Il varie donc en fonction des paramètres testés.

Dans tous les cas, le pesticide provoquait une diminution de l'effectif de la ruche, donc la résilience (retour à l'effectif initial) dépendait fortement de la valeur du paramètre P. En aucun cas le traitement à l'imidaclopride ne favorisait les naissances, comme il a pu être lu dans de nombreuses copies : c'est le passage d'un régime de forte mortalité à un régime de faible mortalité lors de l'arrêt de l'exposition à l'insecticide qui causait une augmentation de l'effectif de la ruche. La natalité, elle, était constante.

3. Mobilisation des connaissances

L'étude de documents, bien qu'originale dans sa thématique, permettait de mobiliser des connaissances acquises au cours de ces deux premières années d'études en biologie. Le sujet comprenait des questions de connaissances pures, le plus souvent bien traitées, et des questions plus proches des "travaux pratiques" (légende de documents, identifications de structures...) qui ont été plus discriminantes.

- L'anatomie des insectes et le vocabulaire associé sont mal connus, le tiers des copies présentant "tête-tronc-queue" au lieu de "tête-thorax-abdomen".

- La description des mécanismes membranaires du potentiel d'action a été bien réalisée dans la grande majorité des cas, même si les valeurs du potentiel de repos et de l'amplitude étaient parfois approximatives. En revanche, les connaissances de cours sont parfois mobilisées avec trop de rigidité. Beaucoup de copies ont considéré que les synapses étudiées étaient neuro-musculaires, et non neuro-neurales.

- Malgré l'information "*le neurone VM peut libérer de l'octopamine, un dérivé d'acide aminé, dans le milieu extracellulaire*", peu de copies ont spontanément proposé que cette molécule puisse être un neurotransmetteur. L'octopamine a plusieurs fois été qualifiée de "messenger" (parfois intracellulaire), de facteur de transcription ou d'hormone.

- La notion de "gène rapporteur" est très rarement apparue, signe probable que le nom de cette méthode n'était pas connu ou qu'elle est associée au cas restreint des gènes *GUS* ou *lacZ*.

- Le jury invite les candidats à clarifier leurs définitions de Protostomiens et Deutérostomiens, de très nombreuses réponses différentes ayant été relevées (présence ou non d'ailes, apparition de la bouche en premier à la naissance, couleur orange ou bleue de l'organisme...). Le jury rappelle que la distinction classique correspond à la formation de la bouche à partir de l'orifice du blastopore chez les Protostomiens, alors que la bouche est percée secondairement chez les Deutérostomiens. De plus, les premiers sont souvent hyponeuriens et les seconds épineuriens. En réalité, ces critères de distinction ne sont plus valables : seule la phylogénie moléculaire permet leur classification rigoureuse (Hejnol & Martín-Durán, 2015).

- La connaissance de la structure d'une protéine et du vocabulaire associé est mal maîtrisée : plus de la moitié des copies n'ont pas identifié des hélices alpha, ni décrit une protéine globulaire et transmembranaire. Le jury rappelle d'ailleurs qu'une protéine intermembranaire signifie qu'elle est localisée dans un volume situé entre deux membranes, et pas enchâssée dans une bicouche. De nombreuses copies omettent aussi les termes de domaines intra ou extracellulaires, ou positionnent mal les extrémités N et C-terminales.

- La biologie des abeilles n'est pas au programme et n'était pas indispensable pour réaliser l'étude proposée. Néanmoins, le jury apprécie les copies qui font preuve d'une culture naturaliste assez commune (larve, métamorphose, mode de production du miel, fonction des ouvrières/reine) qui enrichit les réponses aux questions ouvertes proposées

- Lorsqu'un protocole expérimental est proposé, il est souvent de bonne qualité (condition contrôles, explicitations des paramètres mesurés, etc.). Il s'agit là d'une preuve que les candidat-es ont en moyenne une bonne pratique scientifique.

Quelques références bibliographiques

Cette liste est non exhaustive.

BLENAU, W., WILMS, J.A., BALFANZ, S. & BAUMANN, A. (2020) AmOct α 2R: Functional Characterization of a Honeybee Octopamine Receptor Inhibiting Adenylyl Cyclase Activity. *International Journal of Molecular Sciences* **21**, 9334.

DEGEN, J., GEWECKE, M. & ROEDER, T. (2000) Octopamine receptors in the honey bee and locust nervous system: pharmacological similarities between homologous receptors of distantly related species. *British Journal of Pharmacology* **130**, 587–594.

FAROOQUI, T., ROBINSON, K., VAESSIN, H. & SMITH, B.H. (2003) Modulation of Early Olfactory Processing by an Octopaminergic Reinforcement Pathway in the Honeybee. *Journal of Neuroscience* **23**, 5370–5380. Society for Neuroscience.

GIURFA, M. (2007) Behavioral and neural analysis of associative learning in the honeybee: a taste from the magic well. *Journal of Comparative Physiology A* **193**, 801–824.

HAMMER, M. (1993) An identified neuron mediates the unconditioned stimulus in associative olfactory learning in honeybees. *Nature* **366**, 59–63. Nature Publishing Group.

HAMMER, M. & MENZEL, R. (1998) Multiple sites of associative odor learning as revealed by local brain microinjections of octopamine in honeybees. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)* **5**, 146–156.

HEJNOL, A. & MARTÍN-DURÁN, J.M. (2015) Getting to the bottom of anal evolution. *Zoologischer Anzeiger - A Journal of Comparative Zoology* **256**, 61–74.

HENRY, M., BÉGUIN, M., REQUIER, F., ROLLIN, O., ODOUX, J.-F., AUPINEL, P., APTEL, J., TCHAMITCHIAN, S. & DECOURTYE, A. (2012) A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. *Science* **336**, 348–350. American Association for the Advancement of Science.

MENZEL, R. & GIURFA, M. (2001) Cognitive architecture of a mini-brain: the honeybee. *Trends in Cognitive Sciences* **5**, 62–71. Elsevier.