

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 très 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 et concises sont attendues. Comme annoncé en fin de rapport de la session 2015, l'autonomie, l'initiative et la réflexion du candidat sont par ailleurs testées par une question plus ouverte, sollicitant connaissances et l'exploitation d'au moins deux documents (question 13, visant à identifier les conditions de mise en place d'une bauxite). Le sujet de biologie, distribué aux candidats au début de la troisième heure d'épreuve, était structuré en deux thèmes. Une question générale explicite figure en début de chaque thème. Comme annoncé à la fin du rapport de la session 2015, quelques questions viennent ponctuellement guider le raisonnement et/ou centrer les objectifs. Deux schémas bilans (un par thème) étaient demandés en biologie. En géologie comme en biologie, les informations hors programme nécessaires à l'analyse de certains documents sont fournies.

Le sujet était sensiblement plus court que ceux des sessions précédentes, en particulier pour la partie de biologie (8 pages). Cette tendance sera maintenue dans les futurs sujets.

Si pour la partie géologie, le format est conservé à l'identique, le changement est beaucoup plus marqué pour la partie biologie avec l'apparition de **questions explicites et systématiques** associées aux documents. Les candidats veilleront donc à **bien lire les consignes** de chaque question. En particulier, des questions de type « Décrivez », « Exploitez » ou « Interprétez » les résultats présentés dans tel document correspondent à des **consignes** et donc des **compétences attendues** différentes. 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 l'attention des futurs candidats et de leurs préparateurs sur ce point crucial, car dans les précédentes sessions, et en particulier 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 (par exemple : en 2 lignes). Pour une question explicite de type « Interpréter les résultats », c'est le dosage inverse qui est préconisé.

Le sujet de géologie était cette année centré sur la Provence, sollicitant des acquis capitalisés dans plusieurs parties du programme de cours et de TP de BCPST 1 et 2 : « Le phénomène sédimentaire » (répartition de sédiments marins quaternaires, morphologie d'une marge passive, stratigraphie séquentielle, environnements de dépôt, hydrolyse des feldspaths alcalins, identification d'une bauxite en lien avec ses conditions de mise en place...) ; « La géologie, une science historique » (notion de stratotype) ; « La carte géologique » (réalisation

d'une coupe géologique avec profil topographique fourni) ; « Les transformations minérales du métamorphisme » (représentations cartographiques du métamorphisme, grille pétrogénétique, gradient métamorphique...) ; « Rhéologie de la lithosphère » (déformation, ellipsoïde de déformation...).

Le sujet de biologie abordait quelques aspects des interactions entre le microbiote intestinal et son hôte. La première partie visait à reconstituer une voie de transduction du signal de stress de l'hôte (la noradrénaline) aboutissant à l'activation de gènes bactériens pathogènes responsables de diarrhées hémorragiques. Dans la deuxième partie, il s'agissait d'établir le lien entre prise alimentaire lors d'un repas, microbiote et sensation de satiété, via un messenger émis par le microbiote et agissant au niveau de l'hypothalamus de son hôte.

Les points du barème sont distribués sur 6 groupes de compétences spécifiques, conformément aux attentes des Écoles :

A : Recueillir des informations, analyser et hiérarchiser

B : Mobiliser des connaissances scientifiques pertinentes pour résoudre un problème, structurer un raisonnement et maîtriser les relations de causalité

C : Exercer son esprit critique, identifier un problème, remettre en cause un modèle

D : Présenter graphiquement les conclusions des analyses réalisées

E : Maîtriser les techniques de communication écrite dans le cadre de la construction d'un argumentaire

E1 : Structure, qualité de l'expression (syntaxe, précision, concision)

E2 : Soins, 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 remplie est indiqué ci-dessous (les points obtenus apparaissent dans la dernière colonne à droite, avant d'avoir réalisé le calcul ramenant la note sur 20 points).

	A		B		C		D		Pts obtenus	Tot
	Curseur	Pts	Curseur	Pts	Curseur	Pts	Curseur	Pts		
Géologie - Question 1	1,00	1	1,00	1		0		0	2	2
Géologie - Question 5	0,33	3	0,33	2	0,00	1		0	1,65	6
Géologie - Question 7		0	1,00	2		0		0	2	2
Géologie - Question 8		0		0		0	1,00	6	6	6
Géologie - Question 17		0	0,66	1		0	1,00	2	2,66	3
Biologie - Document 1-1A	1,00	1	0,33	1	0,00	1		0	1,33	3
Biologie - Document 1-2		0	1,00	1		0		0	1	1
Chronologie et schéma - bilan thème 1		0		0		0	0,66	6	3,96	6
Biologie - Document 2-2 (analyse)	1,00	3	0,66	1		0		0	3,66	4
Biologie - Document 2-2 (critique)		0		0	0,00	3		0	0	3
Schéma bilan thème 2 et questions en suspens		0		0	0,00	1	0,33	5	1,65	6
E : Notation globale (géologie et biologie)			E1	1,00	5	E2	1,00	5	10	10

Observations générales sur les copies

Sur la forme (compétence E)

La grande majorité des copies sont claires et correctement présentées. Les consignes sont bien respectées en géologie, mais la concision doit être de mise dans l'exploitation des documents en biologie. Les éléments importants des réponses et des raisonnements peuvent être mis en valeur, par exemple en les soulignant. Toutes les productions graphiques (coupe géologique, ellipsoïde de déformation, schéma bilan...) doivent être réalisées en couleur, avec soin, titre adéquat et légendes claires. Le sujet de géologie a été traité en intégralité par la majorité des candidats, mais le thème 2 en biologie a été finalement peu et très mal traité. Certains candidats ont amorcé la construction du schéma bilan du thème 2 sans avoir exploité les derniers documents, ce qui est bien sûr autorisé, et même conseillé en cas d'urgence. Le jury regrette toutefois que tant de candidats n'aient pu aller plus loin, dans la mesure où la taille du sujet de biologie était significativement réduite par rapport aux sessions antérieures.

En géologie

Le niveau général est assez correct. Les questions de cours ou très proches du cours sont inégalement réussies, et de ce fait très discriminantes. La diversité des questions et des items du programme des deux années (cours et TP) sollicités ont permis à tous les candidats de s'exprimer et de réussir au moins une partie du sujet, variable selon les candidats. Quelques tendances se dégagent toutefois :

– Les questions relatives au « phénomène sédimentaire », très nombreuses cette année, sont mieux réussies que celles du sujet de 2015. Le niveau reste toutefois en-dessous des attentes du programme, l'effort de formation est donc à poursuivre. Les questions relatives à la stratigraphie séquentielle ont toutes été très mal traitées (notion de réflecteur sismique,

description des corps sédimentaires, interprétation de leur géométrie) alors que les exigences des correcteurs étaient vraiment très modestes.

– L'exercice de coupe géologique (avec profil topographique fourni), incontournable du programme, et inédit depuis l'apparition de l'épreuve de géologie à l'écrit en 2015, a été bien accueilli par les candidats puisque presque tous ont proposé une coupe, certes fréquemment incomplète et maladroite, mais le plus souvent crédible et montrant au moins le synclinal central.

– La partie 3, relative au métamorphisme et à la rhéologie, sont globalement mieux réussies et assez correctement traitées. La manipulation de la grille pétrogénétique fournie n'a par exemple posé que peu de problèmes.

Enfin, il est satisfaisant de constater que, par rapport aux sessions précédentes, moins de candidats répondent visiblement au hasard, en proposant des réponses fausses et dépourvues de toute justification. En effet, il faut justifier sa réponse, argumenter les hypothèses faites, ou tout simplement sauter la question.

En biologie

Cette année encore, pratiquement tous les candidats ont encore perdu beaucoup trop de temps à paraphraser très longuement des protocoles expérimentaux, et surtout 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 » !

S'il est en effet attendu que les principes soient compris et que le lien avec l'exploitation du document soit clair, l'observation d'un document doit se restreindre à la simple saisie quantifiée des données permettant l'interprétation du document d'une part et la réponse posée en début de thème d'autre part. En effet, il est rappelé comme l'année dernière qu'une consigne importante est indiquée en première page : « Vous répondrez aux questions posées ». Ces questions sont posées en début de chacun des deux thèmes. Les candidats doivent prendre en compte cette consigne avec beaucoup plus d'attention, et répondre clairement aux questions posées dès que l'occasion se présente (en conclusion après l'exploitation d'un document, en fin de partie...). Trop de candidats ne font que décrire les documents les uns après les autres sans jamais répondre aux questions posées en début de thème, ce qui les pénalise beaucoup dans la notation.

Il est encore rappelé qu'à l'avenir, des questions seront systématiquement posées pour guider l'analyse du candidat document par document et que les consignes explicites de chaque question devront être lues avec beaucoup plus d'attention et respectées, sans se perdre dans la paraphrase ou la description exhaustive des données : il ne s'agit pas de les décrire mais de les **interpréter**.

Dans le thème 1, les documents étaient relatifs aux techniques classiques de biologie moléculaire et ils devaient permettre de résoudre pas à pas et chronologiquement la voie de transduction du signal noradrénaline, conduisant à l'expression des gènes pathogènes bactériens. Ce thème a été inégalement mais globalement correctement traité. Tous les

candidats ont construit un schéma bilan crédible et en adéquation avec le sujet, mais plus ou moins complet selon la compréhension de chaque document.

Le traitement du thème 2 nécessitait plus de recul de la part des candidats, qui étaient très explicitement invités à critiquer tel ou tel résultat et à identifier des questions qui demeuraient en suspens. Comme annoncé dans le rapport de la session 2015, et comme en 2016 également, il s'agissait d'évaluer le recul critique des candidats dans la manipulation des résultats d'expériences (bloc C des compétences évaluées). Cet exercice n'a pas été réussi, les candidats n'ayant pas respecté ces consignes, pourtant explicites. Dans ce contexte, les documents du thème 2 ont été inégalement compris et les réponses à la question figurant en début de thème n'étaient pas claires, quand elles étaient présentes. Les candidats ne sont pas allés assez loin dans le traitement de ce thème. Nous rappelons encore une fois qu'il est tout à fait possible, et même conseillé, de construire un schéma bilan partiel quand les derniers documents n'ont pu être abordés.

Commentaire sur les différentes parties du sujet

ÉPREUVE DE GÉOLOGIE : Quelques aspects de la géologie de la Provence

Partie 1 : Étude de la sédimentation quaternaire littorale dans le Golfe du Lion

1.1 – Étude de dépôts actuels du Golfe du Lion à partir de la carte de Marseille au 250 000 ème

1) Les sédiments les plus grossiers sont les plus proches de la côte : on observe un granoclassement normal de la côte vers le large dû aux apports sédimentaires détritiques terrigènes depuis le continent.

Cette question a été en général bien réussie, mais l'origine des sédiments était souvent non précisée.

1.2 – Étude de la morphologie actuelle de la marge passive du Golfe du Lion à l'aide d'une carte bathymétrique

2) Il s'agissait de repérer en A : le plateau continental ; B : le talus continental ; C : le glacis ; D : la plaine abyssale (ici peu profonde) ; E : des canyons sous-marins (fortes incisions). Ce relief est dû à l'équilibre isostatique qui existe entre la croûte continentale (peu dense) et la croûte océanique (plus dense), avec entre elles une croûte continentale amincie par le rifting. Par ailleurs cette marge est incisée par de nombreux canyons sous-marins dus aux variations de la position de la ligne de rivage au cours du quaternaire.

Le jury a été surpris par le manque de connaissances des candidats sur la structure d'une marge passive. Par ailleurs, la deuxième partie de la question n'a pas été comprise par de nombreux candidats qui ont confondu « bathymétrie » et « épaisseur sédimentaire ».

1.3 – Étude des variations temporelles de la sédimentation à l'aide d'un profil sismique

3) Un réflecteur sismique est une interface entre deux milieux présentant des vitesses de propagation des ondes acoustiques différentes.

4) Épaisseur du corps sédimentaire ≈ 30 msTWTT soit 15 ms en temps simple avec une vitesse de $1\,700\text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 25\text{ m}$.

Le jury a noté une erreur récurrente chez les candidats qui pour beaucoup ont utilisé l'échelle des distances horizontale au lieu de l'échelle en seconde temps double pour calculer l'épaisseur du corps A.

5) Les types de terminaisons repérables sur le document 3 étaient essentiellement des *toplap* signant une progradation des dépôts, des *downlap* marquant une rétrogradation, et enfin des *onlaps* signant une aggradation. Un corps progradant marque une baisse du niveau marin relatif, suivi d'une hausse de ce niveau pour la mise en place du corps aggradant au-dessus. Cette succession se retrouve deux fois. On ne voit donc pas la succession classique attendue lors d'une baisse puis hausse du niveau marin relatif.

Cette question a été globalement peu réussie : peu de candidats parlent de downlap/toplap, ou ceux qui les mentionnent ne les légendent pas forcément. Le jury a également noté des confusions entre ce que désignent les couples progradation/rétrogradation et transgression/régression. Les exigences des correcteurs étaient très modestes : un candidat repérant quelques biseaux et les interprétant correctement avec cohérence et vocabulaire adapté pouvait obtenir tous les points.

6) La position du niveau marin relatif dépend de la subsidence ou surrection du plancher du bassin, des apports sédimentaires et du niveau marin absolu. Ici nous regardons des variations quaternaires, ce qui plaide pour une cause eustatique.

Dans cette question, les 3 paramètres ont rarement été cités. Le jury regrette que trop peu de candidats aient parlé de subsidence ou d'eustatisme, et que nombre d'entre eux aient mentionné le rôle des cycles lunaires dans la position du niveau marin relatif.

Partie 2 : Étude des séries sédimentaires du secondaire

2.1 – Déformations visibles au sein de ces terrains

7) Le stratotype d'une unité stratigraphique est un affleurement type servant de référence pour la définition et l'identification de l'étage en question. Il est parfois impossible de désigner une coupe continue. En effet idéalement un stratotype devrait présenter une série sédimentaire parfaitement complète sans hiatus de dépôt, ces conditions sont plus souvent réunies dans un environnement calme et profond.

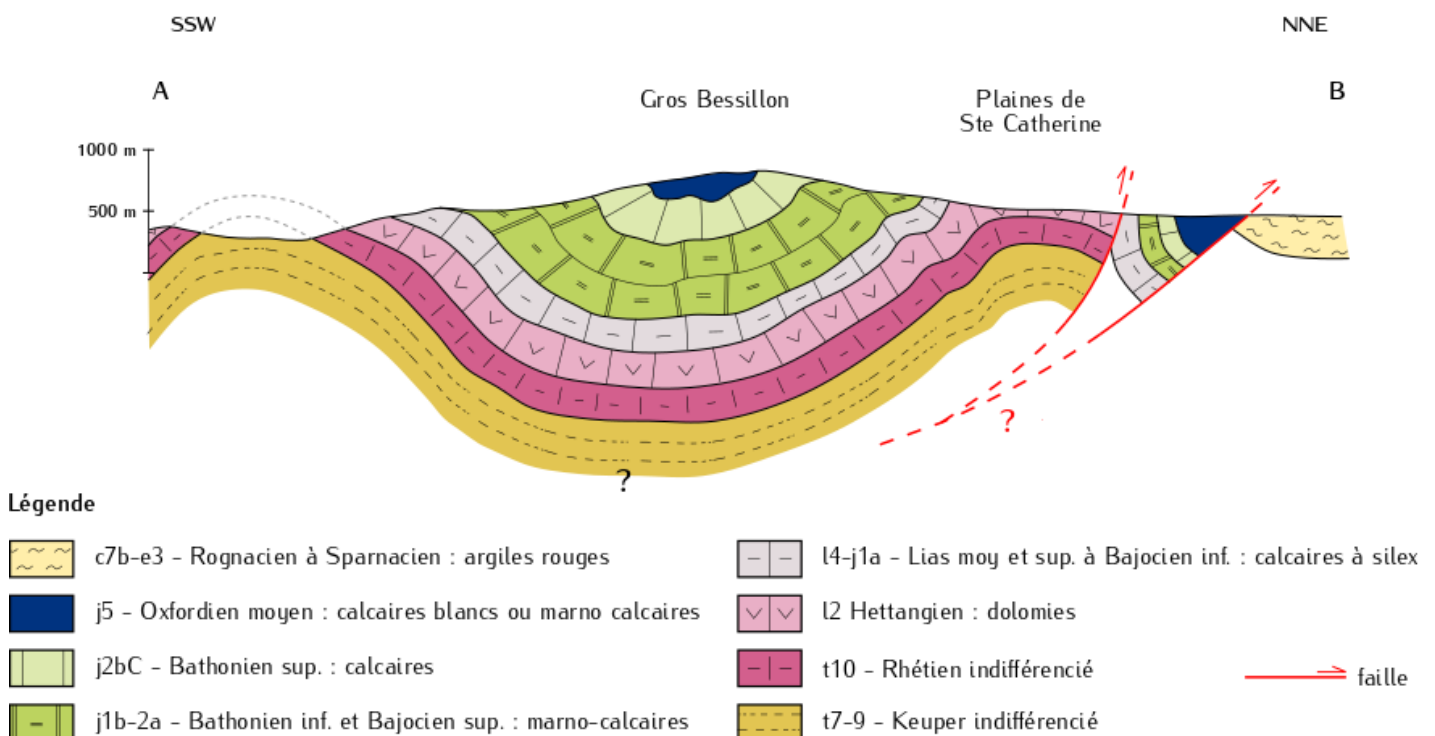
Cette question a globalement été très mal traitée, la définition de stratotype étant souvent inconnue ou non maîtrisée (manque de notion temporelle ou d'étage). De nombreuses confusions ont été observées entre la notion de stratotype et celle de faciès, voire même de fossile stratigraphique.

8) Le jury attendait la représentation des éléments suivants (du Sud vers le Nord) :

- Pli anticlinal presque symétrique à coeur de t7-9
- Pli synclinal presque symétrique à coeur de j5
- Deux failles inverses à pendage Sud entourant une écaille sédimentaire

Le jury a été attentif au respect des proportions, en particulier l'épaisseur des couches sédimentaires mais aussi à la qualité des légendes et titres associés à la coupe.

Coupe géologique à main levée de la carte de Brignoles initialement au 1/50 000



Globalement les plis ont été correctement identifiés, mais la qualité de leur représentation a été plus inégale (épaisseurs non respectées notamment). Les failles inverses ne sont que rarement identifiées et représentées. Le jury déplore un grand nombre de coupes sans légende, titre et/ou orientation.

9) Cette région de la carte permettait l'identification de deux plis (un anticlinal et un synclinal) et de deux failles inverses. L'ancrage probable des failles en profondeur n'était pas attendu.

Les plis sont souvent correctement identifiés, même si les réponses manquent de précision quant à leur localisation. En effet des réponses du type « il y a un anticlinal et un synclinal » ne suffisent pas à l'obtention de la totalité des points ; de la même façon, le type de faille n'est que rarement précisé.

10) Durant le Jurassique des dépôts de type marnes et calcaires se succèdent jusqu'à la formation de dolomies. Ces terrains sont caractéristiques d'une plateforme continentale relativement profonde (mais au-dessus de la CCD) ayant été confrontée à des variations de niveau marin permettant alternativement la formation de calcaires et de marnes (variation des proportions argiles/carbonates).

La plupart des candidats ont décrit les lithologies jurassiques correctement, et une proportion importante d'entre eux a attribué un milieu marin à cette sédimentation. En revanche, peu de candidats ont su préciser davantage le contexte de sédimentation, et surtout expliquer le mécanisme de mise en place des alternances marno-calcaires en lien avec le niveau marin.

2.2 – Exemple d'une ressource géologique exploitée au sud de Brignoles

11) La composition chimique et l'aspect macroscopique de la roche A indiquent une richesse en aluminium et fer. La composition minéralogique de la roche A montre la présence de gibbsite, goethite et kaolinite. La roche A est donc une bauxite, elle peut être exploitée comme minerai d'aluminium.

Cette question a donné lieu à un grand nombre de réponses fantaisistes (calcaire, grenat, dolomie, calcaire à nummulites, évaporite, etc.). Rares sont les candidats ayant correctement identifié la roche et ayant mentionné son intérêt économique. Un nombre non négligeable de candidats identifient une roche métamorphique, et confondent par la suite les réactions d'hydrolyses avec des réactions métamorphiques.

12) Le document 5b permettait l'identification de trois réactions d'hydrolyse. Cette altération chimique conduit à la formation d'une phase migratrice contenant les cations et oxyanions solubles évacués par l'eau en circulation, ainsi que d'une phase résiduelle formées par les hydrolysats insolubles restant en place. La réaction 1 est une bisiallisation aboutissant à la formation de phyllosilicates de type 2/1 (TOT) et s'accompagne du lessivage de 60 % de la silice et 67 % du potassium. La seconde réaction est une monosiallisation, une hydrolyse plus poussée permettant la formation d'argiles de type 1/1 (TO), la totalité des cations et la majorité de la silice sont lessivés. Enfin, la réaction 3 est une allitisation (l'hydrolyse est totale), la silice et les cations sont totalement éliminés et les hydroxydes d'aluminium précipitent sur place.

De nombreux candidats confondent hydratation, hydrolyse, dissolution... le jury rappelle donc qu'il est important d'être rigoureux sur la nomenclature des réactions chimiques. Une proportion correcte de candidats nomme les réactions d'hydrolyse et y associe un degré d'hydrolyse de plus en plus poussé. Cependant, rares sont les candidats mentionnant les caractéristiques des produits formés (TO, TOT...) ainsi que les compositions de la phase

migratrice et résiduelle. L'identification de la réaction 1 comme une monosiallisation était acceptée si les justifications étaient cohérentes (rapport Si/Al).

13) La roche A étant riche en hydroxydes d'aluminium et de fer, cette dernière a été mise en place par altération poussée (hydrolyse des minéraux de type allitisation) d'une roche mère saine contenant de l'aluminium (de type granite) en climat chaud, humide et drainant.

Cette question, lorsqu'elle est abordée, est globalement bien traitée, à l'exception de la nature de la roche mère trop peu souvent mentionnée.

Partie 3 : Le Paléozoïque de Provence

3.1 – Étude du métamorphisme du massif des Maures-Tanneron

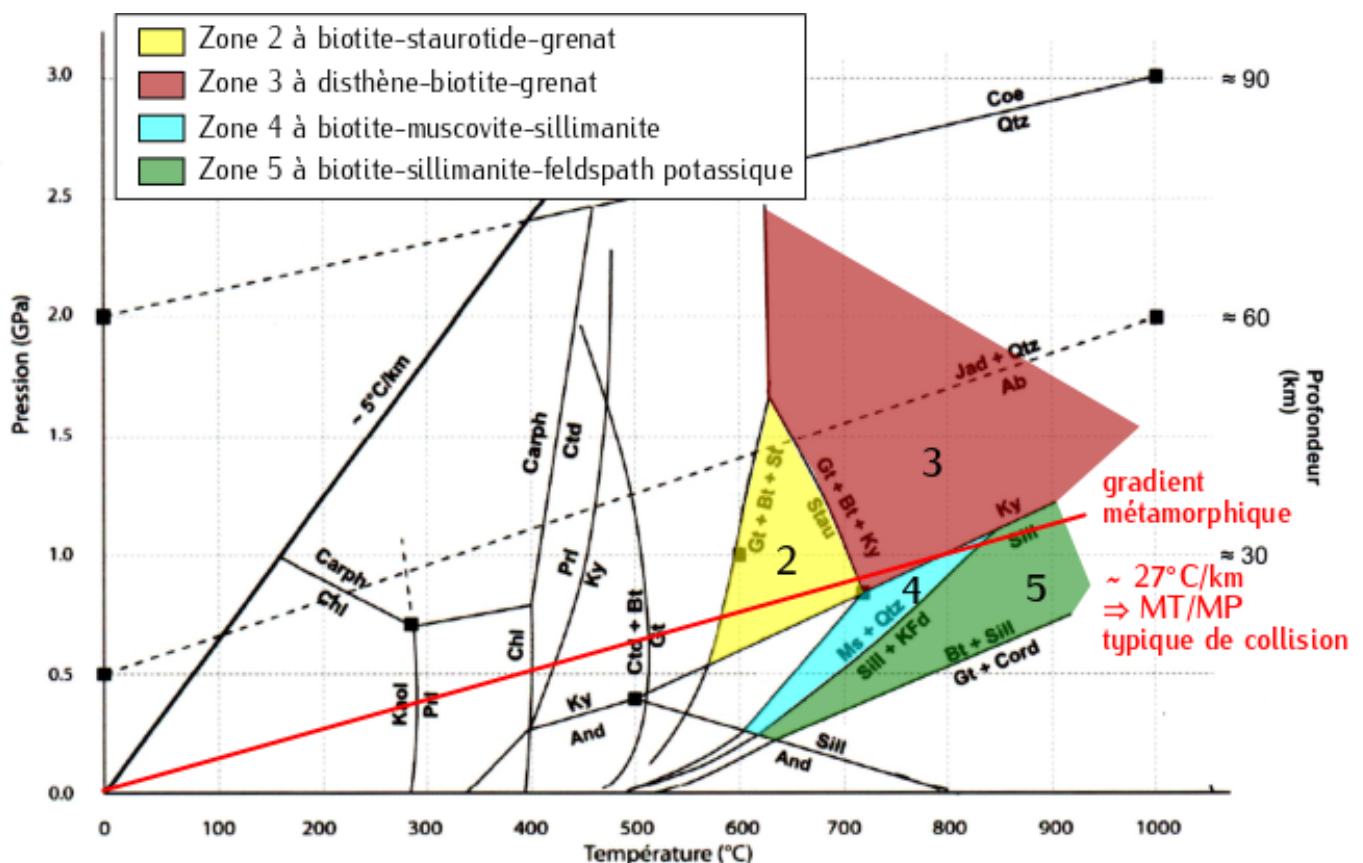
14) L'identification des zones 2 à 5 se faisait par lecture des isogrades de la carte 6a :

– Zone 2 : présence de Biotite et Staurotide ainsi que, possiblement, de Grenat car pas d'isograde de disparition de ce dernier. Le champ est donc compris entre 0 et 1,6 GPa pour des températures entre 500 et 700 °C.

– Zone 3 : Apparition du disthène, on passe la réaction Staurotide donne Grenat, Biotite et Disthène. Le champ est compris entre 0,8 et 2,5 GPa pour des températures de plus de 650 °C.

– Zone 4 : Apparition de la Sillimanite et de la Muscovite, le champ est étroit sous la réaction Disthène donne Sillimanite compris entre 0 et 1,1 GPa pour des températures entre 500 et 830 °C.

– Zone 5 : Déstabilisation de la Muscovite et apparition du Feldspath potassique. Le champ est compris entre 0 et 1,2 GPa pour des températures de 520 à plus de 900 °C.



Cette question est globalement bien traitée malgré quelques erreurs sur l'étendue des zones 2 et 3 (réaction Ab donne Jad + Qtz).

15) Le gradient métamorphique en °C/km est une droite dans le diagramme profondeur-température passant par le point (0,0) et par tous les domaines P-T des roches de la région identifiées en question 14. Le gradient est d'environ 27 °C/km, valeur typique d'une zone de collision.

Un nombre faible de candidat aborde cette question et lorsqu'il est tracé, le gradient est rarement correct – pas de passage par la valeur (0,0).

16) Les étoiles représentées indiquent la présence de reliques éclogitiques. Ces reliques impliquent donc une antériorité de la présence d'éclogites, qui signalent un passage par des conditions de haute-pression et basse-température. Il y a donc eu dans cette région une subduction antérieure à la phase collisionnelle caractérisée en question 15.

Cette question est globalement bien traitée par une partie des candidats, mais un nombre non négligeable d'entre eux ne semble pas connaître les conditions P-T de formation des éclogites, et donc le contexte probable associé à cette formation.

3.2 – Étude de la déformation visible dans certaines roches du massif des Maures

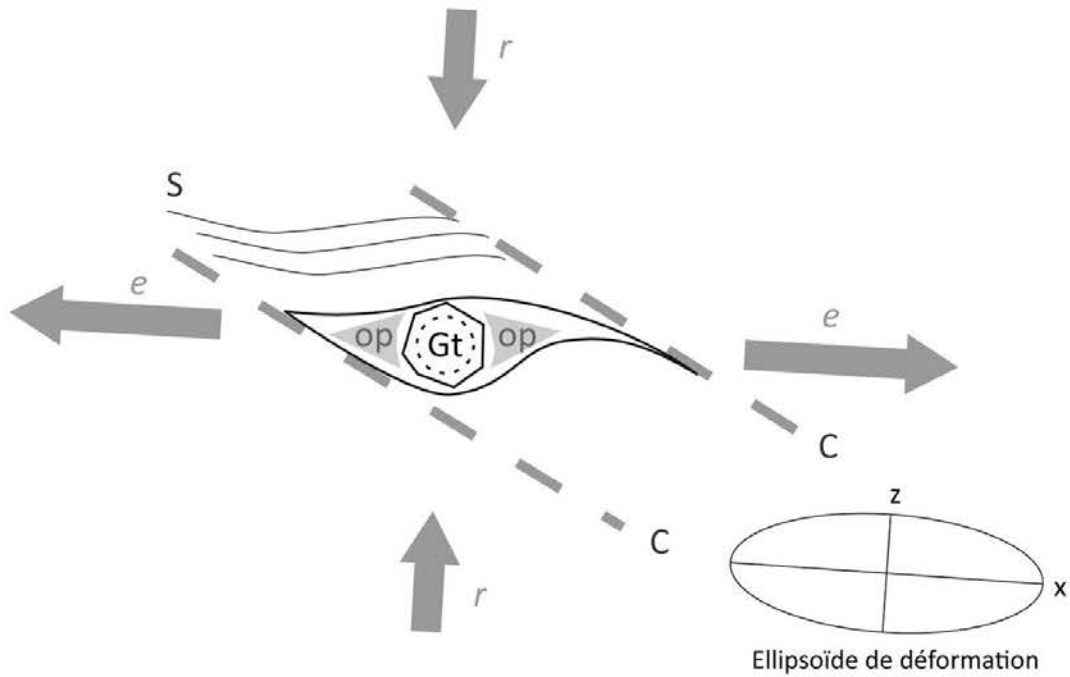
17) Cette lame mince permet d'identifier une schistosité présentant des sigmoïdes au niveau de bandes de cisaillement, on a des structures S/C. Le cisaillement présente un jeu apparent normal. On note la présence de grenats hélicitiques qui indique un cisaillement pur. Les axes de la déformation sont, pour Z, perpendiculaire à la schistosité, et pour X dans le plan de la photographie perpendiculaire à Z. Enfin, Y est perpendiculaire au plan de la photographie. Ces figures de déformation indiquent que celle-ci est pénétrative, et donc qu'elle s'est effectuée à chaud.

Peu de candidats ont traité cette question de fin de sujet. Cependant lorsque cette question est traitée, elle a été évaluée avec beaucoup de bienveillance de la part du jury. La schistosité est souvent mentionnée même si des confusions avec les notions de linéation et foliation ont été observées. Les schémas sont souvent très incomplets et se limitent à la représentation d'un grenat isolé, d'ailleurs souvent non légendé. Quand l'ellipsoïde de déformation est représenté, ce dernier est souvent correct. Peu de candidats discutent les conditions de formation d'une telle déformation.

18) Ici la déformation est intense et présente un comportement rotationnel, il n'y a pas co-axialité, il est donc impossible de remonter à l'ellipsoïde des contraintes.

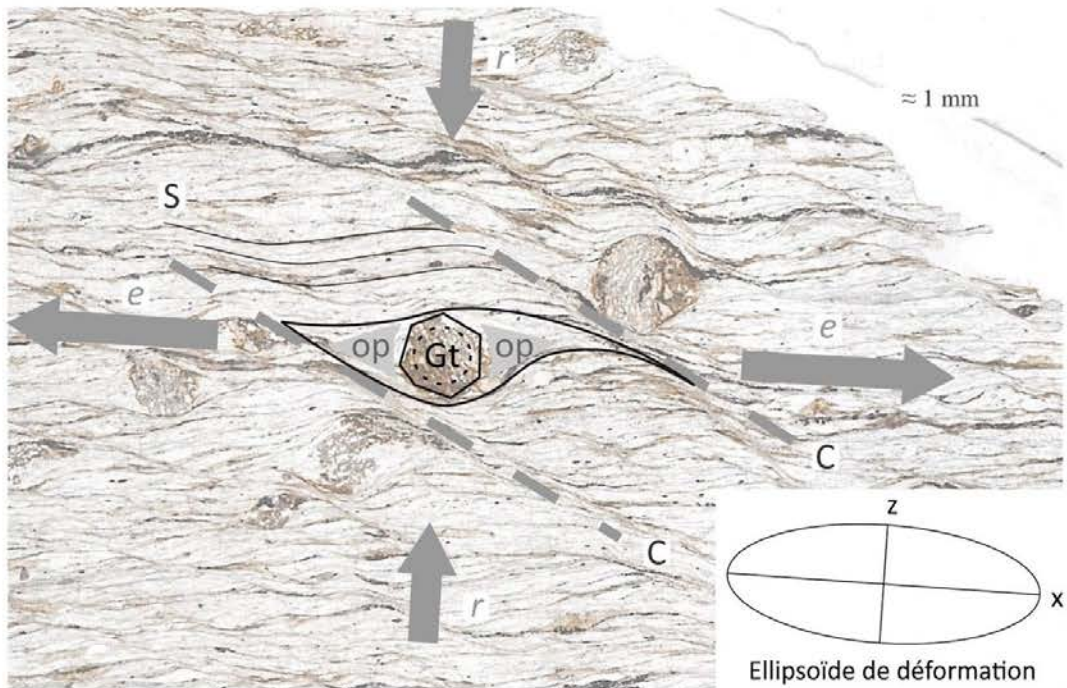
Peu de candidats ont abordé cette question, mais quand cela est fait, les réponses sont souvent correctes. Quelques candidats confondent toutefois cisaillement pur et cisaillement simple.

Déformation visible sur une lame mince de roche métamorphique semblable à certaines roches du Massif des Maures



r : raccourcissement maximum - e : étirement maximum
 S : schistosité - C : bandes de cisaillement - Gt : grenat (à léger caractère hélicitique)
 op : ombre de pression (sigmoïde) - x : axe d'étirement principal
 y : axe intermédiaire (perpendiculaire à x et z) - z : axe de raccourcissement principal

Déformation visible sur une lame mince de roche métamorphique semblable à certaines roches du Massif des Maures



r : raccourcissement maximum - e : étirement maximum
 S : schistosité - C : bandes de cisaillement - Gt : grenat (à léger caractère hélicitique)
 op : ombre de pression (sigmoïde) - x : axe d'étirement principal
 y : axe intermédiaire (perpendiculaire à x et z) - z : axe de raccourcissement principal

ÉPREUVE DE BIOLOGIE : Étude d'interactions hôte-microbiote

Thème 1 : Stress de l'hôte et diarrhées hémorragiques

Partie 1 : Perception du stress de l'hôte par les bactéries pathogènes

Document 1-1 – Effet de différentes molécules sur les bactéries pathogènes

Document 1-1 A

On étudie l'expression d'un des gènes *LEE* chez *E. Coli* en présence de trois molécules sécrétées par la paroi du tube digestif (gastrine, noradrénaline, sécrétine). Le gène de la β -galactosidase était utilisé comme gène rapporteur dont la séquence codante a été fusionnée à celle d'un des gènes *LEE*, cette enzyme catalysant la synthèse, à partir d'un substrat chromogène, d'un produit coloré facilement observable. Seule la noradrénaline induit une augmentation d'expression significative par rapport au niveau constitutif du témoin : il y a surexpression du gène *LEE* (l'activité β -galactosidase est multipliée par 2,5 environ). Cela est cohérent avec l'introduction du thème 1 : les bactéries EHEC du microbiote intestinal sont, quant à elles, sensibles à la noradrénaline sécrétée par leur hôte. On attendait l'hypothèse de l'existence d'un récepteur bactérien (probablement membranaire) à la noradrénaline, et d'une transduction du signal modifiant *in fine* l'expression des gènes *LEE*. Le phénomène mis ici en évidence est spécifique : la gastrine et la sécrétine (deux hormones peptidiques) n'ont pas cet effet sur la cellule bactérienne.

*Des candidats ont des difficultés avec la notion de gène rapporteur : la noradrénaline ne stimule pas l'expression de la β -galactosidase chez E. coli en temps normal, mais seulement dans le cadre de cette expérience. De façon générale, dans l'exploitation d'un document, les interprétations et surtout la conclusion doivent porter sur les événements ayant lieu naturellement in vivo, et non sur les modalités du protocole expérimental : il fallait conclure sur l'effet de la noradrénaline sur l'expression des gènes *LEE*, pas sur celle de la β -galactosidase chez les bactéries transgéniques utilisées ici. Attention à ne pas **surinterpréter** : rien ne permet de dire que la noradrénaline est un facteur de transcription (les connaissances des candidats sur l'action de cette amine biogène chez l'humain n'incitaient d'ailleurs pas à proposer cette interprétation).*

Document 1-1 B

On étudie la capacité de prolifération de bactéries EHEC à partir d'un ensemencement utilisant des suspensions mères de concentrations variables, en présence ou absence de noradrénaline. Deux souches bactériennes sont utilisées : sauvage ou mutée pour les gènes *LEE*. Les résultats obtenus avec la souche sauvage cultivée sans noradrénaline traduisent les effets de la dilution de la suspension mère : la concentration de CFU (*Colony Forming Unit*) constatée diminue lorsque la dilution est plus importante : concentration supérieure à 10^8 CFU.mL⁻¹ pour un facteur de dilution de 10^{-5} , 10^6 CFU.mL⁻¹ pour un facteur de dilution de 10^{-6} , 10^5 CFU.mL⁻¹ pour un facteur de dilution de 10^{-7} , et 10^4 CFU.mL⁻¹ pour un facteur de dilution de 10^{-8} . En présence de noradrénaline, au contraire, on obtient une concentration

supérieure à 10^8 CFU.mL⁻¹ pour les quatre dilutions testées : la multiplication bactérienne est stimulée par la noradrénaline. La souche mutée pour les gènes *LEE* cultivée avec de la noradrénaline présente des résultats similaires à ceux obtenus avec la souche sauvage : elle n'est pas sensible à la noradrénaline, et sa multiplication n'est donc pas stimulée. Conclusion : la noradrénaline stimule la prolifération des bactéries EHEC, et ce *via* l'expression des gènes *LEE*. On attendait une remarque à propos du facteur de dilution 10^{-5} pour lequel on constate une saturation du signal. Les résultats obtenus avec cette concentration de la suspension mère ne sont pas informatifs, car la prolifération bactérienne – sans noradrénaline, et donc *a fortiori* en présence de noradrénaline – atteint les limites des ressources du milieu de culture.

*Attention à l'échelle logarithmique lors de la description quantifiée de l'histogramme. Quelques candidats continuent à mentionner ici la β -galactosidase : cela n'a pas de sens ! Il n'est pas correct de dire que la noradrénaline et les gènes *LEE* sont impliqués dans la survie des bactéries.*

Document 1-2 – Effet de certaines mutations sur le pouvoir pathogène des bactéries

La prolifération des bactéries EHEC dans le tube digestif de lapins est étudiée chez plusieurs souches : sauvage (WT), délétées pour les gènes *qseB* ou *qseC*. Les moyennes obtenues montrent que la charge bactérienne dans les tubes digestifs de lapins est réduite avec les deux souches délétées par rapport à la souche sauvage. Le faible nombre (huit mesures par souche) et la dispersion importante des mesures rendent hasardeuse une comparaison quantifiée des résultats obtenus : on attendait une remarque sur la robustesse discutable des moyennes calculées. Conclusion : les gènes *qseB* et *qseC*, deux gènes *LEE* codant respectivement pour une protéine cytoplasmique et pour une protéine membranaire, sont impliqués dans la prolifération des bactéries EHEC.

*Il n'était pas possible de tirer une interprétation de la comparaison des moyennes obtenues pour les deux gènes. Attention : ce graphique ne faisait pas figurer des barres d'erreur, mais les différentes mesures expérimentales réalisées pour chaque souche bactérienne. La lecture d'une échelle logarithmique pose parfois problème : il faut donner les valeurs sous la forme de puissances de 10. Beaucoup de candidats ne vont pas au bout de leur raisonnement et se contentent d'indiquer que les deux mutations étudiées inhibent la multiplication des bactéries : c'est la fonction des gènes *qseB* et *qseC* qui doit être analysée.*

Document 1-3 – Mécanismes moléculaires impliqués dans la perception du stress de l'hôte

Document 1-3 A

Des protéines QseC purifiées contenues dans la membrane de vésicules lipidiques sont mises en présence de noradrénaline radioactive ; une électrophorèse des protéines vésiculaires est ensuite réalisée en conditions non dénaturantes pour rechercher une éventuelle interaction entre ces deux molécules. La radioactivité mesurée par autoradiographie après transfert du gel sur membrane est due à la présence de noradrénaline radioactive liée à des protéines QseC. Une comparaison entre le témoin (sans noradrénaline, radioactivité très faible) et le résultat obtenu avec noradrénaline (un peu moins de 10 000 cpm) prouve une interaction protéine QseC-noradrénaline : QseC est très probablement un récepteur membranaire

bactérien à la noradrénaline. L'ajout de phentolamine, un inhibiteur compétitif de la noradrénaline, divise par un peu moins de quatre la radioactivité mesurée. Il y a compétition entre la noradrénaline et la phentolamine pour la fixation sur QseC, ce qui atteste de la spécificité de l'interaction protéine-ligand entre QseC et la noradrénaline.

Des candidats écrivent que cette expérience nous apprend que QseC est localisée dans des vésicules, ou que la noradrénaline pénètre dans ces vésicules : cela révèle que le protocole expérimental n'a pas été compris. Écrire, comme d'autres candidats, que la radioactivité a été transférée de la noradrénaline aux protéines QseC n'a aucun sens. L'importance des conditions non dénaturantes de l'électrophorèse est rarement expliquée : elles permettent la préservation des interactions faibles (non covalentes) entre molécules. On pouvait faire ici un lien avec le document 1-1 A : QseC est un bon candidat pour jouer le rôle du récepteur dont l'existence a été supposée dès le début de la partie 1.

Document 1-3 B

Des vésicules lipidiques contenant les protéines QseC et QseB sont incubées en présence de noradrénaline et d'ATP marqué, dont l'atome de phosphore du groupement phosphate en γ est radioactif. Les extraits protéiques vésiculaires sont séparés par une électrophorèse en gel dénaturant : seules les liaisons covalentes sont préservées. Les protéines révélées par autoradiographie après transfert sur filtre le sont donc car elles ont été phosphorylées avec le groupement phosphate radioactif des molécules de $[\gamma^{32}\text{P}]\text{dATP}$. Le signal radioactif QseC est nul à t_0 puis très fort dès $t = 10$ min : après avoir interagi avec la noradrénaline, le récepteur membranaire QseC est rapidement phosphorylé. QseB est phosphorylée plus tardivement, à partir de $t = 30$ min (apparition d'un signal fort). On retrouve là un cas classique de transduction du signal par une série de phosphorylations qui débute au niveau d'un récepteur membranaire (QseC) et se poursuit avec une protéine cytoplasmique (QseB). Les vésicules ne contiennent pas d'autres protéines que QseC et QseB : on peut donc supposer que QseC est un récepteur kinase qui s'autophosphoryle, puis phosphoryle ensuite QseB. L'hypothèse du transfert d'un même groupement phosphate de QseC à QseB est envisageable, mais aucune diminution du signal pour QseC à partir de $t = 30$ min n'est pas observée (ATP radioactif en large excès ?) pour le confirmer.

Beaucoup d'approximations dans la compréhension de cette expérience : on n'observe ni la présence d'ATP (ou pire, sa synthèse), ni celle des protéines QseC et QseB (il ne s'agit pas d'un Western blot). Certains candidats pensent qu'on utilise là encore de la noradrénaline radioactive, ou suggèrent que la « taille des taches » reflète la quantité de protéines QseC et QseB synthétisées, ou, plus mystérieusement, l'« activité » de ces protéines...

Document 1-3 C

Il s'agit ici d'une électrophorèse d'ADN (probablement en conditions non dénaturantes) ; on suit la migration du promoteur d'un des gènes *LEE* marqué radioactivement. La première piste est le témoin qui montre jusqu'où migre le promoteur seul. En présence de QseB phosphorylée, la migration est limitée (piste 2) : cela révèle une interaction entre la protéine QseB phosphorylée et le fragment d'ADN marqué : cette protéine se fixe directement sur le promoteur du gène *LEE*, ce qui modifie probablement son taux de transcription. Aucun retard de migration n'est observé avec la piste 3, pour laquelle on a ajouté en plus de QseB

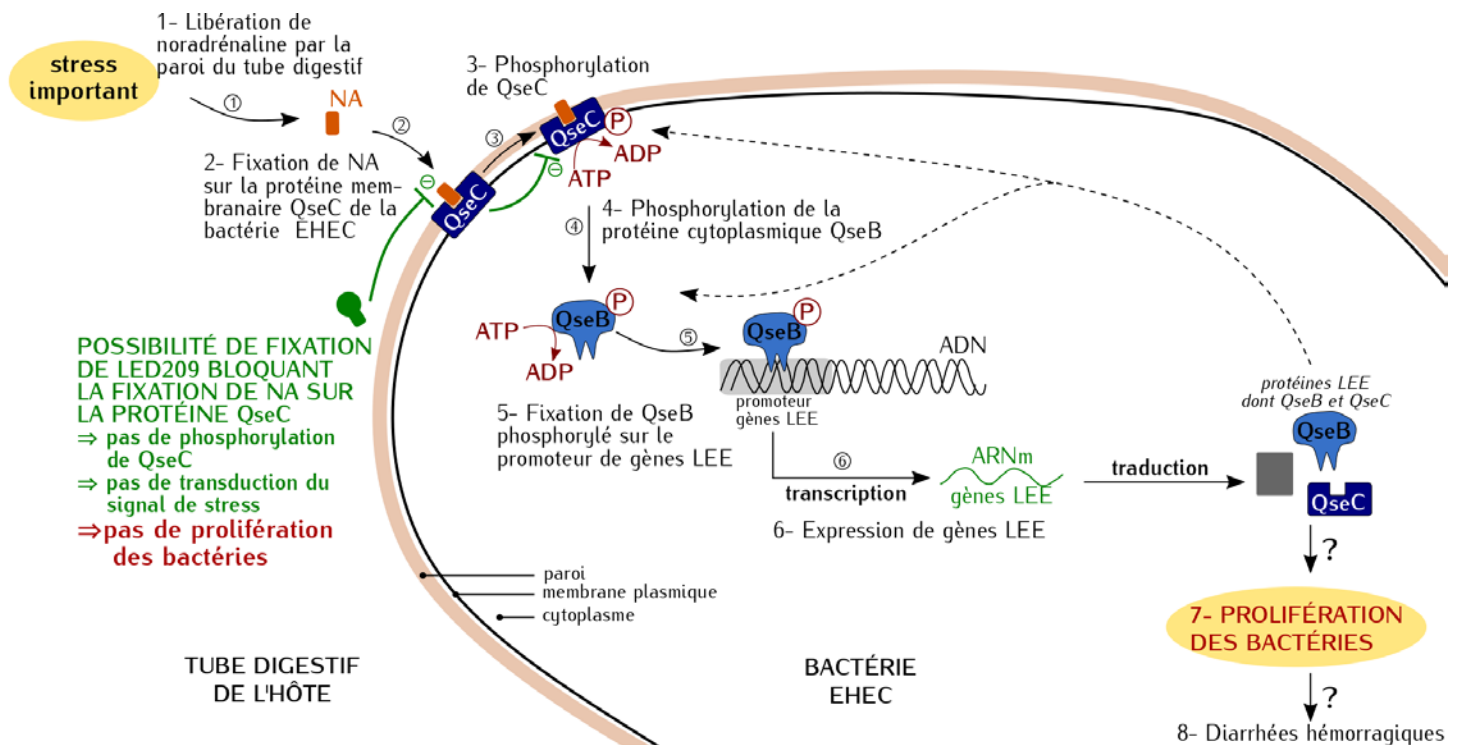
phosphorylée simultanément et en même quantité une forme radioactive et une forme non radioactive du même promoteur. Il fallait relever le caractère déconcertant de ce dernier résultat : on attendrait un signal plus faible situé au même niveau que celui de la piste 2.

Document souvent bien compris, mais la piste 3 est rarement commentée.

Schéma bilan

Il s'agissait là de faire le bilan d'un raisonnement avec clarté et exhaustivité, depuis l'événement initial (stress) jusqu'à sa conséquence finale (prolifération bactérienne, et diarrhées hémorragiques). On attendait un schéma complet, et non un texte, ou une liste d'étapes simplement reliées par des flèches. Trop de schémas sont minuscules, peu soignés, réalisés sans couleurs, confus, incomplets ; on rencontre aussi des schémas de grande taille, mais dont la zone d'intérêt (la bactérie) est très réduite. De nombreux candidats font réapparaître des molécules utilisées dans les protocoles expérimentaux analysés (phentolamine, β -galactosidase), la mutation des gènes LEE, les vésicules, etc. On rappelle par ailleurs que les bactéries ne comportent pas de noyau ! Les meilleurs candidats ont représenté l'existence d'un rétrocontrôle positif : la fixation de la noradrénaline sur son récepteur QseC stimule possiblement la synthèse de ce même récepteur, ainsi que celle de QseB, protéine intervient dans la transduction du signal associé.

Proposition de schéma bilan :



Partie 2 : Lutte contre les bactéries pathogènes du tube digestif

Document 1-4 Étude d'un nouvel antibiotique

Les effets de la molécule LED209, un antibiotique putatif dirigé contre les bactéries pathogènes du tube digestif, sont testés avec une expérience similaire à celle présentée dans le document 1-3 (électrophorèse en conditions dénaturantes de QseC après incubation avec de la noradrénaline marquée, puis autoradiographie). LED209 bloque la fixation de la noradrénaline sur son récepteur membranaire QseC : la radioactivité moyenne mesurée est en effet trois fois plus faible qu'en l'absence de LED209. Malgré l'importance de l'erreur standard à la moyenne pour les données expérimentales obtenues avec noradrénaline, mais sans LED209, on peut vérifier sur le graphique que cette différence est significative. LED209 est un ligand de QseC qui inhibe de façon compétitive ou non compétitive les effets de la noradrénaline sur la cellule : il pourrait donc être efficace pour bloquer *in vivo* la réponse des bactéries au stress de l'hôte, et ainsi être utilisé comme antibiotique.

Beaucoup de candidats se contentent de renvoyer au document 1-3 ; c'est insuffisant, on attendait ici aussi une explication du but de cette expérience, et une analyse de ses résultats. Il est impossible de trancher ici entre les deux mécanismes inhibiteurs possibles. Certains candidats indiquent que le LED209 empêche la synthèse de la noradrénaline : une telle erreur serait facilement évitée en se rappelant qu'il s'agit là d'une expérience réalisée in vitro.

Document 1-5 – Effet du LED209 chez les souris infectées par des bactéries pathogènes

On teste *in vivo* l'action du LED209 chez des souris ayant reçu par voie orale une souche bactérienne pathogène. La mesure de la charge bactérienne dans des broyats de deux portions différentes du tube digestif révèle que, dans les deux cas, le traitement permet de réduire cette charge de 80 % environ (les mesures sont regroupées près des moyennes correspondantes : cette baisse est nette). On en conclut que LED209 permet effectivement de limiter la prolifération bactérienne dans l'intestin ; cela a lieu par une action inhibitrice sur le récepteur bactérien à la noradrénaline sécrétée par l'hôte stressé. Il est donc justifié de s'intéresser à cette molécule pour le développement d'une nouvelle préparation antibiotique.

Attention à la lecture des valeurs sur l'axe des ordonnées, gradué en \log_{10} .

Complément au schéma bilan

On attendait que le mode d'action de LED209 figure sur le schéma bilan de ce thème 1 : fixation sur le récepteur QseC (sur le même site que la noradrénaline, ou sur un autre site).

Thème 2 : Satiété de l'hôte

Document 2-1 – Comportement alimentaire et sensation de satiété

Documents 2-1 A, 2-1 B et 2-1 C

Par l'étude de ces graphiques, il s'agissait de repérer que les bactéries en phase stationnaire produisent des protéines (dont la protéine ClpB) qui provoquent la sensation de satiété : les rats mangent deux fois moins pendant les deux premières heures (A) et la satiété augmente d'un facteur 2 (B). Le document 2-1C montrait que les protéines totales produites par les bactéries en phase exponentielle n'influencent pas la taille des repas, toutes les barres d'erreur se chevauchant autour de 100 %. On confirme que les bactéries en phase stationnaire produisent des protéines qui provoquent la sensation de satiété, car la taille des repas diminue de 20 % (effet significatif).

Cette partie a été bien traitée par la majorité des candidats, même si le lien avec la protéine ClpB, mentionnée dans l'introduction, a rarement été proposé. Au contraire, d'autres candidats affirment que les phénomènes étudiés sont dus à ClpB, ce qui n'est pas possible à ce stade (on injecte des protéines totales). Peu d'analyses quantitatives des résultats ont été proposées ici.

Document 2-2 – Un éventuel messager bactérien

Documents 2-2 A, 2-2 B, 2-2 C et 2-2 D

Le document 2-2A permettait de vérifier que la protéine ClpB est significativement 3 fois plus abondante (donc synthétisée) par les bactéries en phase stationnaire, conformément à l'introduction du thème 2. Cette protéine diffuse bien dans la muqueuse du côlon de l'hôte (2-2B), mais pas forcément dans le plasma de la veine porte, en tout cas pas en 20 min (2-2C). Pourtant la protéine ClpB est bien deux fois plus abondante dans la circulation générale (carotide) au bout de 3 semaines d'injections intragastriques répétées (2-2D). Ainsi, il est difficile de trancher : la protéine ClpB produite par les bactéries de la lumière de l'intestin diffuse-t-elle dans le sang de l'hôte ? Non, d'après le doc 2-2C, oui, d'après le doc 2-2D, à plus long terme. D'autre part, à T_0 et avec le milieu de culture seul (LB), la quantité de protéine ClpB est déjà forte dans le sang, ce qui est étrange : cette protéine serait-elle endogène (une hormone produite par l'hôte) ? Ou ClpB serait-elle issue du microbiote naturel des rats présent avant injection ? Une autre possibilité pour expliquer cela serait peut-être la présence d'une molécule endogène à la structure très similaire et donc détectée comme étant ClpB.

Si l'analyse quantitative des résultats était souvent bonne, l'interprétation de ces résultats manquait dans la majorité des copies. Peu de candidats ont établi le lien entre la présence de ClpB dans la muqueuse du côlon, et le fait que la protéine avait effectivement diffusé à partir de la lumière dans les cellules de la paroi du côlon. De même, la discussion sur l'absence de ClpB dans la veine porte à court terme mais sa présence dans la circulation générale à long terme n'a pas été menée. Néanmoins, un bon nombre de candidats se sont interrogés sur la concentration basale en ClpB dans le sang à T_0 ou lors de l'injection de milieu de culture seul (LB), conformément aux consignes.

Document 2-3 – Activité transcriptionnelle de neurones dans l'hypothalamus

Ces sections d'hypothalamus immuno-marquées pour le facteur de transcription c-FOS (vert) et les β -endorphines (rouges) étudiées en présence d'une solution tampon ou de bactéries en phase exponentielle ou stationnaire montrent que les bactéries en phase stationnaire produisent des protéines (dont ClpB) qui diffusent dans le sang de l'hôte et agissent sur l'hypothalamus. Ces protéines augmentent la synthèse du facteur de transcription c-FOS (augmentation du signal vert dans le noyau des neurones) et des β -endorphines (augmentation du signal rouge dans le cytoplasme). La corrélation négative entre le nombre de cellules c-FOS⁺ et la prise alimentaire montre que ces deux molécules modifient probablement l'activité de ces neurones et augmentent la sensation de satiété. Des protéines produites par *E. Coli* en phase stationnaire, et particulièrement ClpB passées dans le sang auraient-elles agi directement comme des neurotransmetteurs sur ces neurones ?

Si le repérage de l'augmentation de fluorescence verte et rouge en phase stationnaire n'a posé aucun souci majeur aux candidats, l'interprétation correcte en lien avec les documents précédents (ClpB diffuse dans le sang et active la transcription de c-FOS et la synthèse des β -endorphines) est rarement apparue dans les copies. Le lien entre le nombre de cellules émettant un signal c-FOS et la baisse de la prise alimentaire a quant à lui été bien repéré, même si certains candidats concluent de façon erronée que c'est la baisse de la prise alimentaire qui provoque l'augmentation du nombre des cellules dans lesquelles on observe une synthèse de c-FOS.

Document 2-4 – Activité électrique de neurones de l'hypothalamus

Ces expériences de patch-clamp réalisées sur des neurones d'hypothalamus de souris transgéniques montrent que le neurone en cours d'enregistrement est fluorescent donc il produit la protéine POMC (technique du gène rapporteur avec le gène de la GFP) : ce neurone synthétise donc les neurotransmetteurs α -MSH et β -endorphines. On note une forte augmentation de l'activité électrique du neurone quand ce dernier est perfusé avec ClpB (on peut considérer qu'un pic d'intensité de courant en pA = 1 potentiel d'action), avec une réponse prolongée dans le temps quand la perfusion s'arrête. On confirme ainsi que la protéine ClpB a un effet direct sur les neurones de l'hypothalamus, et que ces derniers possèdent un récepteur à ClpB sur leur membrane. Étant un analogue du neurotransmetteur α -MSH, qui est également synthétisé par ce neurone comme l'indique la fluorescence, les résultats suggèrent une auto-activation ou un rétrocontrôle positif du neurone : ClpB active le neurone ce qui entraîne la production du neurotransmetteur α -MSH qui auto-active à nouveau le neurone (phénomène d'autocrinie), ce qui entraîne l'excitation prolongée dans le temps après la perfusion de ClpB.

Très peu de candidats sont parvenus à ce point. Certains ont tout de même eu le temps de décrire l'activation du neurone en réponse à la perfusion de ClpB ainsi que l'augmentation de la production d' α -MSH et de β -endorphines, mais l'action prolongée dans le temps n'a pas été notée, ni interprétée.

Schéma bilan :

Il s'agissait dans ce schéma de montrer que la prise d'un repas entraîne la prolifération des bactéries du microbiote en phase exponentielle puis stationnaire, ces dernières synthétisant la protéine ClpB dans la lumière de l'intestin ; cette protéine est capable de diffuser dans le sang (?) et a une action directe sur neurones de l'hypothalamus en activant la transcription de c-FOS, β -endorphines, α -MSH et en permettant l'augmentation de l'activité électrique des neurones. Ces neurones répondent à une autostimulation via le neurotransmetteur α -MSH, ce qui entraîne une sensation de satiété qui provient de l'hypothalamus et amène à la fin du repas.

Proposition de schéma bilan :

