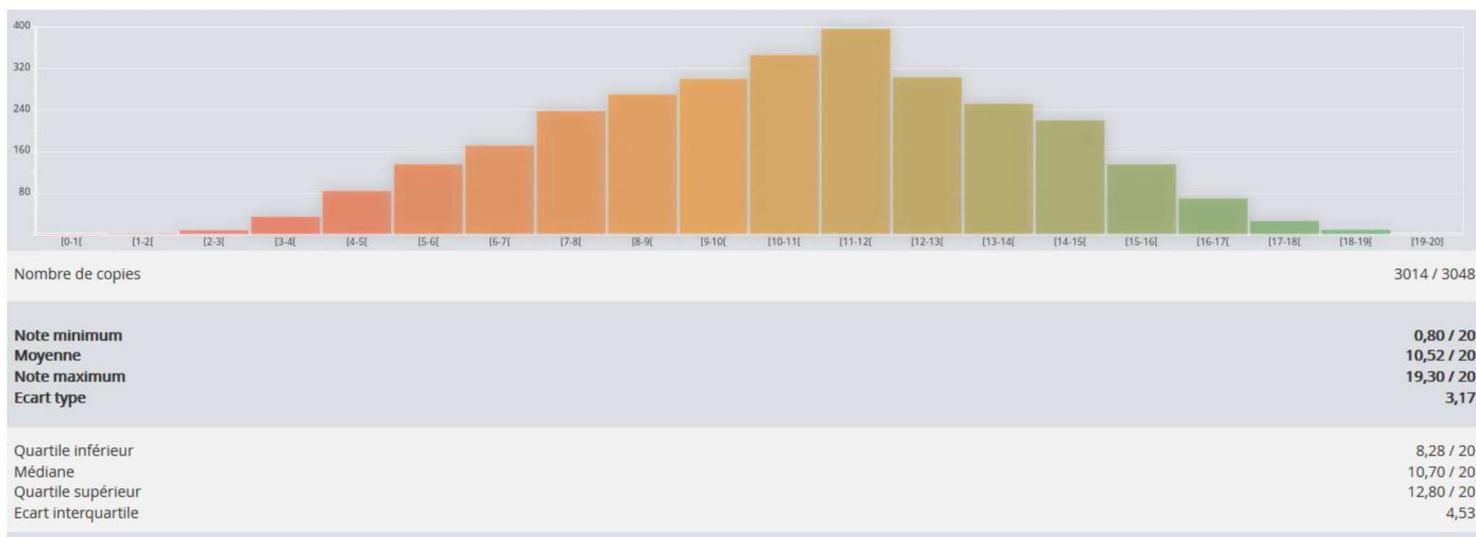


## CONCOURS A BCPST - SESSION 2020

### RAPPORT DE L'ÉPREUVE ÉCRITE DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

#### ÉPREUVE SUR SUPPORT DE DOCUMENTS



#### I. Présentation générale de l'épreuve et du sujet

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. Compte tenu des mesures sanitaires liées à l'épidémie de COVID-19, cette épreuve écrite a eu valeur d'épreuve d'admission pour l'ensemble des candidats. L'enjeu était donc de pouvoir juger au mieux des connaissances et capacités des candidats. À ce titre, les deux sujets permettaient de questionner les candidats sur de nombreuses compétences couvrant à la fois les programmes de première et de deuxième année de classe BCPST.

Le sujet de géologie, distribué en début d'épreuve, était structuré en quatre parties indépendantes, autour de questions précises permettant d'évaluer à la fois les acquis fondamentaux du programme au travers de questions de cours, ainsi que des capacités scientifiques variées, reposant sur l'exploitation de documents en lien avec le programme. Des réponses claires, concises et argumentées sont attendues. L'autonomie, l'initiative et la réflexion du candidat sont aussi testées par une ou des question(s) plus ouverte(s), sollicitant à la fois connaissances personnelles et exploitation de plusieurs documents.

Le sujet de biologie, distribué aux candidats au début de la troisième heure d'épreuve, était structuré en quatre parties et une dernière constituant un bilan de l'ensemble de l'épreuve. À ce titre, il était fortement conseillé au candidat de traiter les questions dans l'ordre du sujet. Ce sujet aborde à la fois des questions précises permettant de guider le candidat, d'évaluer des connaissances théoriques, ainsi que des questions plus ouvertes permettant de mettre en relation des résultats, d'exercer son esprit critique.

En géologie (champ disciplinaire non évalué dans une autre épreuve écrite), plusieurs questions visent à évaluer le socle de connaissances des candidats (par exemple, la question 1a : « Définissez les termes de déformation élastique, plastique et cassante d'une roche. »). La réflexion face à un problème est quant à elle abordée par des questions telles que la 6b où il est demandé de déterminer un facteur expliquant la résistance de la lithosphère à la déformation, à l'échelle de la France métropolitaine. En biologie, les questions de connaissances sont rares et forcément en lien direct

avec l'interprétation d'un document associé. C'était par exemple le cas de la question 8a qui demandait « d'interpréter les résultats du document 8 en termes de variation de la perméabilité membranaire » afin d'identifier un potentiel d'action. Les informations hors-programme nécessaires à l'analyse de certains documents sont fournies. Par rapport à l'année précédente, le sujet de géologie était plus court que ceux des sessions antérieures tandis que celui de biologie était de longueur relativement similaire (9 pages en géologie, 11 pages en biologie). Cette année, le niveau moyen des candidats est assez similaire entre la biologie et la géologie.

Des questions explicites sont systématiquement associées aux documents. Les candidats doivent veiller à bien lire les consignes propres à chaque question, les respecter et y répondre clairement. En particulier, des questions de type « Décrivez » ou « Interprétez » les résultats présentés dans tel document, correspondent à des consignes et donc des attendus différents.

Dans le cas fréquent d'une question de type « Interprétez les résultats présentés dans tel document », le candidat veillera dans un premier temps à saisir de manière très concise les informations pertinentes du document, en les quantifiant le cas échéant. Dans un second temps, il s'agit de véritablement les interpréter : nommer les phénomènes mis en évidence, réfléchir aux causes, aux conséquences et formuler des hypothèses explicatives, par exemple sur les mécanismes impliqués, si besoin en lien explicite avec le ou les document(s) précédent(s).

Les copies étant dématérialisées, il est interdit de découper des documents et de les coller sur sa copie. En géologie, deux **annexes** (format A3) étaient fournies avec le sujet. Une première à rendre obligatoirement avec la copie, une seconde permettant de tracer la coupe géologique demandée en question 4a. L'annexe à rendre contenait les documents ou figures à annoter, légènder ou compléter, conformément aux consignes explicites des questions correspondantes.

Le sujet de géologie proposait aux candidats d'**étudier des structures géologiques à différentes échelles spatiales**. Il sollicitait des acquis capitalisés dans des parties variées du programme de cours et de TP de BCPST 1 et 2 : « I-A Structure de la planète Terre », « I-B Dynamique des enveloppes terrestres », « III La géologie, une science historique », « IV La carte géologique », « V-B Processus fondamentaux du magmatisme », « VI-B La sédimentation des particules et des solutés », « VI-C-2 Organisation des corps sédimentaires et signification au sein des bassins » et « VII Déformations de la lithosphère et transformations minérales associées ».

Le sujet de biologie abordait différents aspects moléculaires, cellulaires, physiologiques et évolutifs permettant de comprendre **l'origine de la toxicité liée au la tétrodotoxine (TTX) et son mode d'action chez un téléostéen de la famille des Tétrodontidés, le poisson-globe**. La partie 1 s'intéressait à la localisation de la TTX chez les Tétrodontidés. La partie 2 permettait d'identifier l'origine de la toxine chez ce groupe. La partie 3, plus longue, proposait aux candidats de déterminer la fonction et le mode d'action de la TTX, toujours chez les Tétrodontidés. Enfin la quatrième et dernière partie, brève, replaçait la toxicité liée à la TTX dans un cadre évolutif avant de compléter un schéma bilan reprenant les éléments de réponses des parties 1, 2 et 3. Le sujet sollicitait les parties du programme suivantes : « I-A-1 L'eau, les petites molécules organiques », et « I-B-3 Membranes et échanges », « I-B-4 Membrane et différence de potentiel électrique : potentiel de repos, d'action et transmission synaptique », quelques notions du « II-D-1 reproduction des organismes animaux et végétaux », « III-A Les populations et leur dynamique », « IV-D Les mécanismes de l'évolution » et « IV-E Une approche phylogénétique de la biodiversité ». Enfin il sollicitait directement les TP d'histologie de première année.

Les points du barème sont distribués sur plusieurs groupes de compétences spécifiques :

- 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 évaluées selon un système de curseurs. La compétence E (communication) est évaluée globalement sur l'ensemble de la copie. Un extrait de grille de correction vierge est indiqué ci-dessous (le total des points par question apparaît dans la colonne de droite, avant d'avoir réalisé le calcul ramenant la note finale sur 20 points).

	A		B		C		D		Points obtenus
	Curseur	Points	Curseur	Points	Curseur	Points	Curseur	Points	
Géologie - Question 1.1a (mobiliser des connaissances)			0,66	2					1,33
Géologie - Question 1.1b (recueillir des informations)	1	1							1
Géologie - Question 1.3b (présenter graphiquement analyses et conclusions)							0,33	4	1,33
Géologie - Question 1.3c3 (exercer son esprit critique)					0,66	1			0,66
Biologie - Question 1a (recueillir des informations, mobiliser des connaissances)	1	1	1	2					3
Biologie - Question 2c (exercer son esprit critique)					0	2			0
Biologie - Question 4 (présenter graphiquement analyses et conclusions)							0,66	6	4
Biologie - Question 7a (recueillir des informations)			0,33	1					0,33

## II. Observations générales sur les copies

### Sur la forme

Les copies sont en majorité claires et agréables à lire : la rédaction et la syntaxe sont satisfaisantes. Le soin apporté à l'écriture est tout à fait convenable dans la plupart des cas, voire très bon pour certaines représentations graphiques. Cependant, dans quelques cas, les copies sont illisibles. La communication écrite mérite un minimum de soins afin de pouvoir être lu et compris. Le jury rappelle l'importance d'utiliser des stylos de couleur foncée de bonne qualité, afin de faciliter la lecture de la copie numérisée. Les consignes (décrire, interpréter, tracer, etc.) sont bien respectées dans les deux disciplines mais la concision doit être mise en valeur dans l'exploitation des documents. Pour cela, il est important de rappeler aux candidats que la paraphrase doit être évitée car de nombreux candidats se pénalisent en recopiant des données et ne terminent pas l'épreuve. L'orthographe doit être surveillée et les abréviations personnelles évitées. Les éléments importants des réponses doivent être mis en valeur, par exemple en les soulignant. L'emploi de couleurs (stylos ou feutres fins) est conseillé. Les réponses doivent être structurées en paragraphes si nécessaire. Les productions graphiques sur la copie et les annotations des annexes doivent être réalisées avec soin ; un titre est obligatoire pour chaque production graphique.

### En géologie

La première partie portant sur la rhéologie est la mieux réussie, malgré le fait qu'elle contenait le plus de connaissances de cours. Le sujet est un peu mieux réussi que celui de l'année dernière. Un constat : pour l'immense majorité des copies, il peut y avoir une distance importante entre la maîtrise d'un concept ou d'une technique, et la capacité à l'utiliser pour raisonner. Que ce soit en cartographie, en rhéologie, en chronologie relative ou encore en sédimentologie, certaines connaissances peuvent être restituées avec précision, mais posent davantage problème

lorsqu'il faut les transposer et les utiliser pour raisonner, et ce y compris dans les très bonnes copies. Les questions qui posent le plus de difficultés sont celles qui font intervenir des raisonnements à plusieurs étapes nécessitant une mise en relation de différentes informations et la mobilisation de l'esprit critique.

### **En biologie**

Le sujet de cette année demandait de critiquer une figure et certains protocoles. Dans l'ensemble, les candidats ont fait preuve d'un réel esprit critique et ont su pointer les limites des expériences réalisées. Le jury regrette toutefois les trop nombreuses critiques se limitant à un cumul de propositions non expliquées (« réaliser plus de réplicats », « tester davantage d'organes », etc). Les critiques du protocole ou des figures doivent servir la réponse au problème biologique posé dans l'expérience et ne doivent pas être énoncés *pour elles-mêmes*. Le jury est satisfait de la précision générale des réponses aux questions, mais souligne que de nombreux candidats restent très évasifs. Une réponse à la question sur un « mécanisme » nécessite l'explication d'un phénomène, un « rôle biologique » n'est pas une simple localisation. Par ailleurs, le jury tient à souligner que l'épreuve, à travers l'étude de documents variés sur différentes échelles du vivant, valorise la maîtrise des ordres de grandeur par les candidats et le recul dont ils peuvent témoigner face à une valeur aberrante. Le calcul de proportionnalité, ou encore la discussion d'un résultat en le confrontant au réel (par exemple, une masse), doivent être davantage maîtrisés par les candidats. Le jury félicite également les nombreux candidats ayant pu remplacer de trop longues descriptions exhaustives des documents par des schémas ou tableaux pertinents et que les conclusions aient parfois été données sous forme de schémas interprétatifs plutôt que de longs textes. Enfin, le jury tient à souligner que la plupart des candidats (environ deux tiers) a traité le thème 4 ainsi que le schéma-bilan, indiquant ainsi que, dans l'ensemble, les candidats ont bien géré leur temps.

Le jury attire l'attention des candidats sur la nécessité de bien gérer le délicat équilibre entre la concision et un niveau de précision suffisant. La concision est une qualité nécessaire notamment pour aborder l'ensemble des questions et accéder ainsi à l'ensemble des points du barème.

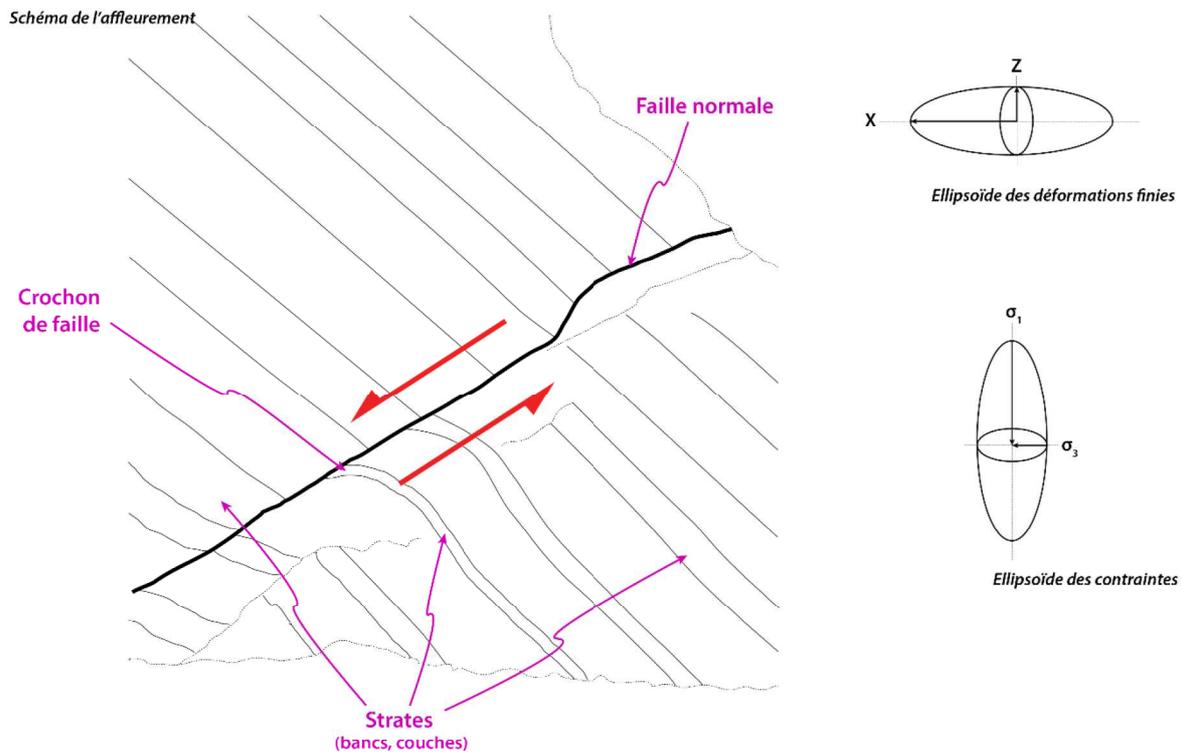
### **III. Commentaires sur la partie géologie**

#### **Thème 1 : étude de structures tectoniques à l'échelle de l'affleurement et de l'échantillon**

Cette partie, massivement traitée par les candidats, est la mieux réussie du sujet. Les questions de connaissances sont dans leur ensemble bien réussies, ce qui témoigne d'une bonne maîtrise scientifique de ce thème par la majorité des candidats.

- **Question 1**

Après avoir défini les concepts de base de cette partie du programme (déformation élastique, plastique, cassante et contrainte), cette question porte sur l'étude d'un affleurement près de Saint-Jean-de-Luz. L'objectif est d'analyser la déformation visible à l'affleurement, en deux étapes classiques : caractérisation de la déformation finie puis établissement du lien avec l'orientation des contraintes. La question 1d demande au candidat de rappeler qu'il n'est possible de faire le lien entre l'ellipsoïde des déformations finies et l'ellipsoïde des contraintes que dans le cas de contraintes coaxiales. La photographie de l'affleurement présente un exemple de déformation cassante de la roche, puisqu'il s'agit d'une faille qui recoupe les flyschs de la côte basque. La présence de crochons permet de caractériser les mouvements des deux blocs : la faille est donc normale, et l'axe d'allongement principal horizontal.



Il est attendu d'un schéma qu'il soit ressemblant, qu'il mette en valeur les éléments importants de l'image (plan de faille, quelques bancs repères) et qu'il possède un titre et une légende correcte.

La grande majorité des candidats obtient le maximum des points de connaissances (1a, 1b, 1d) sur cette question. Les schémas sont plutôt bien exécutés, mais – alors que la question demande explicitement un « schéma titré et légendé » – un nombre significatif d'entre eux se retrouve sans titre, avec des légendes incomplètes, voire inexistantes.

Concernant l'ellipsoïde des déformations, des réponses très diverses ont été proposées par les candidats. Le jury a fait preuve de tolérance sur l'angle entre le plan de faille et l'axe d'allongement principal, et a surtout valorisé les réponses argumentées qui font preuve de logique et de cohérence. En effet, dans un certain nombre de copies, on trouve une faille normale bien représentée et légendée, mais un ellipsoïde des déformations incorrect. L'ellipsoïde des contraintes est la plupart du temps cohérent avec l'ellipsoïde des déformations ; ici, les connaissances sont bien présentes, mais il reste quelques difficultés à les appliquer au réel. De la même manière, le terme de « crochon » n'étant pas exigible, certaines réponses montrant une cohérence schéma – ellipsoïdes ont pu être valorisées, malgré quelques erreurs d'observations. Un petit nombre de réponses fait état de confusions importantes : des déformations et des contraintes présentées sur le même ellipsoïde, des ellipsoïdes sphériques, ou encore des mécanismes au foyer.

## • Question 2

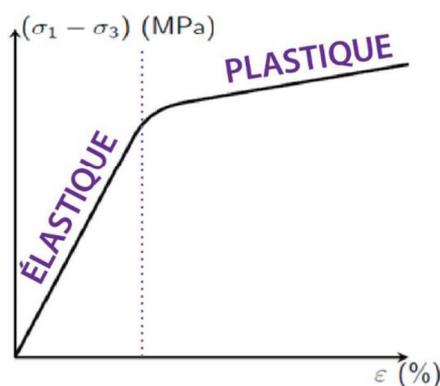
Cette question nécessite de décrire et identifier trois microstructures sur des photographies : (1) un pli avec des fentes de tension à l'extrados (2) des joints stylolithiques et (3) des fentes de tension en échelon. Le pli est dû à la déformation d'une roche ductile et les fentes de tension à une déformation cassante. Le cas des stylolithes est évidemment plus complexe scientifiquement, mais cela n'a semblé poser aucun problème aux candidats qui ont massivement répondu « cassant ». Le jury n'a pas pénalisé l'absence de réponse pour ce point et a valorisé quelques candidats qui ont proposé une discussion réfléchie sur la diversité des conditions rhéologiques de la formation des stylolithes.

La représentation de l'ellipsoïde des déformations finies sur la photographie de stylolithes a été très bien réussie, de même que la réaction de dissolution d'un carbonate calcique :  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$ .

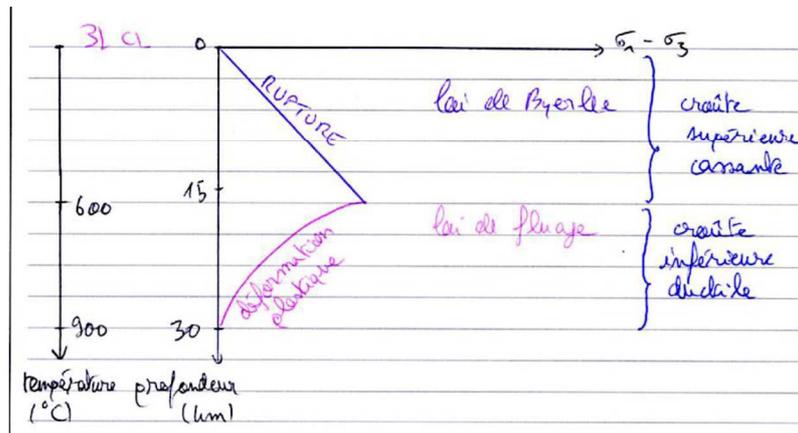
La dernière partie (2d) de la question, qui nécessite un peu de recul scientifique, est en revanche moins bien traitée. Beaucoup de réponses se résument malheureusement à « *les déformations sont différentes donc les contraintes étaient différentes* », ce qui – en plus d’être peu riche – souffre d’un nombre de contre-exemples nombreux, parmi lesquels la coexistence possible des stylolithes et des fentes de tension dans un même champ de contrainte. Trop peu de candidats ont vraiment utilisé les photographies du document 2 pour rédiger leur réponse. Un petit nombre de candidats a néanmoins réussi à proposer des axes de discussion intéressants et bien argumentés, parmi lesquels : la diversité des effets de la déformation sur l’équilibre dissolution-précipitation de la calcite, les paramètres responsables de la diversité des déformations dans une roche carbonatée, la diversité des effets de la précipitation de la calcite suite à la déformation, etc.

- **Question 3**

L’annotation des domaines élastique et plastique sur le graphe (document 3) ne pose aucune difficulté et cette question est bien traitée par l’immense majorité des candidats. Le document 4 est également bien analysé dans l’ensemble : la plupart des candidats interprète convenablement l’augmentation de la quantité de déformation avant rupture en réponse à l’augmentation de température par le comportement plus ductile de la roche. En revanche, l’effet de la température sur la diminution du seuil de plasticité de 400 à 200 MPa est moins souvent présente dans les réponses.



La dernière partie de la question (3c) nécessite de mettre en relation les connaissances sur le profil rhéologique de la croûte continentale et les données expérimentales du document 4. Le sujet n’impose aucun formalisme particulier, mais les candidats ont principalement fait le choix – particulièrement approprié – d’inclure un graphique dans leur réponse. Dans tous les cas, l’idée essentielle à développer ici est l’existence d’une dualité du comportement rhéologique de la croûte continentale : une croûte supérieure cassante, une croûte inférieure ductile. Les candidats ont dégagé, du document 4 et de leurs connaissances du programme de BCPST, plusieurs arguments : l’augmentation de la température et de la pression lithostatique avec la profondeur qui a tendance à repousser le seuil de rupture, et surtout la loi de Byerlee et les lois de fluage des matériaux de la croûte (cf. exemple ci-dessous extrait de copies de candidats).



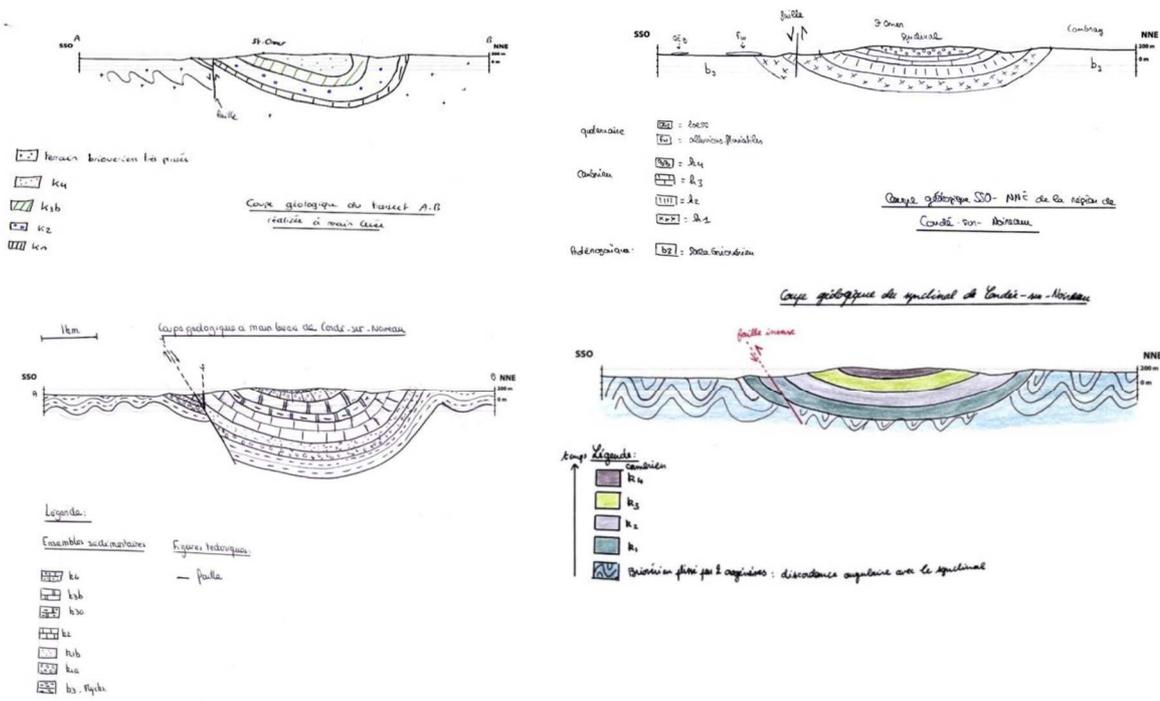
Les candidats qui ont traité cette question ont proposé des profils rhéologiques tout à fait convenables. Cela dit, la réponse à cette question met en lumière quelques confusions récurrentes :

1. Certains candidats confondent la croûte et la lithosphère. Ces confusions vont de maladroites de schématisation du profil rhéologique de la croûte (qui est en fait celui de la lithosphère), à des confusions plus lourdes lorsque certains candidats considèrent explicitement que la croûte continentale fait 100 km d'épaisseur ou possède deux niveaux de découplage.
2. Dans un certain nombre de réponses, la croûte continentale est intégralement cassante. Ces candidats passent ainsi à côté de la dualité de son comportement rhéologique.

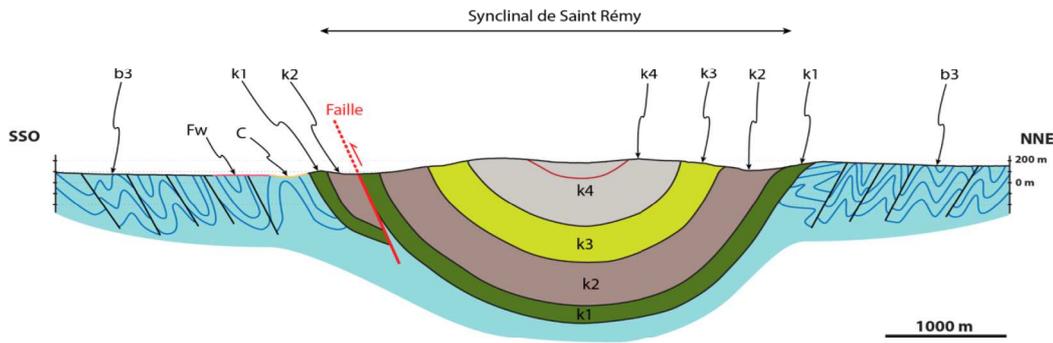
## Thème 2 : étude de structures tectoniques à l'échelle régionale

### • Question 4

**4.a.** La coupe géologique a été traitée par de très nombreux candidats et la plupart de ceux qui ont essayé ont réalisé des coupes tout à fait correctes puisque les trois quarts d'entre eux sont capables de comprendre le premier ordre (la présence du synclinal et sa position stratigraphique par rapport au Briovérien). Beaucoup de coupes représentent aussi avec précision un certain nombre d'éléments de second ordre (la faille du flanc sud, les plis et failles dans le briovérien, les dépôts du Quaternaire, etc.). Les aspects strictement « techniques » de la coupe géologique, comme le respect de l'épaisseur des couches ou l'utilisation des informations de pendage, sont bien maîtrisés. La bonne réussite d'ensemble de cette question dans le temps imparti témoigne d'une bonne préparation technique des candidats à l'exercice « classique » de la coupe à main levée à partir d'une carte géologique au 1 : 50 000, comme peuvent en témoigner les exemples ci-dessous.



**Proposition de corrigé :**



Coupe géologique simple SSO - NNE d'après la carte de Condé-sur-Noireau (1/50 000)

4.b. L'objectif de cette question était de démontrer que les valeurs et l'orientation des pendages étaient globalement compatibles avec une structure synclinale d'axe Nord-Nord-Ouest/Sud-Sud-Est, avec une terminaison périclinale (le pli se prolongeant vers le Nord-Ouest). Par ailleurs, il était possible de remarquer que la schistosité dans les couches k4 du flanc nord du pli était verticale ou à pendage vers le nord, indiquant un recoupement entre la schistosité et la stratification. Peu de candidats ont vraiment répondu à la question en comparant les directions et les pendages des plans. Cela a souvent donné lieu à des réponses vagues de type « c'est une zone au passé tectonique très actif », ou cherchant des explications géodynamiques compliquées (subductions, métamorphisme), pour une question qui portait avant tout sur la géométrie des structures. Le jury a valorisé la pertinence de la réflexion dans les propositions des candidats. Il est rappelé aux candidats que les noms des formations géologiques décrites dans les cartes au 1 : 50 000 sont à relier au contexte et à l'époque de publication de la carte et aux habitudes régionales. Par exemple, ici, la « formation des Schistes verts du Pont-de-la-Mousse » n'est pas à comprendre comme un faciès métamorphique de type « schiste vert » : il s'agit simplement du nom de cette formation décrite par le terme – certes ancien et peu informatif – de « schiste » et sa couleur verte, tout comme les « schistes violacés » et « schistes rouges » qui l'entourent stratigraphiquement. Les pétrologies sédimentaires évoquées dans la légende de la carte (siltites, grès, calcaires) pour ces formations ne vont d'ailleurs pas dans le sens du « métamorphisme de subduction » décrit par certains candidats.

Le jury rappelle aussi que les valeurs de l'inclinaison des pendages et des schistosités sur les cartes géologiques sont exprimées en degrés ; trop de candidats les écrivent en effet comme des grandeurs sans unités.

**4.c.** L'objectif de cette question était de démontrer, grâce à l'étude des pendages (de direction est-ouest indiquant des plongements vers le Sud ou le Nord), l'existence de nombreux plis d'axe globalement est-ouest dans le briovérien. Plusieurs éléments pouvaient être déduits de cette analyse : la quasi-verticalité de certains flancs de plis, la présence de plis couchés (pendages de séries renversées), la succession de plis synclinaux et anticlinaux, etc. Ces éléments ont été correctement identifiés par certains candidats, après une analyse plus ou moins rigoureuse des informations de pendage. Cela dit, le jury souhaite attirer l'attention sur une confusion assez lourde, présente dans plus de la moitié des réponses des candidats : une confusion entre pente du terrain et pendage des couches. De fait, la majorité des réponses à cette question explique que l'inclinaison des couches est due à la présence de la rivière. Cette idée est argumentée de diverses manières, par exemple : « l'érosion due au cours d'eau fait pencher les roches en direction de la rivière », « la présence d'eau provoque une déformation ductile », « on a une déformation rotationnelle de type méandre ». Le nombre important de candidats qui commentent ces erreurs est très surprenant. Il semble mettre en lumière des incompréhensions importantes sur les processus érosifs, les processus tectoniques et les échelles de temps, ou du moins des difficultés à faire des liens entre ces différents éléments. Le jury constate d'ailleurs que beaucoup de candidats qui confondent « pendage d'une couche » et « pente topographique » en question 4.c ont malgré cela réalisé une coupe géologique tout à fait correcte en question 4.a. Il semblerait donc que de nombreux candidats aient décorrélé l'apprentissage « technique » de la coupe géologique du reste de leurs connaissances.

**4.d.** Le pli de la zone 1 a une longueur d'onde plurikilométrique (> 3 km) alors que les plis de la zone 2 ont une longueur d'onde beaucoup plus faible (quelques centaines de mètres).

- **Question 5**

L'épisode tectonique sur lequel porte la question est à l'origine du synclinal de Saint-Remy. Il s'agit de construire un raisonnement classique de chronologie relative qui peut se résumer de la manière suivante :

- Les roches les plus anciennes non affectées par le plissement sont les roches de la série Jurassique ( $I_{5-6}$ ,  $I_{7-J_0}$ ,  $J_1$ ) en haut à droite de la carte (subhorizontales). Le plissement est donc antérieur au Jurassique. Le même raisonnement, effectué avec les roches du quaternaire (C,  $\text{Æy}$ , Fw, RS/lj, etc), a été accepté par le jury.
- Les roches les plus jeunes affectées par le pli se trouvent dans le cœur du synclinal : ce sont des roches de l'Ordovicien ( $O_3$ ). Le plissement est donc postérieur à l'Ordovicien.
- On utilise ici le principe de recoupement (le pli est postérieur aux roches qu'il affecte) et de superposition (les roches les plus jeunes recouvrent les roches les plus anciennes). Le plissement a donc eu lieu entre la fin de l'Ordovicien et le début du Jurassique.

Il s'agit d'un cycle orogénique post-Ordovicien et anté-Jurassique, dans le nord-ouest de la France. Le seul qui corresponde est le cycle hercynien (ou varisque) qui a lieu à la fin du Paléozoïque. Cette question a été diversement réussie, avec des chronologies relatives mal argumentées, ou contenant des confusions (postérieur/antérieur), ou des principes de superposition et recoupement mal utilisés ou non connus. Le jury a valorisé les candidats qui argumentent correctement les événements tectoniques qu'ils décrivent, même si la chronologie n'est pas complète.

- **Question 6**

L'analyse du document 6 permet de changer d'échelle et d'étudier la déformation à l'échelle lithosphérique. La première partie de la question, très bien réussie dans l'ensemble, permettait d'établir que la lithosphère des Alpes est beaucoup moins résistante à la déformation que la lithosphère du Massif armoricain. Il est rappelé que le jury n'attend

pas de longue paraphrase des documents, et qu'il est inutile de décrire les couleurs des légendes : cela ne replace en aucun cas une analyse quantitative précise.

La seconde partie de la question nécessitait de réfléchir à une hypothèse expliquant cette différence de résistance. L'hypothèse principale est l'âge thermomécanique de la lithosphère : d'après leurs connaissances, les candidats savent que l'histoire tectono-métamorphique des Alpes est très récente par rapport à celle du massif Armoricaïn (massif ancien). Il est donc possible de faire l'hypothèse que le gradient géothermique dans les Alpes est plus fort que dans le Massif armoricaïn, qui a l'air de se comporter comme un craton. Cette température plus importante à une même profondeur se traduirait par une plus forte épaisseur de la lithosphère ductile (voire élastique) et donc une chute de la résistance mécanique globale. Cette question a posé un certain nombre de difficultés aux candidats. Tout d'abord, beaucoup d'entre eux se sont limités à évoquer l'âge des roches, ce qui n'est pas une explication suffisante (il suffit de considérer l'âge des massifs cristallins alpins, par exemple). D'autres ont évoqué la présence de failles comme une *cause* de la faible résistance des Alpes à la déformation, ce qui est une forme de contresens. D'autres encore ont expliqué ces différences par une différence supposée de nature des roches (granites en Bretagne vs roches sédimentaires dans les Alpes) qui est non seulement caricaturale, mais n'explique pas non plus le comportement rhéologique.

Un très petit nombre de candidats a judicieusement fait remarquer que l'épaisseur de la lithosphère pouvait aussi influencer sur sa capacité à résister à la déformation. Ces réponses ont été valorisées.

### Thème 3 : étude de structures sédimentaires à l'échelle de l'affleurement

#### • Question 7

Cette question vise à faire construire aux candidats un raisonnement autonome à partir de documents, sans les guider par des questions intermédiaires. La qualité des réponses est assez variable : un sixième des candidats n'a pas traité la question et seul un tiers des candidats a réussi à saisir des informations dans les documents et à les mettre en relation entre elles de manière cohérente. Voici un exemple du type de raisonnement attendu (et observé dans un certain nombre de copies) :

- Les trois premières photographies (a, b, c) permettent de reconnaître des sédiments détritiques granoclassés, et de déterminer que la série sédimentaire est constituée d'une succession de ces séquences granoclassées.
- La mise en relation avec le diagramme de Hjulström permet ensuite de quantifier la vitesse du courant pendant une de ces séquences : le courant est d'abord fort (dépôt des grès grossiers vers  $10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ) puis décroît jusqu'à moins de  $0,01 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (dépôts des argilites), donc un milieu très calme.
- Sur les photographies c et d, les bases de bancs sont grossières, possèdent des figures de charge et une base érosive, donc la vitesse du courant a été supérieure à la limite entre les domaines de transport et d'érosion pour les sables grossiers, soit  $20 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ .

En définitive, on a un hydrodynamisme ponctuellement fort ( $> 20 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ) dans un milieu très calme. Il s'agit donc de turbidites, conséquences de courants gravitaires (ou avalanches sous-marines) qui s'écoulent sur le fond d'un bassin (milieu marin profond) depuis le plateau et le talus continental.

Parmi les nombreux écueils rencontrés dans les réponses proposées, le jury retient les éléments suivants :

- Des confusions d'échelles spatiales et temporelles : de nombreuses réponses expliquent simplement que la photographie étant prise sur une plage, il s'agit donc de dépôts de marée. Le sujet précisait pourtant que ces roches étaient d'âge briovérien supérieur (donc Protérozoïque). Cette confusion entre paléoenvironnement et environnement actuel est souvent doublée d'une confusion sédiment-roche sédimentaire.

- Le concept de « granoclassement » n'est pas toujours connu (régulièrement confondu avec « granulométrie ») ni bien utilisé (« il y a un granoclassement » sans aller plus loin).
- L'utilisation du diagramme de Hjulström a aussi posé problème : les domaines « érosion » et « transport » sont confondus, ou encore la présence de particules est expliquée par leur vitesse d'érosion au lieu de la vitesse à laquelle elles se déposent.
- La « séquence de Bouma » est régulièrement citée, mais pas toujours argumentée (« on voit une séquence de Bouma » sans autre explication) et est régulièrement interprétée comme étant caractéristiques d'un environnement fluviatile, tidal, ou encore de deltas.
- Beaucoup de réponses privilégient une approche ressemblant à une « récitation de cours », et utilisent très peu les documents (parfois une seule photographie est étudiée).

Le jury rappelle que l'objectif de l'épreuve est d'utiliser ses connaissances pour construire des raisonnements scientifiques en exploitant les documents fournis. Les réponses qui mettaient en place un raisonnement autonome et rigoureux à partir d'informations saisies dans les documents ont été valorisées, même si elles n'allaient pas forcément au bout de la reconstitution paléoenvironnementale ou que les turbidites n'avaient pas été reconnues.

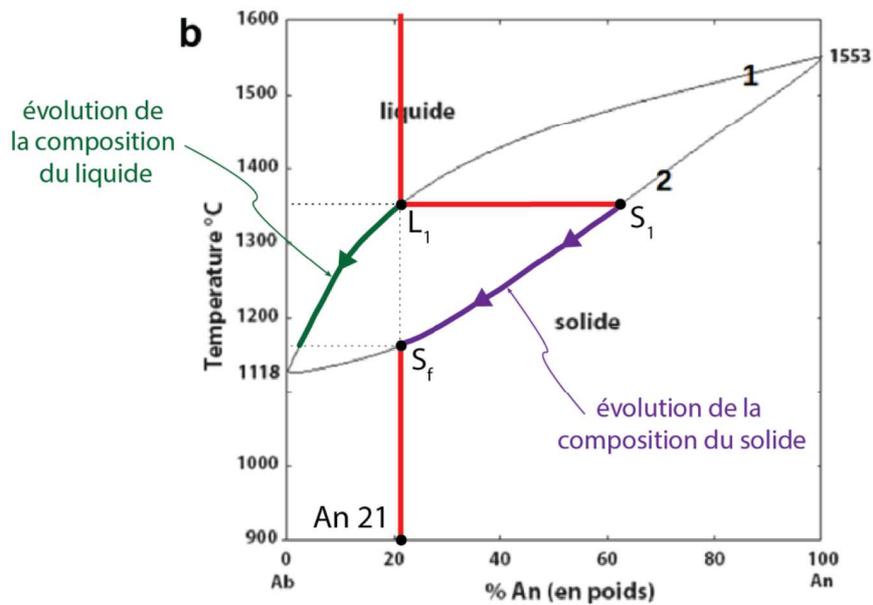
#### Thème 4 : étude d'une structure magmatique à l'échelle du minéral

##### • Question 8

**8.a et b.** La description du plagioclase zoné a été très bien réussie dans l'ensemble. Certains candidats ont judicieusement appuyé leur propos par un schéma, pour illustrer les hétérogénéités concentriques corrélées à la richesse en anorthite : le cœur du minéral est plus riche en anorthite que l'extérieur. Les courbes du solidus et du liquidus ont, elles aussi, été bien légendées et définies.

**8.c et d.** Une question très classique et très proche du programme, assez peu traitée et plutôt mal réussie dans l'ensemble. Il s'agit tout d'abord d'utiliser le diagramme binaire sur un plagioclase « An21 » homogène, qui s'est formé dans le cadre d'une cristallisation à l'équilibre d'un liquide de composition An21 (diagramme de phase annoté ci-dessous). Ensuite, la formation d'un plagioclase zoné s'explique par une absence d'équilibre solide-liquide qui conduit à une cristallisation fractionnée : le liquide s'appauvrit de plus en plus en anorthite et chaque nouvelle cristallisation est encore plus pauvre en anorthite. Les minéraux peuvent être isolés du liquide par des mécanismes physiques (densité, immiscibilité) ou cinétiques.

Beaucoup de candidats ayant pris le temps de rédiger une réponse construite à cette question ont réussi à caractériser correctement la cristallisation fractionnée, sans toujours réussir à l'argumenter de manière correcte. L'annotation du diagramme de phase est souvent partielle, et parfois fantaisiste. Certains candidats proposent d'ailleurs une réponse « à l'envers », *i.e.* basée sur une fusion partielle, alors que la question porte sur la cristallisation d'un minéral. La compréhension de ces deux questions a été très variable selon les candidats, qui ont parfois proposé d'autres solutions que celle présentée ci-dessous. Le jury a valorisé, sur l'ensemble des réponses proposées en 8c et 8d, toute proposition cohérente et correctement argumentée conduisant à la cristallisation fractionnée, même basée sur des diagrammes de phase annotés de manière très différente du corrigé ci-dessous.

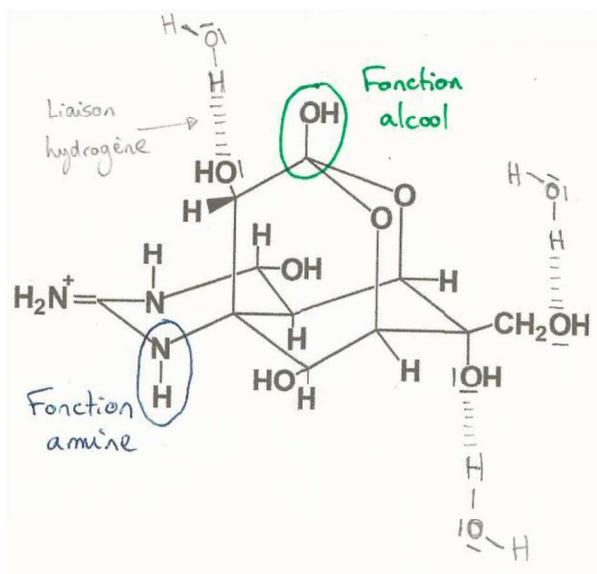


#### IV. Commentaires sur la partie biologie

##### Thème 1 : Localisation de la TTX chez les Tétrodontidés

- Question 1

Les annotations de la formule de la TTX sont le plus souvent correctement réalisées. Toutefois, dans un grand nombre de copies, les molécules d'eau sont mal positionnées (liaisons H entre 2 atomes d'hydrogène). Plusieurs candidats ont entouré plus de fonctions biologiques que le nombre demandé (2), les conduisant à des erreurs qui auraient pu être évitées.



- **Question 2**

**2.a et b.** La TTX est présente à tous les stades de développement et dans tous les organes de l'adulte, à des concentrations variables. Chez l'adulte, elle est 4 fois plus concentrée dans les gonades ( $128 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) et 2 fois plus dans le foie ( $64 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ), par rapport à la peau, la rate ou le rein ( $32 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Les œufs et larves en contiennent moins de  $16 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ . L'accumulation de TTX dans les gonades peut favoriser son transfert vers les gamètes et donc les futurs œufs et larves. Cette toxicité pourrait leur conférer une protection vis-à-vis de la prédation. Cependant, l'absence de barres d'erreur et de tout test statistique sur le graphique ne permet pas, de façon rigoureuse, de conclure à des différences de concentration en TTX entre organes. De plus, le nombre d'individus utilisés n'est pas indiqué ce qui peut rendre l'interprétation des résultats moins robuste dans le cas d'un faible effectif.

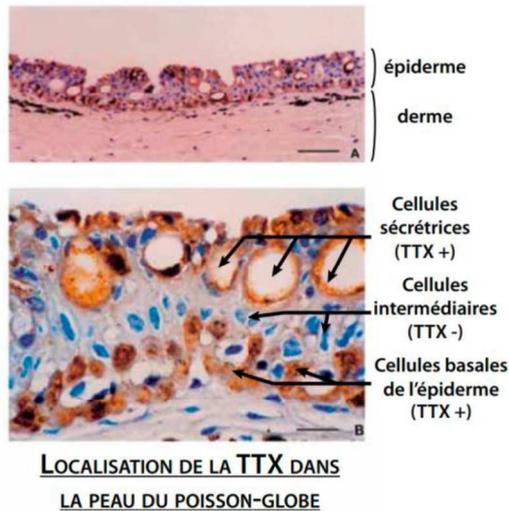
Ces questions ont été variablement traitées. Toute copie présentant une hypothèse vraisemblable et pertinente à l'accumulation de TTX dans les gonades, correctement expliquée, a été valorisée. De trop nombreux candidats se cantonnent à donner la localisation de la TTX plutôt que de proposer une hypothèse sur son rôle biologique. Enfin, de nombreux candidats confondent gonades et gamètes et concluent à une « protection des gonades lors de leur sécrétion ». Toute critique pertinente du document 2 était valorisée, tant au niveau de la présentation des résultats que dans la conception de l'expérience. Certaines copies se limitent à indiquer « il faudrait plus d'individus » ou « il faudrait plus d'organes », sans préciser l'intérêt statistique d'augmenter ces nombres. Le jury tient à souligner que l'absence de barres d'erreur, empêchant toute conclusion statistique sur les différences entre organes, a été quasi systématiquement relevée par les candidats.

**2.c.** Il y a environ  $8 \mu\text{g}$  de TTX par gramme de muscle. Le seuil de toxicité pour l'être humain étant de  $2 \text{ mg}$  (soit  $2000 \mu\text{g}$ ) de TTX, il faut consommer  $2000 : 8 = 250 \text{ g}$  de muscle pour atteindre la dose létale. Une intoxication pourrait survenir dans le cas de la consommation d'un poisson mal cuit/cru, d'une mauvaise préparation (contamination du muscle par des organes présentant une plus grande teneur en TTX : gonades, foie), d'une ingestion d'une trop grande quantité de muscle...

Une certaine tolérance était accordée dans la valeur numérique obtenue. Toute copie dont le calcul est faux, mais les hypothèses cohérentes avec le résultat obtenu a été valorisée. Le jury s'étonne qu'environ 20 % des candidats se trompent dans la réalisation du calcul de proportionnalité. Par ailleurs, de trop nombreux candidats donnent des réponses correctes d'un point de vue mathématique ( $2/7 \cdot 10^3 \text{ mg}$  ou  $0,25 \cdot 10^3 \text{ mg} \dots$ ) mais traduisant un manque de maîtrise des ordres de grandeur et limitant la portée de leur discussion critique.

- **Question 3**

Il était attendu des candidat(e)s qu'ils légendaient correctement derme et épiderme sur la coupe histologique de peau, et qu'ils identifient que la TTX est présente dans les couches supérieure et inférieure de l'épiderme mais pas dans la couche intermédiaire. Le vocabulaire précis des structures épidermiques contenant (ou non) la TTX n'était pas attendu. Cette question a toutefois été relativement mal traitée dans l'ensemble, traduisant ainsi un manque de maîtrise de la terminologie histologique : confusion entre derme et endoderme ou mésoderme, identification de l'épiderme trop peu fréquente, utilisation de vocabulaire botanique (lacunes aérifères...). De nombreux candidats ont également fait une confusion d'échelle en légendant des « vésicules d'exocytose » pour des structures de plusieurs dizaines de micromètres. Enfin, certains candidats se sont cantonnés à décrire le résultat du marquage (« la TTX est localisée dans les zones en brun ») sans conclure sur la localisation histologique.



## Thème 2 : origine de la TTX chez les Tétrodontidés

### • Question 4

La filtration et la stérilisation de l'eau de mer permettent d'éliminer toute macromolécule ou tout être vivant (planctonique notamment) qui pourrait contenir ou produire de la TTX. Ainsi, la seule source possible de TTX est celle fournie par l'expérimentateur.

Cette question a globalement été bien traitée par les candidats. Toute copie pointant les limites de ce dispositif expérimental (par exemple, la TTX n'est pas une macromolécule et pourrait donc franchir le filtre) a été valorisée.

### • Question 5

L'hypothèse A suppose une origine endogène de la TTX, alors que l'hypothèse B suppose une origine exogène. On mesure la TTX dans le foie, organe le plus riche en TTX (après les gonades, cf. document 2) de poissons-globes à qui on a fourni des aliments, contenant ou ne contenant pas de TTX.

Une analyse quantitative comparant les expériences 2 et 3 avec le témoin (expérience 1) permet rejeter l'hypothèse A (les individus ne semblent pas en mesure de produire de la TTX) et de valider l'hypothèse B (les individus accumulent la TTX apportée par l'alimentation et ceci d'autant plus que leur alimentation était riche en TTX).

Certaines copies soulignaient, à juste titre, que les résultats n'étaient donnés que pour le foie, et qu'on ne pouvait donc exclure une production endogène dans un autre organe.

### • Question 6

**6.a.** Par voie alimentaire, toute la TTX pourrait ne pas être absorbée. Cela introduit un biais expérimental puisque chaque individu contient une quantité différente de TTX. À l'inverse, la voie intramusculaire permet de limiter les incertitudes sur la quantité de TTX présente dans l'animal. On note qu'il faut un passage obligé par la circulation sanguine avant le transfert de TTX vers les autres organes (foie, peau).

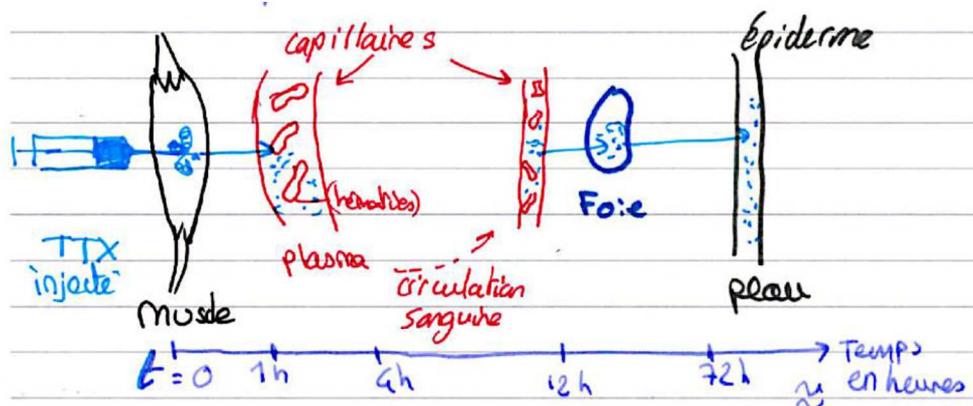
**6.b.** Les étapes peuvent être résumées ainsi :

1) La forte concentration de TTX plasmatique (une heure après injection dans le muscle) suggère un transfert rapide du muscle (lieu d'injection) vers le sang.

2) La diminution rapide de la TTX plasmatique associée à l'augmentation de la teneur hépatique jusqu'à 12 à 24 heures après injection indique une accumulation hépatique de la TTX.

3) La diminution progressive de la teneur hépatique après 24 heures, associée à une augmentation de la teneur cutanée, montre une accumulation secondaire dans la peau.

Certains candidats ont répondu de façon pertinente en réalisant un schéma (comme l'exemple ci-dessous), ce qui a été valorisé par le jury. Attention : ce schéma propose un passage « direct » de la TTX du foie vers la peau sans repasser par la circulation sanguine. Bien que cela ne soit pas correct scientifiquement, c'est représentatif de l'immense majorité des réponses des candidats, puisque seules de très rares copies mentionnent un acheminement sanguin de la TTX entre le foie et le tégument. Le jury a donc accepté les réponses contenant ce « raccourci ».



### THEME 3 : fonction et mode d'action de la TTX chez les Tétrodontidés

- Question 7

**7.a.** On observe que les juvéniles dont la nourriture contient de la TTX (et qui l'ont donc accumulée) survivent statistiquement plus (d'un facteur 2 à 2,5) que les juvéniles témoins dont la nourriture ne contient pas de TTX (qui ne l'ont donc pas accumulée). La TTX protégerait donc les juvéniles de la prédation par les bars.

De manière générale, le jury s'étonne du très faible nombre de copies s'appuyant sur le test statistique indiqué dans le sujet pour conclure à une différence entre les conditions expérimentales. De plus, le document ne permet pas de conclure à une différence statistiquement significative entre les 2 conditions où la nourriture des juvéniles contient de la TTX (1,54 ou 3,08  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Le test statistique était uniquement réalisé sur la comparaison entre chacune de ces deux conditions et le témoin sans TTX.

**7.b.** Plusieurs biais peuvent être soulignés par les candidats. Dans cette expérience, l'eau de mer n'est pas filtrée. Il est donc possible qu'elle contienne du plancton lui-même contenant de la TTX, introduisant de fait un biais expérimental sur la quantité de TTX ingérée par les individus. La quantité réelle de TTX accumulée dans les tissus des juvéniles n'est pas mesurée. Le groupe témoin comme les deux groupes tests peuvent donc contenir des quantités variables de TTX d'un individu à l'autre.

Les candidats ont souvent fait preuve d'esprit critique de manière pertinente et argumentée, ce qui a été valorisé par le jury.

- Question 8

**8.a.** Le changement de voltage de part et d'autre de la membrane conduit à une entrée rapide d'ions  $\text{Na}^+$ , puis à une sortie lente d'ions  $\text{K}^+$ , probablement par des canaux voltage-dépendants. La durée du phénomène est de l'ordre de la milliseconde. Il s'agit d'un potentiel d'action.

De nombreuses copies évoquent des « entrées et sorties de cations » sans préciser leur identité, ou concluent à des « flux transmembranaires » sans préciser leur sens. De même, le potentiel d'action est trop rarement identifié.

**8.b.** Le voltage imposé permet de suivre les courants ioniques entrant et sortant. La valeur de  $-5$  mV permet de mimer une dépolarisation, par rapport à un potentiel de repos d'environ  $-70$  mV.

Quelques copies paraphrasent « le voltage imposé permet de fixer la valeur du voltage », sans expliquer l'intérêt précis de la méthode. Beaucoup de copies confondent la valeur de  $-5$  mV avec celle du potentiel de repos d'un neurone.

- **Question 9**

Il y a dans cette expérience deux types de témoins :

- Les témoins « sans TTX » : il s'agit de la condition A, reflétant le fonctionnement normal d'une cellule nerveuse,
- Les témoins « sans dépolarisation » : il s'agit de l'ensemble des conditions pour lesquelles le voltage imposé maintient un potentiel bas à  $-155$  mV (en dessous du seuil de dépolarisation).

La condition B montre l'absence de courant entrant de  $\text{Na}^+$  normalement déclenché par la dépolarisation (condition A). Après lavage (condition C), le flux entrant d'ions  $\text{Na}^+$  n'est toujours pas totalement rétabli. La TTX semble donc bloquer le flux entrant d'ions  $\text{Na}^+$  de façon partiellement réversible. Elle pourrait donc inhiber les canaux sodiques voltage-dépendants, en se fixant dessus ou en modifiant la conformation de la protéine.

Alors que les deux témoins ont été identifiés par la majorité des candidats, nombre d'entre eux se sont limités à donner un « effet général » de la TTX sur la communication nerveuse, sans proposer de mécanisme moléculaire, même imprécis.

- **Question 10**

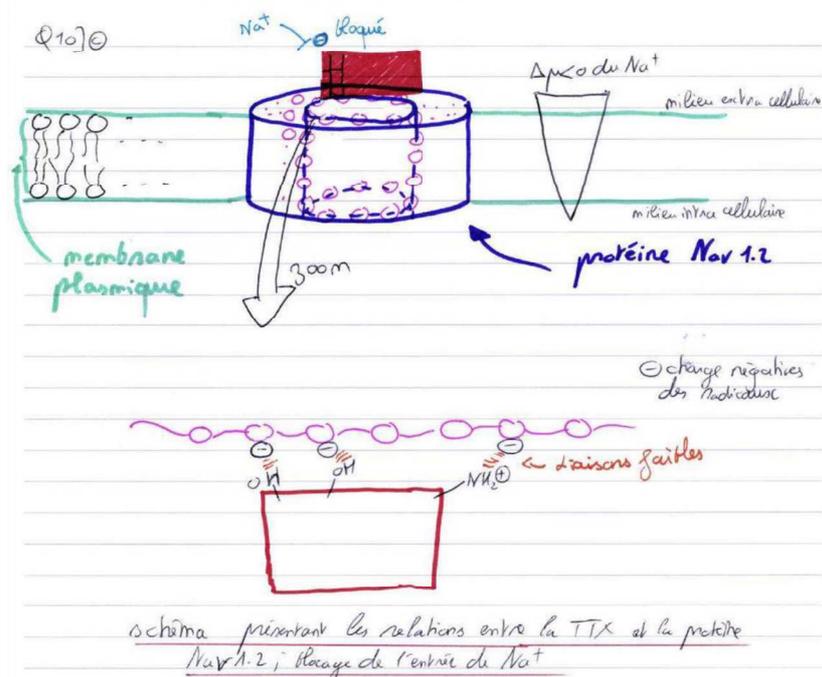
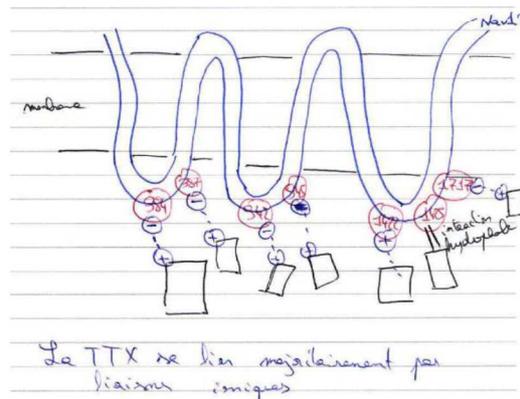
**10.a et b.** La mutagenèse dirigée permet de tester l'importance fonctionnelle de chaque acide aminé du canal  $\text{Na}^+$  voltage-dépendant, en particulier ceux qui pourrait correspondre au site de fixation de la TTX. Dans le cas des mutations D384E et D384N, on observe une augmentation significative de l' $\text{IC}_{50}$  (surtout dans le cas de la mutation D384N). Il y a donc une perte de sensibilité à la TTX par rapport au canal sauvage. Ces résultats indiquent que l'aspartate 384 fait partie du site de fixation de la TTX sur le canal  $\text{Na}^+$  voltage-dépendant. Lorsque l'aspartate est remplacé par un acide aminé non chargé (N), la perte de sensibilité à la TTX est plus forte que lors d'un remplacement par un acide aminé chargé négativement (E).

On peut donc supposer que la fonction acide carboxylique de D384 a une importance dans l'interaction avec la TTX. Les candidats pouvaient alors avancer l'hypothèse d'une liaison ionique entre cette fonction  $\text{COO}^-$  et le groupement  $\text{NH}_2^+$  de la TTX (identifié au document 1).

Dans l'ensemble, cette question a été soit très bien réussie, soit au contraire peu réussie lorsque les candidats ne semblaient pas connaître le principe de la mutagenèse dirigée. Les candidats ont souvent correctement identifié que les canaux  $\text{Na}^+$  voltage-dépendants étaient moins sensibles à la TTX lors d'une substitution de l'aspartate par l'asparagine, non chargée, que par le glutamate, chargé négativement (comme l'aspartate). En revanche, ils ont été plus rares à conclure que l'aspartate appartenait au site de fixation de la TTX et souligner ainsi le rôle de la fonction  $\text{COO}^-$  de l'aspartate dans la liaison au groupement  $-\text{NH}_2^+$  chargé positivement de la TTX. La liaison ionique a souvent été confondue avec une liaison hydrogène.

**10.c.** Le schéma des relations entre la TTX et la protéine canal  $\text{Na}^+$  voltage-dépendante (Nav1.2) a été relativement peu réalisé dans les copies, probablement par manque de temps, et aussi car il nécessitait une compréhension globale de l'interaction entre la TTX et la protéine canal  $\text{Na}^+$  voltage-dépendante. Le jury n'attendait pas un schéma exact et a

donc valorisé toute tentative, même partielle, de schéma. Certains candidats ont réalisé des schémas très pertinents (cf. exemples ci-dessous).



#### THÈME 4 : toxicité à la TTX et évolution

##### • Question 11

**11.a.** Le scénario le plus parcimonieux est celui d'un état ancestral non toxique et d'une apparition de la toxicité dans quatre lignées (ou d'une apparition dans trois lignées, suivie d'une réversion chez *T. sirtalis* [population de Bearlake]).

Parmi les candidats ayant traité cette question, la plupart ont correctement identifié le scénario évolutif le plus parcimonieux. Toutefois, le jury déplore que seules quelques très rares copies aient précisé l'état ancestral du caractère (« non toxique »). La polarisation d'un caractère est pourtant une étape importante lors de la représentation d'un scénario évolutif.

Par ailleurs, il n'était pas demandé dans cette question d'illustrer l'évolution de la séquence de la protéine, en repérant toutes les mutations ayant conduit aux séquences actuelles du canal. Cela a fait perdre un temps précieux à de nombreux candidats.

**11.b.** Les quatre régions du canal Na<sup>+</sup> indiquées sur le document incluent les acides aminés du site de fixation de la TTX (cf. document 10). On remarque que les espèces toxiques présentent de nombreuses mutations sur ces régions, ce qui empêcherait la TTX de se fixer, et rendrait ainsi les espèces toxiques insensibles à leur propre poison. Malgré le caractère explicite de la question, peu de candidats ont fait le lien entre la toxicité de l'espèce et la séquence du canal, mutée sur plusieurs sites, et conférant donc aux individus une « autorésistance » à la toxine.

**11.c.** L'apparition de la toxicité à la TTX s'est faite indépendamment chez les poissons-globes, les salamandres et les serpents. La résistance à la TTX chez les espèces toxiques fait intervenir des mutations différentes d'une lignée à l'autre (M1425T, I1710S, D1717S et G1718D chez les salamandres, mais Y385N ou Y385C, N388S et G1718T chez les poissons-globes par exemple). La toxicité à la TTX chez les salamandres, les serpents et poissons-globes relève donc d'une convergence évolutive.

Cette question, en toute fin de sujet, a rarement été traitée. Les candidats qui s'y sont essayés ont souvent relevé l'apparition indépendante de mutations différentes dans les lignées concernées, mais peu d'entre eux ont ensuite fait le lien avec le scénario d'une convergence évolutive.

- **Schéma bilan**

Cette question nécessitait de faire le lien entre toutes les idées des différentes parties du sujet de biologie. Il n'était pas attendu une totale exhaustivité de la part des candidats, d'autant que cette question intervenait en fin de devoir. Le jury félicite les candidats, qui ont en grande partie pris le temps de faire des schémas-bilans. Même partiels, ceux-ci étaient souvent soignés et pertinents. Il était possible d'évoquer (liste non exhaustive) :

- l'origine exogène de la TTX, par l'alimentation,
- l'absorption intestinale de celle-ci,
- le passage du sang au foie puis du sang à la peau et aux gonades et aux gamètes,
- la localisation épidermique (avec des détails histologiques) de la TTX,
- le rôle biologique de la TTX dans la protection des adultes, des œufs et des juvéniles,
- le mécanisme d'action sur le système nerveux des prédateurs en cas d'ingestion par blocage des canaux Na<sup>+</sup> voltage-dépendants.

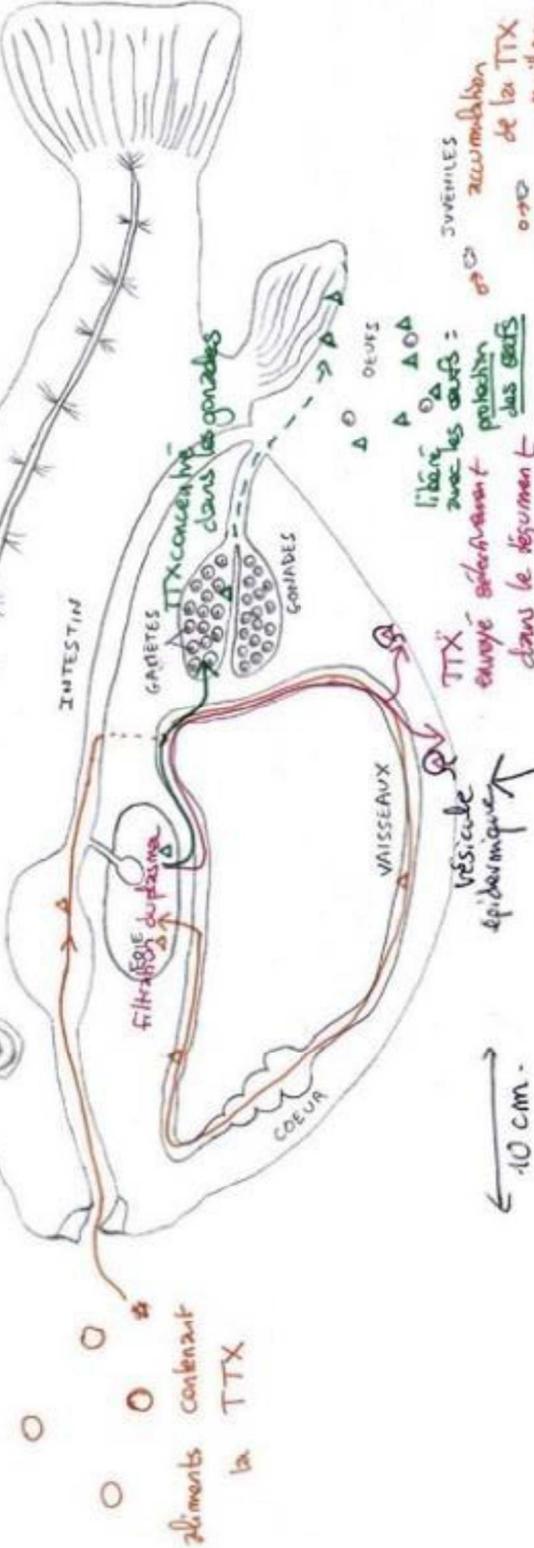
Le jury s'étonne que la grande majorité des schémas ait cependant illustré une absorption hépatique de la TTX alimentaire, et non intestinale. Certains candidats ont brillamment réussi cette question (cf. exemple ci-dessous).

le mode d'action, l'origine et la localisation de la TTX chez le poisson globe

- Δ TTX dans les gonades
- Δ TTX dans mgère
- Δ TTX tégumentaire.

axone insensible au fonctionnement de la TTX

Δ TTX



aliments contenant la TTX

libéré avec les œufs = accumulation de la TTX : meilleur service des juvéniles.

libéré avec les œufs = accumulation de la TTX : meilleur service des juvéniles.

TTX envoyé sécrètement dans le tégument

inhibition des canaux voltige dépendant = plus de transmission nerveuse

contact entre prédateur et poisson globe = libération épidermique de TTX. => RÔLE DE DÉFENSE

prédateur, ex bar (pas à l'école).

MORT DU PRÉDATEUR